

UNIVERSITE TOULOUSE III

Faculté de Médecine Toulouse Rangueil

Institut de Formation en Psychomotricité



UNIVERSITÉ
TOULOUSE III
PAUL SABATIER



Prise en charge de l'équilibre chez un enfant sourd

Apport des principes de la Rééducation Vestibulaire



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

SOMMAIRE

Introduction	1
PARTIE THEORIQUE	2
I Généralités sur la surdité	2
1. Définition des surdités	3
1.1 La surdité de transmission.....	3
1.2 La surdité de perception	3
2. Classification et conséquences des pertes auditives	4
2.1 Conséquences d'une perte auditive.....	4
2.2 Classification	4
3. Différentes étiologies	5
4. Aides technologiques : prothèses et implants	5
II Équilibre et contrôle postural	7
1. Définitions	7
2. Mécanismes du contrôle postural	8
2.1 Mécanismes réflexes, automatiques ou volontaires	8
2.2 Multisensorialité et intégration sensorielle	9
3. Stratégies d'équilibration selon différents modèles	12
3.1 Le modèle génétique	12
3.2 La théorie sélectionniste.....	12
3.3 Le modèle dynamique	13
3.4 Les ajustements posturaux anticipés	14
4. Aspects développementaux	15
4.1 Développement des stades fondamentaux à l'équilibre.....	15
4.2 Ontogenèse des stratégies d'équilibration	16
4.3 Développement des fonctions d'anticipation et d'adaptation posturale.....	17
4.4 Dépendance au champ visuel	18
III Le vestibulaire, un sixième sens ?	19
1. Présentation anatomique	19
1.1 Le système vestibulaire central	19
1.2 Le système vestibulaire périphérique.....	20
1.3 Les récepteurs périphériques	21
2. L'oreille interne : lieu de voisinage entre cochlée et vestibule	22
2.1 Une origine embryonnaire commune	22
2.2 Les liquides péri- et endo-lymphatiques	22
2.3 L'oreille interne : un récepteur de fréquence	23
3. Rôle du vestibule dans l'équilibre	23
3.1 Le réflexe vestibulo-oculaire.....	23
3.2 Le réflexe vestibulo-spinal	24
3.3 Le réflexe vestibulo-nucal	24
4. Liens entre surdités et déficit vestibulaire	25
4.1 Fréquences d'association selon les type de déficits vestibulaires.....	25
4.2 Etiologies communes (infectieuses, syndrome génétique rare)	25
IV Spécificités du déficit vestibulaire chez l'enfant sourd et impacts sur l'équilibre	26
1. Problèmes de régulation tonique	26
2. Pauvreté et particularités perceptives	27

2.1 Une maturation sensorielle compromise	27
2.2 Absence d'audition spatiale	27
2.3 Stabilisation du regard difficile	27
3. Retard de développement moteur	28
4. Particularités du contrôle postural	28
5. Fatigabilité	29
PARTIE PRATIQUE	31
I Les objectifs de l'étude	31
II La méthodologie	31
1. Le protocole à cas unique à ligne de base	31
2. Phases d'évaluation	32
2.1 Temps d'évaluation.....	32
2.2 Moyens d'évaluation.....	32
3. Phase A	35
3.1 Mise en place d'une prise en charge psychomotrice pour rééduquer la fonction d'équilibration.....	35
3.2 Description des séances de la phase A	36
4. Phase AB	42
4.1 La rééducation vestibulaire	42
4.2 Utilité de cette rééducation chez des enfants sourds	44
4.3 Description des séances.....	45
III Présentation du sujet	49
1. Anamnèse	49
2. Bilan psychomoteur	49
IV Mise en place du protocole avec Emmy	50
1. Résultats aux tests en T₀	50
1.1 Tests d'équilibre issus de l'examen vestibulaire (cf. ANNEXE VI).....	50
1.2 Résultats de la partie « équilibre » du M-ABC 2	51
1.3 Résultats au Lincoln-Oseretsky (cf. ANNEXE VII)	51
1.4 Examen du tonus	51
2. Evolution du contrôle postural d'Emmy suite à la phase A	51
2.1 Observations cliniques	51
2.2 Résultats au retest T ₁	52
3. Evolution du contrôle postural à la fin de la phase AB	54
3.1 Observations cliniques	54
3.2 Retour sur les attentes d'après la littérature.....	55
3.3 Hypothèses sur les résultats en T ₂	55
4. Etude de la ligne de base	57
Synthèse des résultats obtenus et discussion	59
Conclusion	60
BIBLIOGRAPHIE	61

ANNEXES

I. Schéma fonctionnel du système auditif

- II.** Schéma du fonctionnement de l'implant cochléaire
- III.** Tests d'équilibre issus de l'examen vestibulaire
- IV.** Protocole de Jacobson
- V.** Bilan psychomoteur d'Emmy
- VI.** Résultats d'Emmy aux tests d'équilibre issus de l'examen vestibulaire (en T_0 et T_1)
- VII.** Résultats d'Emmy au Lincoln-Oseretsy à T_0
- VIII.** Résultats d'Emmy au Lincoln-Oseretsy à T_1

Introduction

Etant en stage dans une structure spécialisée pour enfants et adolescents atteints de déficience auditive avec un trouble associé, je me suis questionnée sur les conséquences de la perte d'un sens sur les fonctions psychomotrices. La plupart des enfants suivent une prise en soin psychomotrice pour les difficultés associées à leur déficience auditive : une recherche visuelle non efficiente, une labilité attentionnelle, une posture raide ou au contraire hypotonique, de la maladresse, un retard d'acquisition des coordinations, des praxies visuo-constructives déficitaires et un équilibre précaire. Ainsi, j'ai ciblé mon questionnement sur le domaine de l'équilibre et du contrôle postural dans lequel l'oreille interne joue un rôle important grâce au système vestibulaire.

Après plusieurs recherches et entretien avec un médecin ORL, j'ai compris qu'il existait des corrélations entre l'atteinte de la cochlée (appareil de l'audition) et du vestibule (appareil important du contrôle postural). Cependant, peu d'écrits scientifiques traitent ce sujet chez les enfants sourds. Le lien entre la surdité et les dysfonctionnements vestibulaires demeure encore sous-estimé. A Toulouse, le dépistage automatique d'un tel déficit chez un enfant sourd n'est opérationnel que depuis environ cinq ans. Avant cette période, peu de personnes étaient formées à l'utilisation des outils spécifiques pour effectuer l'examen vestibulométrique.

De plus, l'efficacité du traitement mis en place pour de tels déficits reste largement inconnue. Depuis 2012, plusieurs articles traitant de l'intérêt de la rééducation vestibulaire chez la population sourde sont apparus. Cela montre que ce sujet suscite un certain intérêt et questionnement. Une telle rééducation inclut la mise en mouvement de la globalité du corps et le traitement de différentes informations sensorielles. La psychomotricité peut être considérée comme une thérapie du corps en mouvement. Elle requiert une approche globale de la personne, en s'intéressant aux capacités motrices mais aussi à l'aspect sensoriel et sensitif qu'implique le mouvement.

Je souhaite donc montrer à travers ce mémoire, l'intérêt d'utiliser certains processus de la rééducation vestibulaire au sein d'une prise en charge psychomotrice, afin d'améliorer les compétences de contrôle postural d'un enfant déficient auditif souffrant d'une atteinte de la fonction vestibulaire. Pour ce faire, nous allons comparer, à travers un cas clinique, l'efficacité d'une prise en charge psychomotrice ciblée sur les stratégies d'équilibration à une prise en charge plus spécifique, utilisant des principes issus de la rééducation vestibulaire.

PARTIE THEORIQUE

I Généralités sur la surdité

Avant de parler de la surdité en elle-même, il est important de se représenter l'oreille, l'organe neurosensoriel responsable du codage des ondes sonores en influx nerveux sensoriel et d'avoir en tête les différents processus mis en jeu pour permettre l'audition.

On peut décrire l'oreille selon trois parties distinctes (*Le Poncin-Charachon, 1981*) :

- l'**oreille externe**, composée du pavillon de l'oreille et du conduit auditif externe
- l'**oreille moyenne**, composée du tympan, de la trompe d'Eustache et des cavités mastoïdiennes
- l'**oreille interne** qui regroupe le vestibule, les canaux semi-circulaires, le canal cochléaire, le limaçon osseux et le labyrinthe osseux

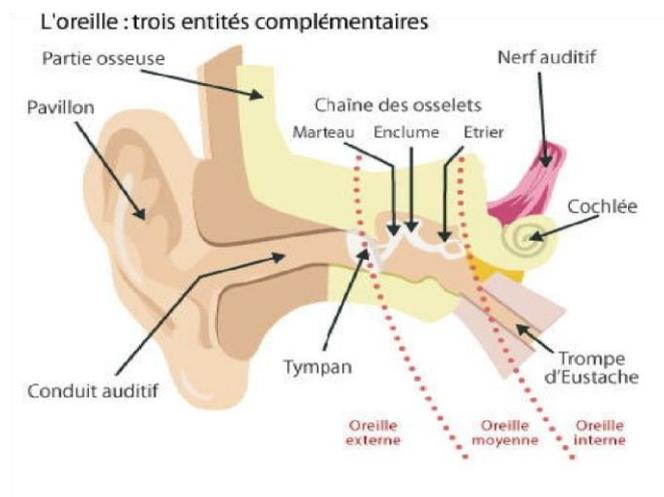


Fig. 1 : Schéma de l'oreille, source Google image libre de droit

Ces différentes parties rentrent en jeu lors des trois stades physiologiques décrits pour définir le processus d'audition (*Roman et al., 2018*) :

1. La transmission mécanique de la stimulation acoustique depuis la source sonore vers l'organe de Corti
2. La transformation du message mécanique en un courant bio-électrique (transduction) dans les cellules ciliées sensorielles (cf. ANNEXE I)

3. L'acheminement du message bio-électrique vers les centres supérieurs d'intégration par le nerf cochléaire et les voies auditives centrales

1. Définition des surdités

La déficience auditive est le déficit sensoriel le plus fréquent à la naissance. Elle se définit comme la diminution ou la perte de l'ouïe. On différencie deux types de surdité en fonction de la localisation de l'atteinte.

1.1 La surdité de transmission

Elle est caractérisée comme une atteinte de l'appareil de transmission qui rend impossible la transmission mécanique de la vibration sonore (*Le Poncin-Charachon, 1981*).

L'atteinte se situe au niveau de l'oreille externe ou de l'oreille moyenne.

Différentes causes peuvent entraîner une atteinte de l'oreille externe ou moyenne : un bouchon de cérumen, une malformation du pavillon et du conduit auditif externe, des otites moyennes chroniques, un traumatisme...

1.2 La surdité de perception

Elle est caractérisée comme une atteinte de l'appareil de réception. L'appareil neurosensoriel de réception regroupe l'oreille interne et les voies nerveuses qui conduisent le message jusqu'aux centres supérieurs.

On distingue deux types de surdité en fonction de l'origine de la surdité (*Le Poncin-Charachon, 1981*)

:

- la **surdité congénitale**, dite « récessive fixée » si les deux parents ont le gène pathologique ou « dominante évolutive » si un seul parent est porteur du gène pathologique dominant
- la **surdité acquise** pendant la période pré-natale (à cause d'un virus, un microbe, un parasite), pendant la période néo-natale (suite à un traumatisme obstétrical, une prématurité, un ictère nucléaire) ou pendant la période post-natale (à cause d'un traumatisme, d'une infection...)

Dans 30 à 40% des cas, la cause reste inconnue.

On parle de surdité mixte si l'appareil de transmission et de réception sont touchés.

2. Classification et conséquences des pertes auditives

2.1 Conséquences d'une perte auditive

La surdité de l'enfant est bien plus qu'une gêne sociale. C'est un obstacle à l'acquisition et au développement du langage et des apprentissages scolaires (*Olusanya, 2004, in Avan, 2006*). La perte auditive dans la surdité de transmission est rarement importante. L'audition peut être rétablie grâce à un traitement médical ou chirurgical.

La surdité de perception est une atteinte auditive sévère qui ne permet aucune récupération. Le but est l'acquisition ou le maintien du langage (*Hage, 2006*).

2.2 Classification

La perte auditive est mesurée par audiométrie tonale. Le seuil d'audition calculé en déciBels (dB) indique ce qui ne peut pas être perçu. Ainsi, on définit différents niveaux dans la surdité :

- **La déficience auditive légère** est caractérisée par une perte tonale de 20 à 40 dB (*Smith et coll., 2005, in Avan, 2006*).

La parole est perçue si le volume est normal. Les chuchotements et les voix lointaines sont difficiles à discriminer. La plupart des bruits environnants familiers peuvent être reconnus. Une correction par prothèses auditives est proposée à partir d'une perte de 30 dB.

- **La déficience auditive moyenne** est caractérisée par une perte tonale variant de 40 à 70 dB (*Delaroche et coll., 2004, in Avan, 2006*).

A partir de 50 dB, la plus grande partie des informations acoustiques de la parole n'est pas perçue par l'individu. La parole est perçue seulement à voix forte et les mots proches sont facilement confondus. La lecture labiale est importante pour clarifier l'information. Quelques bruits familiers sont captés. Une atteinte moyenne ou légère permettent un circuit scolaire normal avec un suivi orthophonique.

- **La déficience auditive sévère** se caractérise par une perte tonale moyenne de 70 à 90 dB (*Smith et coll., 2005, in Avan, 2006*).

La parole n'est perçue qu'à voix forte près de l'oreille. La compréhension du langage oral est altérée et les conséquences sur le langage oral et son acquisition sont inévitables. L'appareillage devient indispensable pour que la parole puisse émerger et s'enrichir grâce à un suivi orthophonique régulier.

Des conditions sociales ou un handicap associé peuvent amener à une prise en charge plus complète pour le sujet.

- **La déficience auditive profonde** est caractérisée par une perte tonale de 90 à 120 dB (*Olusanya, 2004, in Avan, 2006*).

Aucune perception de la voix n'est alors possible. Seulement les bruits très puissants peuvent être perçus. L'atteinte profonde demande une rééducation longue et une scolarité en milieu spécialisé à la surdité.

3. Différentes étiologies

La cause d'une surdité (hors pathologie infectieuse de l'oreille moyenne) peut être extrinsèque (embryofetopathie, méningite, traumatisme, ototoxicité médicamenteuse, traumatisme sonore, etc...), génétique ou les deux (*Avan et coll., 2006*). Les surdités d'origine génétique sont classées selon deux grandes catégories : les surdités isolées, estimées à 90% et les surdités syndromiques, à 10%. Pour les surdités congénitales, dont l'épidémiologie est la mieux connue, on estime actuellement que 80% des surdités sont d'origine génétique, les autres causes étant environnementales (*Marlin, 2018, in Truy et coll., 2018*).

4. Aides technologiques : prothèses et implants

Dans la plupart des cas il est important d'appareiller l'enfant afin de compenser en partie la perte d'audition s'il y a des restes auditifs fonctionnels. Il existe trois types de prothèses choisies en fonction du type de surdité de l'enfant et des fréquences atteintes :

- **Les prothèses d'amplification externe**

Ce sont les plus utilisées car elles peuvent correspondre à tous les niveaux de surdité. Les plus utilisés sont les contours d'oreille au niveau de l'oreille externe. Dissimulés par le pavillon, ils s'orientent en fonction des mouvements de la tête. L'amplificateur transmet le son par l'intermédiaire d'un conduit plastique jusque dans le conduit auditif externe où est moulé l'embout (*Nevoux et coll., 2017*). C'est une stimulation acoustique qui est transmise par l'intermédiaire d'un transducteur de sortie (écouteur). L'enfant peut alors percevoir un monde sonore sans toujours pouvoir discriminer la parole. Certains sourds ne peuvent pas se passer de leur appareillage alors que d'autres ne le supportent pas. Suite à l'application, un suivi protétique est mis en place pour contrôler l'amplification, changer les embouts

si besoin. L'utilisation précoce et régulière de prothèses auditives permet de limiter la réorganisation cross-modale (*Campell, 2016, in Truy et coll., 2018*). On appelle réorganisation cross-modale le recrutement de certaines régions corticales normalement dévolues au traitement auditif par d'autres systèmes sensoriels (somesthésique, visuel).

- **Les prothèses d'oreille moyenne**

Elles sont adaptées pour des sujets présentant une surdité mixte avec atteinte sur les fréquences moyennes et aiguës ou pour une surdité de transmission. Ce dispositif permet la transmission des sons, assurée par la chaîne des osselets. Un vibreur est placé sur cette partie de l'oreille favorisant l'augmentation de la vibration mécanique des osselets. Ce traitement acoustique du signal sonore donne au patient appareillé une sensation de son naturel (*Nevoux et coll., 2017*). Ce type d'appareillage est le dernier arrivé sur le marché et le moins évolué pour le moment.

- **Les implants cochléaires**

Ils ont été développés afin de pallier les déficiences de la cochlée dans les surdités de perception neurosensorielles profondes. La privation sensorielle de durée prolongée survenant durant les périodes sensibles du développement modifie de façon durable le couplage entre les aires auditives dévolues au traitement langagier et d'autres aires corticales ; alors qu'une privation sensorielle courte suivie d'une implantation (avant 7 ans) permet un développement normal des PEAC (Potentiels Evoqués Auditifs Corticaux) chez l'enfant (*Loundon, 2018*). Ce type de prothèses auditives électriques délivre une stimulation électrique et permet de restituer l'intégration multisensorielle (cf. ANNEXE II).

De fait, la perte d'une modalité sensorielle conduit à une augmentation des performances des modalités épargnées. La compensation intermodale s'accompagne de réorganisations fonctionnelles telles que la colonisation des aires corticales privées par les modalités restantes (*Frasnelli, 2011, in Truy et coll., 2018*). Cependant, après l'implantation cochléaire, au cours de la récupération progressive des fonctions auditives, cette activité visuelle compensatoire et intermodale régresse progressivement et est remplacée par sa fonction normale de traitement des stimuli vocaux (*Coez, 2008 in Truy et coll., 2018*).

La surdité est donc caractérisée par deux facteurs : le type et le degré d'atteinte. La connaissance de ces facteurs, ainsi que l'origine de la perte d'audition, permet de choisir un moyen de compensation adapté afin de préserver le développement des fonctions auditives.

II Équilibre et contrôle postural

Le contrôle postural est le fondement de toutes les habiletés motrices volontaires. Il est fondamental pour stabiliser et orienter le corps avant, pendant et après l'action. Il permet de maintenir l'alignement de la posture du corps et d'adopter une relation appropriée entre les différents segments corporels pour contrer les forces de gravité et le maintien d'une posture droite (il existe aussi une participation du tonus). Le maintien de l'équilibre constitue un autre rôle du contrôle postural (Woollacott, 2004). Deux objectifs doivent être atteints en même temps : réaliser avec précision un mouvement dirigé vers un but et maintenir l'équilibre ainsi qu'une posture appropriée (Massion, 1998).

1. Définitions

Tout d'abord, il convient de définir brièvement les concepts que nous allons traiter par la suite.

- La **posture** correspond à une configuration des segments du corps à un moment donné (Massion et al., 2003).
- Le **contrôle postural** est l'acte de maintenir, d'atteindre ou de rétablir un état d'équilibre pendant une activité ou une posture spécifique. Son rôle principal est de prévenir la chute (Pollock et al., 2000). Pour ce faire, il autorise la perception des menaces d'instabilité et utilise l'activité musculaire pour contrecarrer la force de gravité.
- L'**équilibre** est défini comme l'état d'une personne lorsque les actions de charges résultantes agissant sur elle sont nulles (1^{ère} loi de Newton).
- La **stabilité** est la capacité inhérente à maintenir, atteindre ou restaurer un état d'équilibre pendant toute posture ou activité (Pollock et al., 2000).

