



**HAL**  
open science

# Intérêt de la simulation visuelle dans la rééducation de la naupathie

Marie-Alexandra Guinard Civrac de Fabian

► **To cite this version:**

Marie-Alexandra Guinard Civrac de Fabian. Intérêt de la simulation visuelle dans la rééducation de la naupathie. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. dumas-01830569

**HAL Id: dumas-01830569**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01830569v1>**

Submitted on 5 Jul 2018

**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 - NoDerivatives 4.0 International License

**UNIVERSITE DE BREST - BRETAGNE OCCIDENTALE**  
**Faculté de Médecine & des Sciences de la Santé**

\*\*\*\*\*

Année 2017

N°

THESE DE  
DOCTORAT en MEDECINE

**DIPLOME D'ETAT**

**Par**

Marie-Alexandra CIVRAC DE FABIAN (née GUINARD)

Né(e) le 15 Mai 1988 à Paris 16

Présentée et soutenue publiquement le 09 Mai 2017

**INTERET DE LA SIMULATION VISUELLE DANS LA REEDUCATION DE LA NAUPATHIE**

Etude pilote monocentrique prospective d'efficacité d'une rééducation par simulateur  
visuel de type OCCULUS RIFT dans le traitement de la naupathie.

Président du jury: Monsieur le Professeur Rémi Marianowski

Membres du Jury: Monsieur le Docteur Jean Rousset

Monsieur le Docteur Loïs Bonne

Monsieur le Docteur Brice Loddé

Monsieur le Docteur Nicolas Paleiron

Monsieur Frédéric Devillers

**UNIVERSITE DE BRETAGNE OCCIDENTALE**

-----  
**FACULTE DE MEDECINE ET  
DES SCIENCES DE LA SANTE DE BREST**

**DOYENS HONORAIRES** :

*Professeur H. FLOCH*

*Professeur G. LE MENN ( † )*

*Professeur B. SENECAIL*

*Professeur J. M. BOLES*

*Professeur Y. BIZAIS ( † )*

*Professeur M. DE BRAEKELEER ( † )*

**DOYEN**

**Professeur C. BERTHOU**

**PROFESSEURS ÉMÉRITES**

---

**CENAC** Arnaud

Médecine interne

**LEHN** Pierre

Biologie Cellulaire

**PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS EN SURNOMBRE**

---

**COLLET** Michel

Gynécologie - Obstétrique

**MOTTIER** Dominique

Thérapeutique

**RICHE** Christian

Pharmacologie fondamentale

**LEFEVRE** Christian

Anatomie

**PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS DE CLASSE EXCEPTIONNELLE**

---

**BOLES** Jean-Michel

Réanimation Médicale

**COCHENER - LAMARD** Béatrice

Ophthalmologie

**DEWITTE** Jean-Dominique

Médecine & Santé au Travail

**FEREC** Claude

Génétique

**GILARD** Martine

Cardiologie

**JOUQUAN** Jean

Médecine Interne

**OZIER** Yves

Anesthésiologie et Réanimation Chirurgicale

**ROBASZKIEWICZ** Michel

Gastroentérologie - Hépatologie

**PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS DE 1<sup>ÈRE</sup> CLASSE**

---

<b>BAIL</b> Jean-Pierre	Chirurgie Digestive
<b>BERTHOU</b> Christian	Hématologie – Transfusion
<b>BLONDEL</b> Marc	Biologie cellulaire
<b>BRESSOLLETTE</b> Luc	Médecine Vasculaire
<b>DE PARSCAU DU PLESSIX</b> Loïc	Pédiatrie
<b>DE BRAEKELEER</b> Marc	Génétique
<b>DELARUE</b> Jacques	Nutrition
<b>DUBRANA</b> Frédéric	Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
<b>FENOLL</b> Bertrand	Chirurgie Infantile
<b>FOURNIER</b> Georges	Urologie
<b>GOUNY</b> Pierre	Chirurgie Vasculaire
<b>HU</b> Weiguo	Chirurgie plastique, reconstructrice & esthétique ; brûlologie
<b>KERLAN</b> Véronique	Endocrinologie, Diabète & maladies métaboliques
<b>LACUT</b> Karine	Thérapeutique
<b>LEROYER</b> Christophe	Pneumologie
<b>LE MEUR</b> Yannick	Néphrologie
<b>LE NEN</b> Dominique	Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
<b>LOZAC'H</b> Patrick	Chirurgie Digestive
<b>MANSOURATI</b> Jacques	Cardiologie
<b>MARIANOWSKI</b> Rémi	Oto. Rhino. Laryngologie
<b>MISERY</b> Laurent	Dermatologie – Vénérologie
<b>MERVIEL</b> Philippe	Gynécologie médicale : option gynécologie obstétrique
<b>NEVEZ</b> Gilles	Parasitologie et Mycologie
<b>NONENT</b> Michel	Radiologie & Imagerie médicale
<b>PAYAN</b> Christopher	Bactériologie – Virologie; Hygiène
<b>REMY-NERIS</b> Olivier	Médecine Physique et Réadaptation
<b>SALAUN</b> Pierre-Yves	Biophysique et Médecine Nucléaire
<b>SARAUX</b> Alain	Rhumatologie
<b>SIZUN</b> Jacques	Pédiatrie
<b>STINDEL</b> Éric	Biostatistiques, Informatique Médicale & technologies de communication

**TILLY - GENTRIC** Armelle

Gériatrie & biologie du vieillissement

**TIMSIT** Serge

Neurologie

**VALERI** Antoine

Urologie

**WALTER** Michel

Psychiatrie d'Adultes

## **PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS DE 2<sup>ÈME</sup> CLASSE**

---

**ANSART** Séverine

Maladies infectieuses, maladies tropicales

**AUBRON** Cécile

Réanimation ; médecine d'urgence

**BEN SALEM** Douraid

Radiologie & Imagerie médicale

**BERNARD-MARCORELLES** Pascale

Anatomie et cytologie pathologiques

**BEZON** Eric

Chirurgie thoracique et cardiovasculaire

**BOTBOL** Michel

Psychiatrie Infantile

**BROCHARD** Sylvain

Médecine Physique et Réadaptation

**CARRE** Jean-Luc

Biochimie et Biologie moléculaire

**COUTURAUD** Francis

Pneumologie

**DAM HIEU** Phong

Neurochirurgie

**DELLUC** Aurélien

Médecine interne

**DEVAUCHELLE-PENSEC** Valérie

Rhumatologie

**GIROUX-METGES** Marie-Agnès

Physiologie

**HUET** Olivier

Anesthésiologie - Réanimation Chirurgicale/Médecine d'urgences

**LIPPERT** Éric

Hématologie ; transfusion : option hématologie

**LE MARECHAL** Cédric

Génétique

**L'HER** Erwan

Réanimation Médicale

**MONTIER** Tristan

Biologie Cellulaire

**NOUSBAUM** Jean-Baptiste

Gastroentérologie - Hépatologie

**PRADIER** Olivier

Cancérologie - Radiothérapie

**RENAUDINEAU** Yves

Immunologie

**SEIZEUR** Romuald

Anatomie-Neurochirurgie

**PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS - PRATICIEN LIBÉRAL**

---

<b>LE RESTE</b> Jean Yves	Médecine Générale
<b>LE FLOC'H</b> Bernard	Médecine Générale

**PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS ASSOCIÉS À MI-TEMPS**

---

<b>BARRAINE</b> Pierre	Médecine Générale
------------------------	-------------------

**PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS - LRU**

---

<b>BORDRON</b> Anne	Biochimie et Biologie moléculaire
---------------------	-----------------------------------

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS – PRATICIENS HOSPITALIERS DE HORS CLASSE**

---

<b>LE MEVEL</b> Jean Claude	Physiologie
<b>PERSON</b> Hervé	Anatomie

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS – PRATICIENS HOSPITALIERS DE 1ÈRE CLASSE**

---

<b>ABGRAL</b> Ronan	Biophysique et Médecine nucléaire
<b>CORNEC</b> Divi	Rhumatologie
<b>DE VRIES</b> Philine	Chirurgie infantile
<b>DOUET-GUILBERT</b> Nathalie	Génétique
<b>HERY-ARNAUD</b> Geneviève	Bactériologie – Virologie; Hygiène
<b>HILLION</b> Sophie	Immunologie
<b>JAMIN</b> Christophe	Immunologie
<b>LE BERRE</b> Rozenn	Maladies infectieuses-Maladies tropicales
<b>LE GAC</b> Gérard	Génétique
<b>LE ROUX</b> Pierre-Yves	Biophysique et Médecine nucléaire
<b>LODDE</b> Brice	Médecine et santé au travail
<b>MIALON</b> Philippe	Physiologie
<b>MOREL</b> Frédéric	Médecine & biologie du développement & de la reproduction
<b>PLEE-GAUTIER</b> Emmanuelle	Biochimie et Biologie Moléculaire
<b>QUERELLOU</b> Solène	Biophysique et Médecine nucléaire
<b>VALLET</b> Sophie	Bactériologie – Virologie ; Hygiène

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS – PRATICIENS HOSPITALIERS DE 2ÈME CLASSE**

---

<b>LE GAL</b> Solène	Parasitologie et Mycologie
<b>LE VEN</b> Florent	Cardiologie
<b>PERRIN</b> Aurore	Biologie et médecine du développement & de la reproduction
<b>TALAGAS</b> Matthieu	Cytologie et histologie

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS – PRATICIENS HOSPITALIERS STAGIAIRES**

---

<b>UGUEN</b> Arnaud	Anatomie et Cytologie Pathologiques
---------------------	-------------------------------------

**MAÎTRE DE CONFÉRENCES – PRATICIEN LIBERAL**

---

<b>NABBE</b> Patrice	Médecine Générale
----------------------	-------------------

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉ MI-TEMPS**

---

<b>BARAIS</b> Marie	Médecine Générale
<b>CHIRON</b> Benoît	Médecine Générale

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS**

---

<b>BERNARD</b> Delphine	Biochimie et biologie moléculaire
<b>FAYAD</b> Hadi	Génie informatique, automatique et traitement du signal
<b>HAXAIRE</b> Claudie	Sociologie - Démographie
<b>KARCHER</b> Brigitte	Psychologie clinique
<b>LANCIEN</b> Frédéric	Physiologie
<b>LE CORRE</b> Rozenn	Biologie cellulaire
<b>MIGNEN</b> Olivier	Physiologie
<b>MORIN</b> Vincent	Électronique et Informatique

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉS A TEMPS COMPLET**

---

<b>MERCADIE</b> Lolita	Rhumatologie
------------------------	--------------

**MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉS A MI - TEMPS**

---

**SCHICK** Ulrike

Cancérologie, radiothérapie : option radiothérapie

**AGRÉGÉS / CERTIFIÉS DU SECOND DEGRÉ**

---

**MONOT** Alain

Français

**RIOU** Morgan

Anglais



## Avertissement

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses: celles-ci sont propres à leurs auteurs.

## REMERCIEMENTS

### **A Monsieur le Professeur Rémi MARIANOWSKI,**

vous nous faites l'honneur de présider ce jury et je vous en remercie. Sans me connaître, vous avez accepté de juger ce travail, qu'il soit le témoignage de mon respect et de ma gratitude.

### **A Monsieur le Docteur Jean ROUSSET,**

vous avez accepté de juger ce travail et je vous en remercie. Votre disponibilité et le temps que vous accordez à ce travail en ces lendemains de missions renforce l'attachement et l'admiration que j'ai pour les médecins de l'HIA de Brest. Que ce travail soit l'expression de mon respect et de ma gratitude.

### **A Monsieur le Docteur Loïs BONNE,**

vous avez accepté de diriger et de juger ce travail: je vous en remercie profondément. Merci pour votre disponibilité tout au long de ce travail. Merci d'avoir su raviver ma motivation et canaliser mon énergie quand il le fallait. Qu'il soit pour vous l'expression de mon grand respect et de toute mon admiration.

