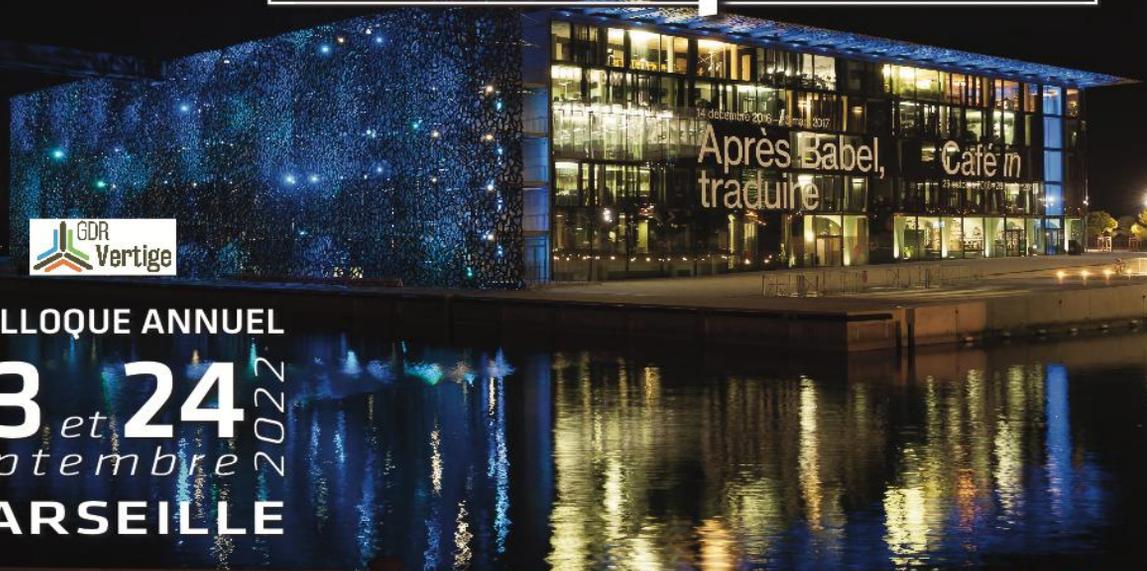




MAL DES transports



7^e COLLOQUE ANNUEL
23 *et* **24**
septembre 2022
MARSEILLE



SOMMAIRE

3

EDITO
par Stéphane Besnard

4

A LA UNE
par Christian Chabbert

5

Visuo-vestibulaire interaction et Mal des Transports
Par Alexandra Severac

6

Prise en charge des cinétoses : Acquis thérapeutiques et techniques du rééducateur
par Alain Zeitoun

7

Mal des transports: Tableau clinique - Critères diagnostiques
par Hervé Bozec

8

Les conflits entre la sensation, la perception et le contrôle du mouvement provoquent le mal des transports.
par John Golding et Michael Gresty

11

Syndrome de l'autoroute
par Michel Toupet et Souad Haijoub

14

Un navire, un mal de mer. Histoires vraies, bilan et rééducation, projet de recherche.
Par Jean-Michel Serveau

16

Mal des transports en voiture : traitement avec le fauteuil TRV?
par Thomas Richard Vitton

18

Indice visuel périphérique contre la cyber-cinétose
par Renaud Jeannin

20

Modulation de la fonction vestibulaire par la vergence : innovations pour l'exploration fonctionnelle et l'entraînement des personnes avec vertiges ou mal des transports.
par Zoi Kapula

23

Désordres Cliniques et Biomarqueurs du Mal des Transports
par Hannes Petersen

24

Mal de mer : des Mouvements Dynamiques Actifs aux vibrations mastoïdiennes
par Yoann Noublanche

26

Mal du simulateur dans le domaine de l'aéronautique.
par Yannick James & Pierre-Paul Vidal

EDITO



➤ Stéphane Besnard
MCU-PH
Université de Normandie
UR VERTEX

Le Mal des Transports

Le Mal des Transports est connu de toutes et tous depuis l'Antiquité et apparaît encore comme une fatalité pour celle ou celui qui en souffre.

La thérapeutique de ces dernières années va beaucoup plus vite que les découvertes physiopathologiques qui stagnent.

Le développement de nouvelles technologies et méthodes déployées par nos professionnels de Santé laisse entrevoir une possibilité de traitement pour la population professionnelle et générale.

Si le fond de ce trouble fonctionnel est passionnant et reste à comprendre, la forme elle doit être dépoussiérée: on ne dit plus grand ou petit Mal pour parler d'épilepsie ! Il en va de même du Mal des Transports qu'il est tant de moderniser: Troubles Fonctionnels de la perception du mouvement...? Nous aurons fort à faire pour changer ce terme bien « ancré » dans nos connaissances communes.

Cette 8^e NEWSLETTER trimestrielle vous propose de retrouver les résumés des présentations qui ont été faites lors du Colloque annuel du GDRV de Septembre 2022.

Je vous souhaite une bonne lecture et une très belle année 2023.

Vestibulairement votre.

Stéphane Besnard

Une année 2023 riche en évènements

De nombreux évènements vont émailler cette année 2023 et nous comptons sur vous pour vous impliquer et nous soutenir dans ces différentes initiatives!

L'école d'été **VERTINNOVATION** se tiendra comme à l'habitude, la première semaine de Juillet (du 03 au 07/07) sur le Campus Saint Charles de l'Université d'Aix-Marseille. Les inscriptions seront ouvertes à la mi- Février. Soyez vigilants au email d'annonce de l'ouverture du site d'inscription : en 2022 les inscriptions ont été bouclées en 24h après ouverture du site!

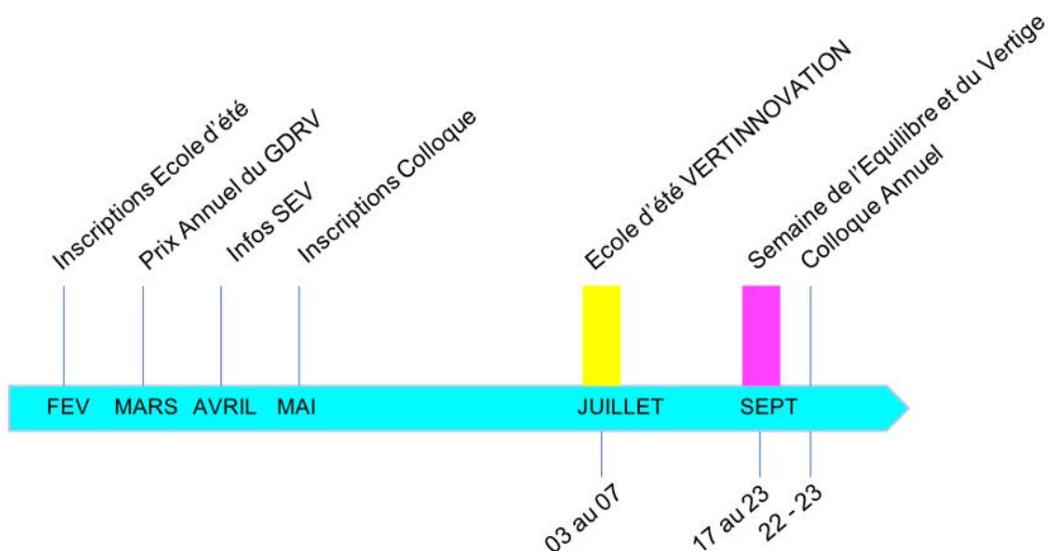
Le **Prix 2023 du GDRV** est reconduit pour une troisième année. N'hésitez pas à y participer en soumettant vos projets de recherche scientifiques et cliniques qui seront évalués par la comité de spécialistes du GDRV (voir page dédiée du site web). L'ouverture de l'Appel à Projet est prévue à la mi-Mars.

Fort du succès de la première édition, la **Semaine de Sensibilisation aux Vertiges** qui se tiendra partout en France entre les 17 et 23 Septembre et au travers de laquelle notre communauté dans sa pluralité va « faire du bruit » sur tout le territoire Français, en écho à la « Balance Awareness Week » organisée au niveau mondial par la *Vestibular Disorders Association* Américaine (VEDA). Les informations pratiques sur l'organisation de cette semaine seront disponibles à compter de la mi-Avril.

Enfin à la mi-Mai, ce sera l'ouverture des inscriptions pour le **Colloque annuel du GDRV** qui de tiendra les 22 et 23 Septembre à Marseille et sera consacré cette année au « Vertige Postural Perceptif Persistant ou VPPP ».

Vous trouverez tous les détails de ces évènements, ainsi que les modalités d'inscription sur le site <http://gdrvertige.com>

On compte sur vous!



Interactions Visuo-Vestibulaires & Mal des Transports

➔ Le mal des transports est un phénomène ancien qui reste d'actualité et connaît un regain d'intérêt avec l'avènement des dispositifs de réalité virtuelle et des véhicules autonomes. Cela dit, il convient de bien distinguer le mal des transports induit par le mouvement, de celui qui est visuellement induit. Dans le premier cas le sujet bouge, dans l'autre pas. De plus, ces deux formes de maux des transports sont différemment affectés par l'âge (Keshavarz & Golding, 2021).

□ Dr Alexandra Severac
□ CERCO CNRS
<http://cerco.cnrs.fr/>

Etat de la Question

Les entrées visuelles et vestibulaires sont étroitement liées, depuis leur arrivée dans le système nerveux central au niveau des noyaux vestibulaires (Waespe et Henn, 1977), jusqu'au niveau cérébral (Cullen and Taube, 2018). Comme l'ont décrit les travaux en électrophysiologie chez le primate non humain et en neuroimagerie chez l'humain, les projections corticales des informations vestibulaires sont très distribuées (Lopez et Blanke, 2011). Des études en IRM utilisant la stimulation galvanique vestibulaire (SGV) ont montré qu'une partie se distribue aux régions postérieures, au niveau des aires visuelles qui traitent le mouvement de soi (Smith et al. 2012), et ce d'autant plus lorsque les stimuli vestibulaires miment un mouvement vers l'avant (Aedo-Jury et al., 2020).

Protocole antérieur

Un travail appliquant des stimulations insolites chez des volontaires sains en situation d'équilibre dynamique pour déclencher et caractériser le mal des transports a pu montrer (1) que le déplacement latéral du centre de gravité lors de stimulations vestibulaires réalisées par SGV chez des sujets yeux ouverts était significativement supérieur pour le groupe qui présentait le score de sensibilité au mal des transports le plus élevé et (2) que le rapport d'atténuation des mouvements de la tête est significativement plus bas chez les sujet peu ou pas sensibles au mal des transports (Séverac Cauquil et al., 1997). Ces résultats corroborent à la fois l'hypothèse du conflit sensoriel, en l'occurrence visuo-vestibulaire, et celui de l'instabilité posturale.

Projet ANR In-Vest 2022-2025

Dans notre projet « In-Vest », nous poursuivons le développement de la SGV pour étudier comment les aires visuelles spécifiques du mouvement de soi intègrent les entrées visuelles et vestibulaires. En plus de ce volet fondamental pour faire progresser nos connaissances, le projet In-Vest comporte un volet appliqué qui proposera *in fine* des stimulations vestibulaires, et visuelles comme traitement au mal des transports. Il s'agira d'un développement technologique en vue de proposer un outil d'exploration vestibulaire : du fondamental à l'appliqué, pour tester, détecter, habituer, donc traiter !