La stabilité statique se rapporte à l'équilibre dans des conditions non perturbées (Macpherson & Horack, 2013).

La stabilité dynamique est considérée comme le maintien ou le rétablissement de l'équilibre en réponse à des perturbations internes ou externes (Horack et al., 1997, in Ringhof, 2018).

- On appelle « **stratégie** » la manière dont le système nerveux rétablit l'équilibre (Woollacott, 2004). Les stratégies de contrôle postural peuvent être réactives à une perturbation, anticipatives ou une combinaison des deux. Il existe des stratégies dites de « soutien fixe » (la stratégie de hanche et de cheville) et des stratégies dites de « changement de support ».

- Une **synergie** est un pattern d'activation musculaire avec des caractéristiques spatiales et temporelles fixes et reproductibles (*Le Goïc, 2014*). Elle sont programmées neuronalement et fournissent les forces musculaires nécessaires à la réalisation des stratégies adoptées (*Woollacott, 2004*).
- Le **centre de gravité** (CDG) est le point par lequel passe le vecteur de poids du corps (*Pollock et al., 2000*).
- La **base d'appui** est la surface de contact entre le sol et le corps. La surface entre les deux bases d'appui est appelée « **polygone de sustentation** » (*Pollock et al., 2000*).
- Le **centre de pression** est le point d'application de la résultante des forces de réaction appliquées sur la surface d'appui. Il s'oppose au poids du sujet.
- Le **centre de masse** d'un segment corporel correspond au point d'équilibre, c'est à dire au point où pourrait être concentrée toute sa masse.

2. Mécanismes du contrôle postural

2.1 Mécanismes réflexes, automatiques ou volontaires

Auparavant, les stratégies de contrôle postural étaient considérées comme des réponses de type réflexes déclenchées automatiquement par un stimulus sensoriel. On considère maintenant que les réponses posturales pour maintenir l'équilibre dépendent de l'évaluation et du contrôle de nombreuses variables par le système nerveux central (SNC). Cela implique que le contrôle de l'équilibre peut être considéré comme une habileté motrice fondamentale apprise par le SNC. Comme toute habileté motrice, les stratégies de contrôle postural peuvent devenir plus efficaces avec l'entraînement et la pratique (*Pollock et al, 2000*).

L'approche du mouvement propre définit un ensemble de rapports entre les angles formés par les articulations. Le mouvement est unique, les rapports entre les différents changements d'angles sont fixes. Dans chaque mouvement, tous les changements angulaires des trois principales articulations sont synchronisés. On note A le mouvement propre à la cheville, H celui de la hanche et K celui propre au genou. On peut rattacher ces mouvements aux stratégies de chevilles, de hanche et d'abaissement du centre de gravité (stratégie verticale). Ces stratégies sont définies en termes de cinématique, c'est à dire par rapport au changement de la géométrie du corps. Afin de contrôler la stratégie utilisée, des modèles musculaires appelés « synergies » produisent la force musculaire

appropriée. Souvent, la même synergie, le même schéma musculaire est associé à une stratégie donnée, sauf si les contraintes externes ou la tâche exercée changent (Horack & Nashner, 1986). La stratégie de chevilles est utilisée si la surface de contact est normale et la perturbation minimale. La stratégie de hanches est utilisée lorsque les conditions rendent difficile l'utilisation de la stratégie de chevilles, par exemple, lorsque la surface de sustentation diminue ou lors de grandes ou rapides perturbations. La stratégie verticale mobilise l'ensemble des articulations des hanches, des chevilles et des genoux en flexion. Elle a pour principal intérêt de provoquer un abaissement du centre de gravité. Elle est peu utilisée par rapport aux deux autres stratégies (Marin, 2011).

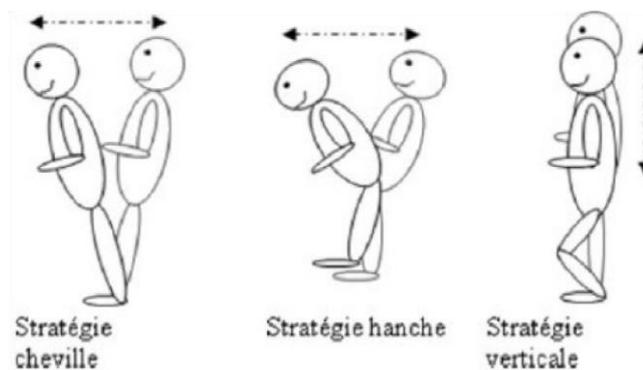


Fig.2 : Représentation des trois stratégies posturales d'après Nashner et McCollum (1985), in Marin et al, 2011

2.2 Multisensorialité et intégration sensorielle

L'équilibre possède une voie et des centres primaires, prioritairement dédiés à cette fonction, où convergent également des modalités sensorielles: vestibulaires, visuelles et somato-sensorielles (Mallau, 2010). La perception et le contrôle de l'orientation et des mouvements du corps dans l'espace sont réalisés par la mise en jeu simultanée d'informations en provenance des récepteurs vestibulaires de l'oreille interne, des yeux et des capteurs musculaires et cutanés (système somatosensoriel). Ces informations sont intégrées à différents niveaux du SNC. Ces entrées multisensorielles sont indispensables au contrôle rétroactif de la posture : elles permettent de détecter le déséquilibre. Dans un environnement stable, les personnes sans déficit utilisent approximativement à 70% des **informations somato-sensorielles**, à 20% des **informations vestibulaires** et à 10% sur les **informations visuelles** (Horack, 2008, in Le Goïc, 2014).

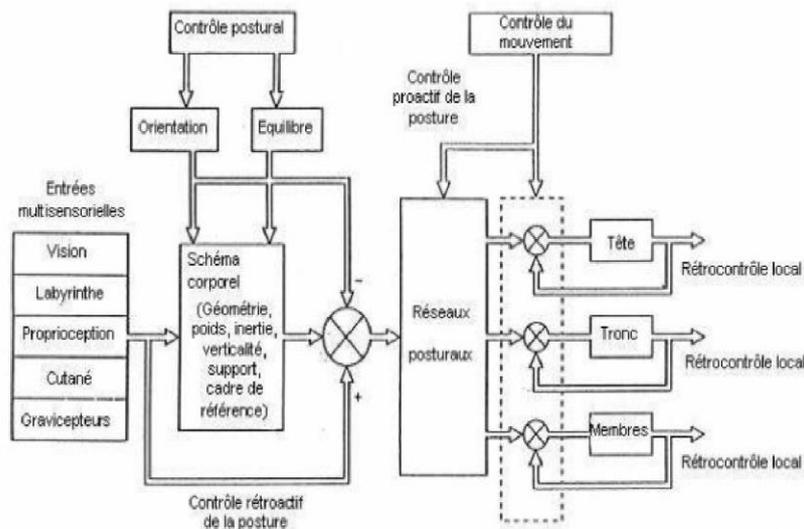


Fig. 3 : Organisation centrale et hiérarchique du maintien postural avec deux niveaux : le niveau de référence (schéma corporel) et le niveau de contrôle (réseaux posturaux). *Massion, 1998*

2.2.a Les récepteurs somesthésiques

Ils correspondent au système haptique qui regroupe le tact et la proprioception (*Marieb, 2010*).

Les **récepteurs cutanés** tactiles se situent dans l'épiderme et le derme. Ces récepteurs sont en contact direct avec le sol. Ils sont sensibles à la pression exercée par la masse corporelle, qui traduit d'un déplacement du centre de gravité. Ils fournissent des informations sur la quantité et la qualité des appuis, ainsi que sur les propriétés du terrain. Ils sont principalement présents dans la plante du pied.

Les **propriocepteurs** regroupent :

- Les récepteurs musculaires ou fuseaux neuromusculaires : ils sont sensibles à la longueur du muscle et à sa vitesse d'étirement
- Les récepteurs tendineux ou récepteur de Golgi : ils fournissent des informations sur les variations de force de contraction du muscle.
- Les récepteurs articulaires ou corpuscules de Pacini et de Ruffini : ils transmettent des informations sur la vitesse et l'accélération des mouvements, sur les vibrations et les positions des articulations. Ce sont les propriocepteurs du cou, du tronc, des jambes et des pieds qui sont les plus impliqués dans la régulation de l'équilibre. Ils renseignent sur la position de la tête par rapport au tronc, des différents membres et sur les oscillations du corps.

2.2.b Les récepteurs vestibulaires

Ils sont situés dans l'oreille interne ou labyrinthe. Ils détectent les mouvements de la tête ou du sujet dans son ensemble et renseignent sur la position de la tête. Il existe deux types de récepteurs vestibulaires (*Discher, 2015*):

- les **organes otolithiques** (utricule et saccule) : ils sont sensibles aux accélérations linéaires lors des mouvements de translation de la tête. Les organes otolithiques sont également sensibles à la gravité : ils sont en effet dotés de cellules ciliées, orientées par rapport au vecteur gravitaire.
- les **canaux semi-circulaires** : ils sont sensibles aux accélérations angulaires lors des mouvements de rotation de la tête.

Le mode de fonctionnement de ces récepteurs est plus détaillé dans la partie théorique concernant le vestibule (cf. « III. 1.3. Les récepteurs périphériques », partie théorique).

2.2.c Les récepteurs visuels

Ces récepteurs sont à la fois proprioceptifs et extéroceptifs. Le mouvement dû aux oscillations posturales ou aux déplacements, produit des conséquences visuelles correspondant au défilement d'images sur la rétine. Deux types de vision sont à distinguer :

- la **vision fovéale** a une fonction extéroceptive. Elle assure la reconnaissance de l'environnement et donc permet l'orientation de la tête et du corps par rapport au cadre externe de référence
- la **vision périphérique** a une fonction proprioceptive. Elle renseigne sur les mouvements d'une scène visuelle, sur la position et les mouvements de la tête et du corps par rapport à la verticale. Elle aide donc le sujet à s'orienter dans l'environnement.

2.2.d Les différents référentiels posturaux

L'intégration des informations issues des différentes modalités sensorielles permet la construction de trois types de référentiels posturaux, qui s'élaborent au fil des expériences. Chaque système sensoriel joue un rôle plus ou moins important dans la construction de chacun des référentiels. Ces derniers permettent l'orientation spatiale des segments corporels : ils sont indispensables au codage des informations sensorielles et à l'organisation des mouvements (*Massion, 1997*).

Le **référentiel égocentrique** est utilisé pour percevoir la position de chaque segment du corps par rapport à l'axe d'un segment donné. Pour faire correspondre le référentiel égocentrique au monde extérieur, l'orientation du tronc ou de la tête est calculée par rapport à l'axe de gravité vertical. Ce calcul repose sur les otolithes et les gravicepteurs (*Massion, 1998*).

Pour le **référentiel exocentrique**, les éléments du monde extérieur sont utilisés comme référence. Ainsi, il se construit principalement à partir des informations issues de la vision et du tact. Ces informations permettent de localiser la position d'un membre par rapport au milieu.

Le **référentiel gravitaire** est basé sur la verticalité. On distingue alors :

- la verticale gravitaire qui est la direction du vecteur gravitaire auquel est soumis le corps
- la verticale subjective qui est l'estimation que fait l'individu de la direction de ce vecteur et de l'orientation de son corps par rapport à celui-ci. L'intégration des informations labyrinthiques (organes otolithiques), proprioceptives et visuelles permet la construction d'une représentation de la verticalité.

3. Stratégies d'équilibration selon différents modèles

3.1 Le modèle génétique

Le modèle génétique du contrôle de posture selon les travaux de *Magnus (1924)* et *Rademaker (1931)* explique que chaque être vivant a une position de référence génétiquement déterminée. Le contrôle postural est alors basé sur le tonus de fond et les réactions posturales provoquées par les différentes entrées sensorielles. Ce modèle définit trois fonctions pour le contrôle postural, contrôlées par la moelle épinière et les voies du tronc cérébral :

- le soutien du corps contre la gravité
- l'orientation du corps par rapport au vecteur de gravité
- l'adaptation de la posture au mouvement en cours de la tête et du tronc

Cependant, l'anticipation posturale étant basée sur l'apprentissage, ce modèle ne peut pas expliquer le rôle important de cette anticipation dans la réalisation d'une coordination appropriée entre posture et mouvement.

3.2 La théorie sélectionniste

Selon la théorie sélectionniste, l'enfant disposerait à la naissance d'un répertoire inné de synergies posturales au sein duquel s'opère une sélection progressive (*Brogren & Forsberg, 1996*, in *Mori, 2003*). Ce répertoire pourrait être mobilisé pour les premiers ajustements posturaux anticipés (*Massion, 1998*).

Grâce à l'expérience, des modèles sont mémorisés dans le SNC (*Levik et Gurfinkel, 1991, in Mori, 2003*). *Assaiante (2005)* assure que les ajustements posturaux anticipés (APA) s'acquièrent par expérience au cours du développement. La construction des APA reposerait, selon un consensus, sur la transformation des corrections posturales consécutives à l'exécution des mouvements, en un ajustement associé de façon anticipée, aux prochaines exécutions de ce mouvement. L'expérience d'ajustements posturaux réactionnels (APR) permet donc la mise en place d'APA lors de la prochaine exécution du mouvement. L'APA repose dans ce cas sur une connexion spécifique qui le relie au mouvement et qui est activée automatiquement lors de son exécution.

L'exécution d'un mouvement provoque une perturbation interne de la posture. L'une des fonctions posturales est de compenser cette perturbation par une réaction posturale afin de maintenir la stabilité. Ce modèle utilise de nombreux circuits génétiquement pré-câblés. Le SNC a besoin d'un modèle interne pour adapter le contrôle de la performance de la tâche et le maintien de l'équilibre (*Alexandrov et al., 2001, in Mori, 2003*).

3.3 Le modèle dynamique

Le modèle dynamique des APA par *Ito, Gomi et Kawato (1997)* stipule qu'il existerait un modèle interne de la cinématique et de la dynamique des segments du corps. Lors de l'exécution d'un mouvement dirigé vers un but, les interactions dynamiques entre les segments perturbent l'équilibre et doivent être compensées. Un modèle dynamique inverse (en feed-forward) est construit pour corriger à l'avance ces interactions dynamiques et donc contrôler avec précision l'équilibre lors de mouvements. Ce modèle en feed-forward serait stocké dans le cervelet.

Le mouvement volontaire perturbe l'équilibre car il modifie la géométrie du corps et déplace la position du centre de gravité (CDG). De plus, les forces musculaires internes à l'origine du mouvement sont accompagnées de forces de réaction qui agissent sur les segments et qui ont tendance à les déplacer, à perturber leur équilibre. Certains APA visent à stabiliser le CDG pendant le mouvement, d'autres à stabiliser la position des segments du corps (*Jover et al., 2005*).

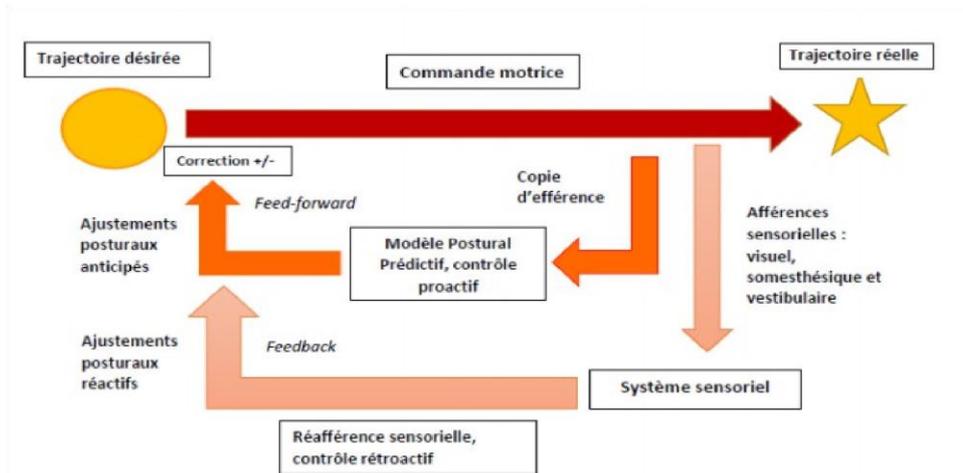


Fig. 4 : Schéma simplifié du contrôle moteur lors d'un mouvement, inspiré de *Morasso et al, 1999*

3.4 Les ajustements posturaux anticipés

Les ajustements posturaux anticipés (APA) sont décrits pour la première fois par *Belenkiy et al. en 1967*. Les APA servent à compenser par avance, les changements de posture et d'équilibre causés par le mouvement.

Le modèle hiérarchique de la posture explique mieux les APA. Il est dévié d'un modèle de *Bernstein (1967)* expliquant l'existence de deux types de contrôle exercés par le SNC concernant la posture :

- l'ordre supérieur réalisant une représentation interne (le schéma corporel)
- l'ordre inférieur entraînant la cinématique et la cinétique nécessaires à la mise en œuvre des fonctions posturales

Il existe une pré-sélection des muscles posturaux utilisés lors d'ajustements posturaux anticipés.

Dans certaines conditions, les APA fournissent le support dynamique de la chaîne posturale du sol jusqu'aux segments en mouvement afin d'améliorer les performances de la tâche exercée. *Bouisset et Le Bozec (1999, in Mori, 2003)* parlent de « posturokinetic capacity ». Cette habileté est liée au contrôle de la chaîne posturale pour compenser les forces de réaction associées à la performance du mouvement. Elle contribue dynamiquement à la force et à la vitesse du mouvement en utilisant les nombreux degrés de liberté des différents segments corporels. C'est la capacité de la chaîne posturale à assister le mouvement.

Les APA permettent de soutenir l'initiation du mouvement et de maintenir la position malgré un changement de la répartition des forces dans le corps. Cette préparation posturale consiste en l'activation ou l'inhibition de groupes musculaires avant qu'une perturbation de position ait lieu. L'APA crée une force dans le corps dont la direction est strictement opposée à celle de la

déstabilisation prévue (*Massion, 1992*). Son organisation diffère selon l'origine de la perturbation posturale, si elle résulte d'une action propre au sujet ou si elle implique des éléments extérieurs (*Nowak & Hermsdorfer, 2004*).

4. Aspects développementaux

4.1 Développement des stades fondamentaux à l'équilibre

Le développement des capacités d'équilibration suit le développement physique, sensorimoteur et neuromoteur de l'individu.

4.1.a Le tonus

Une hypotonie axiale est présente durant les trois premiers mois, puis le tonus de l'axe corporel augmente progressivement. Les membres sont initialement caractérisés par une hypertonie qui est remplacée graduellement par de l'hypotonie. Depuis le tonus de fond, s'installe peu à peu le tonus musculaire postural assurant la résistance à la gravité.

4.1.b La posture

- Jusqu'à 2 mois : Position fœtale
- 3 mois : Maintient la tête en position assise, le dos est ferme
- 7-8 mois : Tient seul assis
- 9-10 mois : Tient debout avec appui
- 11-12 mois : Tient debout sans appui.

4.1.c L'équilibre statique et dynamique

L'enfant acquiert d'abord un équilibre « statique », puis un équilibre « dynamique », c'est à dire qu'il apprend progressivement à gérer le déséquilibre associé au mouvement (*R.S. Illingworth, 1987*) :

- 10 mois : Peut rester en équilibre, debout, marche à quatre pattes
- 12 mois : Peut marcher seul
- 18 mois : Marche sur le côté ou à reculons, s'accroupit et se relève

- 24 mois : Marche avec les bras libérés de leur rôle primaire d'équilibre, monte et descend seul les escaliers en posant les deux pieds sur une marche, court
- 2 ans 6 mois : Saute à pieds joints, tient en équilibre sur un pied quelques secondes, marche sur la pointe des pieds
- 3 ans 7 mois : Sautille à cloche pied
- 4 ans : Monte et descend les escaliers, un pied par marche, tient en équilibre sur un pied (4 à 8 secondes), marche sur une poutre.