### **A Monsieur le Docteur Brice LODDE,**

sans me connaître vous avez accepté de codiriger et de juger ce travail, je vous en remercie. Merci pour vos conseils, votre patience et votre bienveillance au cours de ces derniers mois. Que ce travail soit l'expression de mon respect et de ma gratitude.

### **A Monsieur le Docteur Nicolas PALEIRON,**

vous avez accepté de juger ce travail, soyez en remercié. Vous avez su rendre accessible l'univers de la recherche médicale: un immense merci pour votre disponibilité. Un grand merci également pour votre aide précieuse dans le traitement des données, que ce travail soit le témoignage de mon profond respect et de ma sincère reconnaissance.

### **A Monsieur Frédéric DEVILLERS,**

vous avez accepté de juger ce travail et je vous en remercie. Merci d'avoir su me rendre accessible la technique de la réalité virtuelle. Que ce travail soit l'expression de tout mon respect.

## REMERCIEMENTS

**A Celui** à qui m'a créée;

**A mon mari, Geoffroy**, qui me comble de son amour depuis bientôt huit ans. Tu as été un soutien constant depuis toutes ses années, prenant souvent le relais à la maison pour me permettre de tenir le coup et me rappelant, si besoin, à quel point la médecine vaut le coup que l'on se batte. Nous avons affronté ensemble les doutes et les difficultés mais surtout nous avons partagé les joies et les victoires. Ensemble, nous avons réussi !!

**A mes enfants, Grégoire, Jean-Baptiste, Clément, Elisabeth et Hortense** pour votre joyeuse insouciance, votre étonnante capacité d'adaptation, vos nombreux sourires et vos innombrables baisers. Vous êtes mon trésor le plus précieux.

**A mes parents** qui m'ont appris à prendre soins des autres et m'ont donné envie de le faire encore davantage.

A mon Papa, qui m'a appris le gout de l'effort avec "foi, ardeur et audace",

A ma Maman qui m'a appris à donner sans compter, à écouter, à rassurer, à consoler et à panser.

**A mes soeurs, Stéphanie et Constance, et à mon frère, Charles-Antoine**, qui avez supporté cette première année avec courage ainsi que toutes celles qui ont suivi. Charles-Antoine, ne le prend pas mal, mais je suis heureuse d'avoir fini mes études avant toi!

**A mes beaux-parents, mes beaux-frères et belles-soeurs**, pour leur patience, leur écoute attentive et leur bienveillance tout au long de ces années,

**A Bonne-Maman, Dad et Grand-Papa**, qui m'avez appris l'amour de la famille et m'avez donné un exemple de vie,

**A Grany, Bonne-Maman, Mamsy et Grand-Père** qui donnez encore sans compter et nous avez offert de fabuleuses réunions familiales,

**A mes amis**, qui ont été, tout au long des années de fac puis d'internat, à Tahiti ou en métropole, un soutien humain et parfois matériel infiniment précieux.

## REMERCIEMENTS

**A Monsieur le Docteur Pierre-Jean BATAILLE** qui m'avait donné dans mes premières années le goût pour la médecine,

**A Monsieur le Docteur Dominique BEAU** qui avait su me montrer, au cours des stages effectués à vos côtés, la richesse et la beauté de la médecine générale,

### **Aux services qui m'ont accueilli pendant ces trois années de stage:**

- Le service de Médecine du centre hospitalier de Landerneau: vous avez été les premiers à me faire confiance et m'avez fait découvrir les trésors humains et médicaux dans l'accompagnement des patients du service soins palliatifs et de leur famille.
- Le Docteur JEFFREDO (+) et le Docteur BEAU pour leurs savoirs qu'ils m'ont transmis
- Le service de Gastro-entérologie du Centre Hospitalier de Polynésie Française: vous m'avez réconciliée avec votre spécialité et à toute l'équipe soignante: bravo et merci pour votre bonne humeur, votre gentillesse et votre patience!! Je nourris encore le secret espoir de pouvoir revenir et découvrir Tahiti depuis les airs Docteur BEAUGENDRE !!
- Le service de Pédiatrie du Centre Hospitalier de Polynésie Française: vous avez aiguisé mon sens clinique et développé mes capacités de diplomate, ce que je m'efforce de garder en tête dans toute mes consultations (même et surtout avec les adultes)
- Le service des urgences de l'hôpital d'Instruction des Armées Clermont Tonnerre: vous m'avez appris dans mon exercice quotidien de la médecine à viser juste, vite et bien et même si je n'y arrive pas à tous les coups, je m'y applique, merci.
- Le service AN EOL du secteur 4 de psychiatrie de l'hôpital de Bohars: merci pour votre bonne humeur et votre aide dans la gestion des "crises". Avec vous j'ai découvert une véritable équipe (de soins) !

**Aux infirmières de service d'ORL de l'HIA Clermont Tonnerre: Françoise, Anne-Françoise, Fabienne et Monique**, sans qui tout ce travail n'aurait pas pu être réalisé: un immense merci. Merci pour votre gentillesse, votre disponibilité et votre attention. Merci pour la patience et l'application avec laquelle vous travaillez et qui ont rendu possible cette étude. Soyez assurées de mon respect et de ma gratitude.

# SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me le demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque. »

Serment prononcé par le Docteur.....

Le

.....

Pour l'Ordre national des médecins,

Le médecin

# TABLE DES MATIERES

<i>Résumé</i> .....	18
<i>Introduction</i> .....	19
I. ANATOMIE FONCTIONNELLE DE L'EQUILIBRE.....	21
A) LE SYSTEME VESTIBULAIRE.....	21
1. APPAREIL VESTIBULAIRE.....	21
2. VOIES VESTIBULAIRES.....	23
B) LES REFLEXES VESTIBULAIRES.....	25
1. LE REFLEXE VESTIBULO-OCULAIRE.....	25
a) LE REFLEXE CANALICULO-OCULAIRE.....	26
b) LE REFLEXE OTOLITHO-OCULAIRE.....	27
2. LE REFLEXE VESTIBULO-SPINAL.....	28
C) LA PLASTICITE VESTIBULAIRE.....	28
1. ADAPTATION.....	29
2. HABITUATION.....	29
II. LE MAL DE MER.....	30
A) DEFINITION.....	30
B) CLINIQUE.....	30
C) PHYSIOPATHOLOGIE.....	33
1. PROPRIETES DU STIMULUS CINETOGENE.....	33
a) MODIFICATIONS DU VECTEUR GRAVITATIONNEL.....	34
b) FREQUENCE NAUSEOGENE.....	35

c) EFFET CORIOLIS.....	35
2. CONFLIT CENTRAL.....	36
a) "NEURAL MISMATCH MODEL".....	36
b) THEORIE DE LA VERTICALE SUBJECTIVE.....	36
c) THEORIE DE L'INSTABILITE POSTURALE.....	37
3. REGULATION INTERSENSORIELLE.....	37
4. PARTICIPATION COGNITIVE.....	38
5. FACTEURS INFLUENCANTS.....	38
a) INDIVIDUELS.....	38
b) ENVIRONNEMENTAUX.....	39
III. REEDUCATION PAR SIMULATEUR VISUEL: étude d'efficacité.....	41
A) JUSTIFICATION DE L'ETUDE.....	41
1. LIMITES DU TRAITEMENT MEDICAL.....	41
2. REEDUCATIONS DEJA UTILISEES.....	42
3. REALITE VIRTUELLE.....	42
4. INTERET DE L'ETUDE.....	43
B) MATERIEL ET METHODE.....	45
1. TYPE D'ETUDE.....	45
2. POPULATION, CRITERES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION.....	45
3. CARACTERISTIQUES DU GENERATIEUR DE REALITE VIRTUELLE.....	46
4. OBJECTIFS ET CRITERES DE JUGEMENT.....	47
5. PROTOCOLE DE REEDUCATION.....	47

a) CONSULTATION INITIALE.....	47
b) SEANCES DE REEDUCATIONS.....	48
6. SAISIE DES RESULTATS.....	50
7. MODE D'ANALYSE STATISTIQUE.....	51
C) RESULTATS.....	52
1. CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION.....	54
2. TRAITEMENTS ANTERIEURS.....	54
3. EVALUATION DE LA NAUPATHIE.....	55
4. EVALUATION DE LA REEDUCATION.....	60
D) ANALYSE ET DISCUSSION.....	61
1. LA REEDUCATION PAR REALITE VIRTUELLE.....	61
a) INTERETS.....	61
b) LIMITES.....	64
c) COMPARAISON AVEC LA REEDUCATION OPTOCINETIQUE.....	66
d) MECANISMES D'ACTION.....	67
2. METHODOLOGIE DE L'ETUDE.....	67
a) CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION.....	67
b) TAILLE DE L'ECHANTILLON.....	68
c) DUREE DE NAVIGATION AVANT ET APRES REEDUCATION.....	69
d) REEVALUATION FINALE.....	70
3. OUVERTURE.....	71
a) MAINTIEN DES RESULTATS DANS LE TEMPS.....	71



b) AMELIORATION DE LA REEDUCATION.....	71
c) CHAMPS D'APPLICATION.....	72
B) CONFLIT D'INTERET.....	73
<i>Conclusion</i> .....	74
ANNEXES.....	75
• ANNEXE 1: Echelle de GRAYBIEL ET MILLER et stadification de GRAYBIEL ET MILLER du niveau de sévérité de la naupathie.....	75
• ANNEXE 2: Echelle de DOUGLAS (échelle de 10 degrés d'intensité décrivant l'état de la mer).....	76
• ANNEXE 3: Avis du comité d'éthique et d'experimentations médicales.....	77
• ANNEXE 4: Formulaire d'information.....	78
• ANNEXE 5: Formulaire de consentement.....	80
BIBLIOGRAPHIE.....	82

**UNIVERSITE DE BREST - BRETAGNE OCCIDENTALE**  
**Faculté de Médecine & des Sciences de la Santé**

\*\*\*\*\*

**AUTORISATION D'IMPRIMER**

\*\*\*\*

Présentée par Monsieur le Professeur Rémi MARIANOWSKI

Titre de la thèse : INTERET DE LA SIMULATION VISUELLE DANS LA REEDUCATION DE LA NAUPATHIE. *Etude pilote monocentrique prospective d'efficacité d'une rééducation par simulateur visuel de type OCCULUS RIFT dans le traitement de la naupathie.*

**ACCORD DU PRESIDENT DU JURY DE THESE SUR L'IMPRESSION DE LA THESE**

OUI :

NON :

En foi de quoi la présente autorisation d'imprimer sa thèse est délivrée à

Madame Marie-Alexandra CIVRAC de FABIAN (née GUINARD)

Interne en DES de : Médecine générale

Fait à BREST, le 25/04/2017

VISA du Doyen de la faculté

Thèse,

A BREST, le 24-04-17

  
Professeur C. BERTHOU



Le(a) Président(e) du Jury de



## RESUME

Le principe de la rééducation de la naupathie est basé sur la capacité d'adaptation du réflexe vestibulo-oculaire et la plasticité neuronale. Le but de cette rééducation est de favoriser l'amarinage qui ne s'est pas fait spontanément. La réalité virtuelle, elle-même génératrice de cinétose, pourrait être un outil puissant pour améliorer la rééducation de la naupathie. L'objectif de cette étude était ainsi d'évaluer l'efficacité de la réalité virtuelle dans la rééducation des naupathies.

Cette étude est une étude pilote prospective monocentrique. Les patients inclus ont bénéficié de dix séances de rééducation de trente minutes en simulation visuelle de situations de navigation. L'intensité de leur mal de mer était évaluée avant et après rééducation.