Aedo-Jury F, Cottureau BR, Celebrini S and Séverac Cauquil A (2020) Antero-Posterior vs. Lateral Vestibular Input Processing in Human Visual Cortex. *Front. Integr. Neurosci.* 14:43. doi: 10.3389/fnint.2020.00043 Cullen, K. E., & Taube, J. S. (2017). Our sense of direction: progress, controversies and challenges. *Nature neuroscience*, 20(11), 1465-1473. Keshavarz, B., & Golding, J. F. (2022). Motion sickness: current concepts and management. *Current Opinion in Neurology*, 35(1), 107-112. Lopez C, Blanke O. The thalamocortical vestibular system in animals and humans. *Brain Res Rev.* 2011 Jun 24;67(1-2):119-46. doi: 10.1016/j.brainresrev.2010.12.002. Epub 2011 Jan 9. PMID: 21223979. Séverac Cauquil A, Dupui Ph, Costes Salon MC, Bessou P (1997) Unusual vestibular and visual input in human dynamic balance as a motion sickness ground-based test. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 68, 7, 588-95. Smith, A. T., Wall, M. B., and Thilo, K. V. (2012). Vestibular inputs to human motion-sensitive visual cortex. *Cereb. Cortex* 22, 1068-1077. doi: 10.1093/cercor/bhr179 Waespe W, Henn V. Neuronal activity in the vestibular nuclei of the alert monkey during vestibular and optokinetic stimulation. *Exp Brain Res.* 1977 Apr 21;27(5):523-38. doi: 10.1007/BF00239041. PMID: 404173.

Prise en charge des cinétoses : Acquis thérapeutiques et techniques du rééducateur

➤ Les adaptations des innovations techniques aux réalités cliniques ont jalonné ma curiosité professionnelle depuis plus de 35 ans et je remercie vivement les organisateurs du colloque GDRV2022 de m'avoir invité à un bref partage sur ces aspects.

La pratique de la physiothérapie vestibulaire se caractérise par une grande spécificité mettant en jeu des méthodes, techniques et outils multiples et variés qui ont fait grandement leur preuve !

Il appartient au thérapeute initié de trouver et appliquer la bonne stratégie de traitement et de choisir au mieux et au bon moment la ou les techniques et outils appropriés en fonction des pathologies et de l'évolution du patient pris en charge.

A l'inverse du bilan diagnostique fonctionnel, notre démarche thérapeutique ne doit pas être protocolaire. Elle doit être avant tout guidée par les doléances majeures du patient, de son état et dans le respect des acquisitions scientifiques les plus récentes si possible. Ce doit être et rester une rééducation à la carte...

Je ne vais pas ici citer tous les outils d'évaluation et de traitements qui ont fait leur preuve et que nous utilisons au quotidien...

Mais les nouvelles technologies immersives telles que la réalité virtuelle et la réalité augmentée déploient des applications en kinésithérapie générale que je ne suis pas en mesure de commenter.

Je me permets cependant quelques remarques au sujet de l'utilisation de la réalité virtuelle dans mon domaine de spécialisation « la kinésithérapie de la fonction d'équilibration. » Vu l'engouement de ces dernières années pour cette nouvelle technique, dans le domaine vestibulaire, il nous appartient de cerner avec prudence les véritables indications et pour cela rappeler que le mot « physiothérapeute » vient de physis (nature) et que « kinésithérapie » reste le traitement par le mouvement..»

La prise en charge active et instrumentale du patient souffrant de troubles vestibulaires s'appuie sur trois « atouts » à bien savoir identifier et exploiter :

- son potentiel de guérison
- son potentiel de compensation
- les possibilités de substitution adaptées

Chaque étape faisant appel à des modalités thérapeutiques successives, appropriées et bien sûr au bon sens du thérapeute.

☐ Alain Zeitoun
Kinésithérapeute Vestibulaire
Directeur de Framiral
contact@framiral.fr

Notre rôle et ambition sont de réhabiliter les patients au plus vite dans leur contexte écologique. Nous devrions envisager la substitution qu'en dernier recours. Or, la réalité virtuelle est une substitution..

Le bon sens nous incite à penser qu'il n'est pas forcément nécessaire de confronter le patient à un environnement artificiel qui lui servirait peut être de marchepieds vers le monde naturel.

Utiliser la substitution en premier recours peut donc être « contre-productif » voire troublant... Certes, nous constatons ces dernières années que la réalité virtuelle essaye de se faire une belle place dans nos rééducations vestibulaires quotidiennes, je pense qu'elle peut être en effet utile dans certaines pathologies bien définies telles que des kinesiophobies, cinétoses et autres. Dans de tels cas, elle doit être utilisée à bon escient, avec discernement et grandes précautions !

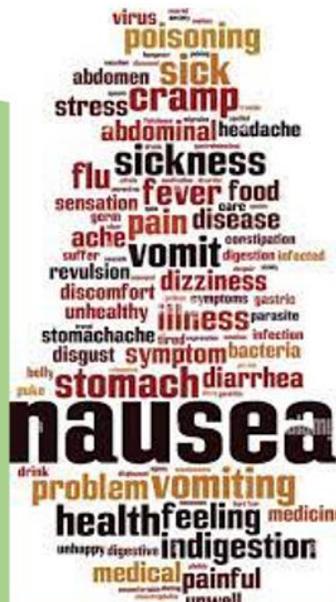
MAL DES TRANSPORTS (*MOTION SICKNESS*) Tableau clinique – Critères diagnostiques

➤ Le mal des transports existe depuis que l'homme se déplace autrement que par lui-même. Il est une conséquence du défaut d'adaptation du corps aux exigences d'un mouvement subi, non intentionnel. Il existe un tournant au XXI^{ème} siècle dans la compréhension des mécanismes et les mesures de prévention du fait de l'importance des conflits armés (et donc de la nécessité de l'acheminement des troupes en état de combattre), du développement des transports et de la conquête de l'espace. Il existe un second tournant au XXII^{ème} siècle dans la survenue de malaises issus du mouvement de la scène visuelle (*Visually-Induced Motion Sickness- VIMS*), tel qu'il se produit dans les jeux et les simulateurs vidéo et les expériences en réalité dite virtuelle.

□ Dr Hervé BOZEC, Médecin ORL, herve.bozec@orange.fr

Le tableau clinique

est celui d'un syndrome polysymptomatique d'origine neurovégétative. En effet, l'hypothèse actuellement retenue est un défaut de correspondance (*mismatch*) entre au moins 2 modalités sensorielles participant à la perception du mouvement de son propre corps aboutissant à un conflit et à une activation du système parasympathique. Il existe différents types de malaises liés selon la modalité sensorielle préférentiellement activée (vestibulaire ou visuelle) et différentes dénominations selon le mouvement et/ou le type de transport inducteur (mal de mer-naupathie, mal de l'espace, cybermalaise...). La cognition (notamment par le biais de l'articulation entre perception du mouvement et action) joue un rôle important dans la genèse du trouble.



Le symptôme central de la phase d'état est la nausée au sens large avec, en conséquence potentielle, des vomissements. S'y associent volontiers des symptômes perceptifs (plénitude crânienne, désorientation spatiale...) et d'altération de la vigilance (sommolence, apathie...). La phase d'état est toujours précédée de prodromes (sauf durant le mal de l'espace) tels que des bâillements, des sueurs froides, une pâleur et une sialorrhée. La société Barany a édité en 2021 des critères (symptômes et enveloppe évolutive) permettant le diagnostic du mal des transports qui est un diagnostic clinique. L'émotion négative induite par le mal des transports est un des critères du trouble/handicap (*motion sickness disorder*) induit par le mal des transports selon la société Barany.

Facteurs prédisposant : susceptibilité génétique, sexe féminin, anxiété, migraine, maladie de Menière. Le lien avec le système vestibulaire est certain (les sujets aréflexiques ne souffrent pas du mal des transports) mais partiellement connu actuellement. Le traitement est essentiellement préventif associant des mesures de bon sens, des médicaments et une prise en charge rééducative permettant une habitude.

Les conflits entre sensation, perception et contrôle du mouvement provoquent le mal des transports

- Le degré le plus élevé de susceptibilité au mal des transports chez l'homme se produit lorsque la fréquence mécanique du mouvement de la plate-forme, par exemple celle d'un navire, se produit à des fréquences d'environ 0,2 Hz (appelées "fréquences moyennes" pour plus de commodité). Le degré de susceptibilité diminue avec les basses fréquences (< environ 0,1 Hz et moins) et également avec les hautes fréquences (> environ 0,5 Hz et plus).
- Pour quelle raison ? Premièrement, il existe une réponse en fréquence parallèle dans le réflexe vestibulaire oculaire. Les mouvements linéaires latéraux à haute fréquence (c'est-à-dire la tête d'un côté à l'autre) provoquent des mouvements oculaires compensatoires pour se fixer sur des cibles fixes terrestres. En revanche, l'inclinaison statique de la tête ou l'accélération linéaire latérale à basse fréquence, telle qu'elle est ressentie lors de la centrifugation, évoque un mouvement de torsion des yeux vers la verticale gravito-inertielle. La perception de l'auto-mouvement est en accord. L'accélération linéaire à basse fréquence évoque une perception d'inclinaison (par exemple la perception d'inclinaison dans un avion lorsqu'il accélère sur la piste), tandis que les hautes fréquences sont ressenties comme un déplacement latéral (comme un balancement dans un train). Il est évident que le mal des transports survient à des fréquences où les fonctions réflexes et la perception sont en transition entre la signalisation préférentielle de l'inclinaison par rapport à la translation. La question se pose naturellement de savoir ce qu'il advient de l'auto-locomotion et de la réponse au mouvement d'une plate-forme de support, à travers cette transition ?

□ Michael A Gresty, Imperial College London; m.gresty@imperial.ac.uk

□ John F Golding, Université de Westminster, Londres; goldinj@westminster.ac.uk

Les observations sur des sujets humains exécutant des slaloms révèlent des tactiques distinctes pour les slaloms à basse et à haute fréquence. Le slalom est choisi parce qu'il modélise étroitement la façon dont un humain pourrait traverser des obstacles, comme lorsqu'il chasse une proie; ceci étant sans doute le défi le plus naturel au mouvement. Les slaloms sont également admirablement sensibles à l'analyse sinusoïdale fournissant un spectre de fréquence de réponse, en fonction de l'espacement des virages de slalom. Aux basses fréquences, il y a un alignement de tout le corps de la tête, du tronc et des jambes lors de la rotation et les bras pointent vers la trajectoire de course en coordination. Aux hautes fréquences, la tête et le tronc restent approximativement alignés avec la verticale de gravitation-inertie tandis que les jambes poussent d'un côté à l'autre en « latéropulsion » pour propulser le corps dans les virages. Aux fréquences moyennes, le tronc de la tête et les jambes s'inclinent dans différentes directions avec les bras étendus vers l'extérieur pour maintenir l'équilibre.. L'apparence est l'absence de coordination et les fréquences moyennes sont subjectivement difficiles car il semble difficile d'estimer et de prédire visuellement les virages et également de coordonner le corps autour des virages. La difficulté apparente n'est pas évidente pour les slaloms à haute et basse fréquence.