Le développement du contrôle tonico-postural ainsi que l'équilibration du corps continuent à évoluer : cette maturation est modelée par l'expérience.

4.2 Ontogenèse des stratégies d'équilibration

Selon *Mergner et Rosemeier (1998, in Mori, 2003)*, il existe deux modes de représentation des segments du corps par rapport à l'environnement. Ces deux stratégies apparaissent au cours de l'ontogenèse :

- Le **mode descendant** → Les informations labyrinthiques des otolithes servent de valeur de référence pour calculer l'orientation de la tête par rapport à la verticale. Le calcul de la position des autres segments (tronc, jambes...) dépend de celle de la tête. Suivant la loi céphalo-caudale, ce mode est le premier à émerger dans l'ontogenèse afin de stabiliser la tête dans l'espace et permettre ainsi le développement des capacités de préhension. Le contrôle de la tête constitue la première étape dans le développement du contrôle postural. Elle émerge donc pour permettre la station assise puis se consolide principalement à 7 ans, lors de tâches d'équilibre difficiles.
- Le **mode ascendant** → Utilisation de la surface de support comme valeur de référence. Ce mode apparaît avec la locomotion qui nécessite de contrôler l'ensemble du corps. Toutefois, en condition d'équilibre locomoteur, l'enfant stabilise son bassin dans l'espace, dès la première semaine de marche autonome. Il opte alors pour une organisation ascendante du bassin jusqu'à la tête et descendante du bassin jusqu'aux pieds.

	Segmental stabilizations			Temporal Organization		
	Flat ground	Narrow support	Narrow support and destabilized pelvis	Flat ground	Narrow Support	Narrow support and destabilized pelvis
3-4 years						
5-6 years						
7-8 years						

Fig. 5 : Les principales stratégies d'adaptation posturale selon l'âge et le niveau de difficulté de la tâche d'équilibre. Assaiante, 2005

Selon Assaiante (2005), la première étape pour l'enfant concernant l'équilibre est de construire un répertoire de stratégies posturales. Ensuite, il doit apprendre à choisir la stratégie posturale la plus adaptée en fonction de la capacité à anticiper les conséquences du mouvement afin de maintenir l'équilibre et l'efficacité de la tâche.

Le modèle ontogénique d'Assaiante et d'Amblard (1985) explique que les diverses stratégies d'équilibration tiennent compte des deux grands principes fonctionnels d'organisation spatiale :

- le choix du cadre de référence stable sur lequel repose le contrôle de l'équilibre
- la maîtrise progressive des degrés de liberté des articulations du corps

Le choix du segment de référence ainsi que le couplage entre les articulations dépendent des contraintes dynamiques déterminant la tâche motrice, de l'environnement et des caractéristiques de chaque période de l'ontogénèse. Ainsi, le cadre de référence peut être le bassin pour contrôler le CDG, la tête pour avoir un meilleur traitement visuel et vestibulaire ou les deux.

4.3 Développement des fonctions d'anticipation et d'adaptation posturale

Entre 9 et 15 mois, la préhension manuelle est précédée par un APA du tronc coordonné avec l'avancé du bras (Woolacott, 2002).

Entre 13 et 14 mois, le contrôle postural de la station debout devient proactif à partir du moment où l'enfant fait l'expérience de la marche puis s'affine à 4 ans. Ainsi, le transfert anticipé du centre de pression vers l'avant, nécessaire au passage sur la pointe des pieds, semble impossible avant 4 ans

(Haas et al., 1989, in Jover & Mellier, 2005). De plus, l'ajustement anticipé associé à l'élévation rapide des bras apparaît entre 3,6 mois et 4 ans. Ce n'est seulement qu'autour de 6-8 ans que les APA associés à l'initiation de la marche sont comparables à ceux de l'adulte (Ledebt et al., 1998, in Jover & Mellier, 2005). L'importance de la pratique se traduit alors par une acquisition plus tardive des différents APA. A 10 ans, le SNC intègre les afférences proprioceptives aux afférences vestibulo-oculaires afin de moduler les synergies musculaires posturales. L'évolution des structures neuromusculaires, associée à l'expérience, sous tend cette amélioration des ajustements posturaux réactionnels qui reposent sur des mécanismes réflexes. Enfin, on considère que l'enfant possède des stratégies d'équilibre égales à l'adulte à partir de 12 ans (Peterson et coll., 2006, in Janky & Givens, 2015).

Les APA liés à une perturbation externe requièrent une représentation mnésique des propriétés de l'objet perturbateur coordonnée à celle portant sur les propriétés biomécaniques du corps. Ainsi, l'enfant intègre la représentation du poids de l'objet à l'organisation anticipée de la saisie de l'objet à partir de 24 mois. L'anticipation étant meilleure si l'enfant a manipulé l'objet en question auparavant (Jover et Mellier, 2005). Les enfants de 5 à 12 ans montrent une préparation anticipée du coude au délestage d'un objet (Schmitz et al., 2003, in Jover & Mellier, 2005).

La principale caractéristique des APA, à leur émergence, est leur forme immature. Celle-ci se traduit notamment par une variabilité intra-individuelle très importante où les activations musculaires ne sont pas systématiques et peu reproductibles. En outre, les synergies musculaires impliquées sont peu différenciées : les patterns d'activation consistent majoritairement en des cocontractions dont la puissance est parfois très importante. Enfin, de façon typique, les APA sont, à leur apparition, mal synchronisés avec le mouvement volontaire : la concordance temporelle avec le début de la perturbation est approximative et variable. C'est grâce à l'expérience, qu'ils deviendront de plus en plus différenciés et synchronisés avec le mouvement volontaire (Levik et coll., 1991, in Massion, 2003).

4.4 Dépendance au champ visuel

La vision prédomine sur les deux autres entrées sensorielles pendant une grande période de l'ontogenèse. Il existerait une repondération sensorielle au service du changement de stratégies vers 7 ans : les enfants négligeraient les informations visuelles au profit des informations vestibulaires (Assaiante, 2010). Le contrôle visuel ré-augmenterait ensuite dès 8-9 ans afin de prendre des repères

stables dans l'environnement. L'intégration somatosensorielle est progressive et se développe encore à l'âge de 12 ans. A l'âge adulte, elle deviendra le canal sensoriel privilégié concernant l'équilibre (*Mallau et al., 2010*). La vision joue alors un rôle plus ou moins important en fonction du style perceptif des individus.

Les fonctions d'équilibration, le contrôle postural et les ajustements posturaux anticipés mûrissent en suivant le développement de l'enfant. Ils pourraient donc ne pas être en place chez les enfants dont le développement est compromis par une(des) déficience(s) sensorielle(s).

III Le vestibulaire, un sixième sens ?

Le vestibule est un organe sensoriel méconnu, pilier de l'équilibre, 6ème sens caché dans l'oreille interne. Ce sont les mouvements de la tête qui font bouger les liquides contenus dans l'oreille interne activant ainsi les récepteurs de l'équilibre. Ces récepteurs vestibulaires nous permettent d'être informés continuellement sur la position et les mouvements de notre tête dans l'espace et de contrôler notre posture. Les informations utilisées dépendent de la gravité (*Sakka & Vitte, 2004*).

1. Présentation anatomique

L'oreille interne, constituée du labyrinthe osseux, contient dans sa partie postérieure l'organe de l'équilibre : le vestibule. Tout comme le système auditif, le système vestibulaire est logé dans la cavité de l'os temporal (rocher). Il est divisé en deux parties : le système vestibulaire central (SVC) et le système vestibulaire périphérique (SVP). Les organes du système vestibulaire évoluent et deviennent matures lorsque l'enfant atteint l'âge de 15 ans (*Maes et al. 2014*).

1.1 Le système vestibulaire central

Le SVC est composé de noyaux vestibulaires. Ce dernier transmet les informations sensorielles par le nerf vestibulo-cochléaire au cortex auditif primaire. Ces noyaux sont reliés directement aux motoneurons responsables du contrôle des muscles posturaux, des muscles extraoculaires ainsi que des muscles du cou. Ils reçoivent des fibres véhiculant des informations :

visuelles, proprioceptives provenant du cortex, du cervelet et des membres. Leur rôle est de maintenir la stabilité du corps (Sakka & Vitte, 2004). Il faut aussi noter que les noyaux vestibulaires sont associés aux voies de la poursuite (stabilisation du regard), des saccades (orientation du regard) ou encore du réflexe opto-cinétique. Ce réflexe intervient lorsque le système vestibulaire est silencieux, c'est à dire quand il n'y a pas d'accélération, que nous sommes immobiles ou que le système présente une lésion. Il permet, lorsque nous regardons une scène visuelle en déplacement, d'animer l'oeil d'un mouvement de poursuite en phase avec le mouvement du paysage.

1.2 Le système vestibulaire périphérique

Le SVP est constitué des labyrinthes osseux et membraneux.

Le labyrinthe osseux est formé d'une cavité centrale, le vestibule, dans laquelle s'abouchent trois canaux semi-circulaires qui sont antérieur, postérieur et latéral (horizontal). Ces **trois canaux semicirculaires** sont disposés de manière orthogonale dans trois plans différents de l'espace et sont **sensibles aux accélérations angulaires** (Sakka & Vitte, 2004).

Le labyrinthe membraneux, tapissé dans les cavités du labyrinthe osseux, est rempli par l'endolymphe. L'espace ménagé entre l'os et le labyrinthe membraneux contient la périlymphe. Le labyrinthe membraneux contient le conduit auditif et deux vésicules : **le saccule et l'utricule**. À la face inférieure de l'utricule et à la face médiale du saccule, le revêtement épithélial s'est différencié localement en récepteurs neuro-sensoriels, appelés macules otolithiques. Perpendiculaires l'une par rapport à l'autre, elles sont **sensibles aux accélérations linéaires**, en particulier à la gravité. Chaque canal semi-circulaire présente une extrémité dilatée, dite ampullaire, contenant les récepteurs sensoriels (Marieb, 2010).

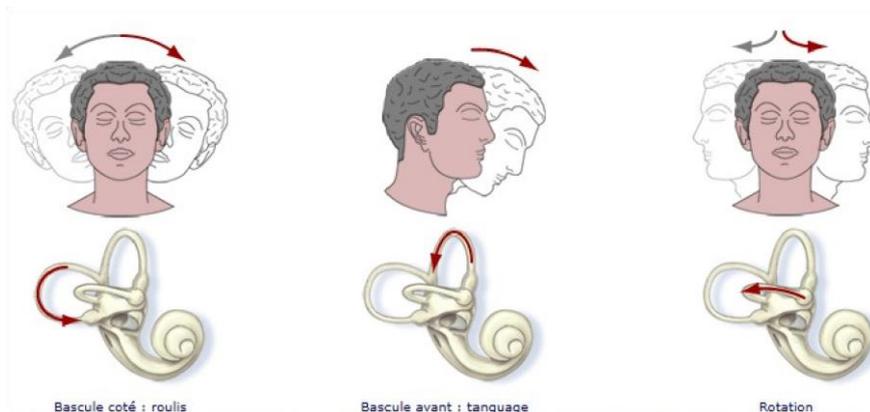


Fig 6 : Mouvement relatif de l'endolymphe dans les différents canaux du vestibule droit lors de l'accélération angulaire de la tête dans chacun des plans des canaux semi-circulaires.

D'après Minary P., extraite de "Promenade en équilibre" <http://www.neuroreille.com/levestibule/index.htm>
, par Raymond J. et al., *NeurOreille, INSERM et Université Montpellier*.

Enfin, le labyrinthe membraneux est tapissé d'un épithélium sensitif, de même composition, qui joue un rôle de transducteur autant dans l'audition que dans le maintien de l'équilibre (*vestib.org, 2009*).

1.3 Les récepteurs périphériques

Le revêtement épithélial des macules otolithiques et des crêtes ampullaires est composé de cellules sensorielles et de cellules de soutien. Les cellules sensorielles de l'épithélium neurosensoriel sont les cellules ciliées. Regroupés à leur extrémité apicale, les cils sont en contact avec l'endolymphe. Il existe ainsi trente à cent stéréocils (microvillosités) et un kinocil (seul véritable cil) par cellule. Ce système apparaît comme un dispositif permettant de basculer rapidement d'un mode de contrôle postural continu à un mode de contrôle postural anticipant un mouvement volontaire. Il s'agit d'un système anticipatif qui contrôle les récepteurs vestibulaires en prévoyant les conséquences d'un mouvement volontaire de la tête excitant le vestibule (*Sans, 2003*).

Les cellules de soutien, situées entre les cellules ciliées sont de formes variées. Les cils des cellules sensorielles des crêtes baignent dans un gel épais appelé cupule, alors que les cils des cellules sensorielles maculaires traversent une membrane grillagée contenant des cristaux de carbonate de calcium : les otoconies. Lors d'une déviation de la tête de sa position de repos, les otoconies glissent sur la membrane otolithique et produisent une force de cisaillement sur les cellules réceptrices, qui la transforment en message nerveux (*Graf & Klam, 2006*).

Le vestibule est responsable de la détection des accélérations par des mécanorécepteurs spécifiques. Au repos, les cellules ciliées sont le siège d'un potentiel de repos négatif. Suivant le mouvement de la tête, il se produit un déplacement de la cupule ou des otolithes provoquant ainsi celui des stéréocils. Le déplacement des stéréocils dans la direction du kinocil active la cellule induisant une dépolarisation membranaire. Cela suscite la libération de neuromédiateurs dans la fente synaptique générant un potentiel d'action dans la fibre afférente maculaire ou ampullaire. Une accélération linéaire stimule essentiellement les afférences maculaires tandis qu'une accélération angulaire stimule les afférences ampullaires (*Marieb, 2010*).

2. L'oreille interne : lieu de voisinage entre cochlée et vestibule

L'oreille interne est composée de deux organes : la cochlée, organe de l'audition, et le vestibule, organe de l'équilibre. Une hypoactivité vestibulaire chez un enfant déficient auditif peut s'expliquer par les liens autant anatomiques que physiologiques des organes des deux systèmes.

C'est d'ailleurs pour cela que ce sont les médecins ORL qui diagnostiquent les déficits vestibulaires.

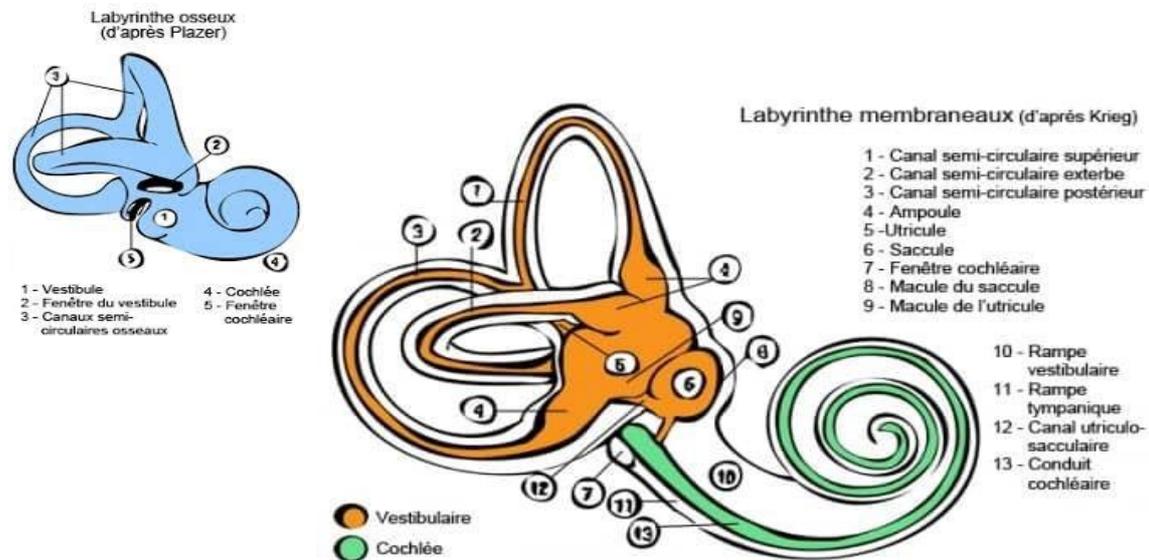


Fig 7. : Les deux organes sensoriels de l'oreille interne : le vestibule et la cochlée, extrait du site vestib.org/interne.html

2.1 Une origine embryonnaire commune

Anatomiquement, le lien entre la cochlée et le vestibule se met en place dès le 26^{ème} jour de vie de l'embryon lors de la formation d'une vésicule otique depuis l'ectoderme qui sera à l'origine du labyrinthe membraneux. Cette vésicule otique se sépare, entre la 4^{ème} et la 5^{ème} semaine, en deux parties : la première comprenant l'utricule et les canaux semi-circulaires et le deuxième le saccule et la cochlée. Malgré le fait que les voies nerveuses ne soient pas encore matures, l'oreille interne est ainsi fonctionnelle à partir du 5^{ème} mois de vie. (*Lecervoisiér, 2009*).

2.2 Les liquides péri- et endo-lymphatiques

L'ensemble du labyrinthe osseux est rempli d'un liquide appelé périlympe. Le labyrinthe membraneux contient un liquide plus visqueux, de composition ionique différente : l'endolymphe. La proximité des organes vestibulaires et auditifs et l'équilibre liquidien de l'oreille interne sont importants à noter. De fait, cet équilibre est probablement bouleversé lors de la pose d'un implant

cochléaire. L'on considère effectivement qu'il existe un risque d'altérer la fonction vestibulaire lors de l'intervention (Truy et coll., 2018).

2.3 L'oreille interne : un récepteur de fréquence

Physiologiquement, les systèmes vestibulaire et auditif peuvent, l'un comme l'autre, décoder les fréquences grâce aux cellules sensorielles ciliées qui les composent. En effet, le système vestibulaire peut décoder les fréquences inférieures à 120 Hz, ce qui englobe les mouvements de la vie quotidienne (0-4 Hz) (Lecervoisièr, 2009).

3. Rôle du vestibule dans l'équilibre

L'appareil vestibulaire est un système sensoriel sensible au mouvement. Il participe à l'équilibration et à la construction de l'orientation spatiale.

Le système vestibulaire a donc deux grandes fonctions : une première qui consiste à **stabiliser l'image sur la rétine** lors des mouvements grâce au réflexe vestibulo-oculaire et, une seconde qui correspond au **maintien du tonus postural et de l'équilibre** grâce au réflexe vestibulo-spinal. Ces réflexes d'origine labyrinthiques permettent les ajustements automatiques rapides pour éviter la chute (Janky et al., 2015). Ainsi, si les informations otolithiques manquent, on remarque un retard dans les étapes de verticalisation et une hypotonie persistante. Au contraire si ce sont les informations canalaire qui font défaut, il y a une perte de stabilité du corps et de la vision. Une troisième fonction peut aussi être attribuée au système vestibulaire : celle de l'intégration des différentes afférences sensorielles au niveau des noyaux vestibulaires qui jouent un rôle dans l'**insertion du corps dans l'espace**. Pour maintenir l'équilibre, il est nécessaire de disposer d'informations continues sur les changements de position d'une partie ou de tout son corps, qu'il soit en mouvement ou au repos, par rapport à des référentiels spatiaux (Mallau, 2010).

