



**HAL**  
open science

# Nystagmus induit par vibration dans les déhiscences du canal antérieur

G. Dumas, H. Tan, L. Dumas, P. Perrin, A. Lion, S. Schmerber

► **To cite this version:**

G. Dumas, H. Tan, L. Dumas, P. Perrin, A. Lion, et al.. Nystagmus induit par vibration dans les déhiscences du canal antérieur. *Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale*, 2019, 136 (4), pp.261-271. 10.1016/j.aforl.2018.12.007 . hal-03487804

**HAL Id: hal-03487804**

**<https://hal.science/hal-03487804v1>**

Submitted on 20 Jul 2022

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

**Nystagmus induit par vibration dans les déhiscences du canal antérieur.**

**Georges Dumas<sup>1,4</sup>, Haoyue Tan<sup>2</sup>, Laurent Dumas<sup>3</sup>, Philippe Perrin<sup>4</sup>, Alexis Lion<sup>5</sup>, Sébastien Schmerber<sup>1,6\*</sup>**

1. Service d'Oto-Rhino-Laryngologie, chirurgie cervico faciale, Centre Hospitalo Universitaire, Grenoble Alpes, France

2. Department of Otolaryngology H&N surgery. Shanghai Ninth People's Hospital. Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200011, China

3. INSERM S 1039 Laboratoire Bioclinique Radiopharmaceutique, Université Grenoble Alpes, France

4. EA 3450 DevAH, Développement, Adaptation et Handicap, Faculté de Médecine et UFR STAPS, Université de Lorraine, Villers-lès-Nancy, France

5. Laboratoire Recherche Sports Médecine , Luxembourg Institut de Santé, L-1460 Luxembourg

6. INSERM BrainTec Lab UMR 1205; University Grenoble Alpes, France

**\* Auteur Correspondant.**

Sébastien SCHMERBER, MD; PhD

Otologie, Neuro-Otologie, Implants Auditifs

Centre Implant Cochléaire des Alpes

Département d'Otorhinolaryngologie, chirurgie cervico-faciale

Université Grenoble Alpes, INSERM UMR 1205

CHU A. Michallon BP 217 38043 Grenoble cedex 09, FRANCE

Tel : +33 4 76 76 56 62 Fax : + 33 4 76 76 51 20 ; Mobile : 0033(0)663287577

e-mail : [SSchmerber@chu-grenoble.fr](mailto:SSchmerber@chu-grenoble.fr)

schmerber.ori@free.fr

**ORCID ID 0000-0003-0189-5574**

emails des autres auteurs

Haoyue Tan. thycxf@126.com

Laurent Dumas. dumaslaurent@gmail.com

Alexis Lion Alexis.Lion@crp-sante.lu

Philippe Perrin philippe.perrin@univ-lorraine.fr

Georges Dumas. GDumas@chu-grenoble.fr

## Résumé

**Objectif:** optimiser la fréquence et la topographie des stimulations utilisées pour le test de vibration osseux vestibulaire (TVOV) dans les déhiscences du canal semi-circulaire antérieur. **Méthodes :** la comparaison 3D des composantes du nystagmus induit par vibration (NIV) a été effectuée chez 40 patients porteurs d'une déhiscence du canal semi-circulaire antérieur (27 unilatérales et 13 bilatérales), 18 patients avec un déficit vestibulaire sévère et un groupe témoin de 11 volontaires. **Résultats :** dans les déhiscences unilatérales du canal semi-circulaire antérieur, les composantes torsionnelle et horizontale du NIV obtenu au niveau du vertex dans 88% des cas, battaient vers le côté lésé dans 95% des cas, et pouvaient être observées jusqu'à la fréquence 800 Hz (la fréquence optimale se situant autour de 500 Hz). La vitesse de la phase lente du NIV était significativement plus importante après stimulation au niveau du vertex à 100 et 300 Hz ( $p=0.04$ ) qu'au niveau des mastoïdes. La composante verticale du NIV était le plus souvent supérieure qu'inférieure. Un NIV était significativement plus souvent observé dans les déhiscences unilatérales que bilatérales ( $p=0.009$ ) et avec une vitesse de phase lente (composante horizontale) plus importante ( $p=0.008$ ). Dans les déficits sévères unilatéraux vestibulaires la fréquence optimale était de 100 Hz et le NIV battait vers le côté intact. La stimulation mastoïdienne était significativement plus efficace que la stimulation du vertex à 60 et 100 Hz ( $p<0,01$ ). **Conclusion :** le TVOV révèle instantanément dans les déhiscences unilatérales du canal semi-circulaire antérieur un nystagmus caractéristique, principalement retrouvé au niveau du vertex, battant, pour les composantes torsionnelle et horizontale, vers le côté lésé et avec une sensibilité étendue vers les hautes fréquences. L'analyse des 3 composants du NIV suggère la stimulation conjointe du canal semi-circulaire antérieur et de l'utricule. Le TVOV agit comme un Weber vestibulaire, montre une asymétrie de la fonction vestibulaire et s'avère un utile pour diagnostiquer la présence d'une déhiscence unilatérale du canal semi-circulaire antérieur.

**Mots clés :** déhiscence canal antérieur; lésion vestibulaire sévère unilatérale;

Nystagmus induit par vibration; stimulations hautes fréquences; fréquence optimale du NIV; topographie optimale du NIV.

**Abréviations:**

VCO : Vibrations conduites par voie osseuse; CSC = canal semi-circulaire; DCA = déhiscence canal antérieur; DCAu = Déhiscence Canal Antérieur unilatérale; DCAb = Déhiscence canal antérieur bilatérale; LUV = Lésion Unilatérale Vestibulaire; LVSU = Lésion Vestibulaire Sévère unilatérale; NIV = Nystagmus induit par vibrations; TVOV = Test de vibration osseux vestibulaire; VPL = Vitesse de phase lente du Nystagmus; cVEMP = cervical Evoked Myogenic Potentials ; PEOMc = potentiels évoqués otolithiques myogéniques cervicaux; oVEMP = ocular Evoked Myogenic Potentials ; PEOM o = potentiels évoqués otolithiques myogéniques oculaires ; TC = Test Calorique; VHIT = Video Head Impulse Test; HST = Head Shaking Test.

## Introduction

Des vibrations conduites par voie osseuse (VCO) appliquées au niveau du crâne, constituent une nouvelle modalité de stimulation des récepteurs vestibulaires et sont actuellement mieux comprises [1]. Elles stimulent les structures otolithiques avec des fréquences de 200-500 Hz [ocular vestibular evoked myogenic potentials (oVEMP) ou cervical vestibular evoked myogenic potentials (cVEMP)] [2] et induisent à 100 Hz un Nystagmus nommé Nystagmus induit par vibration (NIV). Ce nouveau test vestibulaire global doit trouver sa place (analyse fréquentielle du vestibule) parmi d'autres examens vestibulaires de 1er niveau dans l'exploration du réflexe vestibulo-oculaire (RVO) pour guider, orienter vers d'autres explorations ou pratiquer une imagerie ciblée et prouver qu'il s'agit dans le bilan de lésions vestibulaires unilatérales (LUV) communes ou de pathologies vestibulaires moins communes, d'un test rapide non invasif présentant un rapport coût-efficacité intéressant [3-9]. Le test de vibration osseux vestibulaire (TVOV) explore la partie haute du spectre fréquentiel du RVO (le Calorique occupe la partie basse du spectre fréquentiel du RVO à 0.003Hz; les structures otolithiques sont explorées à de plus hautes fréquences (200-700Hz) par EMG comme signalé au-dessus). Le TVOV à 100Hz agit comme un Weber vestibulaire et provoque habituellement un nystagmus à composante horizontale prédominante, battant vers le côté intact dans différentes LUV communes périphériques et se révèle comme un indicateur d'asymétrie de la fonction vestibulaire [7, 10]. Le NIV peut avoir différents aspects et composantes (horizontale, verticale, torsionnelle) selon diverses topographies et fréquences de stimulations et selon les pathologies. De ce fait il est possible de formuler l'hypothèse que le NIV relève de différentes structures, i.e. des canaux semi-circulaires ou des organes otolithiques impliqués dans ces pathologies. A notre connaissance, cette hypothèse n'a pas été explorée en clinique pour les très hautes fréquences. Chez l'animal, l'expérimentation montre que les stimulations osseuses concernent à la fois les afférences nerveuses canalaire et otolithiques à 100Hz mais uniquement les otolithes à 500Hz lorsque le labyrinthe est clos et non déhiscent [1, 10-14]. Dans les tests vestibulaires classiques un nystagmus est habituellement observé quand le RVO est stimulé par des tests canalaire (calorique ou test rotatoire); cependant un nystagmus peut également être observé lors de stimulations otolithiques au cours du RAIG (Rotation autour d'un axe incliné par rapport à la gravité) ou OVAR test (off-axis vestibule rotatory test)- En clinique la fréquence de stimulation du TVOV se situe habituellement entre 60 to 120Hz [4]. Cent Hz est la fréquence la plus communément utilisée [3, 6, 15] et est considérée comme la plus efficace. Une étude préalable de la fréquence élective chez des patients LUV [4] a utilisé des fréquences entre

20 à 150 Hz à amplitude de vibration constante de 0.2mm ; les fréquences optimales ont été observées entre 60 et 120 Hz.

Le TVOV montre habituellement à 100Hz pour des lésions sévères vestibulaires unilatérales (LVSU) à labyrinthe normalement clos, un NIV battant vers le côté intact [10]. Dans les déhiscences du canal antérieur (DCA), le nystagmus induit par pression ou par des sons forts (signe de Hennebert, phénomène de Tullio) est ipsilatéral torsionnel et vertical inférieur correspondant à une stimulation du canal semi-circulaire (CSC) antérieur [16, 17]. Des observations comparables de vibrations du crâne ont décrit un nystagmus à composante verticale et torsionnelle [18-20]. Cependant, dans les DCA une composante horizontale importante et significative du NIV peut être observée [21, 22] et suggère une stimulation concomitante d'autres structures vestibulaires que le seul CSC antérieur si on considère les lois de Flourens et d'Ewald et conformément à la physiologie des stimulations des nerfs canaux [23] ou utriculaire [24]. L'hypothèse d'une possible contribution utriculaire a été émise chez l'animal par Tullio [25], mais également chez l'homme [26]. Une hyper sensibilité vestibulaire aux hautes fréquences a été décrite chez l'animal après création artificielle de DCA [13], mais à notre connaissance aucune étude clinique systématique dans les DCA n'a jusque-là été rapportée avec le TVOV pour les hautes fréquences.