Les tactiques de tout le corps pour l'équilibre sur une plate-forme de support ressemblent étroitement aux tactiques d'auto-mouvement pendant les slaloms. Aux basses fréquences, comme sur un grand navire, tout le corps s'incline en compensation de l'inclinaison du pont. Aux hautes fréquences, la tête et le tronc restent approximativement alignés avec la verticale gravito-inertielle tandis que les jambes effectuent des mouvements de poussée latéraux pour maintenir l'équilibre; par exemple, lors de la conduite d'une planche de surf. Aux fréquences moyennes, l'équilibre est défié ; le tronc de la tête et les jambes s'inclinent dans des directions différentes et les bras s'agitent vers l'extérieur pour maintenir l'équilibre, comme lors de l'exécution d'un slalom à des fréquences moyennes.



Slaloms à différentes fréquences de virage



inclinaison
basse fréquence

In-coordination
moyenne
fréquence

Lateropulsion
haute fréquence

John F Golding and Michael A Gresty. *Biodynamic Hypothesis for the Frequency Tuning of Motion Sickness*. *Aerospace Medicine and Human Performance*. 2016 Jan;87(1):65-8.

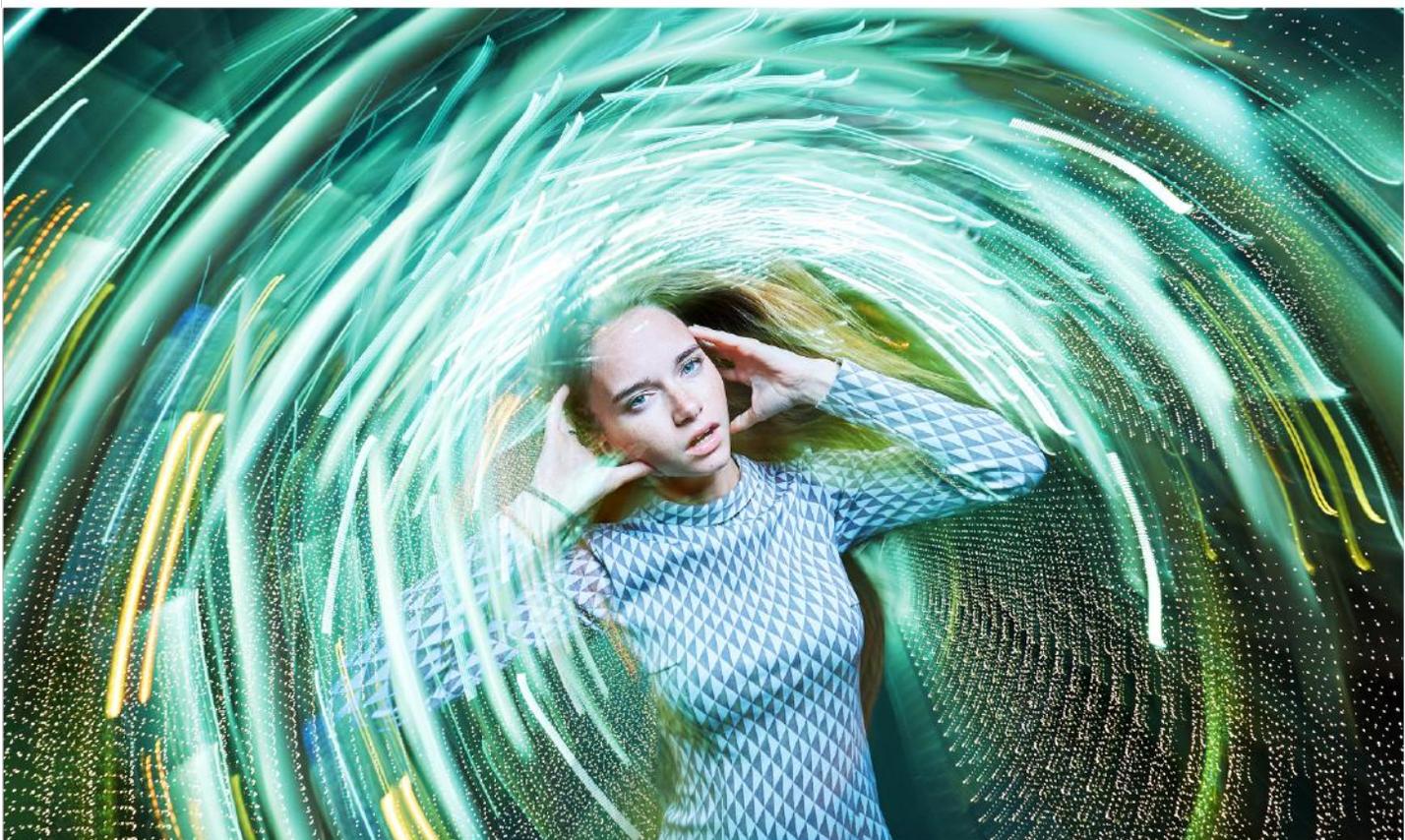
Les études de l'auto-mouvement et du mouvement passif sur une plate-forme en mouvement révèlent des problèmes de contrôle moteur dans les fréquences moyennes qui correspondent aux fréquences auxquelles les réflexes vestibulaires oculaires et la perception de l'auto-mouvement sur une plate-forme en accélération présentent un croisement entre la signalisation inclinaison et translation de signalisation. Le changement des tactiques locomotrices du corps entier, de l'inclinaison prédominante aux basses fréquences à la latéropulsion des jambes aux hautes fréquences, est déterminé par les masses des composants du corps (jambes, hanches, thorax, tête, bras) et la capacité des muscles. L'inclinaison de tout le corps sur les virages à moyenne et haute fréquence n'est pas possible. Ainsi, les fréquences moyennes peuvent être considérées comme une zone d'ambiguïté et de conflit pour les fonctions sensorielles et motrices qui provoquent des symptômes de malaise et plus particulièrement de mal des transports.

L'hypothèse selon laquelle les limitations biomécaniques sont liées au développement du mal des transports suggère la prédiction selon laquelle la fréquence à laquelle un animal devient malade des transports devrait dépendre approximativement de son poids. C'est le cas. Il existe une relation inverse entre le poids d'un animal et la fréquence à laquelle il montrera une susceptibilité maximale au mal des transports. Les porcs ont le mal des transports à des fréquences similaires à celles des hommes lorsqu'ils sont transportés et ont un poids similaire, tandis que les gros animaux tombent malades à des fréquences beaucoup plus faibles et les petits animaux à des fréquences beaucoup plus élevées. De plus, l'analyse vidéo du mouvement des animaux, qu'ils soient bi- ou quadrupèdes, révèle qu'ils présentent exactement les mêmes tactiques que les êtres humains lorsqu'ils négocient des virages au cours de l'auto-locomotion ; peu importe la taille. Par exemple, un cheval s'incline autour d'une longue courbe mais lorsqu'il doit tourner rapidement, il maintient le tronc et la tête relativement droits, tandis que les quatre pattes poussent le corps latéralement en latéropulsion. Un lapin ou un chien fera la même chose, mais à des fréquences beaucoup plus élevées.

➤ Comme pour l'hypothèse établie de l'origine du mal des transports, un « conflit » est au cœur de notre explication. Cependant, le conflit n'est pas seulement celui de l'interprétation des données sensorielles. Plus précisément, l'ambiguïté des signaux sensoriels et perceptuels, concernant principalement la verticalité, coïncide avec la gamme de fréquences dans laquelle il existe des problèmes mécaniques importants dans l'organisation du mouvement de tout le corps. Ainsi, le protagoniste qui éprouve des sensations conflictuelles est également confronté, sans doute, au conflit le plus important de la façon d'agir.

Appel à Dons - Campagne 2023

« Aidez la recherche sur le vertige...



.... **Faites un don** »



- Donner c'est sûr et facile via la Fondation du CNRS
- Il vous suffit de vous connecter sur le site <http://gdvertige.com> à la rubrique **Campagne de dons** et de suivre les instructions
- Merci pour votre soutien!

SYNDROME DE L'AUTOROUTE

Le syndrome de l'autoroute pourrait se ranger parmi les cinétoses, car il est déclenché par la vitesse du véhicule, mais il n'est pas de même nature que le mal de mer et toutes ses variantes. Dans le syndrome de l'autoroute, il n'y a ni somnolence, ni de nausées. C'est avec la vitesse que s'installe une panique avec l'impression d'être dépassé par les sensations visuelles et otolithiques qu'elle a engendrées. Cette exagération inhabituelle étonne le patient lui-même. Toute sa vie il a roulé sur l'autoroute, comme tout le monde, à la même vitesse que les autres, et maintenant il ne peut plus, il s'affole. Cette hypertrophie des perceptions n'est pas sans évoquer celle des auras migraineuses. Il ne s'agit pas d'hallucinations ou de fausses perceptions mais de perceptions réelles, accrues, exacerbées, disproportionnées. Des perceptions que l'on avait donc minorées à notre insu, qui apparaissent de plein fouet et qu'il va falloir apprivoiser à nouveau. Un frein s'est levé, il nous faut le retrouver. Alors que les patients se plaignant de cinétoses vivent généralement mal nos tests vestibulaires, qui sont cependant normaux, les patients se plaignant de syndrome d'autoroute n'ont ni anomalies, ni gênes pendant nos tests.

Alors qu'est-ce que le syndrome d'autoroute ?

C'est l'impossibilité de conduire sur autoroute, alors que c'est possible sur les autres routes ; car le propre de l'autoroute, c'est la vitesse 110-130 km/h de l'ensemble des automobilistes, et le fait qu'engagé, on n'en sortira pas avant la sortie programmée. C'est cette injonction de vitesse et cet interdit qui stressent le conducteur.

Les facteurs déclenchants

Est-ce une autre sorte de dépendance visuelle ? Déclenché par le défilement des véhicules que l'on dépasse, qui nous doublent, de l'environnement dégagé de l'autoroute par rapport à notre habitude plus urbaine d'un environnement plus proche ? Une hypersensibilité otolithique ? À vitesse constante le poids otolithique prend de l'importance. Devient-on plus sensible aux petits déplacements linéaires ? Aux translations pendant nos déplacements, les courbes, une amaxophobie (l'angoisse en voiture) ? La composante émotionnelle est indéniable surtout quand on commence à douter de ses perceptions. Sur la route à haute vitesse tout est dangereux. Il est vraisemblable qu'il s'agisse d'un mélange des trois chez la plupart des patients.

Les vrais risques

La sécurité routière nous confirme que bien que la vitesse soit élevée sur l'autoroute, les risques d'accidents sont 10 fois moins importants que sur les routes nationales ou départementales.

□ Michel Toupet et Souad Haijoub

1 rue Falguière et 94 rue de Javel 75015 Paris
 michel.toupet@otoneuro.fr
 souad.haijoub@gmail.com

Perception du mouvement et émotions archaïques

Alors qu'être bercé nous calme et nous endort (comme dans le train), être remué plus vigoureusement nous réveille et même nous excite (danse, toboggan, balançoires, sport, etc), mais aller trop vite, à la limite du danger, déclenche la peur. Le système vestibulaire au sens large, voisine tout le long de ces intégrations, avec le système limbique. Les conséquences sont riches d'amalgames (Fig 1).

- ✓ Les différents aspects du problème sont une combinatoire de toutes ses composantes otolithiques, visuelles et émotionnelles. Il faut interroger le patient sur ces trois dimensions pour en prendre conscience et traiter avec plus de subtilité.