Cette citation de Maes et al. (2014) résume bien le rôle du système vestibulaire : « *La fonction vestibulaire joue un grand rôle dans la perception des changements de positions du corps et dans la construction de l'espace égo-centré.* »

3.1 Le réflexe vestibulo-oculaire

Il est responsable de la production des mouvements oculaires compensatoires : les nystagmus vestibulaires (Le Goïc, 2014). Lors des rotations de tête, les canaux semi-circulaires agissent sur la musculature oculaire pour créer des mouvements de l'oeil en sens inverse du mouvement de l'oeil

pour que l'image reste stable sur la fovéa de la rétine. Ainsi, lors d'un mouvement de rotation de la tête, un couple de conduits semi-circulaires correspondant au plan de rotation de la tête est concerné. Lors d'une rotation dans un plan horizontal de la tête vers la droite, le conduit semi-circulaire latéral droit est excité et le conduit semi-circulaire latéral gauche est inhibé. Il en résulte un mouvement compensatoire des yeux vers la gauche qui permet de stabiliser le regard (*Sauvage et al., 20015*). Ceci permet, lors des mouvements, de ralentir le défilement de l'environnement et de ne pas voir tout basculer.

3.2 Le réflexe vestibulo-spinal

Il permet le maintien de la posture et du centre de gravité du corps sur un support (*Le Goïc, 2014*). Il se charge aussi du contrôle tonique de la posture et de l'équilibre en position debout ou lors de la marche. Lors d'un mouvement de la tête, les membres inférieurs et supérieurs ipsilatéraux à la direction de l'accélération sont relâchés alors que ceux controlatéraux sont contractés.

3.3 Le réflexe vestibulo-nucal

Il contribue à maintenir la tête en position correcte par rapport aux épaules, ce qui est essentiel pour conserver une stabilité du regard lorsque le corps se déplace. Plus précisément, les canaux semi-circulaires horizontaux permettent le maintien de la position de la tête et les utricules assurent le maintien de la posture de l'ensemble tête-cou dans le plan médio-sagittal. Les saccules jouent un rôle similaire pour les orientations latérales de la tête (*Graf & Klam, 2006*). Les réflexes vestibulo-oculaire et vestibulo-nucal sont de type adulte à partir de 7 ans.

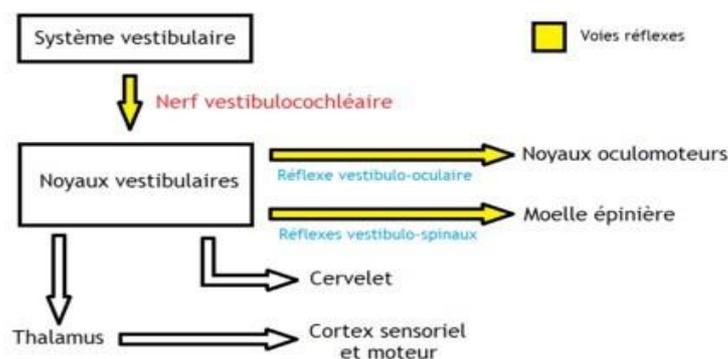


Fig. 8 : Circuits sous-jacents des réflexes vestibulaires, source Google image libre de droits

4. Liens entre surdités et déficit vestibulaire

4.1 Fréquences d'association selon les type de déficits vestibulaires

Les atteintes vestibulaires représentent jusqu'à 50% des enfants ayant une surdité profonde bilatérale (*Verbecque, 2017 in Truy et coll., 2018*). La chirurgie de l'implant cochléaire peut entraîner une modification de la fonction vestibulaire dans 0 à 71% des cas selon la technique chirurgicale employée (*Todt et al., 2008 in Bernard-Demanze et al., 2014*). Pour *Ebrahimi et al. (2017)*, les résultats vestibulaires obtenus chez 50 enfants sourds non implantés étaient statistiquement meilleurs que ceux observés chez 35 enfants sourds implantés. Il est recommandé de réaliser un bilan vestibulaire avant chaque implantation cochléaire (Grade C).

Janky & Givens (2015) montrent dans leur étude que les enfants avec implant cochléaire ont un taux significativement plus élevé de perte vestibulaire pour chaque test de fonction canalaire et otolithique.

4.2 Etiologies communes (infectieuses, syndrome génétique rare)

La perte vestibulaire est plus fréquemment rencontrée avec des étiologies qui affectent physiologiquement l'oreille interne dans son intégralité comme l'infection congénitale à cytomégalo virus (CMV) (*Cushing et al., 2013*).

L'infection congénitale à CMV est la première cause de surdité neurosensorielle d'origine non génétique dans les pays développés : elle serait responsable de 0,5 surdités/1000 naissances (*Goderis, 2014 in Truy et coll., 2018*), dont 21% des surdités congénitales et 24% des surdités chez les moins de 4 ans. Les troubles vestibulaires liés au CMV congénital sont nettement moins décrits que l'impact sur l'audition. Une étude publiée en 2014, retrouve 88% d'atteintes vestibulaires parmi 26 enfants sourds profonds âgés de 3 à 17 ans, atteints de CMV congénital et ayant un implant cochléaire (*Karltorp et al., 2014*). Plus récemment, l'étude de *Discher (2015)* objective une prévalence des atteintes vestibulaires (30%) supérieure à celle de la surdité (10 à 15%). Un dépistage des troubles vestibulaires devrait être systématiquement réalisé au même titre que le suivi auditif chez les enfants aux antécédents de CMV afin de proposer une rééducation précoce adaptée (*Truy et coll., 2018*).

La primo-infection au virus de la rubéole ainsi que la contraction d'une méningite bactérienne peuvent aussi conduire à une atteinte de l'oreille interne.

On retrouve aussi l'association entre surdité et atteinte du système vestibulaire dans les cas de syndromes génétiques rares comme CHARGE, Usher ou Pendred.

L'appareil vestibulaire est donc un acteur important dans le maintien de l'équilibre. La situation commune dans l'oreille interne entre la cochlée et le vestibule explique pourquoi de nombreuses pathologies (génétiques, infectieuses, traumatiques) peuvent toucher à la fois l'audition (surdité) et l'appareil vestibulaire (troubles de l'équilibre).

IV Spécificités du déficit vestibulaire chez l'enfant sourd et impacts sur l'équilibre

Sans l'audition, le cerveau doit organiser les perceptions différemment. On pourrait croire que l'aménagement du système neuro-perceptif réalisé est spontanément efficace. En effet, l'hypothèse courante est que les enfants présentant une perte vestibulaire peuvent récupérer fonctionnellement grâce à la plasticité. Cependant, des études montrent que les enfants sourds souffrant de perte vestibulaire ne récupèrent pas naturellement par rapport à leurs pairs entendants. De plus, des lacunes dans la construction de l'espace et le temps, la représentation de soi et même des fonctions cognitives sont constatées chez eux. Il paraît donc important de porter attention aux atteintes vestibulaires dans la population pédiatrique sourde (*Janky et al., 2015*).

1. Problèmes de régulation tonique

La surdité entrave en particulier la communication de l'enfant. Pour y pallier, l'enfant sourd privilégie le dialogue tonique pour entrer en relation. Une hypotonie axiale est observée chez les enfants présentant une aréflexie vestibulaire congénitale bilatérale ce qui entraîne un retard d'acquisition des étapes essentielles du développement moteur (comme la tenue de tête).

De plus, une altération vestibulaire engendre une incapacité à utiliser la stratégie hanche. Le contingent vestibulaire inférieur est impliqué dans des boucles réflexes et joue un rôle dans le tonus cervical et des membres inférieurs. Sur la seule base somatosensorielle, le sujet est déstabilisé lorsqu'il tourne la tête. Il adopte alors une stratégie de fixation de la tête sur le tronc pour bouger d'une seule unité avec une raideur cervicale (*Horack et coll., 1990, in Le Goïc, 2014*).

On peut alors observer une tendance à l'hypertonie dans les situations de déséquilibre.

2. Pauvreté et particularités perceptives

L'équilibre est une fonction plurimodale faisant intervenir trois afférences : vestibulaire, visuelle et sensitive. Lorsque les trois systèmes donnent des informations concordantes au cortex, l'équilibre reste inconscient. Quand les informations sont discordantes, on se trouve dans une situation de conflit sensoriel ou de déprivation sensorielle (perte d'un vestibule) que le cerveau doit résoudre. Si le conflit sensoriel persiste, c'est le mal des transports. En cas de perte d'un vestibule le patient ressent des vertiges mais la compensation va intervenir soit grâce à l'autre vestibule soit par phénomène de substitution. (*Sakka & Vitte, 2004*). Beaucoup d'enfants déficients auditifs utilisent la substitution sensorielle visuelle. Une dépendance visuelle trop forte peut avoir des effets délétères sur le contrôle de la posture en cas de conflit sensoriel (*Bronstein, 1995 in Bernard-Demanze, 2014*).

2.1 Une maturation sensorielle compromise

En raison de l'interdépendance sensorielle multimodale, le développement de l'efficacité visuelle et somatosensorielle dans le contrôle postural est altéré à cause du dysfonctionnement vestibulaire depuis la naissance (*Rine et al., 2013*). En effet, s'il y a une atteinte canalaire du système vestibulaire alors le réflexe vestibulo-oculaire est absent. L'image n'est donc pas stabilisée sur la rétine lors des mouvements ce qui entrave le balayage visuel, la poursuite visuoattentionnelle, la fixation oculaire et par conséquent, la saisie d'informations visuelles. D'autre part, nous savons que l'absence de certaines afférences sensorielles modifie l'organisation des réseaux neuronaux. Nous pouvons donc nous demander si le fait que les entrées sensorielles visuelle et somatosensorielle compensent le déficit vestibulaire dans la fonction d'équilibre, les empêche de remplir pleinement leurs autres fonctions usuelles (*Lecervoisièr, 2009*).

2.2 Absence d'audition spatiale

Une perte auditive unilatérale non réadaptée en début de développement peut favoriser un « syndrome de préférence auditive » dans lequel l'audition est biaisée pour une oreille. Sans égalité d'entrée binaurale, l'audition spatiale peut être compromise et affecter l'équilibre (*Gordon et al., 2019*).

2.3 Stabilisation du regard difficile

Les problèmes de fixation du regard liés aux déficits vestibulaires résultent de l'altération du réflexe vestibulo-oculaire. Ainsi, en cas d'atteinte canalaire (particulièrement des canaux verticaux), l'image n'est pas stabilisée lors des mouvements. En comparant les résultats au test de Parinaud (test

de l'acuité visuelle de près, capacité de lecture) d'enfants normoentendants, d'enfants sourds sans déficit vestibulaire et d'enfants sourds avec atteinte vestibulaire, les scores d'acuité de lecture sont significativement altérés chez les enfants sourds avec atteinte vestibulaire (*Braswell & Rine, 2006*). Dans cette étude, une acuité visuelle dynamique altérée est corrélée à une diminution de l'acuité de lecture.

3. Retard de développement moteur

Entre 20% et 85% des enfants atteints de déficiences auditives neurosensorielles ont des dysfonctions vestibulaires se caractérisant par un retard dans leur développement moteur (*Maes et al., 2014*). Ces différents retards se caractérisent, le plus souvent, par un apprentissage tardif de la position debout et de la marche ainsi que des chutes à répétition lors d'activités. D'après l'étude de *Wiener-Vacher et al. (1999)* chez des enfants atteints du syndrome de CHARGE, la tenue de tête serait acquise en moyenne à 7,4 mois (norme : 3 mois), la capacité à tenir assis sans aide à 13,4 mois en moyenne (norme : avant 9 mois) et la marche serait acquise en moyenne à 23,1 mois (norme : avant 18 mois). L'enfant présentant une atteinte vestibulaire partielle ou totale passera donc par les étapes classiques du développement psychomoteur, mais il le fera plus lentement dans la mesure où il ne dispose pas de l'intégralité des informations sensorielles. La perte d'audition est généralement diagnostiquée tôt dans la vie mais les enfants ne sont généralement pas dépistés ni évalués pour les déficits vestibulaires.

4. Particularités du contrôle postural

Chez les enfants sourds, des signes d'ataxie et de chutes ont été observés. Ces comportements proviennent en grande partie de déficiences vestibulaires qui sont concomitantes à leur surdité (*Maes & al., 2014*). En effet, la surdité neurosensorielle engendrerait une hypoactivité des organes vestibulaires (*Melo & al., 2015*). Le système vestibulaire est essentiel pour la stabilisation du regard et le contrôle ou l'équilibre postural. Les dommages causés entraînent donc des altérations fonctionnelles du regard et des capacités d'équilibre (*Rine et al., 2009*). *WienerVacher* suggère que les oscillopsies résultant de l'absence de réflexe vestibulo-oculaire entraînent une instabilité dynamique. De fait, le paysage environnant est flou et bouge en résonance avec la fréquence du mouvement. Par exemple, pendant la marche, la tête est soumise à un mouvement passif vertical d'environ 1Hz. On voit donc l'environnement visuel osciller verticalement selon une fréquence de 1Hz. Cette perception erronée d'un environnement mouvant a des répercussions sur la stabilité

posturale. Le degré de perte vestibulaire serait même prédictif de la performance en équilibre (Janky et al., 2015).

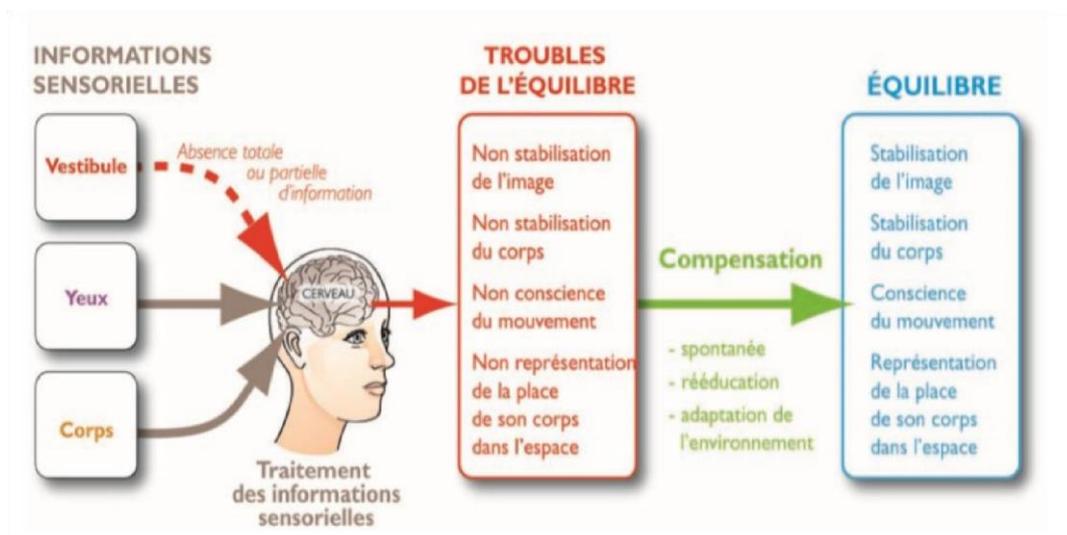


Fig. 9 : Conséquences du dysfonctionnement vestibulaire sur l'équilibre
Extrait du livret de l'ACFOS *Troubles de l'équilibre de l'enfant*, 2012

5. Fatigabilité

De plus, étant donné les larges projections du système vestibulaire dans tout le cortex, il est possible que le dysfonctionnement vestibulaire entraîne une asthénie. En effet, l'énergie dépensée pour stabiliser la posture et le regard pendant un apprentissage peut rivaliser avec d'autres efforts cognitifs comme la concentration et l'anticipation (Sokolov, 2019). Il est difficile d'avoir à la fois, à stabiliser son corps, en cherchant des appuis physiques et visuels, et en même temps d'être disponible pour des activités telles que l'exploration manuelle, le dessin, la lecture ou l'écriture. Or, il est nécessaire d'accomplir simultanément plusieurs tâches de façon continue. Une revue de littérature (Hanes et al, 2006) identifie les déficits cognitifs associés aux atteintes vestibulaires, notamment la mémoire à court terme, la concentration, l'arythmétique, la lecture. Enfin, l'enfant sourd avec atteinte vestibulaire n'a pas les moyens de construire spontanément un référentiel spatial égocentré performant. Les stratégies qu'il élabore pour expérimenter la verticalité sont souvent coûteuses en énergie.

L'identification de cette déficience sensorielle supplémentaire paraît donc importante tant pour la réadaptation de l'individu que pour l'attribution d'éventuelles anomalies dans les performances fonctionnelles de l'enfant. Cela montre combien les troubles vestibulaires ne sont pas à négliger dans le tableau clinique de la surdité, d'autant plus quand on s'intéresse à leur équilibre. Il paraît donc

intéressant de cibler l'intervention psychomotrice sur la compensation de la fonction vestibulaire pour améliorer le contrôle postural.

PARTIE PRATIQUE

I Les objectifs de l'étude

Au cours de cette recherche exploratoire, nous voulons mesurer l'intérêt de l'utilisation de principes issus d'une rééducation vestibulaire dans la prise en charge psychomotrice dans le but de rééduquer l'équilibre chez un enfant sourd avec un déficit vestibulaire associé. Plus précisément, ce travail a pour objectif de déterminer :

- si l'utilisation de principes issus de la rééducation vestibulaire constitue une modalité efficace pour la rééducation du contrôle posturale par comparaison à une intervention psychomotrice plus ciblée sur les stratégies d'équilibration
- si la repondération sensorielle visant à redonner à chaque entrée sensorielle une place dans la fonction d'équilibration (grâce à l'utilisation de la substitution, l'adaptation et la sensibilisation) favoriserait l'amélioration de l'équilibre

II La méthodologie

1. Le protocole à cas unique à ligne de base

Pour mettre en œuvre cette enquête exploratoire, nous nous sommes appuyés sur la base d'un protocole de cas unique à ligne de base. Cette démarche scientifique allie une démarche quantitative à une démarche qualitative destinées à étudier le fonctionnement du sujet au cours de différentes périodes de traitement introduites à des temps différents. La démarche quantitative consiste à mesurer régulièrement le comportement étudié alors que la démarche qualitative repose sur une appréciation plus subjective de l'évolution du sujet lui-même.

Ainsi, la première phase du protocole (la phase A), consiste en une prise en charge psychomotrice sur la rééducation de l'équilibre. La seconde phase (la phase AB), spécifie la prise en charge psychomotrice, par l'utilisation de moyens de rééducation vestibulaire.

La ligne de base ici choisie est la mesure du temps (en secondes) possible en position unipodale. Ainsi, deux mesures sont prises avant chaque séance : une pour le pied gauche et une pour le pied droit. Ces mesures régulières permettent d'objectiver l'évolution des capacités d'équilibre statique, qui sont ciblées dans cette prise en soin.

2. Phases d'évaluation

2.1 Temps d'évaluation

Après une évaluation initiale (T_0) des capacités d'anticipation posturale du sujet, nous avons déterminé deux temps de mesure distincts :

- A la fin de la phase A afin d'objectiver des potentielles améliorations dans l'ajustement postural suite à la rééducation psychomotrice (T_1)
- Une évaluation finale des capacités d'anticipation posturale, suite à la phase AB pour voir si cette phase a permis d'améliorer davantage les capacités d'équilibration (T_2)

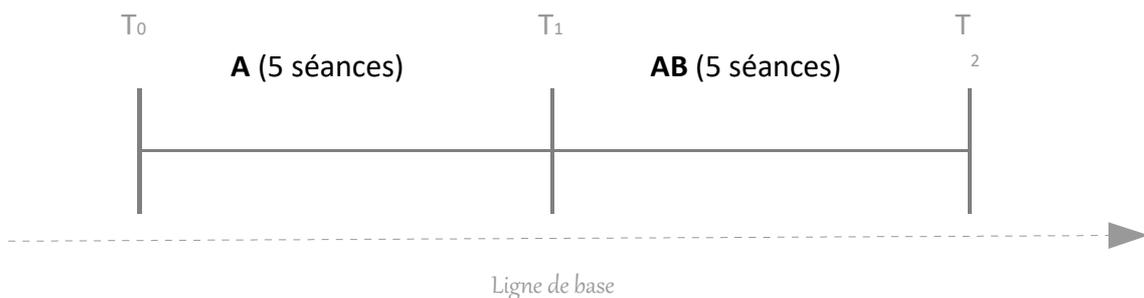


Fig. 1 : Déroulé du protocole

2.2 Moyens d'évaluation

2.2.a Tests d'équilibre issus de l'examen vestibulaire (cf. ANNEXE III)

Ces différentes épreuves permettent de voir cliniquement s'il y aurait un dysfonctionnement vestibulaire qui impacterait l'équilibre. Elles permettent de définir cliniquement si cette atteinte est unilatérale ou bilatérale (Coroian et coll., 2011).