Le premier but de cette étude était de désigner une référence topographique pour les stimulations sur la ligne médiane (front, vertex, occiput) afin de standardiser les résultats. Le second objectif était d'analyser la vitesse de phase lente des différentes composantes du NIV (horizontale, verticale et torsionnelle) à de hautes fréquences (jusqu'à 800 Hz) pour établir les fréquences optimales de stimulation chez des patients DCA. Le dernier but était de comparer la sensibilité du NIV avec celle d'autres tests vestibulaires comme les cVEMP, le test calorique (TC), le Head Shaking Test (HST), le video head impulse test (VHIT).

## **Participants et méthodes**

### **1) Participants**

Les participants n'avaient aucun antécédent psychiatrique ou neurologique et ni les patients ni les

sujets témoins n'avaient pris de médicament un mois au moins avant les enregistrements. Tous les participants ont signé un consentement éclairé avant le recueil des données, en accord avec les lois éthiques actuellement appliquées en France et la déclaration d'Helsinki. Les différentes procédures de stimulations ont été effectuées avec notre matériel vibreur accrédité CE qui est approuvé par le comité d'éthique local.

Quarante patients porteurs d'une DCA non opérée ont été inclus entre 2001 et 2016 (âge moyen  $54 \pm 16$  ans ; min-max: 32-85; 26 femmes et 14 hommes). Parmi eux 27 avaient un DCA unilatéral (DCAu) (âge moyen  $59 \pm 17$  ans, min-max : 39-82, dont 16 femmes et 11 hommes). (ils ont participé aux expériences 3-4). Une sous-catégorie de 14 patients (âge moyen  $53 \pm 1.6$  ans, min-max: 32-82; 8 femmes, 6 hommes) présentant une DCAu a été analysée en 3D et a participé à l'exp 2. Treize patients avaient une DCA bilatérale (DCAb) (âge moyen  $54 \pm 16$  ans, min-max : 32-79, dont 10 femmes et 3 hommes) ont participé aux expériences 3 & 4.

Dix-huit patients LVSU et 11 sujets pour le groupe témoins ont été inclus et étudiés en 3D.

Les patients DCA présentaient une surdité de transmission sur les basses fréquences (en dessous de 1000 Hz) avec conservation du réflexe stapédien et Weber auditif ipsilatéral. Tous les patients ont eu une TDM du rocher reformatée dans l'incidence de Pöschl pour le CSC antérieur confirmative d'une déhiscence supérieure à 3 mm (19 Cone Beam et 21 Scanner haute résolution). Les symptômes comprenaient hyperacousie, autophonie, acouphènes pulsatiles et vertiges induits par des sons ou pressions à différents degrés. La présence d'une amplitude augmentée et de seuils abaissés pour les cVEMP était considérée comme un argument favorable mais non obligatoire. De même, l'observation d'un signe de Hennebert ou d'un phénomène de Tullio, rarement constaté (observé respectivement chez 3 et 5 de nos patients) était considéré comme caractéristique mais n'était pas obligatoire. Ces données sont en accord avec les recommandations de Ward (2017) [32].

Les LVSU étaient définies par un déficit ou une lésion unilatérale vestibulaire (LUV) sévère: hypofonction calorique supérieure à 80% (formule de Jongkees) et une lésion vestibulaire datant de plus de 6 mois. (âge moyen  $60 \pm 11$  ans, min-max: 42-80, 10 femmes and 8 hommes).

Onze avaient été traités par labyrinthectomie chimique avec injection de gentamycine trans-tympanique, 3 présentaient une névrite vestibulaire et 4 une LUV totale (LUVt) (chirurgie translabyrinthique ou neurectomie vestibulaire). Parmi ceux-ci 11 ont été recrutés pour l'expérience n°1, et la totalité (18) pour l'expérience 2.

Les sujets témoins ont été sélectionnés parmi des volontaires normaux (âge moyen  $55 \pm 15$  ans, min-max: 24-70, 7 femmes et 4 hommes). Ces volontaires étaient des collaborateurs hospitaliers sans aucun antécédent de vertige, avec une audition normale, et des tests (calorique et VHIT) normaux.

## **2) Stimulation et explorations vestibulaires: évaluation vestibulaire**

Les caractéristiques de la stimulation par le TVOV étaient similaires dans les différentes expériences, excepté pour la topographie (exp.1) et la fréquence (exp.2) et pour certaines conditions adaptées à la procédure de chaque expérience.

Les autres tests vestibulaires ont été utilisés pour l'inclusion systématique des patients.

### **2.1 TVOV (NIV)**

Dans l'expérience n°1 la stimulation a été appliquée à différents niveaux de la ligne médiane (front, bregma, vertex, occiput, sous-occipital) afin de déterminer la topographie médiane optimale pour les autres expérimentations. Pour les expérimentations 2-4 tous les participants ont été stimulés au niveau du vertex et successivement au niveau de la mastoïde gauche puis droite pendant 10 secondes à chaque endroit (chaque stimulation était séparée de 3 secondes) en utilisant le vibreur Minishaker 4810 (Bruel and Kjaer, Naerum Denmark) tenu par la main dominante. Les participants étaient en position assise. La stimulation mastoïdienne s'effectue dans la région retro-auriculaire en regard du méat auditif externe d'abord sur le côté gauche puis sur le côté droit. La force appliquée au niveau vertex et bregma, est donnée par le poids du vibreur (1 kg) sans autre force surajoutée; le vibreur est simplement maintenu en place (la Force est de  $1 \text{ Kg} \times 9.81 = 9.81 \text{ N}$ ). Pour la topographie mastoïdienne la force statique d'application, évaluée par des capteurs de force dans un travail précédent, est approximativement de

10 N lorsqu'elle est appliquée latéralement sur un mannequin simulant une mastoïde [27]; les enregistrements ont été effectués avec un VNG 2D et/ou 3D, [i.e. yeux ouverts (regard direct médian) derrière un masque vidéoscopique, afin d'identifier un NIV et d'en mesurer sa vitesse de phase lente (VPL, en  $^{\circ}/s$ ).

L'axe du nystagmus peut être horizontal, vertical or torsionnel et sa direction droite ou gauche, supérieure ou inférieure, rotatoire horaire ou antihoraire. Cette procédure de dénomination a déjà été décrite en détail antérieurement [5, 10], le côté étant toujours désigné par rapport au patient.

Pour les expérimentations 1, 3 et 4, la fréquence était 100Hz et pour l'expérimentation 2 la fréquence variait de 10 to 800 Hz.

## 2.2 Test calorique (TC)

Ce test a été enregistré sous VNG selon le protocole de stimulation bi thermique d'Hallpike ( $30^{\circ}$  et  $44^{\circ}C$ ) avec irrigation d'eau dans le méat auditif externe pendant 30 s. Une hypo valence  $>20\%$  était considérée significative.

## 2.3 Head-shaking test (HST)

L'examineur secouait la tête du patient avec une amplitude de  $45^{\circ}$  de chaque côté dans un plan horizontal pendant 20 s à une fréquence d'environ 2 Hz, (enregistrement VNG). Le test était considéré positif quand au moins une secousse nystagmique était observée.

## 2.4 Video Head impulse test (VHIT)

Le test était effectué sur un sujet assis avec le système VHIT d'Ulmer [Synapsys Inc., France] avec échantillonnage d'images à 100 Hz. Cet appareil filme la position de l'œil et montre d'éventuelles covert-saccades. Il analyse également le gain du RVO. L'examineur provoquait des impulsions de la tête ( $10-20^{\circ}$  d'amplitude) à des vitesses supérieures à  $200^{\circ}/s$  dans le plan du canal horizontal, du canal antérieur, et du canal postérieur. Les résultats étaient considérés anormaux pour le canal Horizontal quand le gain du RVO était  $< 80\%$  et pour les canaux verticaux lorsque le gain était  $<70\%$  [28].

## 2.5 Potentiels évoqués otolithiques myogéniques cervicaux (PEOMc ou cVEMP)

Les patients étaient en décubitus dorsal étendus sur un brancard et devaient tourner leur tête du côté opposé à l'oreille stimulée. Ce protocole a été décrit en détail préalablement dans un précédent travail [21]. Les stimuli auditifs délivrés par des écouteurs (TDH 39) étaient des short-tone bursts à une fréquence de 500 Hz (de 105 dB à 70 dB nHL, durée de montée/descente de 1 ms, plateau de 2 ms). Les cVEMP (ou PEOMc) ont été enregistrés avec l'appareil Racia Centor (Racia Biomedical Inc., France). Cent à deux cents stimulations ont été moyennées de chaque côté. Le pourcentage d'asymétrie des cVEMP chez les patients présentant des lésions unilatérales a été mesuré en calculant le ratio de différence de potentiel (RDP) comme suit  $RDP = \frac{GA-PA}{GA+PA} \times 100$ , où PA correspond à la plus petite amplitude de P13-N23 pic-à-pic et GA est l'amplitude la plus grande pour P13-N23 pic-à-pic. Pour les lésions unilatérales, le test était considéré comme positif dans notre centre lorsque la différence d'amplitude entre les 2 côtés était supérieure à 50%. Dans les cas bilatéraux, le test était considéré positif quand le seuil des cVEMP était au-dessous de 80 dB nHL.

Les 4 expérimentations ont été effectuées par le même examinateur (GD) et dans l'ordre suivant:

### 3 Expérimentation 1 : optimisation topographique du stimulus sur la ligne médiane à 100 Hz.

#### 3.1 Participants

Onze patients parmi les 18 cas de lésions vestibulaires sévères unilatérales (LVSU) ont été inclus: 7 avaient été traités par gentalline trans tympanique, 3 avaient une névrite vestibulaire, un patient avait subi une neurectomie vestibulaire. L'âge était de  $62 \pm 16$  ans, min-max: 43-80, dont 6 femmes et 5 hommes.

#### 3.2 Procédure

Afin d'identifier le site optimal pour les stimulations de la ligne médiane, l'expérimentation n°1 a été effectuée à 100 Hz dans les LVSU: une stimulation de 10 secondes a été appliquée sans pression supplémentaire que celle du seul poids du vibreur sur la ligne médiane du crâne au niveau frontal (Fz), Bregma (Br), vertex (Vx), et avec une pression manuelle habituelle sur l'occiput (Occ) et la région sous occipitale (SOcc). La VPL du NIV a été enregistrée sous

vidéo nystagmographie (VNG 3D) (Synapsys, Marseille, Inc, France).

Cette expérimentation a été effectuée avant les suivantes pour situer la topographie optimale de stimulation sur la ligne médiane.

#### **4 Expérimentation 2: comparaison de patients DCAu, LVSu et sujets normaux stimulés à différentes fréquences et topographies.**

Dans cette expérience une analyse 3D a été utilisée pour vérifier l'influence de la fréquence et de la topographie de la stimulation sur les composantes du NIV (horizontal torsionnel or vertical).