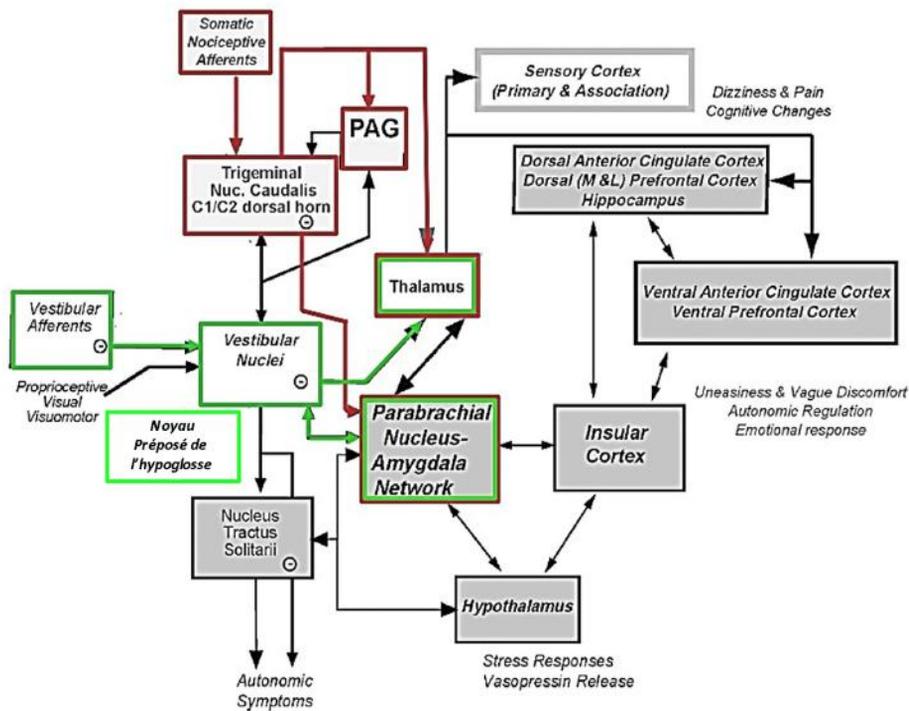


Figure 1: Connexions vestibulo-linguistique. Dès l'intégration sensorielle des capteurs de mouvements vestibulaires, visuels et proprioceptifs au niveau des noyaux vestibulaires, le noyau parabrachial interagit. C'est le premier niveau où l'émotion participe à la perception. Elle se fait tout particulièrement aux premiers réglages des pondérations (stockage de vitesse) des différents systèmes, mais surtout de la dualité vestibulaire et optocinétique. (2)

« Pour donner du sens à une perception, le système nerveux central teste les capteurs »
Alain Berthoz

Différents aspects du syndrome

Physiologique

Une dépendance visuelle

Lorsque le conducteur est gêné lors d'un dépassement, c'est que le poids de cette entrée visuelle prend trop d'importance. Qu'il soit doublé ou qu'il double, la vitesse visuelle (celle de l'environnement visuel) change selon le côté gauche ou droit. Cette différence à elle seule déclenche une sensation de rotation vers la gauche ou vers la droite. Contrôler cette impression sera la piste de la rééducation vestibulaire.

De même le patient peut nous raconter qu'il est gêné, de nuit ou de jour, par le flux de voitures opposées. Là encore le traitement sera à l'habituation optocinétique en séances de rééducation vestibulaire.

Psychique

Phobie de la vitesse (amaxophobie)

Quand notre patient est gêné d'avance, avant même d'aborder l'autoroute, ou encore gêné uniquement au volant, et plus du tout comme passager, même assis à l'avant avec pratiquement les mêmes visions et mêmes perceptions otolithiques que le conducteur. Cette anticipation est psychologique. C'est là qu'apparaît l'intérêt de l'hypnose, de la sophrologie, et en tout cas d'une diplomatie particulière. Il nous faut rassurer avant tout et aider le patient à reprendre le volant.

Un syndrome otolithique

Parfois la gêne est plus subtile : uniquement en translation comme lors d'un rabattement après dépassement, ou juste avant, au moment où on commence cette action de doubler et lors d'une bretelle de sortie d'autoroute. C'est un syndrome otolithique, car le système otolithique exagère l'estimation de trajectoire dans le syndrome de l'autoroute.

Parfois encore, c'est sur un pont que le syndrome de l'autoroute est maximum : une acrophobie (la peur du vide). C'est encore un syndrome otolithique, cette fois déficient, car le système otolithique ne suffit pas à rassurer le conducteur. La rééducation vestibulaire va donner du poids à la fonction otolithique en perturbant la proprioception plantaire et les voies visuelles. Attention il s'agit d'un patient assis dans sa voiture, c'est une autre proprioception que celle du patient debout.

Axes thérapeutiques tels que les proposaient déjà M Gresty et J Golding (1)

- La thérapie comportementale et cognitive: donner une explication positive et constructive
- Une règle générale dans toutes ces approches : L'évitement renforce l'anxiété
- Les anxiolytiques: type quart de Léxomil peuvent être utile
- La rééducation vestibulaire surtout optocinétique. Une habitude douce, patiente, régulière, longue. Attention de ne pas dépasser les limites émotionnelles du patient. Aller trop vite en besogne et quelquefois perdre du temps et quelquefois encore perdre le patient. Effrayé, il risque de ne pas revenir
- Combinaison rééducation vestibulaire et techniques de sophrologie de détente. Tout ce qui permet la détente... Ne pas refuser les autres médecines douces et parallèles
- L'expérience réelle de l'auto-école. Sans gêner l'instructeur de l'auto-école, on peut lui confier le patient en arguant la difficulté à rouler dans des conditions difficiles. Ce passage progressif dans la vie réelle est indispensable

« Le cerveau élabore des perceptions sur le monde, il fonctionne à partir de l'action qu'on envisage de faire. » Antonio Damasio



Conclusion

Le syndrome de l'autoroute, cette amaxophobie, serait une hypersensibilité vestibulaire otolithique avec dépendance visuelle dont la prise en charge serait une habitude douce et patiente.

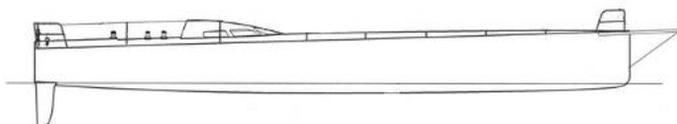
Références

1. Bronstein AM, Golding JF, Gresty MA, Vertigo and dizziness from environmental motion: visual vertigo, motion sickness and drivers' disorientation Semin Neurol 2013,33: 2019-230
2. Balaban CD. Migraine, vertigo and migrainous vertigo. Links between vestibular and pain mechanisms. Journal of vestibular Research 2011, 21 : 315-321

Un navire, un mal de mer. Histoires vraies, bilan et rééducation, projet de recherche

Le navire...

Open 60 type Vendée Globe



Le navire...

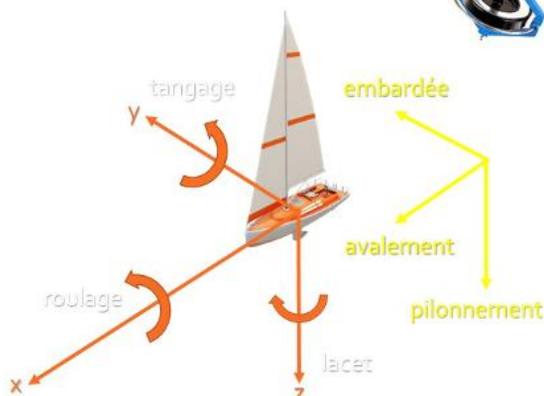
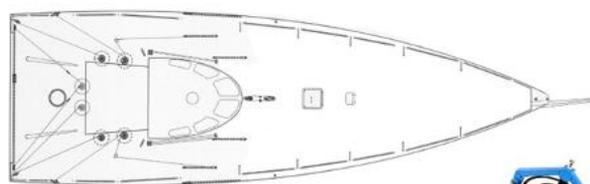
Voilier 14 à 16 m

Propulsion innovante

Navire inclinable, ballasts, dérives, quille...

Equipés de capteur
gyroscopes
accéléromètres
GPS

Mesures / contre-mesures



Mal des transports

STÉPHANE BESNARD

stéphane Besnard Responsable

Jean-Michel Serveau Porteur de projets

Thomas Richard Vitton Porteur de projets



Mal des transports en voiture : traitement avec le fauteuil

- La cinétose est omniprésente dans notre quotidien avec environ un tiers de la population mondiale concernée. En voiture, celle-ci peut s'exprimer depuis une simple nausée peu prononcée lorsqu'un passager quitte des yeux la route pendant quelques minutes en portant attention, par exemple, à un écran, ou encore l'impossibilité pour un enfant de faire un trajet d'1 km sans vomir, jusqu'à une envie de vomir en conduisant son propre véhicule. Cet article est le résumé de l'observation faite d'une découverte fortuite d'un traitement curatif efficace et définitif contre la cinétose alors que la cible du traitement opéré était la canalolithiase accompagnant un VPPB présent dans le même temps chez le patient.

ETUDE CLINIQUE

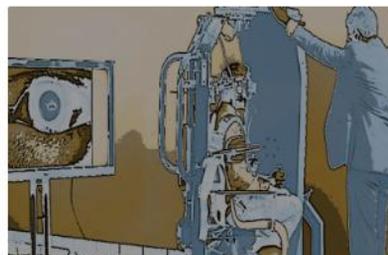
Les patients concernés étaient tous venus consulter pour des troubles de l'équilibre et ceux inclus ont déclaré souffrir de cinétose associée, dans la grande majorité des cas depuis l'enfance. Environ 300 patients ont été inclus depuis 2017. Le diagnostic et le traitement de la canalolithiase était réalisé grâce à l'utilisation d'un dispositif d'assistance mécanique : le fauteuil TRV.



□ Thomas Richard Vitton
Médecin ORL et développement technologique
trichardvitton@aol.com

Le protocole thérapeutique est celui appliqué pour les canalolithiases latérales chroniques (plus de 1 mois d'expression clinique) et comporte 8 étapes de chacune 15 impacts de décélérations calibrées à 1G (Barbecue dynamique) de manière à opérer un transfert d'énergie cinétique sur les micro-particules et favoriser ainsi leur progression, à raison de 1 étape tous les 45° en débutant le nez basculé à 45° vers le sol du côté de l'oreille considérée atteinte (canal latéral) et progression en tournant vers l'épaule saine jusqu'à la dernière position nez vers le sol.

Le test d'efficacité concernant la cinétose était appliqué dès le voyage retour à domicile en demandant au patient traité de consulter un écran alors qu'il était en situation de passager. Le patient était considéré guéri si aucune gêne n'était ressentie pendant au minimum 10 mn de trajet alors que la plupart de ces patients étaient auparavant incapables de baisser les yeux sur un écran plus d'une minute sans avoir de nausées.



RESULTATS

L'étude est encore en cours d'analyse de résultats par questionnaires et les premiers dossiers traités montrent une guérison complète de la cinétose avec une seule séance pour près de 65% des patients et plus de 90% avec 2 séances. Les résultats semblent stables dans le temps avec un recul d'environ 5 ans pour les plus anciens.