L'épreuve de Romberg : Le sujet est debout les pieds joints, les yeux fermés. En cas d'atteinte périphérique, le sujet chute du côté du vestibule atteint. Si l'atteinte est centrale, la chute peut se faire dans toutes les directions.

Fukuda : Il permet de valider de façon quantitative l'équilibre postural d'un patient. C'est une épreuve de piétinement sur place de 30 pas avec montées de genoux, bras tendus à 90° et les yeux

fermés. Le praticien observe le spin de déviation, c'est à dire l'angle de déviation du patient pendant sa marche en aveugle. En cas d'asymétrie vestibulaire, le patient tourne d'un angle variable vers la droite ou la gauche.

Fukuda 2 : Les bras le long du corps, le patient effectue un piétinement sur place, les yeux fermés, en levant les pieds 50 fois. On mesure l'angle de rotation qui ne doit pas excéder 60° par rapport à la position de départ.

L'épreuve de la marche aveugle : Le sujet avance de 3 pas en avant puis de 3 pas en arrière, les yeux fermés, à plusieurs reprises. Dans les atteintes périphériques, le patient dévie du côté de l'atteinte.

L'épreuve de la Verticale Visuelle Subjective (VVS) : Ce test permet d'apprécier le fonctionnement du système otolithique. Il consiste à demander au sujet placé dans l'obscurité de positionner une barre lumineuse de 60 à 90 cm placée à 1m devant lui et inclinée de 45°, dans une position qui lui paraît être verticale. En cas de dysfonctionnement unilatéral aigu des récepteurs otolithiques de l'oreille interne, la barre est positionnée par le sujet dans une position déviée par rapport à l'horizontale ou la verticale, de l'ordre de 3° à 15° du côté lésé.

Le « Head shaking test » dans le plan horizontal : Le praticien fait effectuer à la tête du patient des mouvements rapides de rotation de droite à gauche durant 10 allers et retours environ. Les mouvements oculaires sont observés à l'arrêt de la tête en position médiane. Tout nystagmus déclenché dans de telles conditions est pathologique. Il indique une asymétrie sur les circuits vestibulo-oculaires. Le nystagmus bat vers le côté le plus puissant donc l'atteinte est controlatérale.

La déviation des index : Le sujet, les yeux fermés et sans appui dorsal doit maintenir les index tendus droit devant lui. Dans les atteintes périphériques la déviation se fait du côté de l'atteinte, dans les atteintes centrales la déviation peut se faire dans toutes les directions.

2.2.b Partie « équilibre » du M-ABC II

En plus de données quantitatives provenant de l'évaluation formelle, des descriptions qualitatives, indiquant de quelle manière l'enfant réalise chaque tâche, sont obtenues. Les observations spécifiques aux items portent sur les aspects perceptivo-moteurs de la performance de l'enfant.

Équilibre statique : L'enfant se place en équilibre, pointe du pied contre le talon de l'autre pied, sur la partie la plus étroite de la planche d'équilibre, pendant 30 secondes. On arrête le

chronomètre dès qu'une erreur est commise (toucher le sol ou la base de la planche avec l'un de ses pieds).

Équilibre dynamique :

- En partant avec le talon du pied de départ à l'extrémité de la ligne, l'enfant marche en arrière sur la ligne, en plaçant, à chaque pas, les orteils d'un pied contre le talon de l'autre. Un pas est complet quand le poids est transféré sur l'autre pied. Il ne doit pas faire de pas en dehors de la ligne ni réajuster son pied une fois posé sur la ligne.
- À partir d'une position immobile, l'enfant doit faire cinq sauts continus sur un pied, en diagonale, de tapis en tapis, et doit s'arrêter sur le dernier tapis-cible. Le dernier saut ne compte pas si l'enfant ne termine pas en position d'équilibre et de contrôle ou s'il fait un saut supplémentaire hors du tapis. Les deux membres inférieurs sont testés.

2.2.c Lincoln-Oseretsky

Cette méthode d'analyse des résultats par facteur permet de nuancer l'interprétation des scores globaux. Ainsi elle oriente le diagnostic psychomoteur en évaluant l'importance d'un déficit par rapport au reste de l'équipement moteur dans un domaine donné. Il paraît pertinent d'évaluer le :

- **Facteur 5** « équilibre »
- **Facteur 2** « coordination globale »

2.2.d Examen du tonus

Le tonus est « la toile de fond des activités motrices et posturales » (*Jover, 2005*). De plus, le tonus d'action permet le redressement symétrique des membres inférieurs, du tronc, du cou et les réactions posturales. Or, on note une tendance à l'hypertonie dans les situations de déséquilibre chez les personnes sourdes avec une atteinte vestibulaire. Il est donc important de faire cet examen.

Tonus de fond : On cherche à voir au niveau des trois articulations du membre supérieur (l'épaule, le coude et le poignet) s'il y a la présence d'une paratonie, d'un blocage, une raideur ou une participation volontaire. On note s'il y a exagération de l'amplitude du ballant. Par palpation, on compare les deux membres supérieurs pour déterminer la consistance du muscle et potentiellement déceler une médiotonie, une hyper ou une hypotonie.

Tonus d'action: On regarde s'il y a apparition de syncinésies périphériques d'imitation lors de l'épreuve de diadococinésie et de tapping. On note leur localisation, si elles sont généralisées,

homolatérales ou controlatérales au mouvement réalisé. Normalement, ces syncinésies sont atténuées en intensité vers 10 ans et disparaissent vers 12 ans.

3. Phase A

3.1 Mise en place d'une prise en charge psychomotrice pour rééduquer la fonction d'équilibration

Nous avons vu dans la partie théorique que le contrôle de l'équilibre pouvait être considéré comme une habileté motrice fondamentale apprise par le système nerveux central. Comme toute habileté motrice, les stratégies de contrôle postural peuvent donc devenir plus efficaces avec l'entraînement.

Pour contrôler son équilibre, le patient doit réapprendre à détecter une menace de chute de deux façons :

- par la stratégie d'anticipation (feed-forward)
- par la stratégie de contrôle (feedback)

Expérimenter diverses situations demandant un contrôle postural particulier permet de constituer une réserve d'ajustements posturaux et ainsi de mieux anticiper les déséquilibres par la suite.

D'après les travaux de *Magnus (1924)* et *Rademaker (1931)*, le contrôle postural est basé sur le tonus de fond et les réactions posturales provoquées par les différentes entrées sensorielles (cf. « II.3.1 Le modèle génétique », partie théorique). Or, les sujets sourds avec un déficit de la fonction vestibulaire adoptent souvent une raideur cervicale qui permet de stabiliser leur tête et ainsi pallier leur manque de contrôle postural. Il leur est donc nécessaire d'apprendre à sentir leur état tonique afin de l'ajuster de manière adaptée à une situation motrice. Pour percevoir la différence entre un muscle contracté et relâché, le protocole de Jacobson paraît approprié.

D'autre part, ces deux auteurs considèrent les entrées sensorielles comme déclencheurs des réactions posturales. Porter attention aux différentes informations sensorielles est primordial dans le processus de contrôle postural. C'est pourquoi s'exercer à les identifier peut aider à anticiper les situations de déséquilibre.

Enfin, quand une tâche cognitive concomitante est présente, la performance posturale est améliorée. Cette amélioration peut être vue comme un changement d'attention de la tâche posturale. Ainsi, le système de contrôle des tâches cognitives délègue le système de contrôle postural à des processus hautement automatisés (*Huxhold et al., 2006, in Bernard-Demanze, 2014*). Afin d'activer

ces processus, un temps de travail cognitif est inséré à chaque séance. Chez le cas choisi pour illustrer ce protocole, des difficultés en visuo-construction ont été identifiées lors du bilan psychomoteur. Une contrainte posturale est donc imposée en parallèle d'un travail sur les capacités visuoconstructives.

3.2 Description des séances de la phase A

Afin de suivre la réflexion précédente, quatre catégories d'exercices ont été mises en place pour chacune des 5 séances de la première phase du protocole. Les domaines travaillés sont présentés ci-dessous, ainsi que le détail des exercices classés chronologiquement et par difficulté croissante. Chaque exercice/objectif est réalisé qu'une seule fois lors du protocole, sauf mention exceptionnelle. Chaque séance dure environ 35 minutes.

3.2.a. Temps d'attention sensorielle (durée : 5 minutes)

Les situations proposées ont pour but de générer des informations sensorielles spécifiques. Pour cela, les trois pôles sensoriels et sensitifs responsables du contrôle postural sont stimulés alternativement : la vue, le vestibule et le système somato-sensoriel. Le psychomotricien doit accompagner le patient à identifier ses sensations et à les localiser. Cet entraînement favorise une meilleure compréhension des informations lors d'un conflit sensoriel. Les informations visuelles ont été travaillées qu'une seule fois puisque c'est le canal sensoriel prégnant chez les personnes sourdes.

1. Objectif : travailler l'identification des informations somato-sensorielles

- **Marcher pieds nus sur un cerceau** (exemple séance 1).
- **Marcher pieds nus sur une corde puis faire rouler une balle à picots sous chaque pied** (exemple séance 4).

Pour ces deux exercices, le patient se concentre sur les sensations provenant de ses voûtes plantaires. Le psychomotricien observe les comportements posturaux que ces informations sensorielles suscitent.

2. Objectif : soutenir l'identification des informations d'origine vestibulaire

- **Déplacements avec une chaise de bureau** (exemple séance 2). Assis sur une chaise de bureau à roulettes, les pieds n'atteignant pas le sol, le patient porte son attention sur les sensations suscitées par les accélérations linéaires que le psychomotricien provoque en

poussant la chaise. La vitesse de déplacement varie et des rotations peuvent être incluses. Il est important de vérifier que le patient n'éprouve pas de nausées après.

- **Sauts sur un trampoline** (exemple séance 5). Le psychomotricien observe comment le patient s'adapte à la réception de chaque saut et s'il y a présence de déséquilibre lorsque cette entrée sensorielle est stimulée.

3. *Objectif : soutenir l'identification des informations visuelles*

- **Imitation de mouvements lents en miroir** avec le psychomotricien (exemple séance 3). L'enchaînement s'effectue debout et est composé : d'un transfert de poids vers l'avant du corps (lorsque le mouvement atteint son amplitude maximale il entraîne le décollement réflexe des talons), d'un transfert de poids vers l'arrière (lorsque le mouvement atteint son amplitude maximale il entraîne le décollement réflexe des pointes des pieds), d'un transfert de poids à droite puis à gauche. Ces 4 mouvements sont à faire debout les pieds joints puis les jambes écartées. Ils permettent de prendre de conscience des différents réflexes d'équilibration comme l'agrippement des orteils ou la contraction des mollets.

Des mouvements de bras sont ajoutés pour complexifier l'apport d'informations visuelles.

3.2.b Situations de stimulation des ajustements posturaux (durée : 10 minutes)

Plusieurs situations sont proposées pour permettre au patient de constituer une réserve d'ajustements posturaux sur la base de transferts de poids et de différentes stratégies d'équilibration. L'objectif final est qu'il parvienne à mettre en place des ajustements posturaux anticipés, afin d'éviter tout déséquilibre.

1. *Objectif : travailler le transfert de poids*

- **Exercice de boitement.** Le patient doit adopter la démarche suivante : prendre appui sur un plot (monter dessus) avec son pied droit afin que son pied gauche quitte le sol un court instant puis reposer le pied gauche au sol. Le patient doit suivre cette cadence pour chaque plot situé les uns derrière les autres. Arrivé au bout de la ligne de plot, il recommence l'exercice avec le pied droit. La différence de hauteur entre les appuis pousse le patient à transférer son poids d'un pied à l'autre afin d'avancer.

- **Marcher sur des pierres de rivière.** D'abord, le patient pose ses deux pieds sur chaque pierre de rivière pour traverser. Au second tour, il ne doit poser qu'un seul pied sur chaque pierre et ainsi utiliser un transfert de poids.

- **Marcher avec des échasses.** Le psychomotricien peut aider le patient à bien s'installer sur les échasses pour amorcer le mouvement.

Si le patient est à l'aise, il peut essayer de reculer avec les échasses. Cette démarche demande un transfert de poids à chaque pas afin de lever une échasse après l'autre.

2. *Objectif : anticipation d'une déstabilisation externe par le moyen du tonus*

- **Exercice des poussées.** Le patient ne doit pas tomber malgré les poussées qu'effectue le psychomotricien. Pour cela, il doit générer une force opposée à la contrainte externe qui lui est imposée. Cette force interne a pour source une augmentation du tonus du patient qui doit adopter une rigidité posturale à l'endroit où les poussées sont exercées.

D'abord, l'exercice se fait assis puis debout. La force externe est localisée alternativement devant, derrière puis sur les côtés.

- **Jeu de joute.** Le but est de faire tomber l'autre tout en contrôlant sa posture afin de ne pas tomber en premier. Il s'agit ici de produire un mouvement pour déstabiliser l'adversaire et de contracter les muscles nécessaires pour résister aux contraintes posturales induites par la personne en face. L'exercice se fait en position de chevalier servant. Il est ensuite répété en position accroupie.

3. *Objectif : Travailler l'anticipation de l'impact d'une déstabilisation externe à travers la réception de différentes balles lestées*

- **Rattraper des balles de différents poids.** Cet exercice est inspiré de l'étude de Arwin et al. (2015) qui montre que, dans les mouvements de lâcher ou attraper, si l'énergie cinétique de l'impact peut être estimée sur la base d'informations sensorielles alors, des ajustements posturaux peuvent être observés. Cet exercice sollicite la mise en place d'ajustements posturaux anticipés (APA) afin de réceptionner les différentes balles sans provoquer de déséquilibre.

A une distance d'un mètre, le psychomotricien lance au patient la balle légère puis, la balle moyennement lourde (0,5 kg) et enfin la balle lourde (1kg). Il répète plusieurs lancers selon cet ordre puis aléatoirement. L'exercice est répété à une plus grande distance.

La dernière variante consiste à contraindre le patient en lui imposant un polygone de sustentation réduit. Il doit attraper les balles sans mettre un pied en dehors de la pierre de rivière sur laquelle il se trouve.

4. *Objectif : solliciter l'émergence d'ajustements posturaux anticipés*

- **Effectuer un parcours** dont les différents paramètres amènent le patient à mettre en place des ajustements posturaux pour éviter le déséquilibre. Le parcours induit des situations de déstabilisation posturale chez le patient grâce à une variation : de l'étendue de la base de sustentation, de la surface des plans d'appuis, de la hauteur du centre de gravité et des textures des plans d'appuis.

Photo 1 : le parcoursplots, 2



Matériels : 2 chaises, 1 grand cerceau, 4 grands barres, 5 pierres de rivières, 3 petits cerceaux, 5 briques.

- **1^{er} passage** → Monter sur les deux chaises puis sauter dans le grand cerceau. Enjamber la barre. Mettre le pied droit sur la pierre de rivière verte puis le gauche sur la jaune puis le droit sur la bleue puis le gauche sur la rouge. Mettre les deux pieds sur la dernière pierre de rivière verte et enjamber la barre. Sauter à cloche pied dans chaque petit cerceau puis marcher sur la « poutre » de briques.



Photo 2 : le tube +la balle

Photo 3 : le sac lesté



- **2^e passage** → Refaire le parcours en tenant le tube avec la balle au sommet (photo 2). Le but est de ne pas faire tomber la balle. Une fois arrivé sur la dernière pierre de rivière, lancer la balle (qui était sur le tube) dans le 2^e petit cerceau. Enjamber la barre puis sauter à cloche pied dans le 1^{er} petit cerceau. Ramasser en se penchant (toujours en appui unipodal) la balle précédemment lancée puis finir le parcours comme lors du 1^{er} passage.

- **3^e passage** → Faire le parcours de la même manière mais en gardant sur la tête le petit sac gris lesté (photo 3). Il ne doit pas tomber. Le sac sur la tête favorise la prise de conscience de verticalité. Une fois arrivé à la dernière pierre de rivière, lancer au patient les trois balles de différents poids (le lanceur se tient dans le 2^e petit cerceau). Finir le parcours comme précédemment.
5. *Objectif : renforcer les compétences d'équilibre sollicitées par diverses coordinations* Selon la méta-analyse de *May et al. (2019)*, la danse procure des effets moyens à importants pour les compétences d'équilibre et de saut. C'est pourquoi utiliser la danse pour clore la première phase du protocole paraît intéressant.
- **Imiter en miroir plusieurs mouvements de danse qui mettent en jeu l'équilibre statique** (arabesque, se tenir sur la pointe des pieds).
 - **Enchaîner plusieurs mouvements** (une chorégraphie) mettant le patient en situation unipodale, de transfert de poids ou de déséquilibre afin de travailler l'équilibre dynamique. Le rythme de la chorégraphie est donné par le tapement des mains du psychomotricien.

3.2.c Temps de double tâche (durée : 10 minutes)

Le patient doit mobiliser ses capacités de visuo-construction et de rotation mentale tout en maintenant une posture appropriée. Il est assis sur un gros ballon, devant une table. Le gros ballon n'est pas un support stable et engendre des oscillations antero-postérieures ou latérales selon la position du patient. Il doit donc mettre en place des ajustements posturaux afin de conserver une position stable et de mobiliser ses fonctions cognitives. L'objectif est de libérer l'attention que porte le patient au contrôle de sa posture pour l'orienter vers une tâche cognitive afin d'automatiser les ajustements qu'il met en place.

1. **Utilisation du jeu « Cubissimo »** (pendant 2 séances). Positionner les différentes pièces selon un modèle, tout en gardant une posture adéquate sur le gros ballon. Ce jeu fait appel à des habiletés de rotation mentale et de visuo-construction.



2. **Utilisation du jeu « Kataboom »** (pendant les 3 dernières séances). Il s'agit ici d'empiler plusieurs formes en 3D selon un modèle en 2D, sans les faire tomber. Cela demande un contrôle du geste au niveau de la force, ce qui peut s'avérer difficile dans une situation où la stabilité posturale est compromise. Ce support propose un deuxième type d'exercice qui consiste à former un cube en encastrant les différentes pièces les unes avec les autres. Les capacités de visuo-construction et de rotation mentale utilisées sont plus élaborées que précédemment.



3.2.d Relaxation (durée : 10 minutes)

Le temps de relaxation est basé sur l'apprentissage du protocole de Jacobson (cf. ANNEXE IV) concernant les membres supérieurs puis les membres inférieurs. Le psychomotricien effectue des mobilisations passives des membres concernés afin de permettre un meilleur relâchement musculaire et d'estimer l'état tonique du patient avant et après l'application du protocole. Le protocole est répété deux fois pour chaque membre (gauche puis droit). Le patient est en décubitus dorsal.

1. *Objectif : ajuster le tonus au niveau des membres supérieurs* (pendant les 3 premières séances)
 - Replier le poignet vers l'arrière, bras étendu au sol → une tension dans la partie haute de l'avant-bras apparaît.

- Replier le poignet vers le corps, bras étendu → une tension dans la partie basse de l'avantbras apparaît.
- Coude posé à 90°, le poignet est relâché → une tension dans le biceps apparaît.
- Raidir le bras soit en serrant le poing soit en le plaquant contre le corps → une tension dans l'ensemble du bras apparaît.