##### 4.1 Participants

- Parmi les 27 cas qui présentaient un DCAu : 14 cas (âge moyen  $53 \pm 1.6$  ans, min-max: 32-82; 8 femmes, 6 hommes) ont pu être enregistrés en 3D (Tableau I) à différentes fréquences (10-800 Hz). Ils ont été comparés à 18 patients LVSu et à 11 volontaires normaux analysés en 3D.

##### 4.2 Procédure

Les 18 patients LVSu, 14 DCAu et 11 témoins ont été stimulés par des vibrations de 10 à 800Hz (Minishaker 4810, Bruel & Kjaer) sur chaque mastoïde successivement et au niveau vertex sur la ligne médiane. Les composants (Horizontal, Vertical et Torsionnel) du NIV ont été enregistrés en VNG 3D et la VPL du NIV analysée.

#### **5 Expérimentation 3: Sensibilité du NIV dans les déhiscences unilatérales (DCAu) vs. bilatérales (DCAb)**

##### 5.1 Participants

Vingt-sept patients DCAu et 13 DCAb ont été inclus:-

##### 5.2 Procédure

La stimulation a été effectuée à 100 Hz sur le vertex et chaque mastoïde. Le NIV a été enregistré sur VNG 2D et la VPL analysée (moyenne des valeurs obtenues sur la mastoïde du côté gauche et droit). La VPL horizontale du NIV a été comparée pour chaque population. Les résultats ont été exprimés sous forme de moyenne  $\pm$  SD.

## **6 Expérimentation 4: sensibilité du NIV dans uSCD et bSCD vs autres tests.**

Le TVOV, TC, HST, VHIT et cVEMP ont été effectués chez des patients DCAu (n=27) et DCAb (n=13). Les pourcentages de résultats positifs (résultats anormaux) pour chacun de ces tests vestibulaires ont été comparés pour les 2 groupes de patients

## **7 Analyse statistique**

L'analyse statistique a utilisé une ANOVA (Expérimentation 1-3) et le test Cochran Q (Expérimentation 4) avec le software GraphPad Prism (GraphPad, Inc., La Jolla, CA, USA). Dans l'expérimentation 2, le test ANOVA suivi par un post-hoc Tukey's test a été effectué pour établir les fréquences et topographies optimales pour les 3 populations. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne  $\pm$  s.e.m.

Des différences statistiquement significatives ont été retenues pour un niveau de probabilité de  $p < 0.05$ .

## **Résultats**

### ***Expérimentation 1***

#### **- Topographie optimale sur la ligne médiane (LVSu, n =11)**

Pour la composante horizontale du NIV les valeurs de la VPL ont montré une distribution normale. Aucune différence significative a été observée quelle que soit la localisation sur la ligne médiane à 100 Hz (mesures répétées ANOVA:  $F=0,52$ ,  $p=0,87$ ).

Pour la composante verticale les VPL du NIV étaient anormalement distribuées et la log-transformation des données n'était pas possible (plusieurs valeurs 0). Aucune différence significative n'a été observée quelle que soit la localisation à 100 Hz (Friedman test:  $\chi^2=3,54$ ,  $p=0,47$ ). Des résultats similaires ont été observés pour la composante torsionnelle qui montrait de faibles valeurs. De ce fait, pour les stimulations de la ligne médiane, le vertex, qui est en pratique clinique la localisation médiane la plus utilisée, a été arbitrairement choisie comme stimulation de référence de la ligne médiane pour les expérimentations n°2-4.

### ***Expérimentation 2***

- **Fréquence optimale LVSu / DCAu / Témoins (Figure 1)**

o **LVSu (n=18)**

-Les phases rapides du NIV battaient toujours vers le côté opposé à l'oreille lésée (Table 1).

-*Composante horizontale* : différentes fréquences induisaient des valeurs différentes de la VPL ( $p < 0,0001$ ).  $n = 18$  (ANOVA). Les comparaisons ont montré que 100 Hz était la fréquence optimale pour induire la plus grande VPL pour la composante horizontale du NIV: pour la stimulation mastoïde droite, la VPL du NIV était plus importante à 100 Hz ( $12,33 \pm 1,81^\circ/s$ ) que pour toutes les autres fréquences ( $p < 0,001$ ). NIV-VPL 60Hz =  $6,52 \pm 1,05^\circ/s$  (60Hz vs 100Hz  $p < 0,01$ ); 200Hz NIV-VPL =  $3,43 \pm 0,83^\circ/s$  (200Hz vs 100Hz  $p < 0,0001$ ); 500Hz NIV-VPL =  $0,28 \pm 0,05^\circ/s$  (500Hz vs 100Hz  $< 0,0001$ ). Des résultats similaires ont été obtenus pour la mastoïde gauche à 100Hz ( $13,76 \pm 2,28^\circ/s$ ), 30Hz ( $6,65 \pm 1,84^\circ/s$ ), 200Hz ( $3,87 \pm 0,86^\circ/s$ ), 500Hz ( $0,39 \pm 0,06^\circ/s$ ) et les stimulations du vertex ont montré des VPL plus faibles ( $4,5 \pm 1,06^\circ/s$ ) à 100Hz (Fig.1).

-*composante verticale*: des fréquences différentes entraînent des différences de la VPL du NIV ( $p = 0,0001$ ). On a relevé des réponses plus amples (comme pour le composant horizontal) à 100Hz que pour les fréquences plus basses (60Hz) ou plus hautes (200-400Hz) (Fig.1) Cependant, les comparaisons (ANOVA test) n'ont pas montré de différences significatives (les valeurs de la VPL du NIV pour cette composante étaient faibles et la population peu importante). A 100 Hz pour la mastoïde droite NIV -VPL était  $1,25. \pm 0,63^\circ/s$ . Des valeurs semblables ont été observées pour la mastoïde gauche ( $0,94 \pm 0,37^\circ/s$ ) et plus faibles pour le Vertex (VX) ( $0,72 \pm 0,27^\circ/s$ ).

A 60 Hz, pour la mastoïde droite, les valeurs de NIV-VPL étaient  $0,34 \pm 0,06^\circ/s$ , à 200 Hz  $0,69 \pm 0,23^\circ/s$ , à 500 Hz  $0,12 \pm 0,01^\circ/s$ .

- *Composante torsionnelle*: à 100 Hz sur la mastoïde gauche, la VPL du NIV était  $2,44 \pm 0,72^\circ/s$ . Elle était de  $1,44 \pm 0,24^\circ/s$  à 60Hz;  $2,06 \pm 0,42^\circ/s$  à 200Hz et  $0,25 \pm 0,07^\circ/s$  à 500Hz.

La VPL du NIV à 100HZ était significativement plus grande pour la composante horizontale que la composante verticale ou la composante torsionnelle qui restaient faibles ( $13,76 \pm 2,28^\circ/s$ ;  $0,94 \pm 0,37^\circ/s$ ;  $2,44 \pm 0,72^\circ/s$  respectivement,  $p < 0,01$ ).

Les patients LVSu signalent habituellement, lors des stimulations, une sensation de latéro-pulsion vers le côté sain (16 patients sur 18).

o **DCAu (n=14)**

La direction du NIV (horizontale et torsionnelle) battait vers le côté lésé dans 92% des cas (Table 1).

Le spectre fréquentiel des réponses était beaucoup plus étendu vers les hautes fréquences jusqu'à 700 ou 800 Hz sans fréquence optimale clairement et significativement individualisée pour les mesures de la VPL (composantes horizontales et verticales) du NIV (ANOVA non significatif) (Fig 1).

- *Composante horizontale*: la VPL du NIV semblait plus importante à 400 et 500 Hz sans que les valeurs obtenues aient été significativement différentes de celles observées sur d'autres fréquences. La valeur moyenne de la VPL à 500 Hz pour la mastoïde gauche (LM) était  $4,09 \pm 2,51$  °/s. La valeur moyenne pour la mastoïde droite (RM) à 400 Hz était  $4,52 \pm 1,78$  °/s. La valeur moyenne à 100Hz pour la mastoïde gauche était  $2,46 \pm 0,67$ °/s et pour la mastoïde droite était  $2,96 \pm 0,87$ °/s. Pour les stimulations du vertex, des réponses plus importantes ont été observées à 300 Hz [ $8,09 \pm 4,46$ °/s].

- *Composante verticale*: la VPL du NIV sur la mastoïde droite (RM) à 400 Hz était  $4.46 \pm 2.12$ °/s et au niveau du vertex à 300 Hz était  $8,21 \pm 3,97$ °/s. Pour RM à 100Hz  $1,93 \pm 0,21$ °/s et au niveau du vertex à 100Hz  $1,40 \pm 0,27$ °/s. Chez 4 patients, le nystagmus vertical inférieur observé sous vidéoscopie dans le regard médian était fortement augmenté lorsque le regard était dirigé vers le plan du canal antérieur déhiscent et l'enregistrement effectué sur l'œil ipsilatéral à la lésion.

-*Composante torsionnelle*: la VPL du NIV semblait plus importante pour des fréquences de 400 et 500 Hz sans que les valeurs obtenues aient été significativement différentes de celles observées à d'autres fréquences. La valeur moyenne de la VPL à 500 Hz pour LM était  $5,64 \pm 3,27$ °/s. La valeur moyenne pour RM à 400 Hz était  $5,57 \pm 3,03$ °/s. Pour le vertex la valeur moyenne de la VPL à 300 Hz était  $6,60 \pm 2,70$ °/s. Il n'a pas été noté de différence significative sur l'enregistrement après stimulation effectuée ipsilatéralement ou contralatéralement.

Il n'a pas été trouvé de différence significative entre les composantes horizontales, verticales, et torsionnelles pour la VPL du NIV. La figure 2 montre un enregistrement 3D (trace directe) chez un patient DCAu. Dans les DCAu une augmentation de la sensibilité pour des fréquences plus hautes que 100Hz a été observée dans 65% nos cas (9 patients/ 14). Des fréquences de stimulations inférieures à 100Hz montraient des VPL du NIV plus basses.

Les patients qui présentaient des DCAu (16 patients sur 27) signalaient habituellement après stimulations répétées des sensations d'instabilité avec nausée ou des symptômes pouvant être attribués à des manifestations otolithiques.

○ **Sujets témoins (n=11)**

Il n'a pas été observé de différence significative pour la VPL du NIV aux différentes fréquences et topographies de stimulations (Fig. 1). Aucun nystagmus n'a été observé chez 62% des sujets. Un NIV de très faible intensité, non reproductible a été retrouvé dans 38% des cas. Ce nystagmus changeait le plus souvent de direction selon le côté stimulé (inconstance, non reproductibilité) ou n'était observé que dans une seule topographie. Sa VPL (observée seulement pour les composantes horizontales ou verticales) était  $< 2^\circ/s$  dans 30% et  $< 3^\circ/s$  dans les autres 8% de sujets normaux.