ANALYSE, HYPOTHESE, DISCUSSION

Une étude de modélisation en laboratoire spécialisé « mécanique des fluides », réalisée en 2016 et non encore publiée, a constitué la pierre angulaire de notre prise en charge mécanisée des canalolithiases. En effet, celle-ci nous a montré que la progression des particules (otoconies) sous l'action de la gravité était fortement dépendante de la taille de ces dernières. Ainsi, en chute libre dans le liquide endolymphatique dans un canal de 20 mm de long déroulé et en position verticale, une particule de 30 μm et 30 secondes pour faire le parcours équivalant à cupule-sortie dans les conditions optimales de progression, lorsqu'une de 10 μm prend 6 min pour le même trajet et 70 min pour une particule de 3,5 μm . Ceci explique très probablement les symptômes résiduels observés après les VPPB traités « classiquement », notamment les troubles de l'équilibre sous forme d'instabilités.

L'hypothèse avancée pour expliquer la cinétose est la persistance de particules de très petite taille au sein d'un ou des deux canaux latéraux, conduisant à augmenter la densité du liquide endolymphatique et à induire une sensibilité du ou des canaux concernés à toute forme d'énergie cinétique, centrifuge ou centripète. Ainsi le canal latéral va coder, via l'ampoule concernée, une rotation de la tête à la place d'une décélération ou accélération ou encore lors d'exposition à une force centrifuge ou centripète, alors que dans des conditions de fonctionnement normal le canal latéral n'est pas sensible à ces dernières.

Dernier point, l'association à une construction sensorielle de type « dépendance visuelle » est nécessaire pour exprimer le mal des transports, car l'ensemble des patients présentant une canalolithiase latérale ne va pas systématiquement ressentir une cinétose.

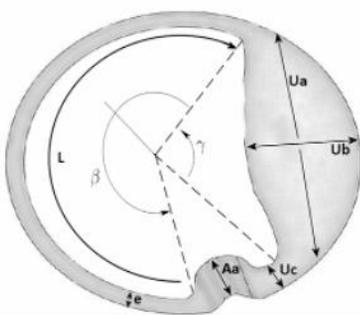


Schéma du modèle adopté pour le canal latéral

CONCLUSION

Cette étude est une avancée majeure dans la compréhension des mécanismes conduisant au mal des transports. Actuellement les différentes thérapies engagées et irrégulièrement efficaces consistent à contourner le problème causal en adaptant l'organisme à l'anomalie, supprimant ainsi la dépendance visuelle à l'origine de cette sensibilité très inconfortable.

L'opportunité de traiter la cause semble se présenter à nous. Des études complémentaires vont se mettre en place avec des paramètres d'inclusion de mesures un peu plus poussés sur le plan scientifique mais les premières constatations semblent confirmer une sérieuse piste de recherche.

Indice visuel périphérique contre la cyber-cinétose

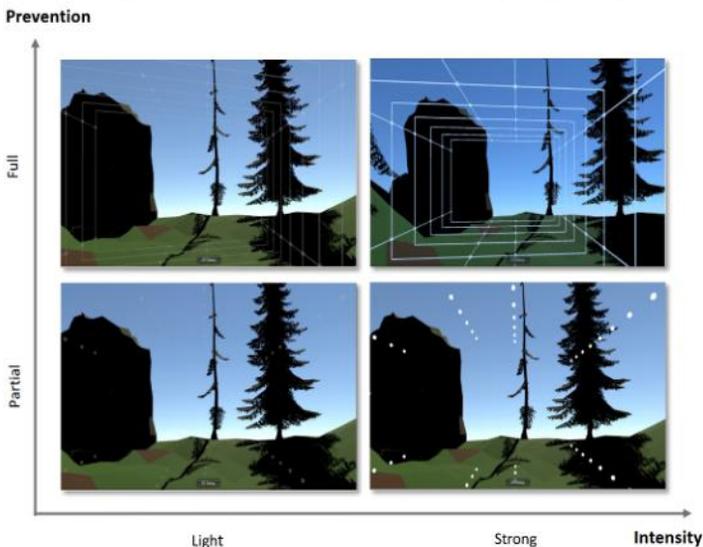
➤ La cyber-cinétose ou mal de la réalité virtuelle, est une forme de cinétose induite par l'immersion dans un monde virtuel via un casque de réalité virtuelle. Elle a une forte occurrence lorsque cette immersion est accompagnée de déplacements virtuels. Les informations visuelles de mouvement du monde virtuel ne sont pas corroborées par les informations vestibulaires et proprioceptives du monde réel. C'est ce qui déclencherait cette forme de cinétose suivant la théorie du conflit sensoriel (sensory mismatch) de J Reason et J Brandt.

Forte du succès commercial de ses lunettes Boarding Glasses contre la cinétose par une mise à disposition d'informations inertielles destinées au champ visuel périphérique, la société Boarding Ring a développé une solution contre la cyber-cinétose : Seenetic VR.

Sous forme d'add-on logiciel, des indices visuels sont générés en surimpression du contenu virtuel, apportant des informations de mouvement et d'inertie du monde réel dans le monde simulé. Ainsi, bien que confinés dans le contenu virtuel, les yeux ont alors accès à des informations inertielles congruentes avec les autres sens (Figure ci-dessous).

☐ [Renaud Jeannin, Boarding Ring](mailto:renaud@boardingring.com)
renaud@boardingring.com

Exemple de rendu des indices visuels périphériques

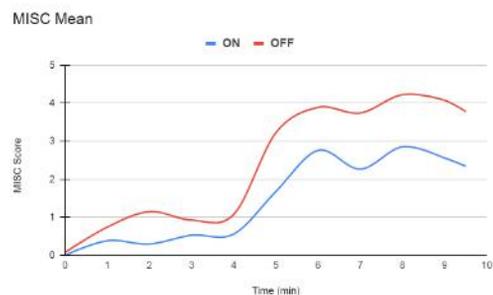


En moyenne, les participants du groupe "ON" ont eu des scores de "Misery Scale" inférieur au groupe "OFF" pour chacune des 10 mesures prélevées lors de la simulation. Ceci traduit une cyber-cinétose moins importante. La moyenne de ces valeurs pour le groupe "ON" est significativement inférieure à celles du groupe "OFF" (Student t-test: $t = 2.05$; $p = 0.0439$)

8 sujets (soit 23,5%) du groupe "OFF" ont dû interrompre l'immersion avant la fin (le premier après seulement 1,5 minutes d'immersion) contre 1 sujet (soit 2.9%) du groupe "ON" (après 6 minutes d'immersion).

Un premier test a été réalisé. 68 sujets ont été séparés en deux groupes dont la sensibilité au mal des transports (MSAQ), la moyenne d'âge, le ratio homme/femme et l'expérience en réalité virtuelle sont semblables (majoritairement néophyte). Un premier groupe "OFF" a visionné dans un casque de réalité virtuelle, une vidéo 360° de 10 minutes découpée en deux parties : une exploration de 4,5 minutes dans une forêt amazonienne avec des déplacements lents, puis une session de 5,5 minutes de montagnes russes extrêmes. Un second groupe "ON" a visionné la même vidéo avec le dispositif Seenetic VR activé.

Les mesures de cyber-cinétose ont été réalisées à l'aide du "Misery Scale" et les sujets pouvaient arrêter l'expérience à tout moment.



➤ Le dispositif Seenetic VR semble être une voie prometteuse comme contre-mesure à la cyber-cinétose



- Pour la troisième année consécutive, deux projets seront labélisés « Prix de l'année GDRV » afin de soutenir leurs démarches de levée de fond auprès des organismes nationaux et internationaux et des fondations
 - Des aides de 2000€ et 1000€ seront attribués aux deux projets lauréats par le comité d'experts du GDRV
- Pour les informations pratiques: voir la rubrique « Prix annuel du GDRV » sur <http://gdrvertige.com>

Modulation de la fonction vestibulaire par la vergence : innovations pour l'exploration fonctionnelle et l'entraînement des personnes avec vertiges ou mal des transports

□ Zoï Kapoula, Directrice de Recherche CNRS Honoraire au LIPADE Université Paris Cité, Directrice R&D à ORASIS-EAR (www.orasis-ear.com)

L'exploration du monde visuel 3D se fait au moyen des saccades oculaires (mouvements rapides et conjugués des deux yeux, avec fixation du regard d'un point à l'autre); ces mouvements peuvent être horizontaux ou verticaux ou les deux à la fois (obliques). Un autre mouvement important est la vergence, mouvements des yeux dans des directions opposées permettant d'ajuster l'angle des axes optiques selon la profondeur de l'objet fixé ; les yeux convergent pour fixer un objet proche et divergent pour fixer un objet lointain. Grâce à la vergence, l'angle des axes optiques est ajusté selon la profondeur à laquelle se situe l'objet d'intérêt afin que l'objet cible soit projeté sur les deux fovéas - prérequis pour que le cerveau puisse fusionner les deux images rétinienne.

Obtenir une vision binoculaire précise, percevoir le relief et estimer précisément la distance entre les objets dépend de la qualité de la vergence. La vergence est le mouvement le plus fragile, le moins stéréotypé, sa dynamique est altérée par l'âge, la fatigue et tout trouble neurologique. C'est le premier mouvement oculaire à être affecté suite à toute atteinte neurologique, car le plus complexe! Comme tout autre mouvement oculaire, la vergence est dotée d'une neuroplasticité, permettant de retrouver un bon fonctionnement et ceci tout au long de la vie. Cette neuroplasticité se caractérise par une capacité de régulation améliorant les propriétés spatio-temporelles du mouvement oculaire, à savoir l'amplification et l'accélération du mouvement.

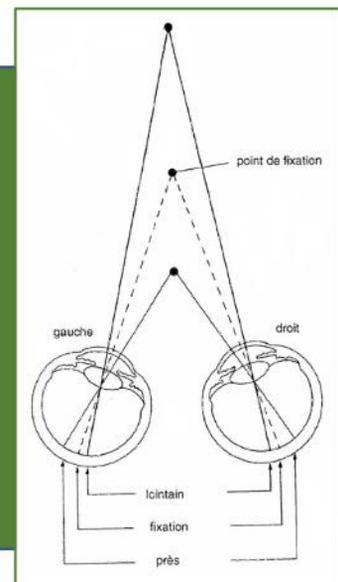
La neuroplasticité est stimulée efficacement avec le paradigme dit de *double sauts de la cible* inventé par McLaughlin en 1967 (1) ; de très nombreuses études ont permis de bien cerner les bases neurales et les mécanismes de cette neuroplasticité oculomotrice qui constitue un modèle de neuroplasticité du cerveau (voir Leigh & Zee, 2).

La neuroplasticité de la vergence, couplée avec l'accommodation (la mise au point des images) est la base d'une vision binoculaire de qualité pour le sujet humain. Par ailleurs, des études ont permis de démontrer l'importance de la vergence pas seulement pour la qualité de la vision mais aussi l'équilibre postural (voir 3-10).

Hypothèse

La vergence interagit avec tout autre mouvement oculaire, pour assurer le contrôle de la troisième dimension et la vision binoculaire y compris pendant les mouvements oculocéphaliques. Ainsi, la fonction vestibulo-oculaire et la vergence-accommodation sont intimement liées. Kapoula et col. (11) ont montré que les patients avec une perte idiopathique bilatérale de la fonction vestibulo-oculaire, des années après, présentent des troubles de vergence persistants. De façon intéressante, cette étude montrait aussi que l'exécution des mouvements de vergence, même déficitaires, améliorerait certains paramètres du contrôle postural en position orthostatique.