2. *Objectif : ajuster le tonus au niveau des membres inférieurs* (pendant les 2 dernières séances)

- Fléchir le pied vers le haut/soi → une tension sur le devant de la jambe apparaît.
- Étendre le pied vers le sol → une tension dans les muscles du mollet apparaît.
- Lever la jambe → une tension dans la partie antérieure de la cuisse apparaît.
- Appuyer toute la jambe dans le sol → une tension dans l'arrière de la cuisse apparaît.
- Mettre une brique sous le genou et appuyer la cuisse vers le bas → une tension dans les muscles fessiers apparaît.

4. Phase AB

Cette seconde phase spécifie la prise en charge psychomotrice par l'utilisation de moyens de rééducation vestibulaire. L'hypothèse de ce travail revient à voir si une repondération sensorielle permettrait d'améliorer plus efficacement que la phase A le contrôle postural.

4.1 La rééducation vestibulaire

La rééducation vestibulaire est une thérapie par le mouvement impliquant l'oeil, la tête et le corps (*Sauvage et coll, 2015*). Elle a été introduite par *Cawthorne* en 1944 dans le but d'accélérer l'installation de la compensation vestibulaire. La compensation vestibulaire peut se faire grâce à l'adaptation, l'habituation, la substitution ou la sensibilisation. C'est le médecin ORL qui diagnostique les déficits vestibulaires, il peut donc préconiser une telle rééducation. *Sémont* introduit en 1960, des exercices de rotation avec point de mire et des stimulations optocinétiques. Ces mouvements sont particuliers et réservés à des professionnels spécifiquement formés à conduire une rééducation vestibulaire. Aucune de ces manipulations n'a donc été utilisée pour le protocole.

4.1.a Les moyens de rééducation utilisés

D'après le livre de *Sauvage et coll. (2015)*, la rééducation utilise les principes de :

- **L'adaptation** = Création de nouveaux circuits (de nouveaux schémas fonctionnels) avec ce qu'il reste de l'appareil vestibulaire pour lui permettre de redonner une réponse utile et reparamétrage des structures vestibulaires restantes. C'est un apprentissage positif complexe qui requiert une participation active du patient. Il faut utiliser au maximum les interactions visuo-vestibulo-proprioceptives.
- **La substitution** fonctionnelle et sensorielle = Modification du poids des entrées sensorielles impliquées dans l'équilibre (les afférences visuelles et proprioceptives sont davantage sollicitées).
- **La sensibilisation** = (inverse de l'habituation) Processus de potentialisation à long terme s'appliquant aux synapses dont l'efficacité est d'autant plus importante et persiste d'autant plus longtemps qu'elles sont plus stimulées.
L'objectif est d'augmenter les capacités vestibulaires restantes en déstabilisant les entrées visuelle et proprioceptive.
- **L'habituation** = Résulte de la répétition d'une stimulation identique afin de supprimer ou de diminuer la réponse vestibulaire physiologique ou pathologique.

Quand la désafférentation vestibulaire est unilatérale alors la rééducation est basée sur l'adaptation, la substitution et la sensibilisation pour forcer la plasticité cérébrale. Elle vise à optimiser la compensation vestibulaire spontanée en créant de nouveaux processus fonctionnels par la pratique d'exercices qui sollicitent les structures vestibulaires restantes du côté lésé et le vestibule sain controlatéral.

4.1.b. Les types d'exercices proposés

D'après *Coroian (2011)*, une rééducation vestibulaire comprend des :

- **Exercices de coordination œil/tête** pour reparamétrer les réflexes vestibulo-oculaire, vestibulo-colique et cervico-colique dans une coordination œil/tête/cou. Ainsi, un feedback (contrôle à posteriori en boucle fermée) est obtenu par la fixation visuelle de cibles fixes en tournant la tête de gauche à droite et de haut en bas. Le glissement rétinien génère un signal d'erreur que le SNC compense en augmentant le réflexe vestibulo-oculaire (VOR). Au début, le patient est en « mono bloc » avec une hypertonie cervicale. Ces exercices font appel au processus d'adaptation et permettent d'améliorer la stabilité du regard. Ils seront par la suite incorporés dans des situations d'équilibre. Nous faisons varier la difficulté en fonction de la

durée des exercices (de 1 à 2 minutes), l'environnement (dedans ou dehors), la position (assise, debout, en marchant), la vitesse, la fréquence et la distance de la cible.

- **Exercices de maintien postural et d'équilibre** pour repondérer le système sensoriel afin qu'il accepte la lacune sensorielle engendrée par le déficit vestibulaire. En effet, lors d'atteinte vestibulaire unilatérale, l'un des deux vestibules donne des informations erronées ou pas d'information. Le reparamétrage repose sur l'usage forcé des restes vestibulaires ainsi que l'utilisation de la vue et la proprioception comme substitution pour maintenir le contrôle postural.

Dans un premier temps, nous nous appuyons sur les apports visuels et proprioceptifs puis nous les supprimons progressivement pour n'utiliser que le vestibule. En fin de rééducation, nous mettons le patient en situation de conflit sensoriel en perturbant les entrées visuelle et proprioceptive afin qu'il s'appuie uniquement sur les informations vestibulaires.

- **Exercices giratoires** pour stimuler l'oreille interne.
- **Exercices de sensibilisation** en diminuant l'entrée visuelle et proprioceptive au profit du vestibule.

4.1.c Les objectifs d'une rééducation vestibulaire

Cette rééducation spécifique permet d'améliorer la posture et les fonctions d'équilibration ainsi que la stabilité de la marche et du regard (*Tee et al., 2005*). Elle induit aussi une diminution de la désorientation spatiale.

4.2 Utilité de cette rééducation chez des enfants sourds

L'adaptation à la station debout est le fruit de l'apprentissage. Dès lors, on peut concevoir la rééducation vestibulaire non pas comme une rééducation mais un apprentissage d'une nouvelle forme d'utilisation des systèmes.

Des études ont montré que les programmes d'exercices améliorant les capacités visuo-motrices et somato-sensorielles permettant la substitution sont plus efficaces pour compenser le déficit vestibulaire chez des enfants malentendants (*Rajendran et al., 2013*).

De plus, *Effgen et al. (1981)* ont montré que l'exercice traditionnel de l'équilibre peut entraîner un manque de résultat chez cette population spécifique.

Appiah-Kubi et al. (2019) ont montré qu'une repondération sensorielle du traitement du contrôle postural était possible après une activation vestibulaire combinée à un entraînement de

transfert de poids volontaire chez des adultes sains. Les auteurs suggèrent d'appliquer ces résultats à une population atteinte de déficience vestibulaire pour améliorer le comportement postural. C'est ce que font *Rine et al. en 2004*, lors d'une étude. Ils concluent qu'une rééducation vestibulaire chez des enfants avec une perte auditive neurosensorielle et une déficience vestibulaire améliore les scores de développement moteur et du contrôle postural.

4.3 Description des séances

Le protocole proposé s'inscrit dans le cadre d'une atteinte vestibulaire unilatérale. D'après ce que nous avons vu précédemment, les principes utilisés au sein d'une rééducation vestibulaire seraient donc : l'adaptation, la substitution et la sensibilisation. Afin d'appliquer ces moyens de repondération sensorielle, 4 catégories d'exercices ont été mises en place pour chacune des 5 séances de la seconde phase du protocole.

Les domaines travaillés sont présentés ci-dessous, ainsi que le détail des exercices classés chronologiquement et par difficulté croissante. Chaque exercice/objectif est réalisé qu'une seule fois lors du protocole, sauf mention exceptionnelle.

4.3.a. Exercices de cibles visuelles (durée : 5 minutes)

Ces exercices font appel au processus d'adaptation et permettent d'améliorer la stabilité du regard. Un déficit de fixation oculaire peut engendrer ou majorer une déstabilisation posturale. L'objectif commun de ces exercices couplant poursuite visuelle et mouvements de la tête est donc de reparamétrer le réflexe vestibulo-oculaire.

- 1. Fixer visuellement une cible statique** (située à 1 mètre du patient) **tout en bougeant la tête de gauche à droite puis de haut en bas**. La cible est d'abord au centre du champ visuel, à gauche puis à droite.
- 2. Fixer une image mouvant dans la direction opposée des mouvements de la tête**. Les mouvements de la tête sont d'abord de gauche à droite puis de haut en bas. Le trajet de l'image sera donc opposé à celui de la tête : de droite à gauche puis de bas en haut. Cet exercice est répété pendant deux séances (exemple séance 2 et séance 3).
- 3. Fixer des cibles égocentrées** (deux stylos) **tout en y associant des mouvements de tête**. Le patient tient un stylo dans chaque main et tend les bras devant lui de sorte que les stylos soient dans son champ visuel. Sa tête est bien droite et fixe. Il doit en premier lieu fixer, sans bouger

sa tête, le stylo de sa main gauche puis de sa main droite alternativement. Ensuite, il fait la même chose en y associant des mouvements de tête de gauche à droite puis de haut en bas.

4. **Faire des mouvements de tête de type « oui », « non » puis « peut-être » tout en fixant une cible statique située à 2 mètres.** Répéter l'exercice debout puis en marchant vers la cible.

4.3.b Situations d'équilibre (durée : 10 minutes)

Nous avons vu dans la partie théorique que trois entrées sensorielles sous-tendent le contrôle postural. Le poids de ces entrées sensorielles dépend du type de contrainte posturale imposée. Dans le cadre d'un déficit de l'une de ces entrées, les deux autres deviennent prépondérantes afin de la compenser. Pour redonner à chacune sa place dans les tâches d'équilibration, il convient d'entreprendre une repondération sensorielle.

Dans un premier temps, le patient doit s'appuyer sur les apports visuels et proprioceptifs pour favoriser la substitution. Nous supprimons ensuite progressivement ces entrées sensorielles afin de ne stimuler que le vestibule. La dernière étape consiste à perturber la vue et la proprioception dans le but de privilégier l'entrée vestibulaire. On crée alors un conflit sensoriel thérapeutique : les trois entrées sensorielles ne donnent pas une représentation conforme à celle prévue par le programme interne. Un objectif est rempli par séance, excepté le dernier.

1. *Objectif : favoriser la fixation visuelle comme stratégie d'équilibration (substitution)*

- **Marcher sur une poutre en comptant** combien il y a de poissons rouges sur la cible fixée au bout de la poutre.

2. *Objectif : renforcer la stratégie ascendante en favorisant l'entrée sensorielle proprioceptive (substitution)*

- **Traverser une poutre avec un feedback sensoriel plantaire** (du papier bulle sur la poutre) puis rester en équilibre statique unipodal la plus longtemps possible sur le papier bulle.

3. *Objectif : stimuler l'oreille interne grâce à des exercices giratoires (adaptation)*

- **Garder une posture correcte pendant des rotations actives** de tabouret en fixant un point. Le patient ne doit pas avoir d'appui dorsal afin que seul son contrôle postural rentre en jeu.

- **Garder l'équilibre sur une planche à roulettes en position à genoux.** Le patient doit alors générer une force opposée aux accélérations linéaires induites par le déplacement du skateboard.

4. *Objectif : mettre le sujet en situation de conflit sensoriel afin d'augmenter les capacités vestibulaires participant à l'équilibration (sensibilisation).*

Cet objectif est tenu pendant deux séances consécutives (la séance 4 et 5).

- **Marcher sur un tapis** (plus ou moins mou) en faisant des mouvements de tête de type « oui », « non » et « peut-être ». La luminosité est basse afin de diminuer les repères visuels.
- **Sur une bascule d'équilibre**, les yeux fermés, coordonner les mouvements de tête de type « oui », « non » et « peut-être » avec le transfert de poids vers l'avant et l'arrière.

4.3.c Renforcement de la coordination oculo-manuelle (durée : 10 minutes)

D'après *Rajendran et coll. (2013)*, travailler la coordination œil/main dans le cadre d'une rééducation vestibulaire permet de mieux compenser les difficultés liées au déficit vestibulaire des enfants malentendants. De fait, l'altération du réflexe vestibulo-oculaire engendre, dans une situation dynamique, des difficultés de poursuite visuelle, pourtant nécessaire à la bonne exécution d'une coordination oculo-manuelle. Il est donc important de renforcer et de soutenir le reparamétrage du réflexe vestibulo-oculaire entrepris avec les exercices de cibles visuelles.

1. *Objectif : travailler la coordination œil/main à travers une tâche demandant force et précision*

- **Viser les quilles avec une balle pour les faire tomber** (bowling). Faire le même exercice sur une table pour varier les paramètres.

2. *Objectif : favoriser la recherche visuelle et le contrôle visuel du geste moteur*

- **Jeu des labyrinthes** où le patient doit trouver la sortie tout en faisant attention à ne pas couper les lignes du labyrinthe. Quatre labyrinthes rectangulaires sont donnés selon une difficulté croissante. Si le patient parvient à tous les résoudre, alors un labyrinthe circulaire est proposé.

3. *Objectif : renforcer la coordination oculo-manuelle*

Le niveau de précision est plus élevé que dans le premier objectif.

- **Lancer plusieurs balles sur une cible à scratch en visant le centre de la cible.** La cible est placée à 2 mètres du patient.

4. *Objectif : renforcer le contrôle visuel du geste moteur*

Cet objectif demande des capacités de dextérité digitale plus fines que l'objectif 2, ce qui ajoute de la difficulté à l'exercice.

- **Reproduire un modèle en enfilant un lacet dans différents trous.**

5. *Objectif : travailler la poursuite visuelle en situation dynamique*

- **Faire rebondir une balle de tennis au sol et la rattraper tout en marchant.**

4.3.d Exercices de coordination générale (10 min)

D'après *Rine et coll. (2004)*, insérer des exercices de coordination générale dans une rééducation vestibulaire participe à l'amélioration des scores de développement moteur et du contrôle postural. Les cinq coordinations dynamiques proposées permettent d'entraîner le patient à ajuster sa posture afin de rester stable durant une activité en mouvement.

1. *Objectif : travailler la coordination des membres supérieurs et inférieurs dans une situation d'équilibre dynamique*

- **Faire de la corde à sauter en enchaînant plusieurs sauts.**

2. *Objectif : améliorer le contrôle postural lors de la réception de sauts*

- **Reproduire une succession de sauts par-dessus un élastique tendu entre deux chaises.**

L'enchaînement se compose : d'un saut écart (élastique entre les deux jambes), d'un saut à l'intérieur, un saut à droite de l'élastique, dedans puis à gauche de l'élastique. Cet enchaînement est à faire une fois à pieds joints puis en saut unipodal du pied droit puis gauche (à « cloche pied »).

3. *Objectif : renforcer la coordination des membres inférieurs en conditions d'accélération linéaires*

- **Faire des pas-chassés vers la gauche puis la droite.** Alternier les changements de direction.

Les mouvements chassés de gauche à droite créent une accélération linéaire qui stimule les utricules et les saccules dans l'appareil vestibulaire (cf. « III.1.2 Le système vestibulaire périphérique », partie théorique).

4. *Objectif : travailler l'ajustement postural en situation de mouvements angulaires*

- **Effectuer la roulade avant plusieurs fois.** Le mouvement de bascule de la tête lors de la roulade apporte des informations au système de contrôle postural. Si ces informations sont en adéquation avec les autres entrées sensorielles alors aucun déséquilibre n'est visible.
- **Apprentissage de la roulade arrière** avec le placement spécifique de chaque membre du corps. Le processus est le même que pour la roulade avant mais cette fois, avec une bascule arrière de la tête.
- **La roulade « toupie »** peut être essayée afin de stimuler le canal semi-circulaire postérieur du vestibule (cf. «III. 1.2 Le système vestibulaire périphérique » de la partie théorique).
La coordination consiste à maintenir une posture assise en tailleur tout en basculant circulairement, comme une toupie. Pour cela, le tronc doit être droit et les membres toniques. Il est préférable de donner une impulsion à chaque fois qu'une partie du corps touche le sol afin de gagner de la vitesse.

5. *Objectif : travailler la coordination globale en ajoutant des contraintes de vitesse et de précision*

- **Courir vite selon une ligne droite puis sauter dans le cerceau le plus haut possible afin d'attraper le petit objet suspendu.** Les capacités de coordination oculo-manuelles sont aussi sollicitées sur la dernière partie de l'exercice.

III Présentation du sujet

1. Anamnèse

2. Bilan psychomoteur

Voici les conclusions du bilan psychomoteur d'Emmy effectué en. Elle était alors âgée de 10 ans et 9 mois. Pour plus d'éléments, se référer à l'ANNEXE V où le bilan est détaillé.

Diagnostic psychomoteur

Les résultats aux différents tests mettent en évidence de nombreuses difficultés sur le plan moteur, perceptif et visuo-spatial. Sur le plan moteur, on remarque des difficultés en équilibre

statique, en coordinations dynamiques générales et en coordinations oculo-manuelles. Sur le plan visuo-spatial, des difficultés sont repérées au niveau de l'appréciation de la direction et de l'orientation de lignes ainsi que de la visuo-construction. De plus, le balayage visuel s'avère peu efficace et il existe des faiblesses en rotation mentale et en discrimination visuelle. La mémoire visuo-spatiale est également déficitaire.

De plus, ce bilan met en évidence des capacités attentionnelles fluctuantes selon son état de fatigue et sa motivation à se mettre au travail nécessitant l'aménagement de pauses. Malgré les difficultés rencontrées, elle aura tout de même été capable de faire preuve de persévérance.

Projet thérapeutique : les objectifs

- améliorer la fonction visuo-spatiale
- travailler l'équilibre statique et dynamique, la régulation tonique, les coordinations générales et oculo-manuelles
- accompagner le développement du graphisme
- développer les capacités attentionnelles
- encourager les phases de communication
- soutenir les interactions de communication et la constance du regard

IV Mise en place du protocole avec Emmy

1. Résultats aux tests en T₀

1.1 Tests d'équilibre issus de l'examen vestibulaire (cf. ANNEXE VI)

Les résultats des différents tests d'équilibre suggèrent une atteinte unilatérale du système vestibulaire, du côté gauche. En effet, lors des deux tests de Fukuda, de la marche aveugle et du test de déviation des index, Emmy dévie du côté gauche. Par ailleurs, lors de l'observation d'un potentiel nystagmus (Head Shaking Test), elle présente un léger nystagmus vers la droite. La direction du nystagmus détermine le côté dont la fonction vestibulaire est la plus compétente. Cela insinue donc un potentiel déficit à gauche. D'autre part, les résultats du test de la Verticale Subjective Virtuelle (VVS) évoquent un potentiel déficit des otolithes du système vestibulaire. Ce sont ces cellules qui permettent de concevoir et d'intégrer la notion de gravité et ainsi de verticalité.

1.2 Résultats de la partie « équilibre » du M-ABC 2

Les résultats utilisés sont issus du bilan psychomoteur initial d'Emmy :

Note Composante : 19, Note Standard : 5, Percentile : 5

Emmy n'arrive pas à tenir la position en équilibre unipodal et les ajustements posturaux ne sont pas efficaces. Les tentatives de rééquilibration sont inefficaces, elle n'arrive pas à compenser le déséquilibre en s'aidant efficacement de ses bras. De plus, on note la présence de rigidités.

1.3 Résultats au Lincoln-Oseretsky (cf. ANNEXE VII)

Facteur 5 « équilibre » : 0/18 points soit **0%** de réussite

Facteur 2 « coordination globale » : 11/27 points soit **43%** de réussite

Les tentatives d'équilibration d'Emmy n'apparaissent pas efficaces. Une hypertonie du haut de l'axe est prégnante. Elle semble utiliser principalement une stratégie « en bloc » qui limite ses possibilités de mouvement. Emmy ne parvient pas à fixer son regard afin d'aider à la stabilisation de sa posture.