Les résultats de cette étude ont montré une véritable amélioration de l'état clinique des patients en mer après avoir suivi une rééducation par réalité virtuelle. 7 patients sur 9 sont passés d'une naupathie stade 4 selon l'échelle de GRAYBIEL et MILLER à une naupathie stade 2 ou inférieur. La gêne fonctionnelle moyenne est significativement inférieure après rééducation et la résistance à des états de mer difficiles est meilleure. Cependant, 2 patients sur 9 ont été non-répondeurs à la rééducation. Les patients répondeurs ont rapporté une persistance de symptômes cependant atténués.

Les résultats semblent être du même ordre que ceux obtenus avec une rééducation optocinétique. Ils sont à pondérer par la faible taille de l'effectif de la cohorte et par une durée de navigation post-rééducation parfois faible.

Bien qu'elle nécessite d'être complétée par des études ultérieures et comparée à la rééducation optocinétique, elle donne à la réalité virtuelle une place au sein de l'arsenal thérapeutique des naupathies.

Mots clés: naupathie, cinétose, évaluation, rééducation, traitement, réalité virtuelle

## INTRODUCTION

"À quoi ne me ferait [on] pas consentir, puisque j'ai consenti à partir en mer ?"

*Sénèque, Lettres, VI, 53*

La naupathie, plus communément appelée mal de mer, est connue et décrite depuis des siècles. En effet, le bateau a longtemps constitué l'une des rares formes de mouvement passif auxquelles les individus étaient exposés (1). Sénèque, dans son épître à Lucilius, avance l'hypothèse de la naupathie pour expliquer les naufrages d'Ulysse: "Vous pouvez être sûrs que la cause pour laquelle Ulysse fut si souvent naufragé n'est pas due aux anges du Dieu de la mer ; il était simplement sujet au mal de mer". Plus récemment, dans un courrier datant de 1804, l'Amiral Lord Nelson évoque son mal de mer récurrent: «Je suis malade chaque fois que le vent souffle fort et seul mon amour enthousiaste pour ma profession me permet de rester en mer».

En cas d'agitation extrême de la mer, la totalité des marins peut être confrontée à des manifestations de naupathie (2) mais, dans des conditions normales, on considère qu'environ 30% de la population est hautement sujette au mal de mer, ce qui en fait la cinétose la plus fréquente (3).

Depuis la révolution industrielle, les moyens de transport se sont développés rapidement, multipliant les situations cinétogènes. Le terme "mal des transports" apparaît ainsi vers la fin du XIXème siècle. Les différents programmes spatiaux, depuis le XXème siècle, se trouvent confrontés aux difficultés créées par la micro-gravité: on parle du "mal de l'espace"(4). Et avec la révolution numérique de ses dernières années, on constate l'apparition d'un nouveau type de cinétose créé par l'illusion de mouvement que produit la réalité virtuelle(5): la cybercinétose.

Les traitements anti-naupathie, initialement très empiriques, se sont progressivement améliorés. La rééducation des cinétoses a aujourd'hui fait la preuve de son efficacité (6) (7) (3) (8) (9) et tient une véritable place dans le traitement du mal des transports. Mais le développement d'une rééducation, basée sur des conflits sensoriels plus proches de ceux rencontrés en mer, permettrait peut-être d'améliorer encore l'efficacité de ce type de

traitement. Dans ce but, nous avons évalué les résultats d'une rééducation par réalité virtuelle. Cette étude pose la question suivante: la rééducation par réalité virtuelle est-elle efficace dans la rééducation des naupathies?

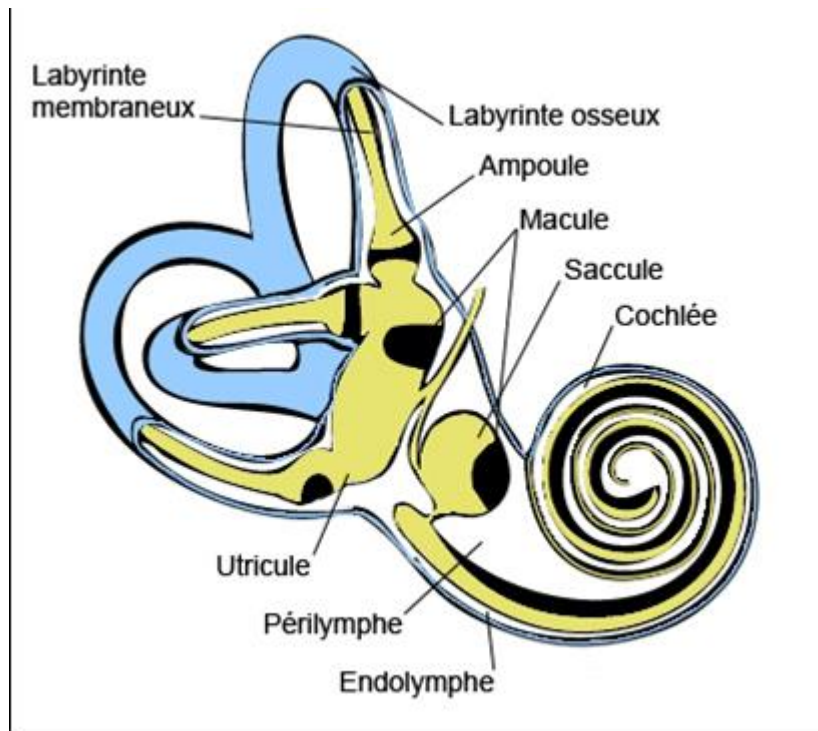
## I. ANATOMIE FONCTIONNELLE DE L'EQUILIBRE

Pour maintenir l'équilibre, le système nerveux central doit intégrer en permanence des informations transmises par trois systèmes récepteurs : la vision, le système proprioceptif et le système vestibulaire(10). La vision oriente et permet le déplacement dans l'espace. A faible vitesse, elle domine le labyrinthe. Le système proprioceptif se compose de récepteurs cutanés, musculo-tendineux et profonds. Il permet de renseigner le système nerveux central sur la position des différents segments du corps et d'adapter les différents réflexes d'équilibration. L'appareil vestibulaire détecte les accélérations de la tête dans l'espace afin d'assurer le maintien de l'équilibre statique et dynamique.

### A) LE SYSTEME VESTIBULAIRE

#### 1. APPAREIL VESTIBULAIRE

Le vestibule se trouve dans le labyrinthe osseux, système de galeries creusées dans les deux os temporaux, en arrière de la cochlée. Il se compose de chaque côté de cinq types de capteurs différents : trois canaux semi-circulaires (canal latéral, canal supérieur et canal postérieur) et deux organes appelés macules otolithiques (l'utricule et le saccule), soit dix récepteurs au total.



**Schéma 1: LE LABYRINTHE MEMBRANEUX d'après Hudspeth**

L'épithélium vestibulaire, ou neuroépithélium vestibulaire, contient des cellules sensorielles ciliées polarisées. Ce sont des accéléromètres biologiques capables de transformer un déplacement mécanique en courant électrique par transduction (7).

Les canaux semi-circulaires contiennent des plis cellulaires appelés crêtes ampullaires qui baignent dans l'endolymphe.

Les cellules épithéliales des macules sont pris dans un gel mucopolysaccharidique incrusté de cristaux de carbonates de calcium appelés otolithes ou otoconies. Ils agissent comme une masse inertielle permettant le fonctionnement de l'accéléromètre(11).

Les canaux semi-circulaires détectent l'amplitude de la rotation angulaire rapide et brève de la tête dans les trois plans de l'espace. Les organes otolithiques sont sensibles à l'accélération linéaire verticale (sacculé) ou horizontale (utricule) de la tête dans l'espace et détectent l'inclinaison de celle-ci par rapport à la gravité(12).

## 2. VOIES VESTIBULAIRES

Le message vestibulaire rejoint les noyaux vestibulaires, situés dans le bulbe, via la VIIIème paire crânienne: le nerf vestibulo-cochléaire.

Les noyaux vestibulaires reçoivent des afférences visuelles, proprioceptives et vestibulaires. Ils sont donc le premier maillon de l'intégration des informations nécessaires au maintien de la posture et de l'équilibre (11).

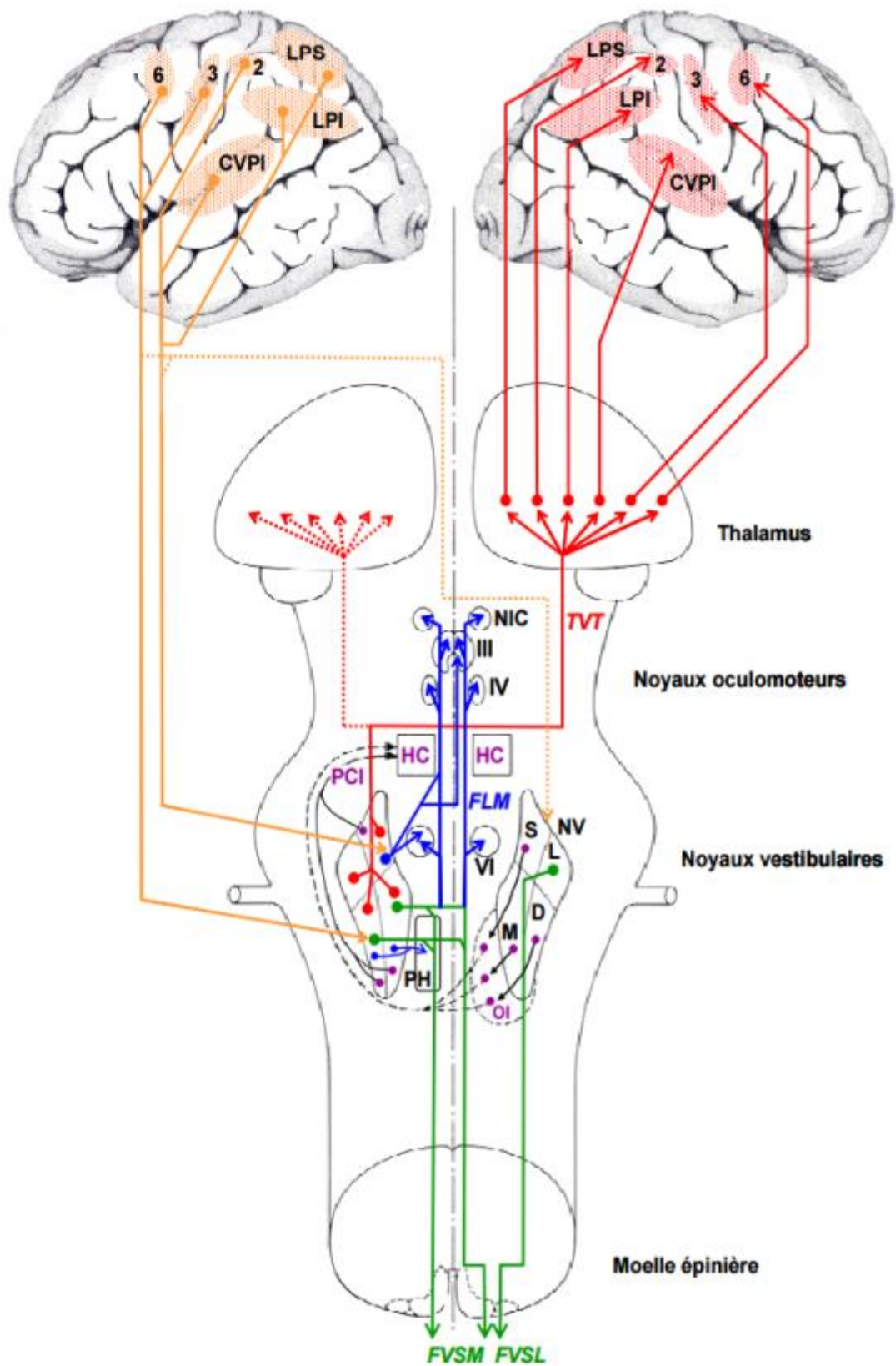
Les efférences des noyaux vestibulaires sont ensuite multiples (schéma 2). Les données récentes issues de l'imagerie cérébrale fonctionnelle chez l'Homme et les études électrophysiologiques menées chez l'animal ont permis, ces dernières années, de mieux les appréhender.