Mouvements de vergence



Modulation de la fonction vestibulaire par la vergence : innovations pour l'exploration fonctionnelle et l'entraînement des personnes avec vertiges ou mal des transports

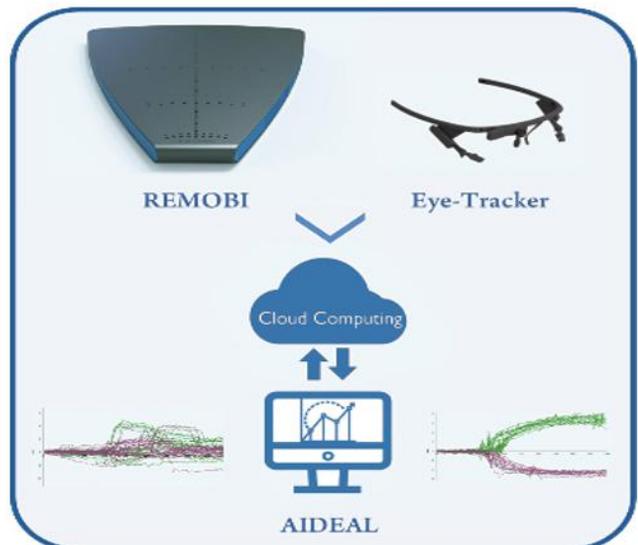
Chez le sujet sain il a été démontré entre autres par Hine T, Thom F (12), Clément & Maciel (13) que le gain du réflexe vestibulo-oculaire (RVO) rotatoire périodique dépend de la profondeur des fixations et de la vergence. En vision proche (à 15 ou 20 cm) le gain du RVO (le rapport de la vitesse du mouvement des yeux / vitesse du mouvement de la tête) est typiquement égal à 1.3-1.6, et devient égal à 1 à partir de 100 cm de distance : le gain décroît progressivement au fur et à mesure que l'objet fixé s'éloigne. D'autre part, dans la pratique clinique, il est bien connu que le nystagmus spontané dans des cas de vestibulopathies dépend largement de l'état de vergence (voir Leigh & Zee, 2). En clinique, l'exploration fonctionnelle de la vergence et de la modularité du RVO en profondeur chez des patients avec vertige et pathologies vestibulaires est quasi-inexistante. Les patients avec vestibulopathie idiosyncratique ou autre, bilatérale ou unilatérale ont-ils une déficience du RVO à toute profondeur ? Est-il possible de stimuler la neuroplasticité vestibulaire via un entraînement de vergence ? L'hypothèse paraît physiologiquement plausible puisqu'il existe une symbiose, montrée chez le sujet normal, entre la fonction vestibulaire, la vergence et les interactions bidirectionnelles. L'objectif de nos travaux de recherche et d'innovation est d'apporter les moyens pour l'exploration fonctionnelle et l'entraînement de cette modularité spatiale binoculaire de la fonction vestibulaire qui constitue le gage d'une vision de qualité.

Etude de cas

Patiente de 48 ans, souffrant de vertige chronique dont l'origine reste inconnue avec des antécédents d'ostéoporose, hypertension et tension oculaire traités (IRM et VIHT récents et normaux, patient très bien documenté et suivi par le service du Dr M. Toupet, Paris. Le questionnaire de symptomatologie (CISS, convergence insufficiency symptom scale) montre un score très élevé de 43.

La technologie REMOBI & AIDEAL a été utilisée, incluant des tests de vergence et des tests de rotation active périodique vestibulo-oculaires en fixant successivement à 4 profondeurs (20, 36, 60, 100 cm) ; les mouvements des deux yeux étaient enregistrés avec le dispositif *low cost* PupilCore de PupilLabs, et les mouvements de la tête avec un accéléromètre *low cost* (WiTMotion, BWT6ICL). Les tests ont été faits avec la correction optique du patient.

Le test de vergence montrait une forte hypométrie et une lenteur aussi bien des convergences que des divergences. Au test sensoriel de vision binoculaire d'une diode présentée à 4 profondeurs différentes, la patiente rapporte une vision double dès 40 cm. De plus, le gain de son RVO actif sinusoïdal était très faible à 20 et 40 cm (0.71) et augmentait pour 100 cm (0.91)



0.71	0.87	0.89	20cm
0.57	0.64	0.88	36cm
0.81	0.9	0.96	60cm
0.91	1.06	1.06	100cm

La patiente a suivi 4 séances d'entraînement des vergences, alternant des séances avec ou sans mouvements de la tête, couplés aux mouvements de vergence. Les résultats montrent une augmentation du gain du VOR pour des distances proches allant de pair avec les améliorations de la dynamique de la vergence (voir Figure 1). La symptomatologie a baissé (CISS à 34), la patiente décrit une vision de près durant la lecture plus confortable.

Bien que des séances complémentaires seraient nécessaires, ces résultats sont très favorables et en accord avec la littérature précitée sur la symbiose entre vergence, accommodation et fonction vestibulaire. Certains modèles, par exemple : Ranjbaran & Galiana, (14) proposent une hybridité, selon laquelle le RVO utiliserait la copie éfférente du signal de vergence pour moduler le gain RVO en fonction de la profondeur.

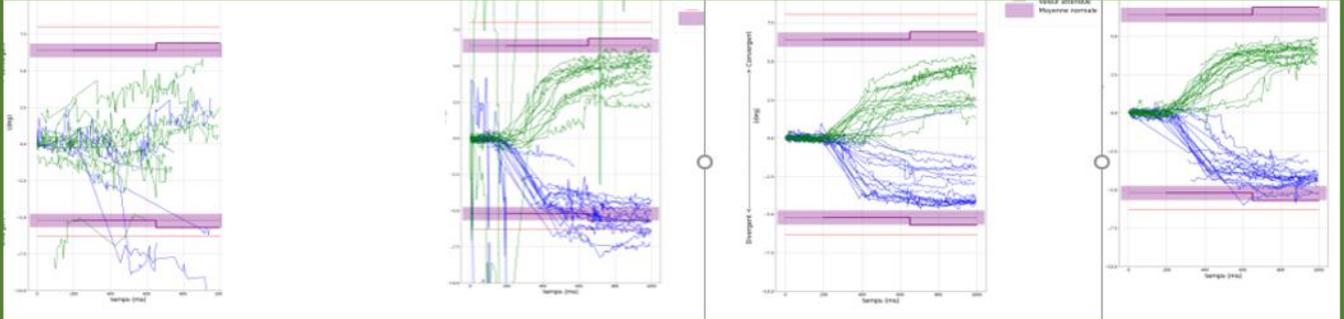


Figure 1: Tracés des convergences (en vert) et des divergences (en bleu) avant et durant les 3 séances d'entraînement avec le paradigme de double saut de la cible. Les tracés s'améliorent progressivement en s'approchant de la cible et des valeurs physiologiques (ligne rouge et barre lilas), avec moins de fluctuation et une dynamique plus rapide.

En **conclusion** chez l'Homme la vision binoculaire et sa base motrice – la vergence, sont importantes pour des activités proches avec appréhension manuelle, pour la posture et l'équilibre. Presque toujours tout changement de vergence implique un mouvement léger de la tête, élévation ou abaissement, ce mouvement pouvant être implicite (covert) ou explicite, couplé aussi avec des mouvements latéraux (implicites ou explicites). La modulation de la fonction vestibulaire en fonction de la profondeur est une réalité physiologique, omniprésente active pendant les quelques 100 000 mouvements oculaires que nous effectuons chaque jour. Il est donc capital de disposer d'aujourd'hui des méthodes intégratives permettant l'exploration fine et l'entraînement de cette interactivité. Des études et applications cliniques sont en cours dans différents centres.

Conflit d'intérêt ; Z. Kapoula inventrice et fondatrice de Orasis-Ear commercialisant la technologie REMOBI & AIDEAL . **Brevets**: REMOBI, US885 1669, WO2011073288, AIDEAL PCT/EP2021/062224 7 May 2021, VERTIGO WO 2022/074132 A1. **Remerciements** : Pr. Pierre Denise, Université Caen, pour ses conseils sur tests RVO. M. Toupet pour avoir adressé la patiente.

Références 1. McLaughlin P Parametric adjustment in saccadic eye movements Percept. Psychophys., 2 (1967, pp. 359) 2.R. John Leigh, David S. Zee, The Neurology of Eye Movements (5 edn) Oxford Press, 2015 3. Daniel F, Kapoula Z. Induced vergence-accommodation conflict reduces cognitive performance in the Stroop test. Sci Rep. 2019 Feb 4;9(1):1247. 4. Delfosse G, Brémond-Gignac D, Kapoula Z. Postural Patterns of the Subjects with Vergence Disorders: Impact of Orthoptic Re-education, a Pilot Study. Br Ir Orthopt J. 2018 Oct 9;14(1):64-70. 5. Morize A, Kapoula Z. Reeducation of vergence dynamics improves postural control. Neurosci Lett. 2017 Aug 24;656:22-30 6. Morize A, Brémond-Gignac D, Daniel F, Kapoula Z. Effects of Pure Vergence Training on Initiation and Binocular Coordination of Saccades. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2017 Jan 1;58(1):329-342. 7. Daniel F, Morize A, Brémond-Gignac D, Kapoula Z. Benefits from Vergence Rehabilitation: Evidence for Improvement of Reading Saccades and Fixations. Front Integr Neurosci. 2016 Oct 20;10:33. 8. Kapoula Z, Morize A, Daniel F, Jonqua F, Orssaud C, Brémond-Gignac D. Objective evaluation of Vergence Disorders and a Research-Based Novel Method for Vergence Rehabilitation. Transl Vis Sci Technol. 2016 Mar 11;5(2):8. 9. Matheron E, Yang Q, Delpit-Baraut V, Dailly O, Kapoula Z. Active ocular vergence improves postural control in elderly as close viewing distance with or without a single cognitive task. Neurosci Lett. 2016 10. Yang Q, Delpit-Baraut V, Dailly O, Kapoula Z. Active ocular vergence improves postural control in elderly as close viewing distance with or without a single cognitive task. Neurosci Lett. 2016 Jan 1;610:24-9. 11. Kapoula Z, Gaertner C, Yang Q, Denise P, Toupet M. Vergence and Standing Balance in Subjects with Idiopathic Bilateral Loss of Vestibular Function. PLoS One. 2013 12. Hine T, Thorn F. Compensatory eye movements during active head rotation for near targets: effects of imagination, rapid head oscillation and vergence. Vision Res. 1987;27(9):1639-57 13. Clément G, Maciel F. Adjustment of the vestibulo-ocular reflex gain as a function of perceived target distance in humans. Neurosci Lett. 2004 Aug 12;366(2):115-9. 14. Ranjbaran M, Galiana HL. Hybrid model of the context dependent vestibulo-ocular reflex: implications for vergence-version interactions. Front Comput Neurosci. 2015 Feb 9;9:6.

Désordres Cliniques et Biomarqueurs du Mal des Transports

L'environnement de travail à bord d'un navire est unique et difficile, avec des stimuli constants dus aux mouvements du navire sur 6 axes, au bruit et aux vibrations. Il s'agit d'un environnement propice au mal de mer où l'effet du mal de mer et des symptômes liés au mal de mer sur le bien-être et la santé des marins n'est pas entièrement compris. Dans une étude publiée dans PlosOne [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273477>], la plupart des marins ont souffert de mal de mer (87,8%) ou de mal de débarquement (85,8%). Les antécédents de céphalées de tension (38,1%) et d'acouphènes (37,9%) étaient assez fréquents. Au total, 30,6 % des participants avaient été admis à l'hôpital une fois ou plus en raison de mésaventures ou d'accidents à terre.