1.4 Examen du tonus

Tonus de fond : Aucun blocage n'est relevé pour les articulations du coude et du poignet.

Cependant, l'épaule gauche présente une raideur lors de la manipulation.

Après palpation des deux membres supérieurs, on retrouve une hypertonie dans celui de gauche.

Tonus d'action: Lors de la réalisation de l'épreuve de diadococinésies, on remarque la présence de syncinésies périphériques d'imitation dans le membre controlatéral au mouvement réalisé. Des syncinésies sont présentes dans la main droite alors qu' Emmy effectue le mouvement avec la main gauche. Dans le développement normal de l'enfant, ces syncinésies sont atténuées en intensité vers 10 ans et disparaissent vers 12 ans. Emmy est âgée de 11 ans, la présence de ces syncinésies n'est donc pas alarmante mais à surveiller si elles persistent.

2. Evolution du contrôle postural d'Emmy suite à la phase A

2.1 Observations cliniques

Suite à la phase A, nous remarquons que :

- Emmy semble adopter un meilleur contrôle postural lorsque les informations qui lui sont fournies sont visuelles. Cependant, la modalité somato-sensorielle et plus précisément proprioceptive, paraît plus difficile à traiter pour Emmy

- Emmy est parvenue à anticiper le déséquilibre et à générer des ajustements posturaux adaptés. Néanmoins, il faut noter que sa stabilité reste compromise dans certaines situations de coordination dynamique. Emmy peut montrer des signes de déséquilibre (des oscillations) pour les mouvements qui demandent de la vitesse et de la précision ou des rotations.
- On remarque une diminution voire une disparition de l'hypertonie du membre gauche au niveau de l'épaule. Cependant sa posture conserve une certaine raideur lors de coordination dynamique (le saut en unipodal par exemple).

2.2 Résultats au retest T_1

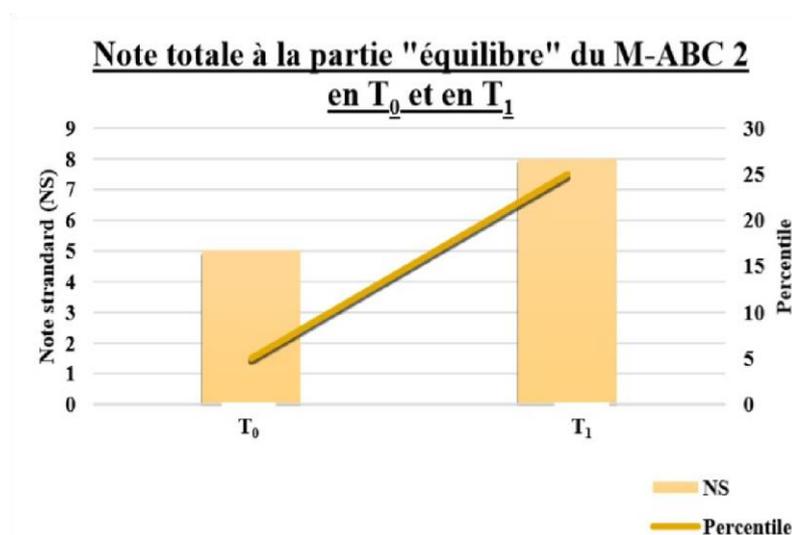
Les mêmes tests utilisés en T_0 ont été administrés à Emmy afin de comparer les résultats.

2.2.a Tests d'équilibre issus de l'examen vestibulaire (cf. ANNEXE VI)

Les résultats des divers tests d'équilibre restent inchangés par rapport aux résultats en T_0 .

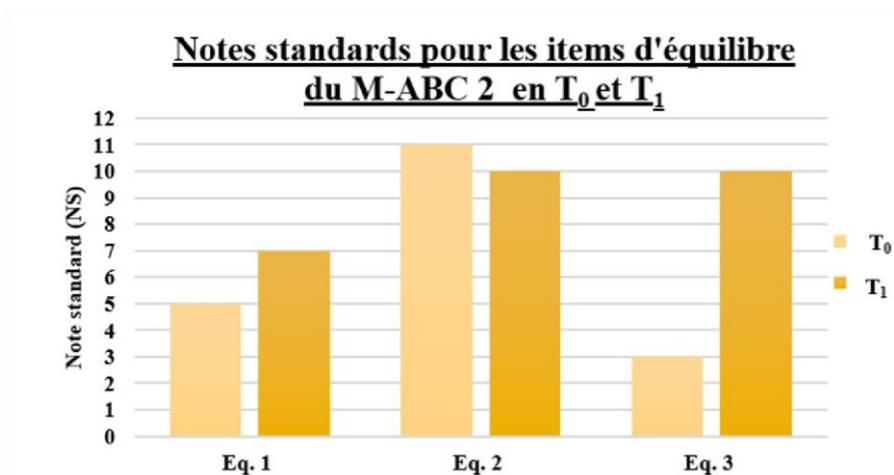
2.2.b Résultats de la partie « équilibre » du M-ABC 2

Entre les résultats (issus de son bilan psychomoteur) utilisés en T_0 et T_1 , Emmy est passée dans la tranche d'âge supérieure du M-ABC 2. Les épreuves passées pour mesurer ses capacités d'équilibre ne sont donc pas exactement les mêmes. Cependant, la différence entre les habiletés d'équilibre en situation statique et dynamique est respectée. Il y a donc une mesure pour chaque situation qui nous permet d'objectiver l'évolution d'Emmy dans ces domaines.



Ainsi, nous pouvons constater qu'Emmy présente de meilleurs résultats dans toutes les épreuves sauf pour « Eq. 2 », en situation dynamique. Cette légère baisse de résultat peut s'expliquer par une complexification de la tâche due au passage dans la tranche d'âge supérieure. Néanmoins, ses

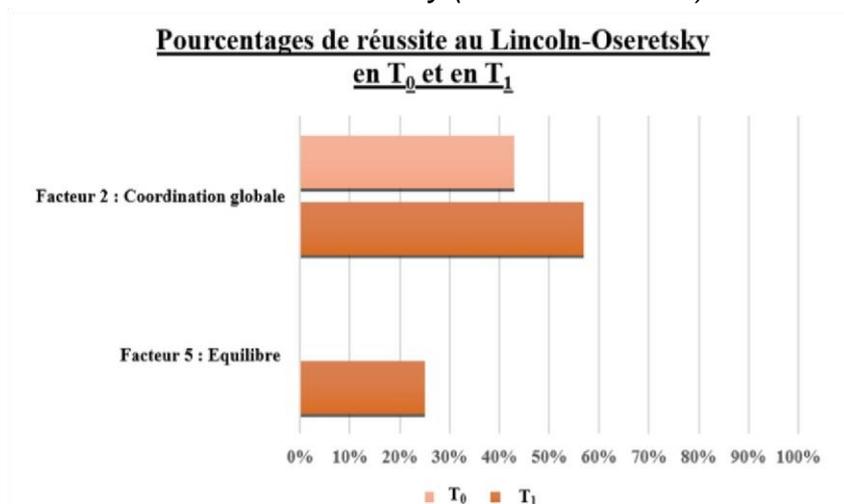
capacités en équilibre dynamique restent dans la norme attendue à son âge. Il faut préciser que la note standard pour « Eq. 3 » s'est nettement améliorée à la suite de la phase A. Emmy montre de grands progrès concernant le saut à « cloche pieds ». Quant à l'équilibre statique, il s'est amélioré entre T₀ et T₁. Cependant, les capacités d'Emmy restent inférieures à la norme attendue à son âge.



Sur un plan clinique, lors des deux premières épreuves, Emmy a utilisé ses bras pour stabiliser le haut de son corps et a fixé son regard sur un point. Ces stratégies mises en place suite à la phase A paraissent efficaces au vu des résultats.

Malgré une amélioration des résultats en « Eq.3 », la qualité des sauts effectués subsiste faible. La propulsion sur le pied gauche paraît coûteuse pour Emmy ce qui engendre des plus petits sauts et une réception non stable à l'arrêt de ces derniers. De plus, sa posture semble raide dans cette situation dynamique.

2.2.c Résultats au Lincoln-Oseretsky (cf. ANNEXE VIII)



Pour le facteur « équilibre », Emmy obtient un score de 3/18 points et passe ainsi de 0% de réussite à 25%. En comparant les notes brutes des items en T₀ et en T₁, on remarque que le temps en

équilibre unipodal s'est amélioré significativement seulement lorsque la jambe d'appui est la droite. Néanmoins, Emmy montre des stratégies d'équilibration plus efficaces, notamment en fixant son regard sur un point. Elle ne bouge plus « en bloc » le haut de son corps qui paraît moins raide.

Pour le facteur « *coordination globale* », Emmy obtient un score de 17/27 points et augmente ainsi son pourcentage de réussite à 57%. Elle parvient désormais à maintenir la posture de l'arbre sur la jambe droite et à s'accroupir les yeux fermés. Cependant, des déséquilibres persistent pour certains items relevant de l'équilibre dynamique.

2.2.d Examen du tonus

Tonus de fond : Aucun blocage n'est relevé pour les articulations du membre supérieur. L'hypertonie retrouvée en T₀ dans le membre supérieur gauche n'est plus prégnante à la palpation. Elle semble s'être atténuée, voire, disparue.

La posture générale d'Emmy semble être plus détendue, moins raide au niveau cervical.

Tonus d'action : Des syncinésies sont toujours présentes au niveau du membre supérieur droit lors de la réalisation de diadococinésies avec le membre controlatéral. Ces syncinésies se retrouvent aussi au niveau de la main droite lors de l'épreuve de tapping avec la main controlatérale.

3. Evolution du contrôle postural à la fin de la phase AB

Afin d'objectiver l'évolution des compétences en équilibre d'Emmy, un second retest était prévu à la fin de la phase AB. Cette seconde phase a pu être menée comme le protocole le prévoyait. Cependant, à cause de la crise sanitaire imprévue, la séance de retest finale n'a pas pu avoir lieu. Nous avons tout de même matière à démontrer les effets de la phase AB sur les capacités d'équilibre.

3.1 Observations cliniques

A la fin de la seconde phase, voici les évolutions que l'on peut remarquer :

- Dans une situation de conflit sensoriel, Emmy peut sélectionner les bonnes informations sensorielles afin de conserver sa stabilité posturale. Elle a alors moins de difficultés à traiter les informations d'origine proprioceptive.
- Elle montre des ajustements posturaux adaptés et sa coordination est de meilleure qualité lors de situations d'accélération linéaires ou de rotations. Cependant, des signes de déséquilibre persistent lorsqu'Emmy doit coupler des mouvements de tête verticaux et un acte moteur.

Elle peut néanmoins, trouver une solution à ses difficultés en élargissant légèrement son polygone de sustentation par exemple.

- Une nette amélioration des coordinations oculo-manuelles et de la poursuite visuelle a été relevée.

3.2 Retour sur les attentes d'après la littérature

D'après l'étude faite par *Ebrahim et coll. (2017)*, un entraînement compensatoire mettant l'accent sur la fonction visuelle et somatosensorielle, ainsi qu'un entraînement à l'équilibre, améliorent l'organisation sensorielle. A la suite de la phase AB, Emmy devrait donc pouvoir mettre en place des ajustements posturaux adaptés quelque soit l'entrée sensorielle suscitée pour apporter des informations.

Des améliorations devraient être visibles dans les situations où la modalité proprioceptive est stimulée. Ainsi, Emmy devrait être moins dépendante de l'entrée visuelle.

D'autre part, *Rine et al. (2004)*, précisent qu'une intervention axée sur des stratégies de substitution pourrait enrayer la progression du retard de développement moteur et améliorer les capacités de contrôle postural chez les enfants déficients auditifs avec une insuffisance vestibulaire. On pourrait donc s'attendre à un meilleur contrôle moteur dans les coordinations dynamiques d'Emmy.

Enfin, la pratique active d'exercices vestibulaires permettrait de reparamétrer les réflexes vestibulo-oculaires et vestibulo-spinaux (*Sauvage et coll., 2015*). L'adaptation de ces réflexes favoriserait l'amélioration du contrôle postural, des coordinations globales mais aussi oculomanuelles.

3.3 Hypothèses sur les résultats en T₂

Compte-tenu des observations cliniques, des données de la ligne de base et des dires littéraires, nous pouvons envisager quels auraient pu être les résultats du retest en T₂.

3.3.a Tests d'équilibre issus de l'examen vestibulaire

En T₀, les différents tests suggéraient une atteinte unilatérale du système vestibulaire, du côté gauche. Après avoir procédé à une repondération sensorielle pour compenser et reparamétrer les fonctions du vestibule, nous pouvons nous attendre à ce que les déséquilibres du côté gauche soient

atténués aux tests de Fukuda ou encore lors de la marche aveugle. De plus, ayant travaillé le réflexe vestibulo-oculaire, aucun nystagmus ne devrait être visible lors du Head Shaking Test. La fonction vestibulaire devrait donc être mieux répartie entre le vestibule gauche et droit. Les résultats en T_0 du test de la Verticale Subjective Virtuelle (VVS) évoquaient un potentiel déficit des otolithes du système vestibulaire. Ces cellules permettant l'intégration de la notion de gravité ont été stimulées grâce à divers exercices d'accélération linéaire au cours de la phase AB. Ainsi on peut supposer que la prise de conscience de la verticalité a été renforcée.

3.3.b Résultats de la partie « équilibre » du M-ABC 2

Pour l'épreuve d'équilibre statique (*Eq.1*), Emmy ne pouvait tenir que 9 secondes en T_1 . A la fin du protocole, puisque son contrôle postural semble s'être amélioré d'après les observations cliniques, elle devrait garder plus longtemps son équilibre dans cette posture. De plus, Emmy avait besoin de stabiliser le haut de son corps en tendant ses bras et en fixant son regard sur un point. Suite aux reparamétrages des réflexes vestibulaires, l'utilisation d'une seule de ces stratégies pourrait suffire à maintenir sa stabilité posturale.

On peut supposer que les résultats pour « *Eq.2* » et « *Eq.3* » ne s'améliorent pas forcément puisqu'ils étaient déjà dans la norme par rapport à ce qui est attendu à l'âge d'Emmy. Cependant, les sauts effectués seraient de meilleure qualité. On pourrait observer une réception plus stable à l'arrêt des sauts et une posture moins raide. Emmy paraîtrait alors plus à l'aise dans ses mouvements. De fait, d'après les observations cliniques, Emmy montre un contrôle moteur plus fin au cours de la phase AB. Ses déplacements, que ce soit en pas chassé, ou en courant, paraissent plus aisés.

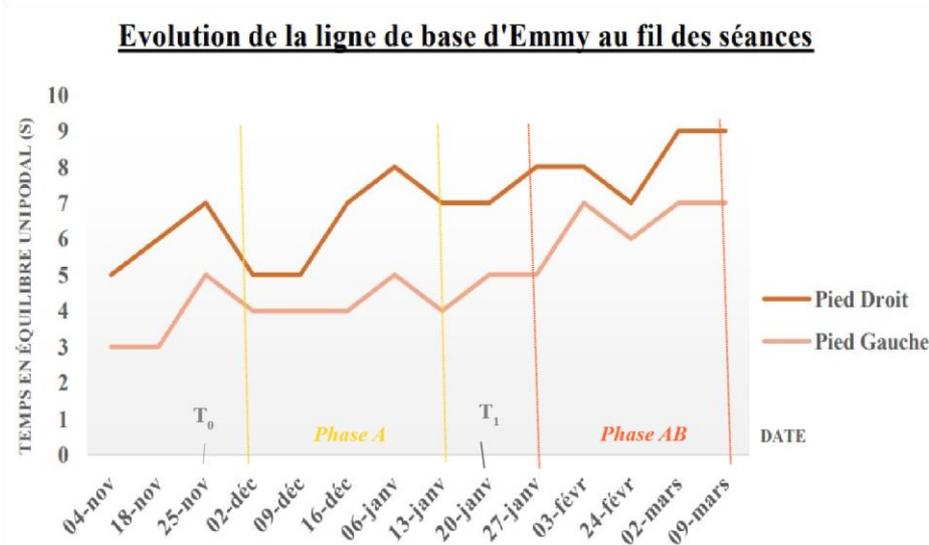
3.3.c Résultats au Lincoln-Oseretsky

On remarque en T_1 que seul le temps passé en unipodal droit est amélioré dans les items où les yeux restent ouverts. On peut donc supposer qu'au second retest, les temps auraient continué d'augmenter pour la jambe droite mais aussi pour la jambe gauche. De plus, les items où l'entrée visuelle est biaisée devraient être davantage réussis que lors des deux premières passations. En effet, la dépendance de la stratégie visuelle d'Emmy semble avoir diminuée suite au processus de repondération sensoriel entrepris pendant la phase AB. Cependant, on pourrait s'attendre à ce que des déséquilibres persistent dans des situations posturales où plusieurs contraintes s'ajoutent comme pour l'item 28 qui demande de rester sur la pointe des pieds avec les yeux fermés pendant 15 secondes.

3.3.d Examen du tonus

Suite aux palpations et aux ballants des membres supérieurs, les conclusions pour le tonus de fond devraient être les mêmes qu'en T₁. Quant au tonus d'action, il est plus difficile d'émettre une hypothèse sur son évolution. De fait, il est possible que lorsque des progrès sont réalisés dans un domaine, un autre régresse. Les syncinésies ont donc pu diminuer ou au contraire être exacerbées à la fin du protocole.

4. Etude de la ligne de base



Tout d'abord, on remarque que la pente des deux courbes, c'est à dire la tendance d'évolution, reste positive tout le long du protocole. Quelque soit la phase concernée, le protocole a une action positive sur la capacité d'Emmy à se tenir en équilibre unipodal. Cependant, l'évolution semble plus favorable lors de la phase A pour le pied droit et pendant la phase AB pour le pied gauche.

Nous pouvons voir que le temps moyen possible en unipodal sur le pied gauche, avant la première séance de la phase A est de 3,75 s. Pour le pied droit, le temps moyen est de 5,75 s. Suite à la 1^{ère} phase du protocole, il est de 4,4 s pour le pied gauche et de 6,8 s pour le pied droit. Emmy tient donc une seconde de plus sur son pied droit mais gagne moins d'une seconde pour son pied gauche. D'après ces données, la phase A a permis à Emmy d'améliorer partiellement son contrôle postural en situation d'équilibre statique. Le plateau de la courbe d'évolution du pied gauche, présent durant la phase A, indique que les compétences d'Emmy se sont stabilisées. La rééducation mise en place ne paraît donc pas adaptée aux spécificités du contrôle postural du côté gauche.

A la fin de la phase AB, Emmy peut tenir en moyenne 6,4 s en équilibre unipodal sur la jambe gauche et 8,2 s sur la jambe droite. Elle tient donc deux secondes de plus sur la jambe gauche qu'à la fin de la phase A mais gagne un peu moins de deux secondes sur sa jambe droite. Au vue des résultats, la phase AB semble donc favoriser l'amélioration du contrôle postural, en particulier lorsque l'appui

unipodal est à gauche. De plus, la courbe évolutive du pied gauche, montre un accroissement dès lors que la seconde phase débute. Or, plus le délai est court entre l'introduction de la rééducation et l'apparition de modifications des indicateurs mesurés par la ligne de base, plus le lien causal entre les deux peut être invoqué.

Cette partie du protocole a donc permis, d'une part, de poursuivre l'accroissement de la stabilité en équilibre unipodal droit. D'autre part, elle s'avère plus efficace que la première phase pour améliorer le contrôle postural en situation unipodale à gauche.

Compte-tenu de ces tendances d'évolution, on peut émettre l'hypothèse de façon appuyée, que le côté droit répond plus favorablement à la phase A mais que la phase AB a un impact plus important sur le côté gauche, du fait, sans doute, de la nature de l'atteinte vestibulaire.