Ces efférences se projettent principalement aux moto-neurones oculomoteurs via le faisceau longitudinal médian pour la stabilisation du regard ou aux moto-neurones spinaux pour la stabilisation de la posture, ce sont les voies vestibulo-oculaires et vestibulo-spinales. Mais il existe aussi des connexions avec le cervelet et le cortex via le thalamus. Les quatre noyaux vestibulaires principaux participent aux projections vestibulo-thalamiques. Sur le plan cortical, les informations vestibulaires se projettent sur de multiples régions principalement insulaire (CVPI), pariétale (aires 2v, 3av, VIP, 7, 39, 40), frontale (aires 6, 8), temporale (gyrus temporal supérieur, hippocampe) et cingulaire(13).

Il n'existe pas de cortex vestibulaire primaire, mais un réseau d'aires vestibulaires richement interconnectées.

En retour, les noyaux vestibulaires reçoivent des afférences corticales, support neuroanatomique du contrôle cortical des fonctions vestibulo-oculaire et vestibulo-spinale(13).





**Schéma 2. ANATOMIE DES SYSTEMES VESTIBULO-CORTICAL ET CORTICO-VESTIBULAIRE d'après Lopez et al.**

Représentation schématique des quatre principales voies de sortie des noyaux vestibulaires : le système vestibulospinal (en vert), le système vestibulo-oculaire (en bleu), le système vestibulo-cérébelleux (en violet) et le système vestibulo-cortical (en rouge). Les projections corticofuges des aires vestibulaires sur les noyaux vestibulaires (système cortico-vestibulaire) sont représentées en orange. 2, 3, 6 : aires 2, 3 et 6 de Brodmann ; CVPI : cortex vestibulaire pariéto-insulaire ; FLM : faisceau longitudinal médian ; FVSL : faisceau vestibulo-spinal latéral ; FVSM : faisceau vestibulo-spinal médian ; HC : hémisphère cérébelleux ; III : noyau oculomoteur commun ; IV : noyau trochléaire ; VI : noyau abducens ; LPI : lobule pariétal inférieur ; LPS : lobule pariétal supérieur ; NIC : noyau interstitiel de Cajal ; NV : complexe des noyaux vestibulaires ; OI : olive inférieure ; PCI : pédoncule cérébelleux inférieur ; PH : noyau prepositus hypoglossi ; S, L, M et D : noyaux vestibulaires supérieur, latéral, médian et descendant ; TVT : tractus vestibulo-thalamique. Modifié d'après Nieuwenhuys et al. (1988). (13)

## B) LES REFLEXES VESTIBULAIRES

Si les voies cortico-vestibulaires permettent une commande volontaire et consciente de la posture, certaines voies réflexes assurent son maintien de façon inconsciente.

### 1. LE REFLEXE VESTIBULO-OCULAIRE

Le réflexe vestibulo-oculaire permet de maintenir la fixité d'une image sur la rétine malgré la rotation de la tête. Ainsi, le déplacement de la tête dans une direction donnée entraîne le mouvement des globes oculaires avec la même amplitude mais dans le sens opposé.

On peut distinguer le réflexe canaliculo-oculaire, répondant à la stimulation des canaux semi-circulaires, déclenché par la rotation angulaire brève et rapide de la tête et le réflexe otolitho-oculaire, répondant à la stimulation des macules, déclenché par l'accélération linéaire de la tête.

## a) LE REFLEXE CANALICULO-OCULAIRE

Au niveau des canaux semi-circulaires et plus précisément des crêtes ampullaires, lorsqu'un stimulus survient (rotation angulaire de la tête à haute fréquence), la polarisation de toutes les cellules ciliées d'une même crête est identique. Le déplacement endolymphatique excite les cellules d'un canal et inhibe celles du canal controlatéral situé dans le même plan. Il s'agit d'un codage en "push-pull". Ainsi, un récepteur ampullaire active pour chaque stimulus une voie excitatrice pour les muscles agonistes et une voie inhibitrice pour les muscles antagonistes, permettant un mouvement conjugué des deux yeux.

Dans les afférences vestibulaires, il existe une activité tonique de repos permettant de coder une stimulation en augmentant l'activité de base et une inhibition en la diminuant.

Lorsque le mouvement de la tête est de grande amplitude, le nystagmus vestibulaire physiologique ramène les yeux arrivant en position excentrée dans l'orbite vers la position médiane.

Le plus souvent, les mouvements de la tête se font dans l'axe du corps, activant ainsi les canaux semi-circulaires latéraux droit et gauche, ce qui explique probablement que ces canaux soient les plus performants: ils ont le seuil d'excitation le plus bas(14).

La latence de ce réflexe est d'environ 15 à 20 ms(15). Ses propriétés dynamiques semblent optimales pour les mouvements physiologiques de la tête compris entre 0,1 et 4 Hz. Elles semblent moins adaptées pour les plus basses fréquences.

Le réflexe canaliculo-oculaire se définit par son gain: rapport entre la vitesse de la phase lente de l'oeil et la vitesse de rotation de la tête. Il est égal à 1 lorsque la compensation est complète. La phase du réflexe se définit comme le temps écoulé entre le stimulus et la réponse oculaire. En cas de compensation complète, elle est nulle(7).

Le gain du réflexe vestibulo-oculaire dépend du niveau de vigilance du sujet. Il est proche de 1 avec un niveau de vigilance élevé et il chute lorsque l'état de vigilance baisse.

Lors de l'exposition brutale à un stimulus rotatoire, on observe une augmentation progressive de la vitesse du nystagmus: d'abord rapide puis plus graduée jusqu'à rejoindre la vitesse du stimulus.

A l'arrêt du stimulus rotatoire, on constate un nystagmus post-rotatoire dans le sens opposé au précédent avec une décroissance exponentielle de la vitesse de la phase lente du

nystagmus. L'inversion du sens du nystagmus s'explique par le fait que les canaux semi-circulaires ne savent pas différencier une accélération dans un sens d'une décélération dans l'autre. Ils interprètent l'arrêt de la rotation comme une accélération dans le sens contraire. La persistance d'un nystagmus alors que le stimulus a disparu témoigne, quant à lui, d'un système de stockage central des vitesses (15) (1).

## b) LE REFLEXE OTOLITHO-OCULAIRE

Les récepteurs otolithiques détectent les mouvements de la tête par rapport au vecteur gravito-inertiel et les mouvements de translations dans l'espace. Le réflexe otolitho-oculaire assure le maintien d'un regard horizontal et complète ainsi le réflexe canaliculo-oculaire(7). Il utilise des voies neuronales polysynaptiques (latence > 35 ms). La cartographie des zones maculaires susceptibles de déclencher un réflexe otolitho-canalair est difficile en dehors de stimulations sélectives.

Une inclinaison latérale de la tête crée un mouvement oculaire autour de l'axe visuel des yeux de direction opposée au mouvement de la tête. C'est la contre-rotation oculaire ou mouvement torsadique dit de Counterrolling (15).

De même, une inclinaison dans le plan antéropostérieur provoque une rotation verticale. Le gain est fonction de la distance de la cible visuelle.

Le gain de ce réflexe est assez faible, autour de 0,1, soit un angle de torsion de 5° pour une inclinaison latérale de 50°. Il dépend de la distance de la cible visuelle et, comme le réflexe canaliculo-oculaire, du niveau de vigilance du sujet.

Cependant, la majorité des mouvements naturels de la tête active à la fois les canaux semi-circulaires et le système otolithique.

## 2. LE REFLEXE VESTIBULO-SPINAL

Le réflexe vestibulo-spinal a pour but de maintenir la posture. Il s'appuie comme le réflexe oculo-vestibulaire sur un couplage entre excitation et inhibition de muscles antagonistes.

L'équilibre postural de l'individu a deux objectifs: la lutte contre la gravité en maintenant le centre de gravité à l'intérieur du polygone de sustentation et l'équilibre des différents segments corporels les uns par rapport aux autres pour permettre la perception et l'action.

L'activité des récepteurs canaux et otolithiques est transmise, dès les noyaux vestibulaires, à des fibres destinées à la moelle épinière dans tous ses segments: cervical, thoracique et lombaire. Les fibres vestibulo-spinales se répartissent principalement entre le faisceau vestibulo-spinal latéral et le faisceau vestibulo-spinal médian.

Le faisceau vestibulo-spinal latéral reçoit des afférences maculaires via les noyaux vestibulaires latéraux. L'excitation électrique des noyaux vestibulaires latéraux entraîne une activation monosynaptique des moto-neurones, des muscles extenseurs, et une inhibition disynaptique des fléchisseurs.

L'équilibre est rétabli par le contrôle de la musculature anti-gravitaire unilatérale du tronc et des membres, ainsi que la régulation du tonus durant une activité déstabilisante.

Le faisceau vestibulo-spinal médian reçoit principalement des informations en provenance des canaux semi-circulaires. Il contrôle exclusivement la musculature axiale.

Il intervient dans les mécanismes réflexes de stabilisation posturale de la tête et de sa coordination avec les mouvements des yeux(15).

### C) LA PLASTICITE VESTIBULAIRE

L'étude des réponses vestibulaires de patients exposés à des stimuli intenses et prolongés tend à montrer une certaine plasticité du système vestibulaire. Elle constitue une reconfiguration dynamique des systèmes utilisés afin d'optimiser leur fonctionnement. L'organisme apprend à fonctionner correctement dans un environnement qui n'est pas son environnement d'origine. On remarque, par exemple, que les réflexes canaliculo-

vestibulaires et otolitho-vestibulaires chez les patineurs sont globalement diminués. Par ailleurs, on note également chez ces patients une moindre sensibilité aux cinétoses(16).

## 1. HABITUATION

L'habituation correspond à la diminution de la réponse à un stimulus simple et répété(15).

Elle aboutit à une réorganisation des circuits neuronaux et à une recalibration du gain des réflexes vestibulo-oculaires ou vestibulo-spinaux pour une optimisation de la fonction vestibulaire. Elle explique probablement ces modifications des réponses vestibulaires réflexes observées chez les patineurs lors de la réalisation de pirouettes, spirales et autres figures (16).

Sur le plan clinique, on constate, lors du mécanisme d'habituation, une modification de la dynamique du réflexe canaliculo-oculaire avec une diminution de la phase lente, une diminution du gain et une avance de phase de ce réflexe(17).

Ce phénomène d'habituation a ses limites puisqu'il n'est valable que dans la direction de la stimulation répétée et qu'il s'épuise en quelques semaines s'il n'est pas entretenu (18).

## 2. ADAPTATION

L'adaptation représente la diminution de la réponse à un stimulus complexe et prolongé. Pour les marins, par exemple, il est décrit, chez la plupart d'entre eux, une atténuation voire une disparition des symptômes de naupathie après quelques jours de mer (19). Ainsi, exposés de façon prolongée à un stimulus activant les différents réflexes vestibulaires dans le but de maintenir l'équilibre, l'organisme développe des mécanismes d'adaptation pour fonctionner malgré cet environnement inhabituel en privilégiant, par exemple, une autre entrée sensorielle comme la proprioception (2).

Lorsque le système vestibulaire est mis en difficulté par une situation donnée et que les mécanismes d'habituation et d'adaptation sont inexistantes parce qu'ils n'ont pas eu le temps de se mettre en place ou parce que l'organisme ne parvient pas à les mettre en place, surviennent les symptômes de cinétose.

## II. LE MAL DE MER

### A) DEFINITION

La naupathie entre dans la catégorie des cinétoses ou mal des transports. C'est la plus fréquente des cinétoses(2).

Le terme de "cinétose" vient du mot grec "kinein" qui signifie "mouvoir". Le terme de "naupathie" vient du grec "naûs" qui signifie "bateau".