Les critères de validité pour un NIV significatif et un test TVOV positif sont :

- La consistance: le NIV doit battre dans la même direction et doit être retrouvé dans au moins 2 sur 3 des locations crâniennes (mastoïde gauche, mastoïde droite, vertex) (e.g. un NIV battant vers la droite après une stimulation mastoïdienne droite, et vers la gauche après stimulation mastoïdienne droite n'est pas valide: le test est négatif).
- La reproductibilité: un NIV dont la direction change (vers la droite puis vers la gauche pour une même topographie de stimulation) après 2 essais ou qui disparaît au 2<sup>ème</sup> essai rend le test négatif.
- L'intensité : un VPL du NIV  $< 2,5^\circ/s$  rend le résultat du test douteux ou négatif.

○ **Comparaison de la sensibilité fréquentielle dans les DCAu et LVSu (Fig. 1)**

Pour la composante horizontale, la VPL du NIV dans les DCAu était significativement plus importante que chez les LVSu à 400 Hz pour la stimulation mastoïdienne droite ( $p < 0,01$ ) et à 500 Hz pour la mastoïde gauche ( $p < 0,05$ ). Pour les stimulations du vertex: dans les DCAu, la VPL horizontale du NIV à 300 Hz était significativement plus importante que dans les LVSu ( $p < 0,001$ ). Des résultats similaires montrant une sensibilité plus importante pour les hautes fréquences dans les DCAu ont été

observés pour la composante torsionnelle au niveau des stimulations mastoïdiennes à 400 et 500 Hz ( $p < 0,05$ ).

Des résultats similaires ont été observés pour la composante verticale et des réponses plus importantes obtenues dans les DCAu que dans les LVSu à de hautes fréquences entre 400 to 700 Hz pour les stimulations mastoïdiennes et du vertex ( $p < 0,05$ ).

Inversement, la VPL du NIV (composant horizontal) à 30, 60 et 100 Hz était plus grande chez les LVSu que chez les DCAu pour les stimulations des 2 mastoïdes ( $p < 0,001$ ).

- **Topographie optimale dans les DCAu vs LVSu** (Figure 1).

Dans les DCAu, la stimulation du vertex était significativement plus efficace que la stimulation mastoïdienne pour les composantes horizontales, verticales et torsionnelles à 300 Hz ( $p < 0,05$ ) mais pas pour les fréquences plus hautes.

Dans les LVSu, la stimulation mastoïdienne à 30, 60 et 100 Hz s'est montrée significativement plus efficace pour les composantes horizontales et torsionnelles que celle du vertex ( $p < 0,001$ ). La valeur de la VPL du VIN sur les mastoïdes était significativement plus haute dans les LVSu vs. DCAu à 30, 60 et 100 Hz ( $p < 0,001$ , ANOVA).

Les valeurs de la VPL du NIV sur le vertex étaient significativement plus importantes chez les DCAu vs. LVSu pour la composante horizontale à 300Hz ( $p < 0,001$ ), pour la composante verticale à 60Hz ( $p < 0,01$ ), 300Hz ( $p < 0,001$ ) et 400Hz ( $p < 0,05$ ) et pour la composante torsionnelle à 300Hz ( $p < 0,001$ ). Pour le groupe témoin, il n'a pas été identifié de topographie optimale dans la mesure où aucune réponse acceptable n'a pu être identifiée. Lorsqu'un nystagmus était observé sa direction changeait avec le côté (inconstance) et la valeur moyenne de la VPL du NIV était inférieure à 2,5°/s.

**Expérimentation 3: Comparaison des résultats DCAu vs DCAb** (Figure 3 & Tableau 2)

Lors de stimulations du vertex, le NIV était plus souvent observé dans DCAu (88%) que DCAb (50%) ( $p = 0,009$ ). Dans les DCAu, le NIV battait le plus souvent vers le côté lésé (95%). La composante verticale battait le plus souvent vers le haut (60%).

La VPL du NIV était significativement plus grande chez les DCAu que les DCAb ( $p = 0,0082$ ):

Les résultats obtenus par stimulation au niveau du vertex ont varié selon les pathologies, et la VPL était plus grande dans les DCAu [ $5,66 \pm 8,40^\circ/s$ ] que dans les DCAb [ $1,50 \pm 3,95^\circ/s$ ] ( $F=7,5$ ;  $p = 0,0082$ , ANOVA).

Il en a été de même pour les stimulations mastoïdiennes: la VPL du NIV était plus grande dans les DCAu [ $4,09 \pm 6,93^\circ/s$ ] que dans les DCAb [ $0,84 \pm 2,03^\circ/s$ ] ( $F=6,24$ ;  $p = 0,0147$ , ANOVA).

***Expérimentation 4: Comparaison des résultats du TVOV dans les DCAu avec ceux d'autres tests vestibulaires*** (Tableau 2).

Dans les DCAu ( $n = 27$ ) la sensibilité du TVOV a été plus grande que celle du Calorique (TC), du head shaking test, et du VHIT ( $p < 0,001$ , Friedmann test). Le TVOV était positif dans 24/27 cas, le TC dans 3/23, HST dans 5/25 et le VHIT dans 6/21) mais n'était pas différent de celui des cVEMP (19/26) ( $p > 0,5$ ) (Tableau 2). Dans les DCAb, aucune différence de sensibilité entre les tests n'a été retrouvée : TVOV (7 cas positifs sur 13), TC (3/12), HST (5/11), VHIT (3/11), cVEMP (9/12) ( $p=0,88$ ). Il n'existait pas de différence significative du cVEMP et du TVOV dans les DCAb (Tableau 2).

## **Discussion**

Le test de vibration osseux vestibulaire permet le dépistage d'une asymétrie vestibulaire chez des patients présentant une lésion vestibulaire unilatérale [5, 9, 29] et est utilisé comme un Weber vestibulaire [21]. Les expérimentations animales ont montré que des vibrations par voie osseuse stimulaient à la fois les afférents canaux et otolithiques [13, 14]. Ce test a montré son utilité dans l'orientation éventuelle des patients vers d'autres consultations (neurologique), pour décider d'explorations vestibulaires de 2<sup>ème</sup> niveau ou d'une imagerie ciblée, afin d'améliorer la qualité du diagnostic et la décision chirurgicale.

Dans les surdités de transmission avec DCA confirmée par le scanner, nous avons antérieurement signalé que les composantes du NIV (horizontale et torsionnelle) battaient vers le côté lésé (en raison de la modification de la conduction osseuse au niveau de l'oreille interne due à l'existence d'une 3<sup>ème</sup> fenêtre) [21] et était associée à une "hyperacousie osseuse" [16, 17]. A l'inverse de ce qu'on constate dans les lésions vestibulaires sévères unilatérales où le NIV est de type lésionnel battant vers le côté

sain [5, 10], un NIV battant vers le côté lésé est fortement évocateur d'une DCA [21]. Cependant, il peut également être observé dans d'autres malformations labyrinthiques associées à une 3<sup>ème</sup> fenêtre (e.g. aqueduc vestibulaire élargi) [30]. Dans les LVSu (avec labyrinthe normalement clos), de plus grandes réponses sont observées à 100 Hz pour la composante horizontale (les composantes verticales et torsionnelles restent pauvres) et aucune réponse n'est constaté à 500 Hz. Par contre, les patients DCa montrent une plus grande sensibilité pour les hautes fréquences; des réponses ont été parfaitement identifiées jusqu'à 500 Hz sans qu'il existe toutefois de fréquence élective et on a retrouvé de façon significative des valeurs de la VPL des composantes (verticale et torsionnelle) plus grandes que dans les LVSu. L'intérêt d'utiliser des stimulations très hautes fréquences dans les DCA a déjà été signalé pour les oVEMP [31]. Nos résultats suggèrent que différentes structures anatomiques peuvent être stimulées par le TVOV dans ces 2 populations : pour les LVSu principalement le canal horizontal et à un degré moindre l'utricule à 100 Hz et pour les DCAu à la fois principalement le canal antérieur et l'utricule activés jusqu'à 500 Hz. Dans les DCAu, les composantes les plus souvent observées sont torsionnelle et horizontale tandis que la composante verticale bat le plus souvent vers le haut, suggérant que le CSC n'est probablement pas la seule structure stimulée. Nous avons cependant pu observer chez 23 % de nos patients un NIV battant vers le bas lorsque le regard était dirigé vers le côté de la lésion en stimulation du vertex et lorsque l'axe oculaire était placé dans le même plan que le canal déhiscent; nous avons pu observer ce signe dans plus fréquemment que le signe de Hennebert que nous avons rarement noté. Le nystagmus habituellement torsionnel ipsilatéral et vertical inférieur induit par les sons (phénomène de Tullio) ou la pression (signe de Hennebert) attribué à l'activation du CSC antérieur déhiscent [16, 17] ne semble pas pouvoir expliquer la totalité des composantes du NIV observées dans notre travail. La composante horizontale peut être expliquée par la stimulation concomitante de l'utricule comme suggéré par Halmagyi [26] et par la physiologie [24]. Par ailleurs, Tullio chez des animaux éveillés présentant une déhiscence artificiellement créé a décrit des mouvements de la tête ou des contractions musculaires. Sur l'oreille du pigeon il a été observé que le mur membraneux de l'utricule oscillait et chez quelques animaux (lapins) une modification des mouvements oculaires équivalente à une ocular tilt réaction. Ces résultats concordent avec ceux de réponses obtenues au niveau des neurones primaires des canaux chez le cobaye en stimulations osseuses (VCO): chez les animaux avec labyrinthe normalement clos, les neurones canaux peuvent être activés par VCO seulement pour de basses fréquences (100-200

Hz), mais pas pour des fréquences de 500 Hz [13]. Cette sensibilité élective des neurones canaux pour les basses fréquences est concordante avec l'obtention élective d'un NIV aux basses fréquences dans les LVSu constatée dans notre travail. Chez les patients LVSu, la direction de la phase rapide du nystagmus se fait du côté opposé à la lésion, les seuls neurones du côté sain étant activés. Après création d'une déhiscence, les neurones canaux peuvent être activés par des VCO à basses fréquences mais aussi pour de hautes fréquences, même au-delà de 745 Hz [1, 13]. Cette constatation concorde avec le déplacement vers les hautes fréquences de la sensibilité du NIV retrouvée dans notre étude chez les patients DCAu. Chez les patients DCAu, la direction du nystagmus s'effectue vers le côté malade, les neurones canaux du côté atteint étant seuls activés, produisant un nystagmus dont les phases lentes vont du côté opposé au côté lésé. On peut ainsi conclure que le TVOV se comporte comme un Weber vestibulaire [10, 21].