Synthèse des résultats obtenus et discussion

Ce protocole à cas unique a permis de mettre en évidence l'évolution des capacités de contrôle postural liée à l'utilisation de certains processus de rééducation vestibulaire dans la prise en charge d'un enfant sourd avec une déficience vestibulaire, en comparaison à une intervention rééducative plus classique.

Les résultats indiquent que la rééducation psychomotrice typique permet de mettre en place des ajustements posturaux adaptés dans des situations statiques et dynamiques. Cependant, cette évolution n'est pas généralisée à toutes les situations. Pour l'équilibre statique, l'amélioration du contrôle postural n'est significative que lorsque la jambe d'appui est la droite. Quant à l'équilibre dynamique, il demeure insuffisant lors de rotations ou de mouvements alliant vitesse et précision. Suite à cette rééducation, l'hypertonie relevée dans le membre supérieur gauche s'est atténuée. La raideur posturale persiste seulement dans certaines situations imposant des contraintes posturales. Ainsi, nous pouvons voir que la prise en charge habituelle pour rééduquer l'équilibre peut relever des limites lorsque le patient concerné possède des particularités sensorielles et sensibles impliquées dans le système de contrôle postural.

L'insertion de processus issus de la rééducation vestibulaire dans le protocole a permis de renforcer significativement les ajustements posturaux en équilibre unipodal sur la jambe droite mais également sur la jambe gauche. Les mouvements paraissent de meilleure qualité en situation d'équilibre dynamique, même lors de rotations ou d'accélération linéaires.

Par ailleurs, cette seconde phase de rééducation applique le procédé de repondération sensorielle. On peut constater que la dépendance au champ visuel a diminué au profit d'un meilleur traitement des informations proprioceptives. Ces informations pallient les informations manquantes du vestibule atteint. Quant aux informations vestibulaires provenant du vestibule non atteint, elles ont retrouvé une place au sein du contrôle postural grâce au reparamétrage des réflexes vestibulaires. Les résultats témoignent d'une amélioration de la poursuite visuelle ainsi qu'une coordination oculomanuelle et globale plus efficaces.

Ainsi, l'utilisation de certains principes de la rééducation vestibulaire permet de spécifier la prise en charge de l'enfant sourd ayant une atteinte vestibulaire afin d'améliorer au mieux ses compétences d'équilibre.

Néanmoins, ce protocole présente certaines limites.

Des déséquilibres persistent chez Emmy lorsque le canal semi-circulaire supérieur est stimulé durant un acte moteur. Il serait donc pertinent de cibler les exercices de cibles visuelles et d'équilibre en utilisant davantage de mouvements de bascule de la tête.

De plus, insérer des stimulations optocinétiques dans le protocole aurait été judicieux afin de transférer le poids de l'information visuelle sur l'entrée somato-sensorielle et de diminuer la prépondérance visuelle par rapport au vestibule. Pour cela, il aurait été utile de posséder un stimulateur optocinétique, un appareil numérique qui projette une scène visuelle en mouvement à un patient généralement debout. Il permet de déclencher un nystagmus dans le sens choisi par le thérapeute, entraînant aussi une déviation posturale. Dans le but d'induire une recalibration de l'utilisation de l'ensemble des entrées sensorielles, un conflit neuro-sensoriel thérapeutique est ainsi créé : les informations plantaires et vestibulaires indiquent que "ça ne bouge pas" alors que les informations visuelles montrent le contraire. La désensibilisation optocinétique répétée engendre donc un conflit visuo-vestibulaire (*Coroian, 2011*).

D'autre part, il aurait été plus rigoureux de ré-administrer la partie « *équilibre* » du M-ABC 2 à Emmy en T₀ puisqu'elle a changé de tranche d'âge depuis son bilan psychomoteur. Les scores bruts des items auraient pu être ainsi comparés.

Enfin, il est souvent préférable d'ajouter au protocole un temps sans traitement à la suite de la phase A puis de revenir à la phase A pour mesurer l'impact de cette rééducation seule. Par manque de temps, les phases se sont enchaînées sans interruption et n'ont pu être administrées qu'une seule fois, ce qui limite la validité interne du protocole. Il faut envisager qu'un phénomène extérieur à la rééducation mise en place peut être à l'origine de l'évolution observée. L'arrêt prématuré de la mesure de la ligne de base ne nous permet pas, dans ce cas, de constituer une preuve en faveur de l'efficacité de l'intervention.

De même, il est possible que la phase AB se soit révélée plus efficace car elle succède à la prise en charge A qui en potentialise l'efficacité. Ainsi, il peut être judicieux d'étudier l'interaction des deux temps de rééducation en réalisant un deuxième protocole sur un autre sujet en invertissant les deux phases de rééducation.

Conclusion

La déficience auditive d'origine neurosensorielle chez les enfants provoque dans la majorité des cas un déficit vestibulaire. Celui-ci impacte alors le contrôle postural et engendre des troubles de

l'équilibre. Pour le moment, cette problématique n'est pas prise en compte systématiquement pour chaque enfant atteint de surdité neurosensorielle. Ce court travail de recherche amène un regard nouveau quant à la spécificité de la prise en charge de cette population.

A travers ce protocole, nous avons pu constater l'impact de la repondération sensorielle sur l'évolution du contrôle postural. Recalibrer la place de chaque entrée sensorielle impliquée dans la fonction d'équilibration a favorisé l'émergence d'ajustements posturaux dans diverses situations. Ainsi, l'utilisation de processus extraits de la rééducation vestibulaire constitue une modalité efficace pour la rééducation du contrôle postural par comparaison à une intervention psychomotrice plus ciblée sur les stratégies d'équilibration.

La rééducation vestibulaire chez les enfants sourds ne fait pas partie du traitement de base pour cette déficience. Or le psychomotricien a la possibilité de se former à cette rééducation sensorielle spécialisée grâce à un diplôme universitaire. J'espère que les résultats de ce protocole encourageront les psychomotriciens à explorer davantage ce domaine. D'autre part, nous avons traité ici le domaine de l'équilibre, mais un déficit vestibulaire impacte d'autres domaines comme les apprentissages scolaires, la construction d'un référentiel spatial égo-centré performant et la qualité de vie. De même, une tendance à des difficultés de visuo-construction a été relevée chez cette population. Une étude plus approfondie pourrait chercher s'il existe un lien entre les difficultés de visuo-construction et l'association de la double déficience auditive et vestibulaire. Ce domaine de recherche est encore vaste et peu exploré, cela offre de belles possibilités pour l'avenir du travail avec les enfants sourds.

BIBLIOGRAPHIE

- Appiah-Kubi, K.O & Wright, W.G. (2019). Vestibular training promotes adaptation of multisensory integration in postural control. *Gait & Posture*, 73, 215-220.
- Anjos, I.V.C.D., Ferraro, A.A. (2018). The influence of educational dance on the motor development of children. *Revista Paulista de Pediatria*, 36, 337-344.
- Assaiante, C., Mallau, S., Viel, S., Jover, M., & Schmitz, C. (2005). Development of Postural Control in Healthy Children: A Functional Approach. *Neural Plasticity*, 12, 2-3, 109-118.
- Avan, P., Cazals, Y., Dauman, R., Denoyelle, F., Hardelin, J.P. (2006). Déficits auditifs : recherches émergentes et applications chez l'enfant. [Rapport de recherche] Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM). 150 p., tableaux, bibliographie p. 102 et 103. hal-01570631 ()

- Bernard, S. (2014). Evaluation de l'atteinte vestibulaire chez les enfants présentant une infection congénitale à cytomégalovirus. *Annales françaises d'oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-Faciale*, 131,4,A41.
- Bernard-Demanze, L., Léonard, J., Dumitrescu, M., Meller, R., Magnan, J., Lacour, M. (2014). Static and dynamic posture control in postlingual cochlear implanted patients : effects of dual-tasking, visual and auditory inputs suppression. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 111, 1-10.
- Bernstein, N. (1967). *The co-ordination and regulation of movement*. London: Pergamon.
- Bläsing, B., Calvo-Merino, B., Cross, E.S., Jola, C., Honisch, J., Stevens, C.J. (2012). Neurocognitive control in dance perception and performance. *Acta Psychologica (Amst)*, 139, 2, 300-308.
- Braswell, J., Rine, R.M. (2006). Evidence that vestibular hypofunction affects reading acuity in children. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 70,11,1957-1965.
- Coelho, A.R, Fontes, R.C, Moraes, R., Barros, C.G.C., de Abreu, D.C.C. (2019). Effects of the Use of Anchor Systems in the Rehabilitation of Dynamic Balance and Gait in Individuals With Chronic Dizziness of Peripheral Vestibular Origin : A Single-Blinded, Randomized, Controlled Clinical Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, S0003-9993(19)31223-2.
- Coroian, F., Enjalbert, M., Hérisson, C. & Uziel, A. (2011). *Trouble de l'équilibre d'origine neuro-ontogénique et rééducation vestibulaire*. Issy-Les-Moulineaux : Elsevier Masson
- Discher, J. (2015). *Infection congénitale à CMV : Évaluation de la prévalence des atteintes vestibulaires*. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en médecine spécialisée clinique. Toulouse : Facultés de Médecine-Université Toulouse III-Paul Sabatier
- Ebrahimi, A.A., Jamshidi, A.A., Movallali, G., Rahgozar, M., Haghgoo, H.A. (2017). The Effect of Vestibular Rehabilitation Therapy Program on Sensory Organization of Deaf Children With Bilateral Vestibular Dysfunction. *Acta Medica Iranica*, 55, 11, 683-689.
- Effgen, S. K. (1981). Effect of an exercise program on the static balance of deaf children. *Physical Therapy*, 61,6, 873-877.
- Graf, W.M., Klam, F. (2006). Le système vestibulaire : anatomie fonctionnelle et comparée, évolution et développement. *Comptes Rendus Palevol*, 5, 1-19.
- Hage, C., Charlier, B., Laybaert, J. (2006). *Compétences cognitives, linguistiques et sociales de l'enfant sourd : pistes d'évaluation*. Sprimont Belgique : Mardaga

- Hanes DA, McCollum G. (2006). Cognitive-vestibular interactions: a review of patient difficulties and possible mechanisms. *Journal of Vestibular Research*, 6,75-91.
- Horak, F.B., Nashner, L.M. (1986). Central programming of postural movements : adaptation to altered support surface configurations. *Journal of Neurophysiology*, 55,6, 1369-1381
- Illingworth, R.S. (1990) *Développement psychomoteur de l'enfant*. Paris : Masson
- Janky, K.L., Givens, D. (2015). Vestibular, Visual Acuity, and Balance Outcomes in Children With Cochlear Implants : A Preliminary Report. *Ear and Hearing*, 36, 6, 364-372.
- Jover, M., & Mellier, D. (2005). Influence of knowledge in postural anticipation in children during development. *Année Psychologique*, 105, 4,, 553-572.
- Kanekar, N., Arwin, A.S. (2015). Improvement of anticipatory postural adjustments for balance control : effect of a single training session. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 25,2, 400-405.
- Lecervoisièr, S. (2009). *Rééducation vestibulaire chez l'enfant sourd : Apport de la psychomotricité*. Mémoire de diplôme inter-universitaire « Rééducation vestibulaire ». Paris : Université Pierre et Marie Curie
- Lecervoisièr,S. (2015). L'enfant sourd en psychomotricité : éducation précoce et prise en charge des troubles associés. In F. Giromini, J.M Albaret & P. Scialom (eds.), *Manuel d'enseignement de psychomotricité 3.Clinique et thérapeutiques* (pp.107-121). Paris : Coédition De Boeck Solal
- Le Goïc, M. (2014). *Etude du contrôle postural chez l'homme : analyse des facteurs neurophysiologiques, biomécaniques et cognitifs, impliqués dans les 500 premières millisecondes d'une chute*. Médecine humaine et pathologique. Paris V :Université René Descartes
- Le Poncin-Charachon, D., Monteil, J.P., Ba Huy Tran, P. (1981). *L'audition*. Paris : J-B Baillière et fils
- Macpherson, J.M., Horack, F.B. (2013). Posture. In E.R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M Jessell, S.A. Siegelbaum, A.J. Hudspeth (Eds.). *Principles of neural science* (pp. 935-959). (5th ed.). New York : McGraw-Hill.
- Maes, L., De Kegel, A., Van Waelvelde, H., & Dhooge, I. (2014). Association Between Vestibular Function and Motor Performance in Hearing-impaired Children. *Otology & Neurotology*, 35,10, 343-347.

- Majlesi, M., Farahpour, N., Azadian, E., & Amini, M. (2014). The effect of interventional proprioceptive training on static balance and gait in deaf children. *Research in Developmental Disabilities*, 35,12, 3562-3567.
- Mallau, S., Vaugoyeau, M., Assaiante, C., & Brembs, B. (2010). Postural Strategies and Sensory Integration: No Turning Point between Childhood and Adolescence (Sensory Integration in Children). *PLoS ONE*, 5,9,1-13.
- Marieb, E.N., Hoehn, K., Moussakova, L., & Lachaine, R. (2010). *Anatomie et physiologie humaines*. Paris [Saint-Laurent (Québec)]: Pearson ; ERPI.
- Marin, L., Bardy, B.G. (2011). Les coordinations posturales : Approches neuromusculaire et dynamique. *Movement & Sport Sciences*, 74, 39-52.
- Massion, J. & Woollacott, M.H. (2004). Posture and equilibrium. In A.M. Bronstein, T. Brandt, M.H Woollacott & J.G. Nutt. (eds.), *Clinical Disorders of Balance, Posture and Gait : Second edition*. (pp.1-16). London : Arnold
- Massion, J., Alexandrov, A., Frolov, A (2003). Why and how are posture and movement coordinated ? In S. Mori, D.G. Stuart & M. Wiesendanger. (eds.), *Brain Mechanisms for the Integration of Posture and Movement* (pp.13-27). Elsevier Sciences
- May, T., Chan, E.S, Lindor, E., McGinley, J., Skouteris, H., McGillivray, J., Rinehart, NJ. (2019). Physical, cognitive, psychological and social effects of dance in children with disabilities : systematic review and meta-analysis. *Disability & Rehabilitation*, 1-14.
- Melo, R.S., Marinho, S.E.D.S., Freire, M.E.A., Souza, R.A., Damasceno, H.A.M., Raposo, M.C. (2017). Static and dynamic balance of children and adolescents with sensorineural hearing loss. *Einstein (Sao Paulo)*, 15, 3, 262-268.
- Melo, R. de S., Lemos, A., Macky, C. F. da S. T., Raposo, M. C. F., & Ferraz, K. M. (2015). Postural control assessment in students with normal hearing and sensorineural hearing loss. *Journal of Otorhinolaryngology*, 81,4, 431
- Morasso PG, Baratto L, Capra R, Spada G. Internal models in the control of posture. *Neural Netw*, 12,7-8,1173-80.
- Nevoux, J., Coez, A., Truy, E. (2017). Les dispositifs médicaux correcteurs de la surdité : prothèses et implants auditifs. *La Presse Médicale*, 46, 11, 1043-1054.
- Pollock, A., Durward, B., Rowe, P., Paul, J. (2000). What is balance ? *Clinical Rehabilitation*, 14,4, 402-406.
- Potter, C.N., Newman Silverman, L. (1984). Characteristics of vestibular function and static balance skills in deaf children. *Physical Therapy*, 64, 7, 1-5.

- Rajendran, V., Roy, F. G., & Jeevanantham, D. (2013). A preliminary randomized controlled study on the effectiveness of vestibular-specific neuromuscular training in children with hearing impairment. *Clinical Rehabilitation*, 27,5, 459-467
- Rine, R.M., Braswell, J., Fisher, D., Joyce, K., Kalar, K., Shaffer, M. (2004). Improvement of motor development and postural control following intervention in children with sensorineural hearing loss and vestibular impairment. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 68, 9, 1141-1148.
- Ringhof, S. & Stein, T. (2018). Biomechanical assessment of dynamic balance: Specificity of different balance tests. *Human Movement Science*, 58, 140-147.
- Sakka, L., Vitte, E. (2004). Anatomie et physiologie du système vestibulaire. *Morphologie*, 88, 117-126.
- Sauvage, J.P., Grenier, H. (2015). *Guide de rééducation vestibulaire*. Issy-Les-Moulineaux : Elsevier Masson
- Shah, J., Rao, K., Malawade M. & Khatri, S. (2013). Effect of Motor Control Program in Improving Gross Motor Function and Postural Control in Children with Sensorineural Hearing Loss-A Pilot Study. *Pediatrics & Therapeutics*, 03(01). DOI : 10.4172/21610665.1000141 .
- Sokolov, M., Gordon, K.A., Polonenko, M., Blaser, S.I., Papsin, B.C, Cushing, S.L. (2019). Vestibular and balance function is often impaired in children with profound unilateral sensorineural hearing loss. *Hearing Research*, 372, 52-61.
- Tee, L.H., Chee, N.W.C. (2005). Vestibular Rehabilitation Therapy for the Dizzy patient. *Annals Academy of Medicine*, 34, 4, 289-294.
- Truy, E., Lescanne, E., Loundon, N., Roman, S., et coll. (2018). *Surdités : actualités, innovations et espoirs. Rapport de la société française d'ORL e de chirurgie cervico-faciale*. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson
- Vestib.org
- Wiener-Vacher, S. (2005). Vertiges de l'enfant. *EMC-Oto-Rhino-Laryngologie*, 2,2, 230-248.
- Wiener-Vacher, S.R., Amanou, L., Denise, P., Narcy, P., Manach, Y. (1999). Vestibular function in children with the CHARGE association. *Archives of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*,125,3,342-347.
- Wiener-Vacher, S., Lecervoisièr, S. (2012). *Troubles de l'équilibre chez l'enfant*. ACFOS; Disponible sur: http://www.acfos.org/publication/autresp/troublesequilibre_juin2012.pdf

- Witherington, D.C., von Hofsten, C., Rosander, K., Robinette, A., Woolacott, M.H., Bertenthal, B.I. (2002). The Development of Anticipatory postural Adjustments in Infancy. *Infancy*, 3,4, 495-517.

Résumé

Les atteintes vestibulaires concernent la moitié des enfants déficients auditifs. Pourtant, cette problématique demeure encore sous-estimée. Le système vestibulaire joue un rôle considérable dans les fonctions d'équilibration. Il peut donc être intéressant d'adapter la prise en charge psychomotrice de l'équilibre chez cette population, en ciblant notre intervention sur la repondération des entrées sensorielles sollicitées par le système de contrôle postural. Plusieurs articles débattent des effets de la rééducation vestibulaire sur le développement posturo-moteur d'enfants sourds ayant un déficit de la fonction vestibulaire. A travers un cas clinique, nous comparons l'efficacité d'une prise en charge psychomotrice ciblée sur les stratégies d'équilibration à une prise en charge utilisant des principes issus de la rééducation vestibulaire sur l'évolution des capacités d'équilibre.

Mots clés: atteinte vestibulaire, surdité, équilibre, contrôle postural, repondération sensorielle, rééducation vestibulaire

Abstract

Vestibular system disorders affect a half of deaf children. However, this problematic is still underestimated. Vestibular system plays a significant role in balance functions. It may be interesting to adapt the psychomotor care of equilibrium to this population, by focussing our intervention on reweighting sensory inputs requested by the postural control system. Several articles are debating on vestibular rehabilitation effects on gross motor development and postural control of deaf children with vestibular dysfunction. Through a clinical case, we will compare the effectiveness of a classic psychomotor care to a different one using principle derived from vestibular rehabilitation on equilibrium capacity evolution.

Key words : vestibular system disorder, deafness, balance, postural control, sensory reweighting, vestibular rehabilitation