La naupathie, couramment appelé mal de mer, est l'ensemble des manifestations neuro-végétatives présentées par un individu lors d'un déplacement à bord d'une embarcation maritime et liées aux mouvements induits par celle-ci(7).

Selon la théorie de l'évolution, ces mécanismes physiologiques ont pour but de conférer un avantage en terme de survie des individus. En quoi nausées, vomissements et sueurs froides permettent-ils cette survie? Treisman, en 1977, émet l'hypothèse selon laquelle les vomissements seraient un réflexe archaïque pour se défendre contre une toxine éventuellement ingéré. Ainsi dans le cas des cinétoses, la mise en difficulté du système nerveux central induite par le conflit sensoriel est analysée comme un potentiel empoisonnement contre lequel le corps lutte par des vomissements et une immobilisation (19) (20).

### B) CLINIQUE

L'intensité du tableau clinique dépend de l'individu et de l'intensité du stimulus.

On peut décrire la chronologie d'apparition des symptômes de naupathie en distinguant la phase prodromique et la phase d'état (3). Dans le mal de l'espace, cette phase prodromique est absente(21). Si le stimulus cesse de façon précoce, la phase d'état peut être absente. La durée des différentes phases varie en fonction des individus.

L'intensité des symptômes de naupathie peut être évaluée par l'échelle de GRAYBIEL ET MILLER(22) (Annexe 1).

La phase prodromique est une sensation de malaise que le patient parvient mal à définir associant pâleur, sueurs, hypersialorrhée, céphalées, fatigue et désintérêt progressif pour l'environnement. Les sujets peuvent présenter tout ou partie des symptômes.

La phase d'état correspond à la persistance et l'aggravation de la phase prodromique aboutissant aux vomissements.

Pendant la phase d'état, on constate diverses manifestations neuro-végétatives:

- symptômes digestifs à type de nausées importantes puis vomissements;
- symptômes psychiques à type de prostration, apathie et dépression;
- symptômes neurosensoriels à type de vertiges et tremblements;
- symptômes cardio-vasculaires à type d'hyper ou hypotension et tachycardie;
- troubles de la régulation thermique.

Lorsque la phase d'état persiste dans le temps, elle peut entraîner des complications sévères (7):

- décompensation de pathologie sous-jacente comme le diabète, une hypertension artérielle, une insuffisance cardiaque...
- complications des vomissements incoercibles: déshydratation, troubles ioniques, lésions gastro-oesophagiennes...

L'apparition de telles complications peut nécessiter l'évacuation du patient avec des conséquences matérielles (voie d'évacuation du patient isolé en mer, intervention sur des théâtres d'opération pour les militaires, perte opérationnelle pour les professionnels, ..) et financières importantes.

On peut noter deux formes cliniques atypiques: le sopite syndrome et le mal du débarquement.

On doit le terme de "sopite syndrome" à GRAYBIEL et KNEPTON en 1976. Il se caractérise par une prédominance majeure des troubles psychiques (asthénie voire somnolence, irritabilité, troubles de l'humeur; diminution des capacités de concentration). Les symptômes digestifs sont absents ce qui explique qu'il ait été longtemps méconnu. Pourtant, il peut, dans un contexte professionnel, être particulièrement gênant dans la



mesure où il entraîne une baisse significative des performances intellectuelles et où il persiste longtemps après l'arrêt du stimulus. De plus, les médicaments anti-naupathie ne sont pas efficaces voire même aggraveraient les symptômes(23).

Le mal du débarquement se manifeste lors du retour à quai, chez des individus qui étaient parvenus à s'adapter aux conditions en mer. A noter que le patient a pu ne pas présenter de symptômes de naupathie en mer. Les symptômes sont principalement des sensations vertigineuses entraînant une sensation d'instabilité, ralentissement cognitif, céphalées, anxiété. Ils peuvent être intermittents. Selon *Brown et Baloh*, il s'agirait d'une persistance anormale de l'adaptation du système nerveux central aux mouvements connus en mer(7). Ce syndrome touche préférentiellement les femmes entre 40 et 50 ans et il existe à l'heure actuelle peu d'option thérapeutique. Les symptômes s'améliorent si le sujet reprend la mer(24).

Les thérapeutiques médicamenteuses visent à atténuer ces symptômes, là où le principe de la rééducation est de corriger tout le système de réponse. Pour réaliser une rééducation efficace, il est donc nécessaire d'étudier les mécanismes physiopathologiques de la naupathie.

## C) PHYSIOPATHOLOGIE

Dans des conditions normales de stimulation, les systèmes vestibulaire, visuel et somesthésique transmettent au système nerveux central des informations concordantes permettant à celui-ci d'assurer l'équilibre postural. Chaque système a sa sensibilité sensorielle spécifique, optimisée pour détecter les différents aspects des stimuli de mouvements. Ainsi le système visuel, par exemple, détecte le défilement d'un paysage mais ne sait pas distinguer les images du mouvement réel et celles de l'illusion de mouvement (cinéma, jeux vidéo, simulateur...). De même, les accéléromètres du système vestibulaire codent les variations de vitesse mais sont incapables de signaler un mouvement à vitesse constante(1). Ils sont complémentaires.

### 1. PROPRIETES DU STIMULUS CINETOGENE

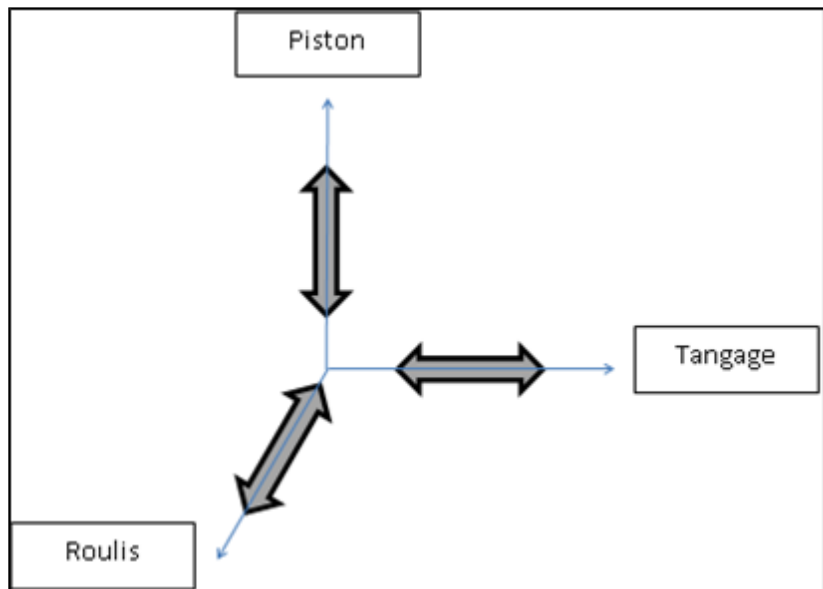
Un conflit sensoriel survient lorsque les informations sensorielles transmises au système nerveux central sont discordantes. La cinétose survient lorsqu'à l'occasion d'un mouvement passif réel ou virtuel, un tel conflit se produit.

Le conflit le plus simple est celui que l'on trouve dans le TGV : le train roule à 300 km/h : donc la vitesse est constante. Il n'y a pas de stimulation du vestibule. C'est le défilement du paysage qui sera à l'origine du conflit sensoriel. De même, toutes les situations de réalité virtuelle (cinéma, jeux vidéo, simulateur...) peuvent déclencher un tel conflit et aboutir à un tableau de cinétose.

Le conflit majeur est celui rencontré en mer avec une stimulation vestibulaire complexe liée aux mouvements de la houle en désaccord avec les autres informations visuelles et proprioceptives.

En mer, les mouvements aléatoires du bateau peuvent se décomposer en trois axes :

- un axe longitudinal, à l'origine des mouvements de roulis
- un axe transversal, à l'origine des mouvements de tangage
- un axe vertical, à l'origine des mouvements de piston (Schéma 3).



**Schéma 3: MOUVEMENTS DU BATEAU EN MER SELON LES TROIS AXES DE L'ESPACE**

Ces accélérations linéaires seront codées par l'appareil otolithique avec : l'utricule qui percevra les accélérations horizontales et le saccule sensible aux accélérations verticales.

Le plan horizontal est le plan physiologique sur lequel nous évoluons habituellement. Mais l'organisme est beaucoup moins habitué à évaluer des accélérations verticales. Le saccule ayant essentiellement pour rôle de coder le vecteur gravitationnel.

Ainsi, en mer, la stimulation vestibulaire aura trois caractéristiques (3), (7) :

- la modification du vecteur gravito-inertiel de façon aléatoire
- une fréquence basse
- l'effet Coriolis.

**a) MODIFICATION DU VECTEUR GRAVITATIONNEL**

Les mouvements de pistons sont particulièrement désagréables parce qu'ils sont à l'origine de phénomènes d'hyper mais surtout d'hypogravité qui entraînent une perte de contact entre les otolithes et les cellules ciliées maculaires(3). Cette diminution de la stimulation maculaire entraîne une perturbation de toute la fonction vestibulaire: canalaire et otolithique.

## b) FREQUENCE NAUSEOGENE

On observe un pic de nausogénicité pour des fréquences de stimuli d'environ 0,2 Hz(20). Ces mouvements de basse fréquence sont présents dans le transport à bord des navires, des avions lors des turbulences de l'air, et à dos de chameaux ou d'éléphants, qui peuvent tous provoquer le mal des transports.

Lors de la marche, la course, à cheval ou à vélo, les fréquences sont supérieures à 1 Hz et ces mouvements ne sont pas nauséogènes.

Une des hypothèses pour expliquer cette sensibilité aux fréquences est le télescopage des informations issues des stimulations répétées à cause du système de stockage de vitesse du réflexe vestibulo-oculaire(3).

## c) EFFET CORIOLIS

Les mouvements de la tête par rapport au reste du corps vont encore majorer ce conflit. C'est ce que l'on appelle l'effet Coriolis(7). Chaque nouvelle inclinaison de la tête réactive les accéléromètres de l'appareil vestibulaire et nécessitent un nouveau codage de l'information. Ces mouvements aléatoires de la tête par rapport au reste du corps génèrent des messages variables et imprévisibles. Ils entraînent ainsi une résurgence du conflit sensoriel si celui-ci avait été résolu ou son aggravation si ce n'était pas le cas. Les symptômes de cinétose réapparaissent alors ou se majorent.

## 2. CONFLIT CENTRAL

### a) "NEURAL MISMATCH MODEL"

Dès la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, Irwin ajoute à la notion de conflit sensoriel celle de conflit entre la situation actuelle et celle des expériences antérieures(25). Ainsi, la cinétose se met en place lorsqu'il y a conflit sensoriel et qu'il dépasse les stratégies d'adaptation mises en place lors des expériences passées. C'est la théorie du "neural mismatch model" développée par Reason(19), qui repose sur la plasticité du pool neuronal et sur sa "mémoire".

D'après ce modèle, le système nerveux central est capable de construire de nouveaux modèles internes de réaction à des stimuli. Un système de "feed-back" permet un réarrangement sensoriel et l'adaptation du modèle interne. Ces nouvelles expériences sont stockées au sein du "neural store" pour pouvoir être réutilisées ultérieurement(9). Il existe une comparaison permanente entre les données actuelles et celles enregistrées précédemment. Si les entrées sensorielles actuelles ne concordent pas avec les données stockées, un signal d'erreur est généré. Il entraîne d'une part les symptômes de cinétose, de vertiges... et d'autre part déclenche la mise en route d'une stratégie d'adaptation (7): c'est l'amarinage.

Par la suite, ce modèle a été enrichi par des modèles mathématiques comme celui de "la verticale subjective".

### b) THEORIE DE LA VERTICALE SUBJECTIVE

La théorie de la verticale subjective, s'inscrit dans la suite du "neural mismatch model". Elle décrit le conflit existant entre la verticale détectée et la verticale attendue comme hautement cinétogène. En mer, les stimuli en hypogravité exposent particulièrement les individus à ce conflit et à ses manifestations cinétosiques(4).