La constatation d'une sensibilité du NIV dans les DCAb inférieure à celle des DCAu peut être corrélée au fait que le NIV est un indicateur d'asymétrie vestibulaire (Weber vestibulaire). En cas de lésion partielle bilatérale symétrique ou légèrement asymétrique, le test reste négatif or montre une VPL du NIV très basse. De fait, dans les DCAb lorsque les 2 côtés sont atteints, l'asymétrie peut être minime. Dans cette situation, les cVEMP semblent plus adaptés et permettent de mieux analyser séparément chaque côté.

En pratique clinique le TVOV, examen de 1er niveau pour l'exploration du RVO, peut aider le clinicien à prendre une décision dans certains cas ambigus (déhiscence vraie ou persistance d'une mince pellicule osseuse) en cas de vertige invalidant. Les résultats radiologiques ont montré de possibles discordances en cas de DCA entre les données du scanner des rochers et les constatations chirurgicales [32-34]. Des symptômes similaires sont décrits dans des canaux antérieurs « presque déhiscentes » [32]. Il a été suggéré que les cVEMP constituaient le meilleur indicateur clinique en cas de DCA [35]. Dans ce travail nous avons démontré que le TVOV dans les DCAu fournit des réponses aussi fiables que les cVEMP, et plus efficaces que les autres tests vestibulaires usuels. Govender et al. 2016 [35] ont montré que les cVEMP étaient significativement modifiés dans seulement 82% des DCA. Zuniga et al. [36] ont retrouvé dans 29 DCA chirurgicalement vérifiées que les seuils des cVEMP étaient obtenus avec une sensibilité de 80% (spécificité de 100%) et l'amplitude des oVEMP avec une sensibilité de 90%. Dans notre étude, nous avons observé pour le TVOV une sensibilité de

88 % et une spécificité de 62% (absence totale de nystagmus).

### **Conclusion**

Chez des patient présentant une surdité de transmission unilatérale à tympan normal, l'utilisation du test de vibration osseux vestibulaire avec observation d'un NIV préférentiellement obtenu au niveau du vertex et dont les composantes torsionnelles et horizontales battent vers le côté lésé à 100 Hz et pour des fréquences plus hautes (jusqu'à 700 Hz), est fortement évocateur d'une déhiscence du canal antérieur. Le test de vibration osseux vestibulaire révèle instantanément un NIV caractéristique et agit comme un Weber vestibulaire. Il est plus sensible pour révéler des déhiscences unilatérales du canal antérieur que bilatérales. Un NIV à composante principalement verticale inférieure peut être préférentiellement observé chez des patients lorsque le regard est dirigé vers le plan du canal antérieur déhiscent. Nous proposons que le test de vibration osseux vestibulaire (nystagmus induit par vibration) soit considéré comme un indicateur utile en pratique clinique dans le diagnostic des déhiscences unilatérales du canal antérieur.

### **Conflits**

Pas de conflit d'intérêt

**Remerciements :** les auteurs remercient le Dr. M. Dols du département de statistique, Patrice Jousse pour l'iconographie (Université Grenoble Alpes) et le Pr. IS Curthoys (Vestibular Research Laboratory, the University of Sydney) pour ses conseils et sa documentation.

## References

- [1] Curthoys IS, Vulovic V, Burgess AM, Manzari L, Sokolic L, Pogson J, Robins M, Mezey LE, Goonetilleke S, Cornell ED *et al*: Neural basis of new clinical vestibular tests: otolithic neural responses to sound and vibration. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 2014, 41(5):371-380.
- [2] Todd NP, Rosengren SM, Colebatch JG: A utricular origin of frequency tuning to low-frequency vibration in the human vestibular system? *Neurosci Lett* 2009, 451(3):175-180.
- [3] Lucke K: [A vibratory stimulus of 100 Hz for provoking pathological nystagmus (author's transl)]. *Z Laryngol Rhinol Otol* 1973, 52(10):716-720.
- [4] Dumas G, Michel J, Lavieille JP, Ouedraogo E: [Semiologic value and optimum stimuli trial during the vibratory test: results of a 3D analysis of nystagmus]. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 2000, 117(5):299-312.
- [5] Dumas G, Perrin P, Schmerber S: Nystagmus induced by high frequency vibrations of the skull in total unilateral peripheral vestibular lesions. *Acta Otolaryngol* 2008, 128(3):255-262.
- [6] Dumas G, Perrin P, Ouedraogo E, Schmerber S: How to perform the skull vibration-induced nystagmus test (SVINT). *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis* 2016, 133(5):343-348.
- [7] Dumas G, Perrin P, Schmerber S, Lavieille JP: [Nystagmus and vibration test research of mechanisms, theoretical methods: on 52 cases of unilateral vestibular lesions]. *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord)* 2003, 124(2):75-83.
- [8] Park H, Lee Y, Park M, Kim J, Shin J: Test-retest reliability of vibration-induced nystagmus in peripheral dizzy patients. *J Vestib Res* 2010, 20(6):427-431.
- [9] Park H, Hong SC, Shin J: Clinical significance of vibration-induced nystagmus and head-shaking nystagmus through follow-up examinations in patients with vestibular neuritis. *Otol Neurotol* 2008, 29(3):375-379.
- [10] Dumas G, Curthoys IS, Lion A, Perrin P, Schmerber S: The Skull Vibration-Induced Nystagmus Test of Vestibular Function-A Review. *Front Neurol* 2017, 8:41.
- [11] Curthoys IS, MacDougall HG, Vidal PP, de Waele C: Sustained and Transient Vestibular Systems: A Physiological Basis for Interpreting Vestibular Function. *Front Neurol* 2017, 8:117.
- [12] Curthoys IS, Kim J, McPhedran SK, Camp AJ: Bone conducted vibration selectively activates irregular primary otolithic vestibular neurons in the guinea pig. *Exp Brain Res* 2006, 175(2):256-267.
- [13] Curthoys IS, Grant JW: How does high-frequency sound or vibration activate vestibular receptors? *Exp Brain Res* 2015, 233(3):691-699.
- [14] Curthoys IS: The new vestibular stimuli: sound and vibration-anatomical, physiological and clinical evidence. *Exp Brain Res* 2017, 235(4):957-972.
- [15] Ohki M, Murofushi T, Nakahara H, Sugasawa K: Vibration-induced nystagmus in patients with vestibular disorders. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2003, 129(3):255-258.
- [16] Cremer PD, Minor LB, Carey JP, Della Santina CC: Eye movements in patients with superior canal dehiscence syndrome align with the abnormal canal. *Neurology* 2000, 55(12):1833-1841.
- [17] Minor LB: Superior canal dehiscence syndrome. *Am J Otol* 2000, 21(1):9-19.
- [18] White JA, Hughes GB, Ruggieri PN: Vibration-induced nystagmus as an office procedure for the diagnosis of superior semicircular canal dehiscence. *Otol Neurotol* 2007, 28(7):911-916.

- [19] Aw ST, Aw GE, Todd MJ, Bradshaw AP, Halmagyi GM: Three-dimensional vibration-induced vestibulo-ocular reflex identifies vertical semicircular canal dehiscence. *J Assoc Res Otolaryngol* 2011, 12(5):549-558.
- [20] Manzari L, Modugno GC, Brandolini C, Pirodda A: Bone vibration-induced nystagmus is useful in diagnosing superior semicircular canal dehiscence. *Audiol Neurootol* 2008, 13(6):379-387.
- [21] Dumas G, Lion A, Karkas A, Perrin P, Perottino F, Schmerber S: Skull vibration-induced nystagmus test in unilateral superior canal dehiscence and otosclerosis: a vestibular Weber test. *Acta Otolaryngol* 2014, 134(6):588-600.
- [22] Park HJ, Shin JE, Lim YC, Shin HA: Clinical significance of vibration-induced nystagmus. *Audiol Neurootol* 2008, 13(3):182-186.
- [23] Cohen B, Suzuki JI, Bender MB: Eye Movements from Semicircular Canal Nerve Stimulation in the Cat. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1964, 73:153-169.
- [24] Suzuki JI, Tokumasu K, Goto K: Eye movements from single utricular nerve stimulation in the cat. *Acta Otolaryngol* 1969, 68(4):350-362.
- [25] Tullio P: *Das Ohr und die Entstehung der Sprache und Schrift*. Oxford, England: Urban & Schwarzenberg, 1929.
- [26] Halmagyi GM, Curthoys IS, Colebatch JG, Aw ST: Vestibular responses to sound. *Ann N Y Acad Sci* 2005, 1039:54-67.
- [27] Dumas G, Lion A, Perrin P, Ouedraogo E, Schmerber S: Topographic analysis of the skull vibration-induced nystagmus test with piezoelectric accelerometers and force sensors. *Neuroreport* 2016, 27(5):318-322.
- [28] McGarvie LA, MacDougall HG, Halmagyi GM, Burgess AM, Weber KP, Curthoys IS: The Video Head Impulse Test (vHIT) of Semicircular Canal Function - Age-Dependent Normative Values of VOR Gain in Healthy Subjects. *Front Neurol* 2015, 6:154.
- [29] Hamann KF, Schuster EM: Vibration-induced nystagmus - A sign of unilateral vestibular deficit. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 1999, 61(2):74-79.
- [30] White J, Krakovitz P: Nystagmus in Enlarged Vestibular Aqueduct: A Case Series. *Audiol Res* 2015, 5(1):120.
- [31] Manzari L, Burgess AM, McGarvie LA, Curthoys IS: An indicator of probable semicircular canal dehiscence: ocular vestibular evoked myogenic potentials to high frequencies. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2013, 149(1):142-145.
- [32] Ward BK, Carey JP, Minor LB: Superior Canal Dehiscence Syndrome: Lessons from the First 20 Years. *Front Neurol* 2017, 8:177.
- [33] Williamson RA, Vrabec JT, Coker NJ, Sandlin M: Coronal computed tomography prevalence of superior semicircular canal dehiscence. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2003, 129(5):481-489.
- [34] Sequeira SM, Whiting BR, Shimony JS, Vo KD, Hullar TE: Accuracy of computed tomography detection of superior canal dehiscence. *Otol Neurotol* 2011, 32(9):1500-1505.
- [35] Govender S, Fernando T, Dennis DL, Welgampola MS, Colebatch JG: Properties of 500Hz air- and bone-conducted vestibular evoked myogenic potentials (VEMPs) in superior canal dehiscence. *Clin Neurophysiol* 2016, 127(6):2522-2531.
- [36] Zuniga MG, Janky KL, Nguyen KD, Welgampola MS, Carey JP: Ocular versus cervical VEMPs in the diagnosis of superior semicircular canal dehiscence syndrome. *Otol Neurotol* 2013, 34(1):121-126.