□ Hannes Petersen, Nanna Ýr Árnadóttir, Deborah Jacob, Marco Recenti, Romain Aubonnet, Halldór Svansson, Mahmoud Hassan and Paolo Gargiulo, hpet@hi.is

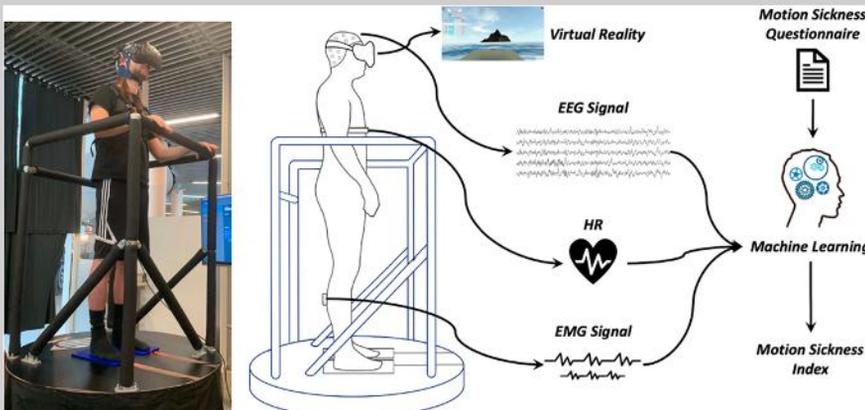
Le mal de mer et ses symptômes, ainsi que le mal de débarquement, sont fréquents chez les marins islandais. Les conditions de travail en mer sont exigeantes et semblent affecter la santé des marins, tant en mer qu'à terre.

Afin d'explorer plus avant l'effet du mal de mer (mal des transports) sur la santé des individus, des signes objectifs (biomarqueurs) doivent être identifiés. Pour ce faire, un nouveau dispositif de mesure appelé BioVRSea est utilisé pour quantifier les symptômes du mal des transports.

Les mesures sont en cours et, à ce jour, plus de 400 sujets ont été recrutés. Tous les sujets ont répondu au questionnaire sur la susceptibilité au mal des transports et à des questions sur les symptômes du mal des transports avant et après le test. Les paramètres des biosignaux et les réponses aux questionnaires ont été combinés pour créer un indice du mal des transports (IMS). L'apprentissage automatique a donné de bons résultats dans la classification des indices binaires, la forêt aléatoire étant le meilleur algorithme.

En outre, l'influence du mode de vie sur le mal des transports a été étudiée, c'est-à-dire qu'un indice de mode de vie (somme cumulée pesée de l'activité physique, de l'IMC, du tabagisme, de la consommation d'alcool et de la consommation de café) a été créé. Les personnes caractérisées par un bon mode de vie ont moins souffert (82%) du mal des transports que celles caractérisées par un mauvais mode de vie.

Enfin, cette approche BioVRSea était utilisée pour différencier les sujets/patients souffrant de commotion cérébrale.



Nature Sci. Report
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-12822-0> et (précision de 74,7 pour l'IMS)
 Front. Bioeng. Biotechnol. 9:635661.
 doi : 10.3389/fbioe.2021.635661.



Mal de mer: des Mouvements Dynamiques Actifs aux Vibrations Mastoïdiennes

➤ La naupathie est sans doute la plus fréquente des cinétoses. Seuls 2% des marins réguliers et occasionnels en sont complètement exemptés.

La navigation maritime provoque une association complexe de stimulations vestibulaires, proprioceptives et visuelles. Malgré cette complexité, la rééducation vestibulaire a montré une certaine efficacité grâce, entre autre, à l'optocinétisme, au fauteuil rotatoire ou à la réalité virtuelle.

Dans nos cabinets de kinésithérapie, les Mouvements Dynamiques Actifs (MDA) sont enseignés aux patients souffrant d'instabilité. Or certains d'entre eux ont ressenti une diminution de leur cinétose suite à la réalisation des MDA.

☐ **Yoann Noublanche**, Masseur-kinésithérapeute DE, Rééducateur vestibulaire, Concarneau, yoanoub@gmail.com

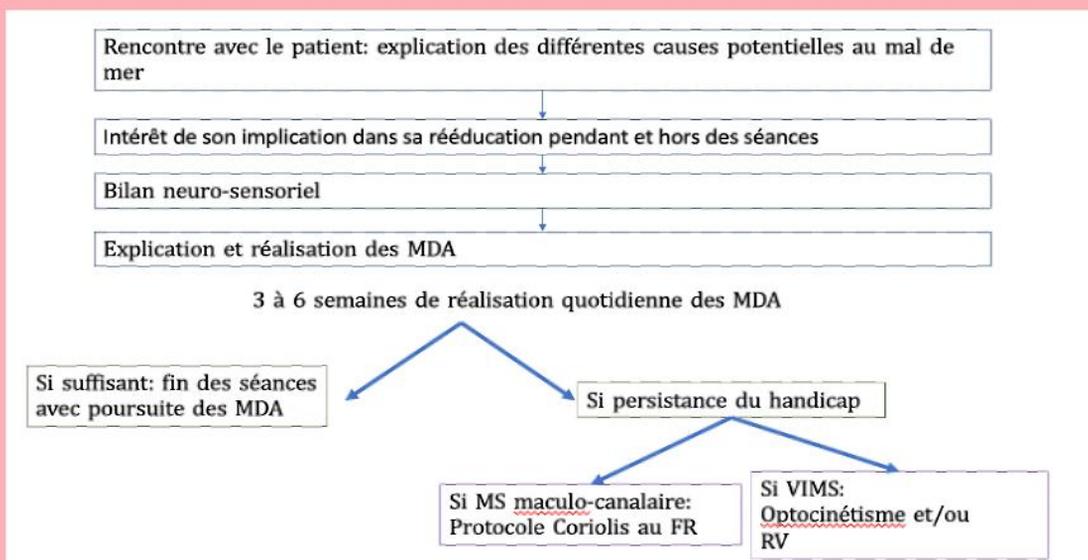
ETUDE CLINIQUE

Une étude a débuté en 2021 sur les effets des MDA sur le mal de mer. Elle intègre à ce jour huit patients. Après 3 semaines minimum de réalisation des MDA, l'ensemble des sujets ont vu leur naupathie passer d'un malaise franc à un malaise modéré sur l'échelle de Graybiel et Miller. L'intensité de leur mal de mer est passée en moyenne de 6,2 à 3,75 sur l'Échelle Visuelle Analogique.

Le début de cette étude semble montrer l'efficacité des MDA sur la naupathie.

Les Mouvements Dynamiques Actifs ne suffisent pas à eux seuls à expliquer ces résultats. Une prise de conscience du patient sur son rôle à jouer est tout aussi important.

- Il doit être acteur de sa rééducation.
- Respecter les 5F (Faim, Froid, Fatigue, Frousse, « Foif »).
- Gérer son positionnement dans le navire (proximité du centre de gravité).
- Réduire son anxiété et son anticipation à être malade à bord du bateau...



Mal de mer des Mouvements Dynamiques Actifs aux Vibrations Mastoïdiennes

➤ Le but de la rééducation est d'éviter, de retarder ou de diminuer les symptômes de la naupathie.

Différents stades sont décrits :

Stade 1 : phase prodromique : pâleur, sueur, hypersialorrhée, céphalées, fatigue, désintérêt progressif pour l'environnement.

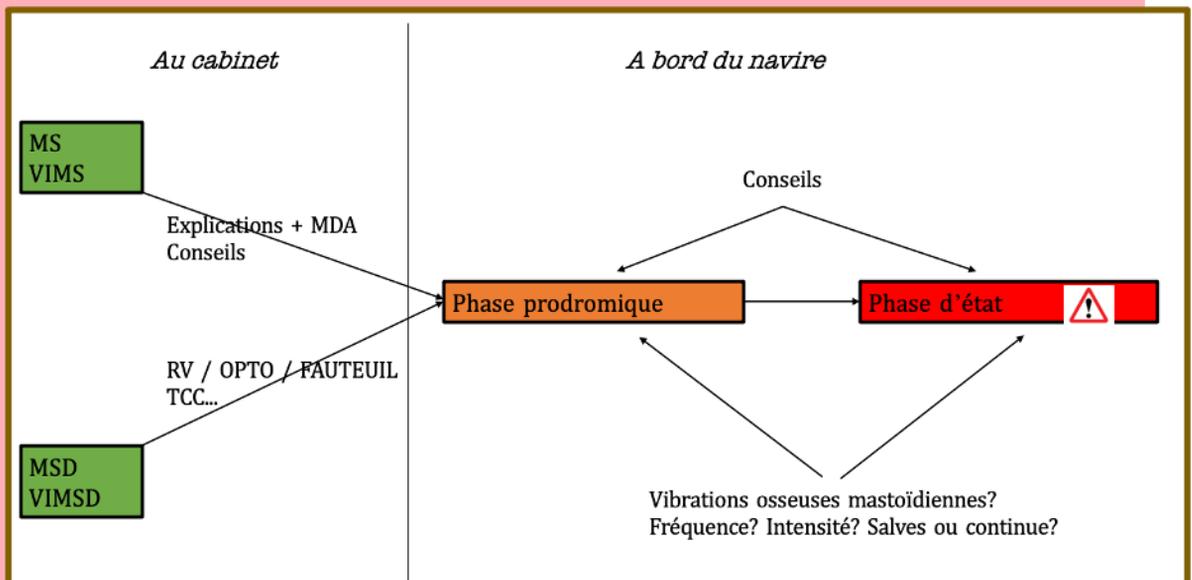
Stade 2 : phase d'état : vomissement, apathie, prostration, tremblements, vertiges, troubles de la tension et du rythme cardiaque, trouble de la régulation thermique.

Il faut éviter le passage au stade 2 car la phase d'état peut entraîner une décompensation de pathologies sous-jacentes, provoquer une déshydratation, risquer un accident...

➤ Dans la littérature et dans l'observation des patients au cabinet de kinésithérapie, on observe une diminution de l'intensité des symptômes de la cinétose ou un retard dans leurs apparitions, lors d'utilisation de vibrations osseuses mastoïdiennes.

La proposition est d'utiliser ces vibrations durant les séances de kinésithérapie afin d'optimiser la rééducation (séances plus longues, mieux tolérées) ou sur le navire afin d'éviter l'apparition ou le changement de stade de naupathie.

➤ En conclusion, ci-dessous, une proposition personnelle, non exhaustive, du traitement par kinésithérapie du mal de mer



Besnard Stephane, Bois Jerome, Hitier Martin, Vogt Jeanne, Laforet Paul, Golding John. Motion Sickness lessons from the Southern Ocean, *Aerospace Medicine and Human Performance*, Volume 92, Number 9, September 2021, pp.720-727.

Lucertini Marco, Verde Paola, Trivelloni Pierandrea. Rehabilitation from airsickness in military pilots: long-term treatment effectiveness. *Aviat Space Environ Med*. November 2013

Ressiot E., Dolz M., Bonne L., Marianowski R. Prospective study on the efficacy of optokinetic training in the treatment of seasickness. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis*. November 2013.