La représentation de la verticalité est construite grâce aux systèmes visuels, vestibulaires et proprioceptifs qui codent le vecteur gravito-inertiel. C'est la verticale sensorielle. En

parallèle, le modèle interne crée une verticale subjective à partir des expériences passées. Lorsque le vecteur différentiel entre verticale sensorielle et verticale subjective n'est pas nul, la cinétose s'installe. Dans le même temps, ce vecteur différentiel est utilisé pour mettre à jour le modèle interne, c'est le phénomène d'adaptation(7).

### c) THEORIE DE L'INSTABILITE POSTURALE

Il existe une autre théorie sur la physiopathologie de la cinétose développée par Riccio et Stoffregen sous le nom de théorie de l'instabilité posturale(1). Elle affirme que la cinétose survient quand une combinaison de stimuli déclenche une instabilité posturale.

Différentes études ont montré le lien entre l'instabilité posturale et les environnements cinétogènes mais également la plus grande susceptibilité aux cinétoses des patients souffrant de troubles posturaux (26) ou présentant une moins bonne stabilisation motrice de la posture (27).

Ainsi les difficultés à mettre en place une réponse motrices rapide et adaptée pour maintenir l'équilibre postural serait à l'origine de la symptomatologie.

La principale limite de cette théorie est qu'elle ne prend pas en compte les situations dans lesquelles aucune stabilisation posturale active n'est nécessaire, comme la position allongée(1).

### 3. REGULATION INTERSENSORIELLE

La théorie de la verticale subjective est aujourd'hui l'hypothèse physiopathologique la plus couramment admise.

Or le conflit intrasensoriel vestibulaire qu'elle décrit peut être régulé en partie par les autres entrées sensorielles.

Par exemple, le sujet peut volontairement favoriser les informations somesthésiques pour fixer son centre de gravité et assurer son équilibre postural. C'est l'attitude du surfer qui construit son équilibre à partir des perceptions de mouvements de ses voûtes plantaires (28).

La vue a un rôle variable. En effet, le système visuel participe à l'adaptation du système de stockage de vitesse lorsqu'elle perçoit un mouvement. Mais quand l'individu est face à son

écran d'ordinateur ou de radar: le système visuel considère comme fixe un point qui pourtant est en mouvement. La régulation par la vue du système de stockage de vitesse est faussée. Le mal de mer survient (3).

#### 4. PARTICIPATION COGNITIVE

Il est intéressant de noter qu'il y a une participation cognitive possible: en effet, le système nerveux central s'adapte mieux lorsqu'il est acteur du mouvement. On n'est par exemple jamais malade en conduisant une voiture et en train, être dans le sens de la marche, rend moins malade parce que l'on comprend mieux le mouvement et que l'on peut l'anticiper. Ne pas subir le mouvement favorise la résolution des conflits et permet de lutter contre la cinétose.

En effet, il existe des connections entre les centres d'intégration de l'équilibre et les aires corticales préfrontales. Ainsi les fonctions supérieures permettent de développer une stratégie d'anticipation pour favoriser la stabilisation posturale et minimiser les conflits.

Si le marin arrive à s'adapter en surmontant le conflit, c'est l'amarinage. Si l'adaptation se fait mal, le conflit sensoriel entraîne une stimulation du noyau du nerf vague déclenchant le tableau « mal de mer » avec vomissements, pâleur, etc....

#### 5. FACTEURS INFLUENCANTS

##### a) INDIVIDUELS

La susceptibilité des individus aux cinétoses est très variable. Pour tenter de l'expliquer, *Reason* a émis trois hypothèses (19) :

- une sensibilité initiale au mouvement variable,
- une capacité à élaborer une stratégie d'adaptation inégale,

- et une capacité à intégrer cette nouvelle stratégie sur le long terme, différente selon les sujets.

Cependant, toutes les études s'accordent sur la nécessité d'un vestibule stimuable pour que se développe des symptômes de cinétose. La première observation remonte à 1882 où W. James a constaté que 15 sujets sourds-muets embarqués sur un bateau lors d'une tempête étaient réfractaires au mal des transports (29). Résultats confirmés par de nombreuses études dont Kennedy et Graybiel en 1968: les patients présentant des oreilles internes non fonctionnelles n'étaient pas sujets aux cinétoses (25) (30) (19).

Le vestibule est donc l'organe incontournable de la naupathie. Il représente une zone gâchette à partir de laquelle va se déclencher la maladie.

Il semble exister une plus grande susceptibilité féminine bien qu'elle soit discutée par certains auteurs (31). Ainsi les femmes rapportent une incidence plus élevée de vomissements et plus globalement une incidence plus élevée de symptômes de cinétose avec un ratio de 5/3 (20).

Le mal des transports touche rarement les enfants de moins de deux ans, probablement par manque de maturité des récepteurs neurosensoriels. Elle est plus répandue chez les enfants de 3 à 12 ans avec un pic de fréquence autour de 9 à 10 ans (3) (20) (19).

Les patients sujets aux migraines ou atteints de la maladie de Menière semblent plus sensibles aux cinétoses (32).

Il y a sans doute une part génétique dans la sensibilité des individus aux cinétoses ce qui expliquerait par exemple que la susceptibilité des populations asiatiques aux cinétoses semble supérieure à celle des populations caucasiennes. Mais les preuves sont faibles (33).

La corrélation entre un polymorphisme nucléotidique des récepteurs adrénergiques  $\alpha 2$ -AR et la susceptibilité d'excitation du système autonome des sujets a été démontré mais son interprétation reste discutée(34).

## b) ENVIRONNEMENTAUX

Les marins connaissent bien la "règle des 4 F": la faim, le froid, la fatigue et la frousse. Ce sont les facteurs favorisant de la naupathie. Ils sont autant de pistes pour lutter contre le mal



de mer (3):

- ne pas rester à jeun,
- se couvrir de façon adaptée,
- dormir suffisamment, même si ça n'est pas toujours du ressort de l'individu lui-même,
- apprendre à gérer l'anxiété.

Connaître la physiopathologie de la naupathie permet de diversifier les traitements pour en optimiser l'efficacité: règles hygiéno-diététiques, médicaments, rééducation.

### III. REEDUCATION PAR SIMULATEUR VISUEL: étude d'efficacité

#### A) JUSTIFICATION DE L'ETUDE

Parmi les cinétoses, la naupathie est une des plus connues et des plus communes. Son intensité est variable en fonction des individus pouvant aller de l'inconfort à l'inaptitude opérationnelle. Elle perturbe le fonctionnement physiologique des organismes et peut mettre en jeu la santé des individus. De plus, elle est synonyme, pour les marins professionnels, d'une perte d'efficacité souvent partielle et parfois totale. Cela justifie que la recherche médicale s'attache à en développer les traitements.

#### 1. LIMITES DU TRAITEMENT MEDICAL

Le traitement médical des naupathies est un traitement palliatif. Il cherche à corriger les manifestations neuro-végétatives de la naupathie. Les deux principales classes médicamenteuses sont les anti-histaminiques et les atropiniques. Si leur efficacité est plutôt bonne, elle reste variable d'un individu à l'autre et leurs effets secondaires sont un véritable handicap en mer, en particuliers lors de prises fréquentes ou prolongées comme cela est le cas chez pour les marins professionnels.

Les anti-histaminiques de première génération utilisés en France, le Dimenhydrinate (NAUSICALM R, MERCALM R), le Diphenhydramine (NAUTAMINE R) et le Méclozine (AGYRAX R), ont une bonne activité anti-cholinergique et passent la barrière hémato-encéphalique ce qui explique leur efficacité dans le traitement de la naupathie mais aussi leur effet indésirable majeur: la somnolence (9).

Parmi les atropiniques, le plus utilisé est la Scopolamine. Elle a une puissante action anti-cholinergique qui la rend très efficace pour lutter contre la naupathie quoique inconstante dans ses effets mais qui explique aussi ses effets indésirables fréquents à type de sécheresse buccale, trouble de l'accommodation, rétention urinaire et somnolence (35). On estime que cette concentration protectrice n'est pas atteinte chez 20 à 30% des sujets utilisant le patch(36).

## 2. REEDUCATIONS DEJA UTILISEES

Les techniques de rééducation développées pour traiter la naupathie se basent sur la physiopathologie des cinétoses, elles en combattent les causes.

Le Département de médecine aérospatiale de l'Armée de l'air italienne a mis en place un protocole de rééducation du mal de l'air pour ses pilotes. Il s'appuie sur des exercices sur fauteuil rotatoire associés à des mouvements de tête des pilotes. Les résultats montrent une diminution significative de la gêne chez 85% des pilotes après rééducation(37).

Pour les marins français, le service d'ORL de l'hôpital des Armées de Brest a mis au point une technique de rééducation de la naupathie qui s'appuie sur des techniques de rééducation vestibulaire. Par la résolution progressive des conflits sensoriels, à l'aide notamment d'exercices optocinétiques, cette rééducation cherche à favoriser l'adaptation centrale. C'est une désensibilisation à la cinétose qui a pour but d'obtenir l'amarinage qui ne s'est pas fait spontanément. Les études d'efficacité rapportent environ 70 à 80% de réussite (7). La technique n'expose pas les patients à des effets secondaires (6) ce qui lui donne toute sa place comme alternative aux traitements médicamenteux.

La rééducation cognitive, comme préparation mentale à la réussite, est également utilisée pour prévenir la naupathie. Elle cherche à rendre le patient acteur du mouvement, à maîtriser ses émotions, à mieux utiliser les différentes entrées visuelles, vestibulaires ou proprioceptives(3).

Enfin, le département des sciences aérospatiales de l'Université du Colorado a réalisé une étude montrant que l'entraînement des astronautes en réalité virtuelle permettait de réduire les nausées des patients et d'améliorer l'exécution de tâches dans un environnement désorientant(38). La réalité virtuelle pourrait ainsi être une contre-mesure efficace pour lutter contre les cinétoses.

## 3. REALITE VIRTUELLE

Les écrans sont aujourd'hui omniprésents dans la société. Les individus y sont confrontés de

plus en plus jeunes et de plus en plus souvent. Or, les scientifiques, tout comme l'industrie du jeu vidéo, ont constaté l'apparition d'une "cybercinétose" déclenchée par l'utilisation d'appareil de réalité virtuelle (39) (40).

Le casque de réalité virtuelle se fixe sur la tête du patient. Il est sensible aux mouvements de tête de celui-ci par un système de gyroscopes qui permet l'adaptation de l'image en temps réel. Ainsi, il est possible de regarder autour de soi voire de se déplacer dans cet espace numérique virtuel avec une sensation de mouvement créé par l'information visuelle alors que le vestibule ne la perçoit pas (5).

Par ailleurs, depuis plusieurs années, les dispositifs de réalité virtuelle sont utilisés par les kinésithérapeutes dans le cadre de diverses rééducations dans le sens où ils permettent une meilleure précision des bilans, des choix stratégiques thérapeutiques plus précis et une grande adaptabilité au patient (41).

#### 4. INTERET DE L'ETUDE

Les traitements médicamenteux de la naupathie ont une efficacité partielle et présentent des effets secondaires importants. La rééducation optocinétique combat la cause du malaise neurovégétatif du mal de mer. Elle offre une bonne efficacité et s'affranchit des effets indésirables mais les patients semblent améliorés et non guéris. De plus, environ 20% d'entre eux sont résistants à cette rééducation.

La rééducation par réalité virtuelle s'inscrit dans la suite de la rééducation optocinétique. Elle utilise les nouvelles technologies pour tenter de mettre au point un outils encore plus perfectionné et plus efficace pour combattre le mal de mer et améliorer le confort des personnes souffrant de naupathie.