### **Tableau 1 NIV dans les LVSu et les DCAu à 100 Hz (Expérimentation 2).**

Population et résultats de stimulations à 100 Hz pour les différentes composantes 3D du NIV (H: horizontale ; V: verticale; T : torsionnelle) et leurs directions (Up : up beating = battant vers le haut; Dw : down beating= battant vers le bas).

SUVL : severe unilateral vestibular lesion = LVSu : lésion vestibulaire sévère unilatérale ; uSCD : unilateral superior semicircular canal dehiscence = DCAu : déhiscence CSC antérieur unilatérale ; ItG: intratympanic gentamicin (injection intra-tympanique de gentamycine); VN: vestibular neuritis (névrite vestibulaire); VNrect: vestibular neurectomy (neurectomie vestibulaire).

R: right side (côté droit); L: left side (côté gauche); ...= no data (pas de donnée).

CaT: Caloric Test (Test calorique); HST: Head Shaking Test ; L: HSN beating toward the left = Head Shaking nystagmus battant à gauche; R: HSN toward the right = Head Shaking nystagmus battant à droite; VHIT: Video Head Impulse Test; RA: Right anterior canal dysfunction = dysfonction du canal antérieur droit; RH: right Horizontal canal dysfunction = dysfonction du canal horizontal droit; RP: right posterior canal dysfunction = dysfonction du canal postérieur droit; LA, LH, LP: same signification for the left side = même signification pour le côté gauche.

La dimension estimée de la déhiscence est donnée en mm.

Les composantes du NIV (horizontale et torsionnelle) battent toujours vers le côté intact dans les LVSu (SUVL) et le plus souvent du côté de la lésion dans les DCAu (uSCD). Un NIV up beating (battant vers le haut) est le plus souvent observé dans les DCAu (uSCD).

L'intensité des réponses NIV au niveau mastoïdien et vertex est notée avec + ou ++ selon évaluation semi-quantitative du nystagmus induit.

### **Tableau 2 NIV dans les DCAu (uSCD) et DCAb (bSCD) à 100Hz (Expérimentation 3 & 4).**

Les résultats du NIV (stimulation à 100Hz) pour les différentes composantes enregistrées en 2D ou 3D (H: composante horizontale; V: verticale; T : torsionnelle) et directions (Up : up beating = battant vers le haut; Dw : down beating = battant vers le bas).

uSCD: Unilateral Superior canal dehiscence (déhiscence unilatérale du canal supérieur); bSCD: bilateral canal dehiscences (déhiscence bilatérale des canaux supérieurs).

La taille estimée de la déhiscence est donnée en mm; Côté de la lésion (R : right = droit; L : left = gauche)

Les résultats de différents tests vestibulaires comparés à ceux du NIV (SVIN) ont montré:

-CaT caloric test (test calorique): N: no hypofunction (pas d'hypofonction); RH: right hypofunction (hypofonction droite); LH: left hypofunction (hypofonction gauche).

-HST: 0 : no HSN (absence d'HSN); L : left HSN (HSN battant à gauche); R : Right (HSN battant à droite)

-VHIT: N : normal; LA : hypofunction on the left anterior canal = hypofonction du canal antérieur gauche; LP : hypofunction on the left posterior canal = hypofonction du canal postérieur gauche; LLat : hypofunction on the left lateral canal = hypofonction du canal latéral gauche; RL Lat = dysfonction des 2 canaux latéraux côté droit (R=right) et gauche (L=left).

-cVEMP: + : résultat positif ipsilatéral à la lésion; - : résultat normal (aucune asymétrie); .... : no data : pas de donnée.

-SVIN H (composante horizontale du NIV): R battant vers la droite (R: right); L battant à gauche (left:L)

V composante verticale: up: up beating = battant vers le haut; dw: down beating = battant vers le bas.

T composante torsionnelle: R : la partie supérieure de l'œil bat vers la droite du patient (R : right); L : la partie supérieure de l'œil bat vers la gauche du patient (L : left).

***Figure 1. Vitesse de phase lente (VPL) des composantes (horizontale, verticale et torsionnelle) du NIV pour différentes fréquences et localisations du stimulus (Exp.2).***

Le stimulateur délivrait des fréquences de 10 à 800 Hz avec le Mini Shaker 4810 [Bruel &Kjaer; Naerum; Denmark]. SUVL : Severe Unilateral Vestibular Lesions (sévère lésion vestibulaire unilatérale) (n=18) (ou LVSu); uSCD : unilateral superior canal dehiscence = déhiscence unilatérale du canal supérieur ( DCAu) (n= 14); Controls = sujets témoins (n=11).

**A, D, G. composante Horizontale :** mastoïde gauche [LM], mastoïde droite [RM] et vertex [VX] dans les 3 populations: Controls (témoins) (A); SUVL (LVSu) (D); uSCD (DCAu) (G)

Dans les LVSu (labyrinthe clos), la fréquence optimale était 100 Hz [ $p < 0,001$ ]. Aucune réponse n'a été observée au delà de 300 Hz. Valeurs moyennes pour mastoïde gauche: LM [ $13,75 \pm 2,28$  °/s] et droite RM [ $12,33 \pm 1,81$ °/s]. Des réponses Significativement plus basses ont été observées au niveau du vertex [ $4,5 \pm 1,06$ °/s] ( $p < 0,01$ ). Aucune réponse n'a été observée à 10 Hz et 500 Hz.

Dans les DCAu des réponses plus amples ont été observées à 500 Hz mais de façon non significative (tendance) et ont montré une étendue de la sensibilité fréquentielle de 60 Hz jusqu'à 800 Hz. La valeur moyenne à 500 Hz pour la mastoïde gauche (LM) était  $4,10 \pm 2,51$  °/s. On obtenait des réponses significativement plus élevées au niveau vertex qu'au niveau des mastoïdes à 300Hz ( $p < 0,05$ ).

Chez les témoins, les réponses étaient soit absentes soit non significatives [le NIV montrait une direction inconstante] avec une valeur moyenne de la VPL inférieure à 2°/s à 100 ou 200 Hz.

**B, E, H. Composante verticale** observée sur la mastoïde gauche (LM), la mastoïde droite (RM) et le vertex (VX) dans les 3 populations.

Dans les LVSu (SUVL), la VPL du NIV à 200 Hz était faible sur LM [ $1,81 \pm 0,65$  °/s]. Dans le DCAu (uSCD) des valeurs plus importantes ont été observées à 400 Hz sur la mastoïde droite RM [ $4,46 \pm 2,12$  °/s].

**C, F, I. Composante torsionnelle** sur LM, RM, et Vx dans les 3 populations.

Dans les LVSu (SUVL) la VPL du NIV à 100 Hz sur LM était très basse [ $2,44 \pm 0,72$ °/s]. Dans les DCAu (uSCD), la VPL du NIV sur RM à 500 Hz était  $6,64 \pm 3,27$  °/s.

\*, \*\*, \*\*\* indique la significativité pour  $p < 0,05$ ,  $< 0,01$ , et  $< 0,001$  respectivement, lorsqu'on compare LM vs VX (Mastoïde gauche vs Vertex).

†; ††; ††† indique la significativité pour  $p < 0,05$ ,  $< 0,01$ , et  $< 0,001$  respectivement, lorsqu'on compare RM vs VX (Mastoïde droite vs Vertex).

‡; ‡‡; ‡‡‡ indique la significativité pour  $p < 0,05$ ,  $< 0,01$ , et  $< 0,001$  respectivement, lorsqu'on compare LM vs RM (Mastoïde gauche vs mastoïde droite).

**Figure 2. NIV dans une DCA droite.**

2A : TDM du rocher reformatée dans le plan de Pöschl .

2B : Stimulations de 100 à 700 Hz. Enregistrement 3D; trace directe. Des réponses importantes sont observées à 300 et 400 Hz montrant une représentation équivalente des composantes horizontale, torsionnelle et verticale.

L'axe du nystagmus peut être horizontal, vertical or torsionnel et la direction du NIV peut être droite ou gauche, vers le haut (up beating) ou vers le bas (down beating), rotatoire horaire ou antihoraire. Par définition, un nystagmus est horaire quand la partie supérieure de l'œil bat vers le côté droit du patient (les directions sont indiquées en référence au patient). Il est antihoraire quand la partie supérieure de l'œil bat vers le côté gauche du patient. L'enregistrement sur l'appareil désigne conventionnellement un nystagmus horaire par une phase rapide du nystagmus battant vers le bas.

**Figure 3. Comparaison de la composante horizontale du NIV dans les DCAu (uSCD) et DCAb (bSCD).**

3 A : Pourcentage de NIV positifs chez des patients avec DCAu et DCAb après stimulation du vertex.

3B : VPL du NIV Horizontal (en °/s) comparaison des valeurs recueillies pour les DCAu et DCAb après stimulations du vertex ou des mastoïdes.

La valeur de la VPL donnée pour la mastoïde est la moyenne des valeurs obtenues après stimulation des mastoïdes droite et gauche.