Weech Séamas, Moon Jae, Nikolaus F. Troje. Influence of bone-conducted vibration on simulator sickness in virtual reality. *March 2018*

Salter S., Diels C., Depireux D., Increased bone conducted vibration reduces motion sickness in automated vehicles. *International Journal of Human Factors and Ergonomics*. 2019

Mal du simulateur dans le domaine de l'aéronautique

➤ Les méthodes de numérisation et la dématérialisation progressent à grand pas. Elles contribuent à la mise au point d'environnements virtuels de plus en plus sophistiqués, qu'il s'agisse des jeux vidéo, des simulateurs industriels et plus récemment du Métavers [1]. Il sera donc difficile de trouver des domaines qui ne seront pas impactés par ces dispositifs dans le futur. Il reste que ces dispositifs ont encore des limitations qui sont à l'origine du Cybersickness.

1. Les simulateurs d'hélicoptères

Les simulateurs de conduite de véhicules terrestres en tout genre et d'aéronefs ne sont plus un rêve depuis longtemps et ils font figure de pionniers de la virtualisation. Depuis plus de 30 ans, dans le domaine de l'aviation, ces dispositifs permettent de former des équipages et cela n'a absolument rien de ludique car c'est une étape obligée pour devenir pilote professionnel : pour la plupart des pilotes c'est une obligation légale pour obtenir une licence de vol et la conserver [2]. L'utilité de ces dispositifs n'est plus à démontrer et ils se démocratisent. Cependant les technologies mises en œuvre sont loin d'être simples et elles nécessitent encore des compétences peu répandues, pour des simulateurs classiques en dôme ou des visiocasques.

Ce qui motive l'utilisation des simulateurs, c'est la possibilité d'immerger le pilote dans un environnement qui se rapproche de la réalité. L'objectif de formation des pilotes est la maîtrise de la sécurité des vols pour éviter les accidents. Dans ce contexte, le simulateur permet de recréer sans danger des situations critiques réelles déjà rencontrées, afin de permettre à l'équipage de réagir dans les délais, avec les bonnes pratiques. La qualité de cette formation fait l'objet de constantes évolutions car le transport aérien fait encore face à des accidents d'origine humaine, ce qui n'est pas acceptable.

Thales et le Laboratoire Borelli sont très actifs dans le domaine de la description du comportement des personnes en interaction avec des interfaces homme-machine complexes et dans le domaine des apprentissages qui mettent en jeu ces interfaces. Nous avons notamment inventé et mis en service un simulateur de mêlée pour la Fédération Française de Rugby [3]. Nous collaborons aussi depuis de nombreuses années sur les simulateurs d'aéronefs et à l'amélioration de la formation des pilotes [4,5].

□ Yannick James : THALES
□ Pierre-Paul Vidal : Centre Borelli

Figure 1 : Exemple de simulateur d'hélicoptère sur la photo de gauche. Celui-ci est homologué pour toutes les phases de la formation des pilotes (de type FFS pour Full Flight Simulator) ce qui permet au pilote de comptabiliser les heures passées en simulateur comme des heures de vol réel. La photo de droite représente deux hélicoptères réels en vol.



Si le but des simulateurs est de créer l'illusion d'être dans un système réel, il demeure qu'ils présentent encore de nombreuses limites, notamment des biais sensorimoteurs et cognitifs. Il faut donc connaître ces limites pour ne pas faire de l'entraînement dit « négatif ». C'est d'autant plus important que, dans le futur, les heures d'entraînement en simulateur ne feront qu'augmenter. Elles permettent de réduire les heures de vols réels pour un même niveau de compétence, ce qui réduit d'autant le coût de la formation initiale.



Figure 2 : la figure de droite représente le simulateur en vue en coupe : on voit les projecteurs en haut du dôme, la cabine et la scène visuelle à l'intérieur. La photo ci-dessus est une vue de la cabine à l'intérieur du dôme avec le pilote et le copilote en vol au-dessus d'une zone urbaine. L'instructeur est à l'arrière à gauche devant son écran de contrôle. On remarque que l'image projetée est déformée, mais elle est parfaitement alignée pour 3 positions prédéfinies: soit pilote, soit copilote, soit au milieu.

Les éléments qui composent un simulateur afin de rendre l'ensemble suffisamment immersif et permettre son homologation pour l'entraînement sont les suivants :

- Un dôme
- La cabine de l'hélicoptère (réplique grandeur réelle)
- Un ensemble d'affichage vidéo avec un écran large (220° horizontal par 90° vertical). Sur cet écran, un mur d'images est réalisé par 6 à 8 projecteurs, ces derniers sont situés sur le toit du dôme et dirigés vers l'intérieur. Le pilote ne doit pas voir les raccords des images de ces projecteurs.
- Cet ensemble dôme + cabine + projecteurs, est placé sur un mouvement 6 axes pour produire des stimulations vestibulaires et proprioceptives.



2. Le mal du simulateur

Le nombre de personnes malades dans les simulateurs diminue avec le temps, mais leur nombre reste encore trop important. L'essentiel des malades sont impactés par le VIMS (Visually Induced Motion Sickness).

Pour minimiser le VIMS, les étapes de conception d'un simulateur de vol sont rigoureuses et complexes. Un point important est la production des images temps réel (60 à 120 Hz) effectuée par des générateurs d'images spécifiquement conçus pour en garantir la fluidité et la qualité du contenu. Le but est d'obtenir la meilleure immersion possible compte tenu de l'état actuel des techniques. De ce fait, le domaine de la simulation s'écarte des autres domaines de production des images comme les jeux vidéo (leur coût doit être beaucoup moins élevé pour la simulation) ou le cinéma (production hors temps réel). Une minorité de simulateurs possède une plateforme de mouvement pour produire des stimulations vestibulaires et proprioceptives et rendre le système plus réaliste. Ces stimulations ont des accélérations d'amplitudes faibles de +/- 2 g et de courtes durées. Les inclinaisons de la cabine ne dépassent pas +/-20 ° autour de la verticale [6]. La reproduction des accélérations angulaires autour de l'axe verticale est très limitée.



Figure 3 : Voici deux photos (de conditions d'éclairage différentes) extraites de la base de données de la ville de Marseille, utilisée sur les simulateurs des centres de formation de pilotes de la région Provence Côte-d'Azur. On remarque une densité de l'habitat très réaliste, des effets de reflets de la lumière et une « brume » liée à la distance d'observation. Il est aussi nécessaire de pouvoir simuler des vols de nuit et des conditions météo variées (orages, neige, pluie, nuages isolés...)

À titre d'exemple et avec des simulateurs avec plateforme de mouvement, voici deux retours qui illustrent notre démarche quant aux cinétoses :

1 - Bilan sur un nouveau simulateur d'hélicoptère :

Expérimentation de 2 mois avec 11 pilotes sur 22 sessions de vol, faite à la livraison du simulateur en 2017. L'analyse est basée sur la réponse des pilotes au Simulator Sickness Questionnaire (SSQ). Le SSQ possède 4 niveaux (0 à 3): 40 % des pilotes présentent un niveau 2 d'inconfort, 60% niveaux 0 et 1 (léger inconfort). Mais les conditions de tests sont hors normes: affichage hors d'axe, décrochages violents, crash ... Incompatible avec le domaine de formation ciblé. Ces chiffres sont cohérents avec l'état de l'art [7]. Le simulateur est finalement accepté par le client suite à des améliorations dans le rendu de la scène visuelle (jonctions entre projecteurs qui étaient visibles, amélioration de la qualité des textures, ...) et aussi un usage plus conforme aux limites du simulateur [8] et peut-être aussi une adaptation des pilotes. Résultats:

Niveau SSQ	0	1	2	3
	Confort	Léger inconfort	Inconfort	Malade
Pilotes en %		60	40	0

2 – Bilan sur un autre simulateur d'hélicoptère déjà opérationnel depuis plusieurs années:

Expérimentation faite en 2017 et 2018 avec 9 pilotes professionnels sur 2 sessions de vol : l'une de 1 heure et l'autre de 2 heures. Trois pilotes ont été malades dont un pilote au niveau 2 d'inconfort du SSQ (durée du malaise importante) et les deux autres avec SSQ de niveau 1 (sur une phase courte du vol inférieure à 10 mn). Les pilotes les plus expérimentés n'ont pas été malades. Résultats:

Niveau SSQ	0	1	2	3
	Confort	Léger inconfort	Inconfort	Malade
Pilotes en %	67	22	11	0



Figure 4: Exemple de simulateur d'entraînement pour les opérations de recherche et de sauvetage en mer. Le visiocasque est un dispositif qui devient prépondérant dans ce domaine.



1) P Fuchs, *Théorie de la réalité virtuelle: Les véritables usages*, Presse des Mines, 2018 2) <https://www.easa.europa.eu/en/home>; 3) [https://www.easa.europa.eu/en/search?keys=FFS%20simulator&f\[0\]=origin:EASA+Pro](https://www.easa.europa.eu/en/search?keys=FFS%20simulator&f[0]=origin:EASA+Pro), 3) FFR Rugby : une mêlée plus vraie que nature https://www.youtube.com/watch?v=YAwOy_jKXLI, 4) I Bargiotas & all: "The complementary role of activity context in the mental workload evaluation of helicopter pilots: A multi-tasking learning approach" 2018, 5) J Mérand, D Hartnagel & S Buffat: "Détermination temps réel et multi-facteurs de la charge mentale pour le processus de certification des aéronefs" ERGO IA 2018, 6) RJ Telban & FM Cardullo: "Motion Cueing Algorithm Development: Human-Centered Linear and Nonlinear Approaches", NASA/CR-2005-213747, 2005, 7) Johnson DM: *Introduction to and Review of Simulator Sickness Research*, US Army Research Institute, 2005, 8) J Chompoonuch & H Kazuhiko : *Parallax, Position and Height Difference effects on Simulator Sickness in Immersive Virtual Environment*, The 2013 Biomedical Engineering International Conference (BMEICON), 2013.

Un grand MERCI à nos partenaires pour leur fidélité dans le soutien à nos actions!

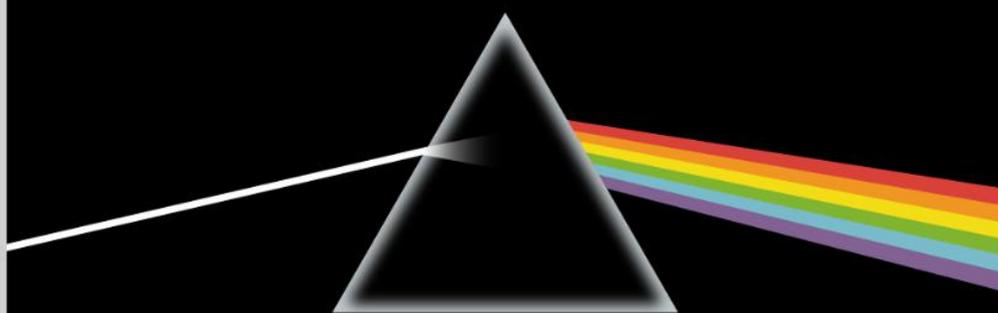




GDR
Vertige

LA NEWSLETTER

« Vertiges Rares: The Dark Side of the Moon »



Editeur en chef:
Romain TOURNEGROS
ORL, Lyon