En effet, la réalité virtuelle permet de recréer les situations génératrices de naupathie tout en maîtrisant les variables pour permettre une rééducation optimale:

- choix d'un message visuel très évocateur de la réalité maritime pour approcher de plus près le conflit sensoriel et améliorer le travail cognitif en rendant le patient d'avantage acteur du mouvement,

- scenarii plus ou moins cinétogènes et gêne modulable de façon croissante,
- réalité maritime particulièrement déstabilisante permettant un travail sur la proprioception d'autant plus intense qu'il est associé à des exercices sur coussin mousse ou sur planchette instable, pour développer une stratégie d'anticipation particulièrement intéressante pour résoudre le conflit.

Il ne s'agit pas simplement de recréer à l'identique des situations réelles puisque l'amarinage ne s'est pas fait chez les patients, mais d'en maîtriser les différents stimuli pour permettre aux patients d'apprendre à résoudre les conflits sensoriels responsables des symptômes de naupathie.

L'efficacité d'une telle rééducation de la naupathie par simulateur visuel n'a pas été évaluée. Cette étude prend donc sa place dans l'évaluation et le développement d'une nouvelle thérapeutique en matière de naupathie.

## B) MATERIEL ET METHODE

### 1. TYPE D'ETUDE

Cette étude est une étude pilote prospective monocentrique réalisée au sein du service d'ORL de l'Hôpital d'Instruction des Armées Clermont Tonnerre à Brest.

Elle a débuté le 01/02/2015 et s'est terminée le 30/01/2016.

Le comité d'Éthique et d'Expérimentation médicale de l'Hôpital d'Instruction des Armées Clermont Tonnerre a approuvé ce protocole d'étude le 20 juin 2016.

### 2. POPULATION, CRITERES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION

Les patients étaient des marins professionnels ou plaisanciers, civils ou militaires. Le type de bateau sur lequel les patients embarquaient n'était pas discriminant. Tous les patients inclus présentaient tous des symptômes de naupathies qu'ils jugeaient invalidants, résistants aux traitements classiques médicamenteux ou non médicamenteux ou présentaient des effets indésirables des traitements classiques au point qu'ils souhaitaient stopper ces traitements. Ils ont été adressés en consultation d'ORL par leur médecin traitant ou leur médecin d'unité. Il pouvait également s'agir d'une demande spontanée du patient.

Les critères d'inclusion dans l'étude étaient les suivants:

- âge entre 18 et 60 ans,
- patient ayant une pratique régulière de la navigation, c'est à dire au moins 30 jours par an,
- présentant une naupathie jugée sévère selon l'échelle d'évaluation de Graybiel et Miller c'est à dire STADE 3 ou 4 (Annexe 1) (22).

Étaient exclus de l'étude :

- les patients ayant des antécédents de pathologie vestibulaire ou des antécédents de comitialité,

- ceux présentant une perforation tympanique ou un bilan vestibulaire pathologique,
- ceux ayant déjà bénéficié d'une rééducation de naupathie,
- ceux navigant depuis moins de 6 mois ou non susceptibles de naviguer dans les trois mois suivant la rééducation,
- ceux dont le bilan médical mettait en évidence une autre étiologie des nausées et vomissements en mer que la naupathie,
- ceux qui, pour des raisons professionnelles, ne pouvaient suivre une telle rééducation,
- les femmes enceintes,
- les patients mineurs,
- les patients non assurés sociaux,
- et ceux qui ont refusé de donner leur consentement de participation à l'étude.

### 3. CARACTERISTIQUES DU GENERATEUR DE REALITE VIRTUELLE

Les situations de réalité virtuelle projetées ont été développées par le centre européen de réalité virtuelle (CERV). L'application utilise un casque Oculus DK2 pour une simulation d'une part de la surface d'un océan houleux et d'autre part des mouvements d'un bateau sur lequel est placé l'utilisateur. Ces deux modèles ne visent pas le réalisme au sens de la physique mais cherchent à reproduire des sensations chez l'utilisateur. L'application a été mise au point début 2015 en collaboration avec le docteur Bonne, afin de produire des scénarii destinés à la rééducation. L'accent a été mis sur les mouvements par opposition par exemple à la géométrie, aux textures et à l'éclairage. Les divers scénarios proposent des scènes d'extérieur et une scène d'intérieur. Du point de vue théorique cette application adapte et simplifie des travaux de Marc Parenthoen sur l'animation phénoménologique de la mer (42) afin de produire 75 images par secondes (fréquence d'affichage du casque).

## 4. OBJECTIFS ET CRITERES DE JUGEMENT

L'objectif principal de l'étude était de déterminer si une rééducation de la naupathie basée sur des scénarii visuels de mer transmis par des lunettes numériques permettrait d'améliorer la naupathie.

L'objectif secondaire était d'améliorer le confort et les capacités de travail des marins embarqués.

Le critère de jugement principal était la diminution du score d'intensité de la naupathie selon l'échelle d'évaluation de GRAYBIEL et MILLER (Annexe 1) (22).

Les critères de jugement secondaires étaient la disparition des vomissements, la sensation d'une amélioration des symptômes et la sensation d'une baisse de la gêne opérationnelle à bord.

## 5. PROTOCOLE DE REEDUCATION

### a) CONSULTATION INITIALE

Les patients ont d'abord été vus en consultation de pré-inclusion au sein du service d'ORL de l'Hôpital d'Instruction des Armées Clermont-Tonnerre de Brest. Au cours de cette consultation, ils ont reçu une information à propos de l'état actuel des connaissances sur le traitement des cinétoses, à propos du déroulement de la rééducation et sur l'étude proposée. Un questionnaire était ensuite rempli par un médecin investigateur en présence du patient afin de préciser :

- le type de navigation,
- l'intensité des symptômes selon l'échelle d'évaluation de GRAYBIEL ET MILLER (Annexe 1),
- l'intensité des symptômes ressentis par le patient selon une échelle visuelle analogique cotée de 0 à 10 (figure 1),
- l'état de la mer déclenchant les symptômes désagréables selon l'échelle de DOUGLAS (Annexe 2) (43),
- la gêne opérationnelle ressentie selon une échelle visuelle analogique cotée de 0 à 10



(Figure 2),

- les traitements anti-naupathie essayés, leur efficacité et leurs effets indésirables.

*Evaluation de votre mal de mer:*

*0 = pas de gêne 8= vomissements 10= gêne maximale imaginable*

*0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10*

**Figure 1: Echelle visuelle analogique d'évaluation de l'intensité ressentie des symptômes de mal de mer**

*Sur le plan opérationnel, à quel point votre mal de mer est-il invalidant?*

*0 = pas de gêne 10= incapable d'assurer votre fonction*

*0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10*

**Figure 2: Echelle visuelle analogique d'évaluation de la gêne fonctionnelle ressentie en cas de naupathie**

Etait également réalisé un examen clinique complet visant à éliminer les autres causes de vomissements et de malaise ainsi qu'un bilan vestibulaire comprenant un Equitest, une videonystagmographie, des potentiels évoqués sacculo-coliques, une audiométrie tonale. Après vérification des critères d'inclusion et d'exclusion de l'étude et après accord du patient, celui-ci était inclus dans l'étude.

## b) SEANCES DE REEDUCATION

La rééducation comprenait ensuite dix séances de 30 minutes associant le message visuel de scénarii de navigation issues du générateur d'image du CERV via les lunettes de type OCCULUS RIFT (Photo 1) et une proprioception modifiée par plateforme fixe, mousse puis instable.

Pour uniformiser la rééducation, les situations projetées étaient prédéfinies ainsi:

- ciel gris-vert permanent;

- bateau symbolisé par des plots pour éviter la fixation visuelle; le patient était placé entre les deuxième et troisième plots latéraux

Afin d'augmenter la sensibilité du patient aux stimuli, la vitesse du bateau, sa direction dans la houle étaient modifiables selon 5 scénarii:

Scénario 1: Patient en passerelle, houle arrière, vitesse du bateau: 0 nœuds

Scénario 2: Patient en passerelle, houle de travers, vitesse du bateau 10 nœuds

Scénario 3: Patient en passerelle, houle de face, vitesse du bateau 10 nœuds

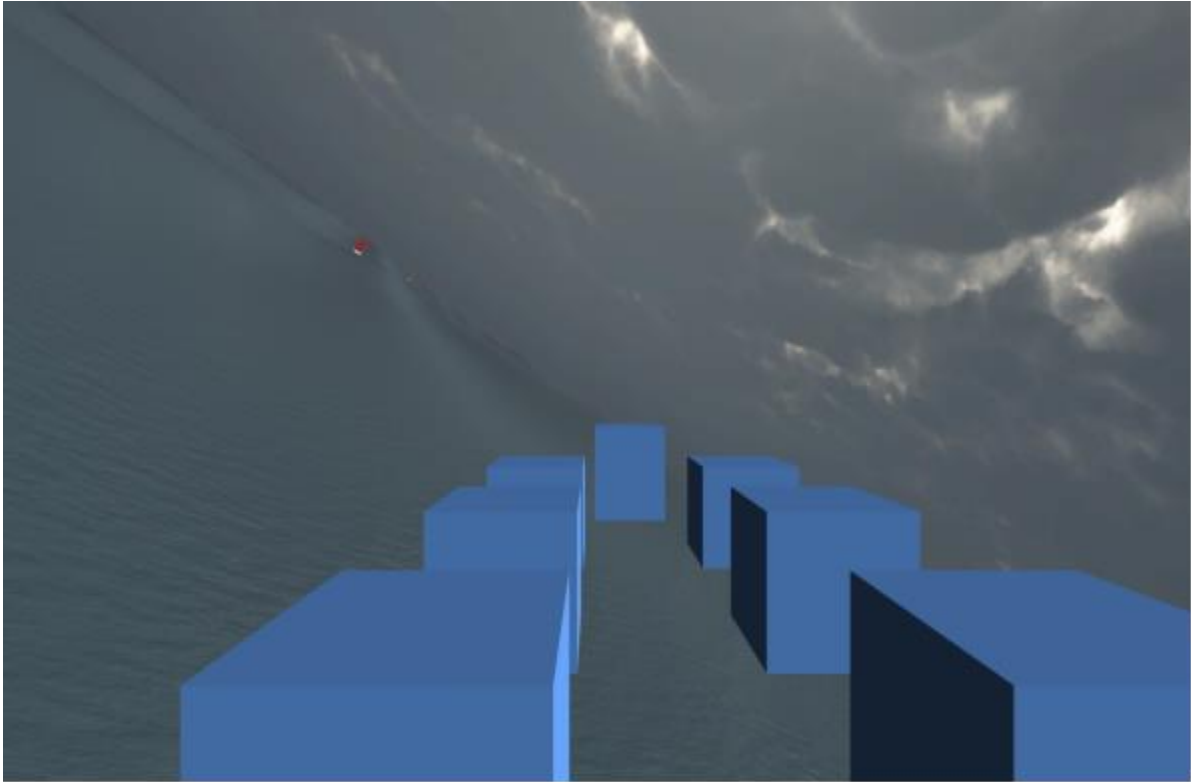
Scénario 4: Patient en passerelle, houle 50° et vitesse du bateau 10 nœuds.

Scénario 5: Patient en cabine.

L'enchaînement des scénarii se faisaient dans cet ordre. Lorsqu'avec un scénario, le patient ne présentait pas ou plus de symptômes de cinétose au bout de 10 minutes, le scénario suivant était projeté.



**Photo 1: LUNETTES NUMERIQUES OCCULUS R**



**Photo 2: MESSAGE VISUEL DE NAVIGATION VIRTUELLE PROJETE**

La séance pouvait être écourtée en cas de mauvaise tolérance du patient. Le planning des séances était adapté aux possibilités et contraintes des patients et s'étalait sur 2 à 10 semaines.

A l'issue de la rééducation, les patients ont à nouveau embarqué et navigué. Il leur a été demandé de ne pas prendre de traitement anti-naupathie à titre systématique ou préventif.