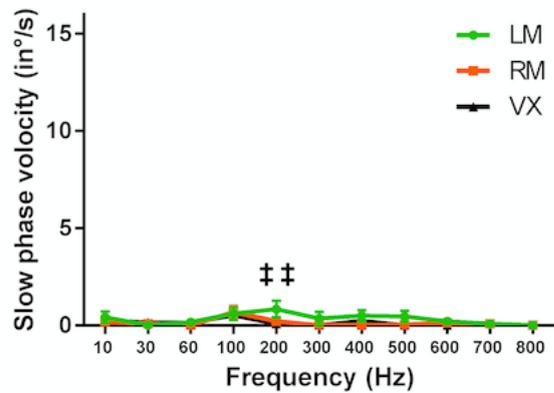
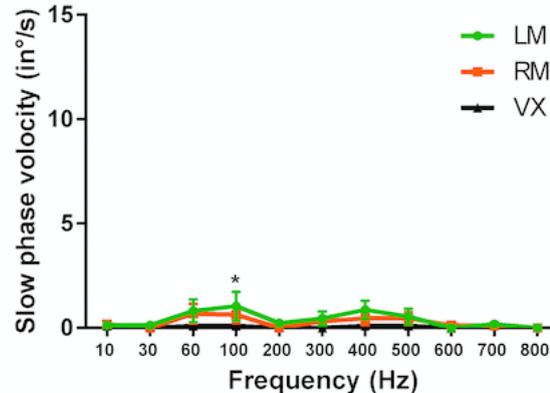
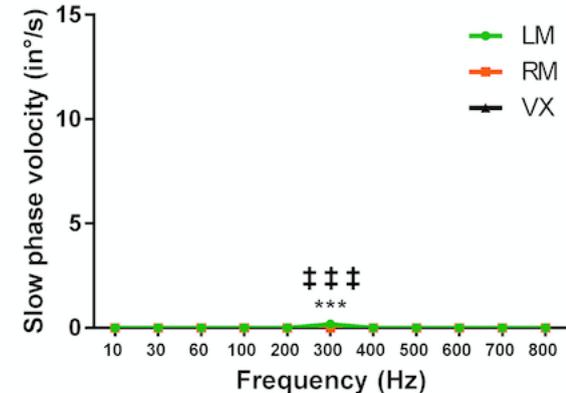
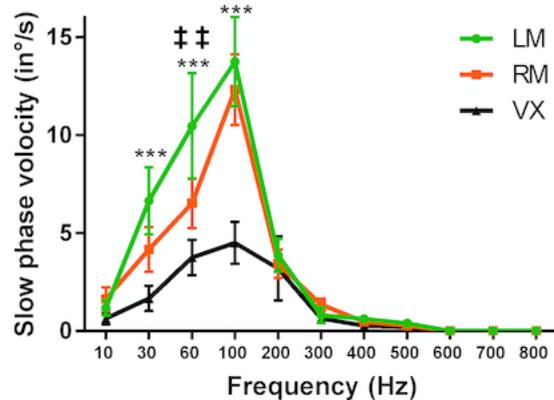
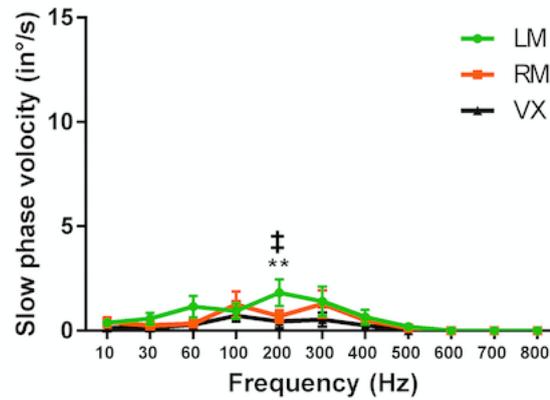
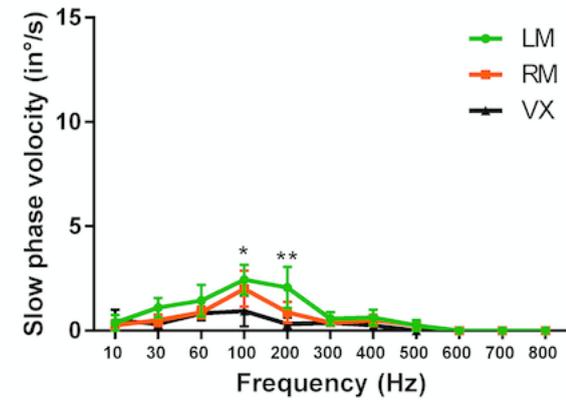
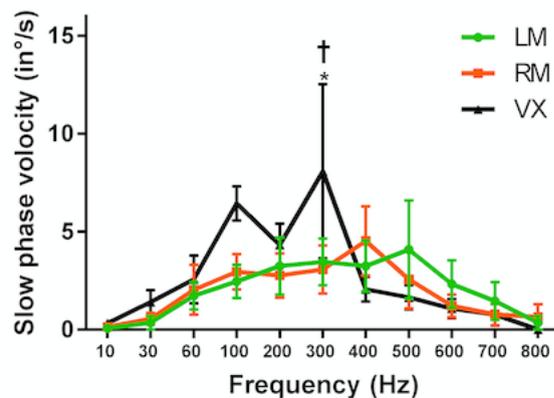
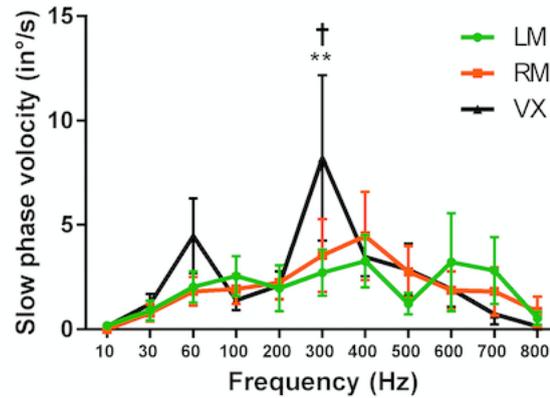
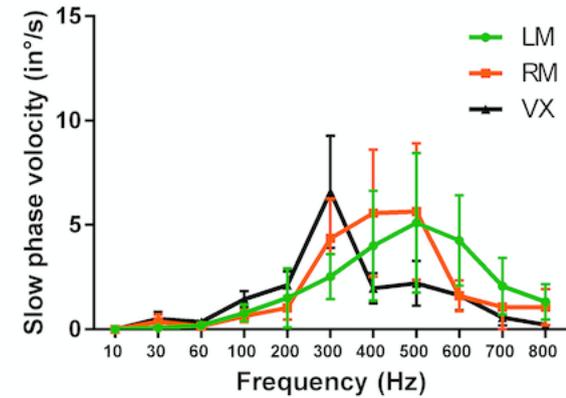
DCAu (uSCD: unilateral superior canal dehiscence = dehiscence unilatérale du canal supérieur (n=27); DCAb (bSCD: bilateral superior canal dehiscence = déhiscence bilatérale des canaux supérieurs) (n=13)

\*\*  $p < 0,01$ . Les résultats sont exprimés comme valeur moyenne  $\pm$  SD. Pour la fig. 3A Fisher test; et pour la Fig. 3B Mann et Whitney test.

## Horizontal component

## Vertical component

## Torsional component

**A**
**Control**

**B**
**Control**

**C**
**Control**

**D**
**SUVL**

**E**
**SUVL**

**F**
**SUVL**

**G**
**uSCD**

**H**
**uSCD**

**I**
**uSCD**


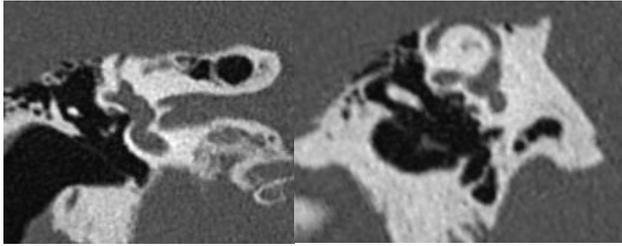
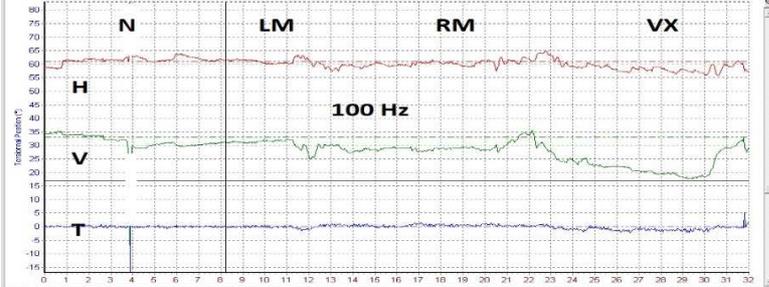
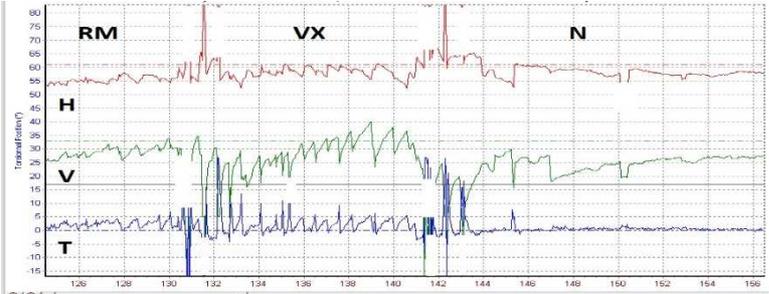


Figure 2a

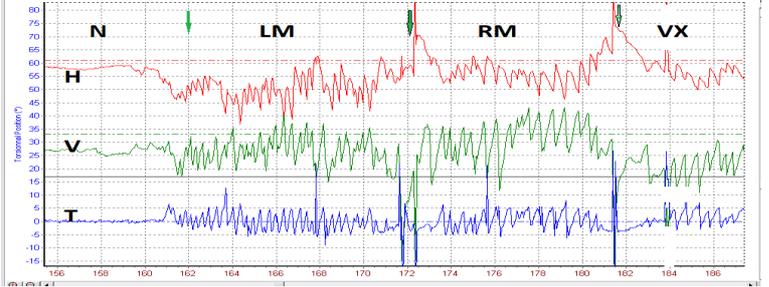
Figure 2b



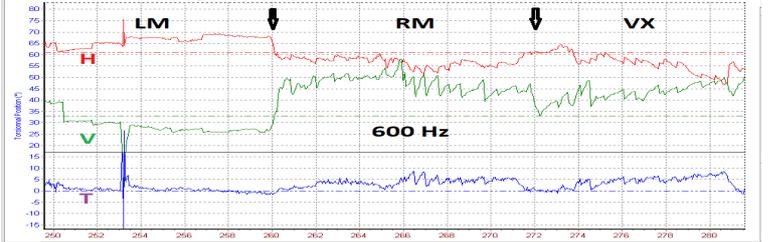
100 Hz



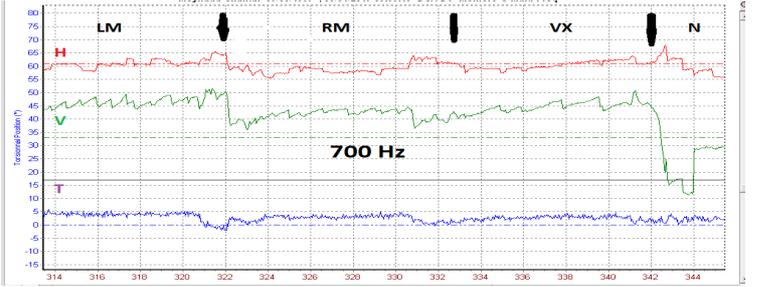
300 Hz



400 Hz



600 Hz



700 Hz



Figure 3 A.

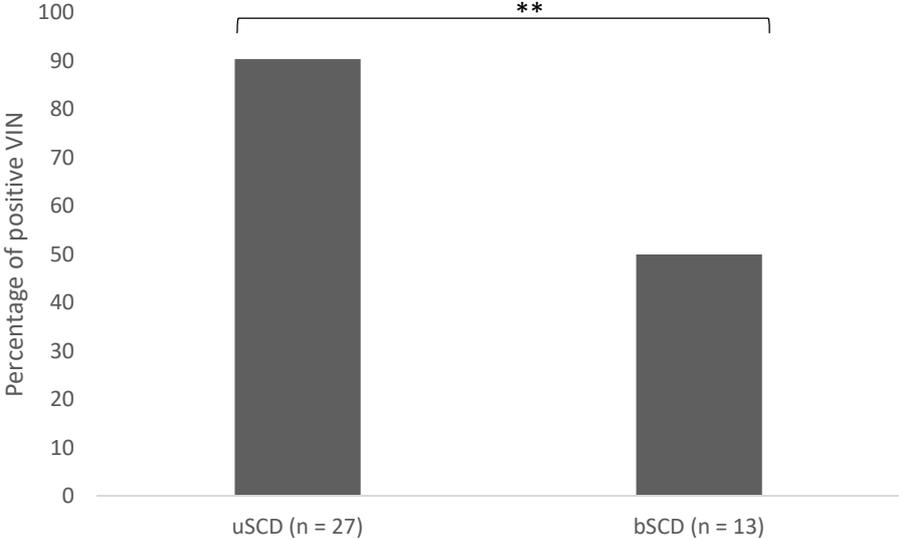
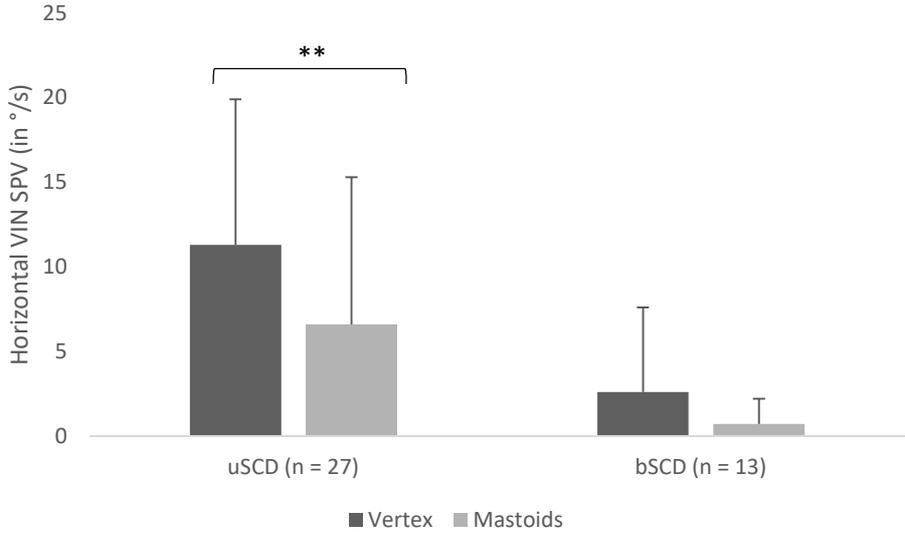


Figure 3 B.



SUVL					SVIN												
n=18	Population				Tests vestibulaires			Mastoïde				Vertex				Vertical	
	age	Sexe	Pathol.	côté	Test cal. Hypo %	HST	VHIT	ipsilatéral		controlat		ipsilat		controlat		masto	vertex
								H	T	H	T	H	T	H	T		
1	58	F	ItG	D	100	G	....	-	-	+	+	-	-	-	-	Dw	0
2	64	F	VN	G	80	-	....	-	-	+	+	-	-	+	+	Up	Up
3	43	M	ItG	G	82	D	LH	-	-	+	+	-	-	+	+	Up	Up
4	63	M	ItG	G	81	-	LH,LP	-	-	+	-	-	-	+	-	0	0
5	62	M	VN	D	81	-	....	-	-	+	-	-	-	+	-	0	0
6	74	F	ItG	D	100	G	....	-	-	+	+	-	-	+	-	Up	Up
7	54	F	ItG	G	82	D	LH,LP	-	-	+	+	-	-	-	-	Up	Dw
8	60	F	ItG	D	99	G	....	-	-	+	+	-	-	+	+	0	0
9	42	M	ItG	G	80	D	....	-	-	+	+	-	-	+	-	Up	0
10	64	F	ItG	D	84	G	....	-	-	+	+	-	-	+	-	0	0
11	55	M	VNect	D	98	G	RH,RA,R P	-	-	+	+	-	-	+	+	Up	UP
12	45	F	ItG	D	83	-	RH,RA	-	-	+	-	-	-	-	-	0	0
13	56	F	ItG	D	100	G	RH,RA,R P	-	-	+	+	-	-	+	-	Up	0
14	62	M	VN	D	80	-	....	-	-	+	-	-	-	+	-	0	0
15	77	F	ItG	D	98	G	RH,RP	-	-	+	+	-	-	+	+	0	Dw
16	55	M	VNect	D	100	G	RH,RP	-	-	+	+	-	-	+	-	0	0
17	80	M	TLA	D	100	G	RH,RA,R P	-	-	+	+	-	-	+	+	Up	0
18	62	F	TLA	G	100	D	RH,RA,R P	-	-	+	+	-	-	+	+	0	0

uSCD		population			Tests vestibulaires			SVIN									
n=14	age	Sexe	Taille en mm	côt é	Test cal. Hypo %	HST	VHIT	Mastoïde				Vertex				Vertical	
								ipsilat		controlat		ipsilat		controlat		Mastoïde	vertex
								H	T	H	T	H	T	H	T		
1	57	M	5	G	....	-	N	+	+	-	-	++	++	-	-	Up+	Up++
2	39	F	3	G	67	R	LH	-	-	+	+	-	-	-	-	Dw	Dw
3	80	M	7	G	....	....	....	-	-	-	-	+	+	-	-	0	Up
4	82	F	4	D	N	-	RA	+	-	-	-	++	+	-	-	Up	Dw
5	66	M	3	G	....	-	N	-	-	-	-	+	+	-	-	Up	Up
6	46	M	5	G	N	-	N	+	+	-	-	++	++	-	-	Dw	Up
7	61	F	5	G	N	-	N	+	+	-	-	+	+	-	-	0	Up
8	43	F	8	G	N	L	N	+	+	-	-	+	++	-	-	0	0
9	52	F	4	G	80	-	N	+	-	-	-	+	-	-	-	Up	Up
10	33	F	4	D	N	-	N	-	+	-	-	+	+	-	-	Dw	Dw
11	72	M	4	G	30	-	N	-	-	+	+	+	+	-	-	Dw	0
12	57	F	4	G	N	-	N	-	+	+	-	++	+	-	-	Up	Up
13	68	M	3	D	N	-	....	-	-	+	-	++	++	-	-	Up	Up
14	40	F	6	D	N	-	N	-	-	-	-	+	-	-	-	Dw	Dw

Tableau 1

n°	Côté	Taille (mm)	CaT	HST	VHIT	VEMP	SVIN								Vertical	
							Mastoïde				Vertex				Masto.	Vertex
							Côté de la lésion		Côté controlatéral à la lésion		Côté de la lésion		Côté controlatéral			
H	T	H	T	H	T	H	T	Masto.	Vertex							
1	G	5	...	0	N	-	+	+	-	-	++	++	-	-	Up	Up
2	G	3	67%	D	LH	+	-	-	+	+	-	-	+	-	Dw	Dw
3	G	7	...	...	...	+	-	-	-	-	+	+	-	-	0	Up
4	D	4	N	0	RA	---	+	-	-	-	++	+	-	-	Up	Dw
5	G	3	...	0	N	+	-	-	-	-	+	+	-	-	Up	Up
6	G	5	N	0	N	-	+	+	-	-	++	++	-	-	Dw	Up
7	G	5	N	0	N	+	+	+	-	-	+	+	-	-	0	Up
8	G	8	N	G	N	++	+	+	-	-	+	++	-	-	0	0
9	G	4	81%	0	N	-	+	-	-	-	+	-	-	-	Up	Up
10	D	4	N	0	N	+	-	+	-	-	+	+	-	-	Dw	Dw
11	G	4	30%	0	N	...	-	-	+	+	+	+	-	-	Dw	0
12	G	4	N	0	N	+	-	+	+	-	++	+			Up	Up
13	D	3	N	0	...	++	-	-	+	-	++	++	-	-	Up	Up
14	D	6	N	0	N	+	-	-	-	-	+	-	-	-	Dw	Dw
15	G	3	N	0	---	-	+	-	-	-	+	+	-	-	Up	0

16	D	4	N	0	N	+	-	-	+	-	+	+	-	-	Up	Up
17	D	8	N	0	DA	+	+	+	-	-	+	-	-	-	Up	Up
18	G	4	N	0	GA GP	-	-	---	-	-	-	---	-	-	0	0
19	G	5	N	0	N	+	-	---	+	---	+	---	-	---	Up	Up
20	D	4	N	0	...	-	+	-	-	-	+	+	-	-	Up	Dw
21	G	4	N	G	N	+	-	+	-	-	+	+	-	-	Up	Up
22	G	3	N	0	---	+	-	---	-	-	-	---	-	-	0	0
23		4	N	0	DA	-	-	---	-	-	+	---	-	-	Up	0
24	G	7	N	0	DA	+	+	---	-	-	+	---	-	-	Up	Up
25	G	5	---	---	N	-	-	+	-	-	+	+	-	-	Dw	0
26	G	5	N	G	N	-	-	+	-	-	+	+	-	-	Dw	Dw
27	L	3	N	D	---	+	-	---	-	---	---	---	---	---	0	---
							<b>GAUCHE</b>		<b>DROIT</b>		<b>GAUCHE</b>		<b>DROIT</b>			
28	bilat	7	3	N	....	GA	G+(TA)	-	-	-	-	-	-	-	0	0
29	bilat	2	3	N	0	N	D+	-	-	-	-	-	-	-	0	0
30	bilat	3	5	D42	D	N	Large bil	-	---	+	...	-	---	++	Up	Up
31	bilat	5	4	N	0	N	-	+	---	-	-	---	---	-	Up	---
32	bilat	6	6	N	0	N	Large bil	-	---	-	---	-	---	-	0	0
33	bilat	5	5	N	0	N	-	-	---	-	---	-	---	-	0	0
34	bilat	5	4	G79	R	---	-	-	---	+	---	---	---	---	Up	----
35	bilat	8	8	N	---	DG	Large bil	-	---	-	---	-	---	+	-	Up
36	bilat	7	5	---	L	---	---	-	-	-	-	+	+	-	Up	Up
37	bilat	4	4	N	0	N	D+	-	-	-	-	-	-	-	0	0
38	bilat	4	6	N	R	N	Large bil	-	---	+	---	-	---	++	Up	0
39	bilat	6	5	D39	0	GAnt	G	-	-	-	-	+	+	-	0	Dw

40	bilat	5	6	N	G	N	Large bil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
----	-------	---	---	---	---	---	-----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

**Tableau 2**