## 5. SAISIE DES RESULTATS

La restitution des résultats avait lieu au cours d'une consultation avec un médecin investigateur dans les six mois suivant la rééducation et dans les semaines suivant la reprise de la navigation. Le médecin complétait un nouveau questionnaire en présence du patient évaluant l'intensité des symptômes selon l'échelle d'évaluation de GRAYBIEL ET MILLER (Annexe 1), l'intensité des symptômes ressentis par le patient selon une échelle visuelle

analogique (Figure 1), la présence ou l'absence de vomissements, la gêne opérationnelle ressentie (Figure 2) et si d'éventuel traitements anti-naupathie ont été utilisés.

Dans les cas où il n'était pas possible de revoir le patient en consultation, il lui était proposé un rendez-vous téléphonique avec un médecin investigateur afin de compléter le questionnaire d'évaluation finale. Ce rendez-vous était programmé avec le patient pour s'assurer d'une disponibilité optimale au cours de l'entretien.

Le questionnaire de consultation finale comprenait également les questions suivantes:

- Avez-vous ressenti une amélioration de vos symptômes lorsque vous étiez en mer ?
- Si besoin, recommenceriez-vous cette rééducation ?
- Recommanderiez-vous cette méthode à un proche ?

La réduction du stade d'intensité de la naupathie d'au moins une unité selon l'échelle de GRAYBIEL ET MILLER était considérée comme un succès de la rééducation (Annexe 1). La disparition des vomissements et/ou la diminution d'au moins deux points des scores des échelles visuelles analogiques d'intensité de la naupathie et de gêne fonctionnelle (Figure 1) était considéré comme une rééducation bénéfique.

## 6. MODE D'ANALYSE STATISTIQUE

Les statistiques ont été réalisées à partir des logiciels EXCEL et R. Les variables sont présentées à l'aide de pourcentages et de moyennes avec écart type. Les comparaisons de moyenne ont été effectuées à l'aide du test de WILCOXON sur séries appariées.

## C) RESULTATS

Les inclusions ont eu lieu entre février 2016 et novembre 2016 au sein du service d'ORL de l'Hôpital d'Instruction des Armées Clermont-Tonnerre de Brest.

46 patients ont été vus en consultation de pré-inclusion, adressés par leur médecin traitant ou leur médecin d'unité pour naupathie invalidante (figure 3).

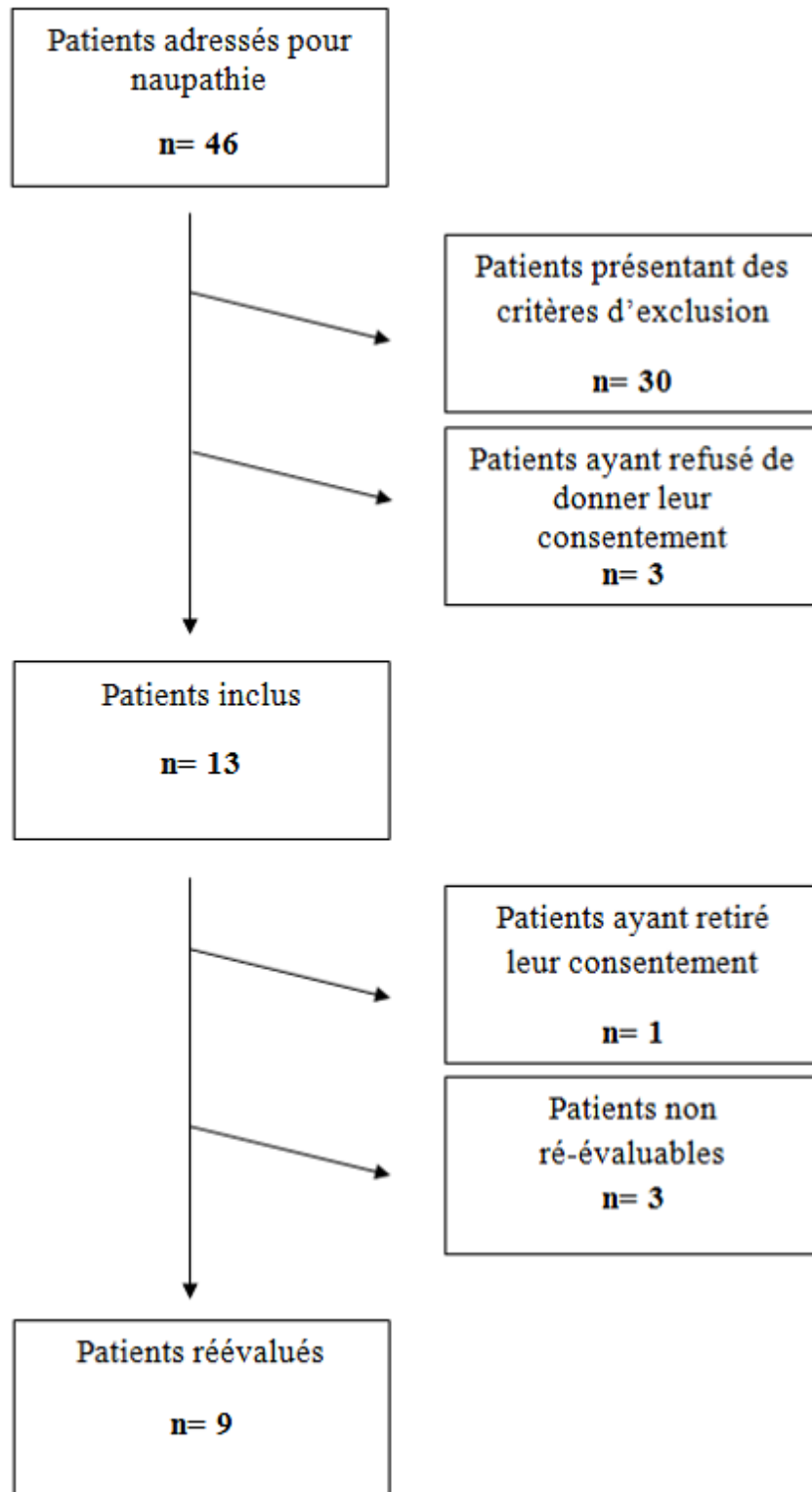
33 patients ont été exclus:

- 23 parce que, pour des raisons professionnelles, il ne pouvait pas suivre une telle rééducation,
- 3 parce qu'ils n'ont pas donné leur consentement à l'étude,
- 1 parce qu'il avait déjà bénéficié d'un autre type de rééducation de sa naupathie,
- 5 parce qu'ils n'étaient pas susceptibles de naviguer à nouveau dans les trois mois suivant la rééducation,
- 1 parce qu'il n'avait une expérience de mer que de quelques jours.

A la fin de l'étude, 4 patients n'ont pas pu être réévalués, soit 30,8% des patients inclus:

- 1 patient a retiré son consentement et interrompu la rééducation après 6 séances.
- 1 patient a été débarqué, pour des raisons autres que sa naupathie, et mis sur un poste à terre pour une durée d'au moins 6 mois,
- 1 patient, en raison de problèmes techniques du bateau, n'est pas reparti en mer après la rééducation,
- 1 patient a retardé sa rééducation et n'était alors plus ré-évaluable dans les délais de l'étude.

Les données initiales ont été fixées à l'issue des inclusions. Les données de réévaluation ont été entérinées à l'issue des consultations finales.



**Figure 3: FLOW CHART**

## 1. CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION

Parmi les patients analysés, il y avait 7 hommes et 2 femmes. La moyenne d'âge était de 31,6 ans (+/- 8,8 ans) et la médiane de 29 ans [22-48]. 4 d'entre eux étaient militaires, 1 était marin pêcheur, 4 étaient plaisanciers. Leur expérience maritime était en moyenne de 109 mois (+/- 74 mois), la médiane était de 84 mois [6-252].

L'IMC moyen des patients de ce groupe était de 23,5 kg.m<sup>-2</sup> (+/-2,9).

La rééducation a duré en moyenne 4,5 semaines (+/-2,4 semaines). La durée minimale était de 2 semaines et la durée maximale de 9 semaines.

1 patient qui ne présentait plus aucun symptôme de naupathie au cours des huitième et neuvième séances n'a pas effectué la dixième séance de rééducation.

3 patients ont été réévalués en consultation avec un médecin investigateur, 6 ont été réévalués par un médecin investigateur au cours d'un entretien téléphonique.

Parmi les patients qui n'ont pas pu être réévalués, il y avait 3 femmes et 1 homme. 100% d'entre eux étaient militaires. Leur âge moyen était de 22,3 ans et leur expérience maritime de 12 mois en moyenne.

## 2. TRAITEMENTS ANTERIEURS

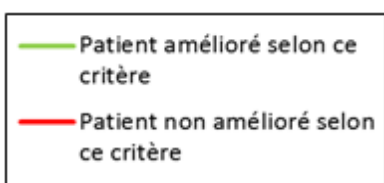
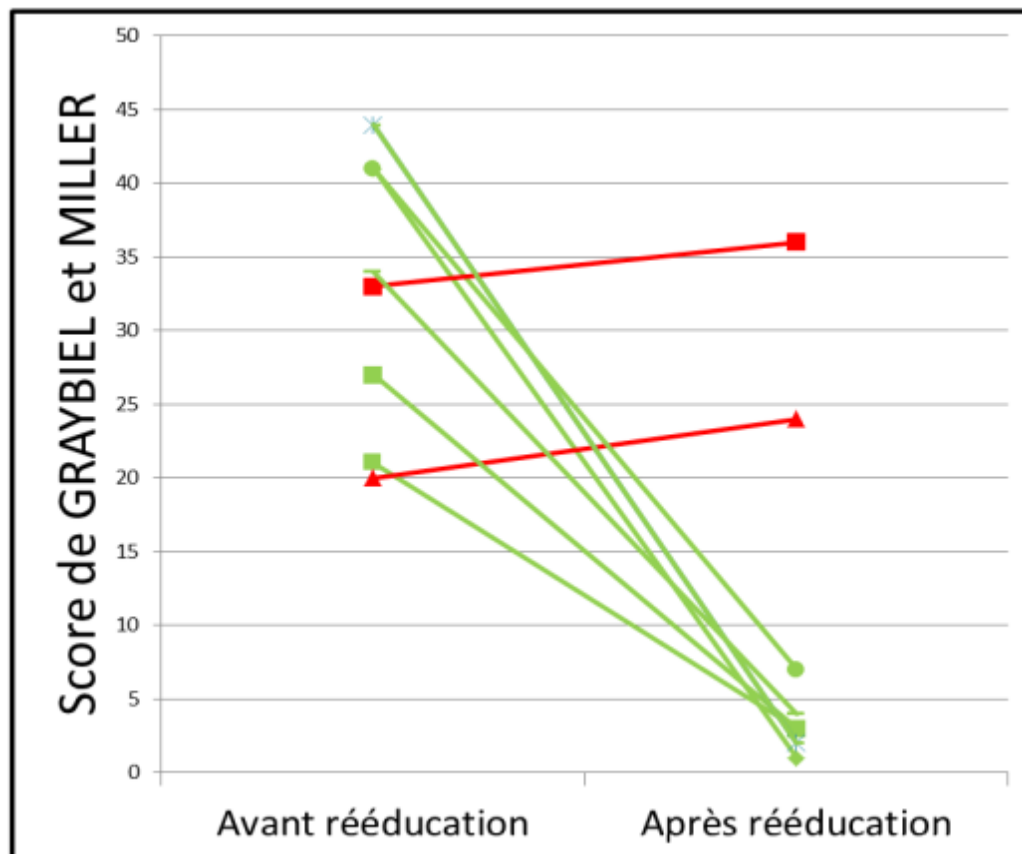
Tous les patients avaient déjà eu recours à un traitement médicamenteux de type anti-histaminique à visée anti-naupathique. 7 patients du groupe analysé avaient déjà utilisé un traitement par scopolamine et 3 patients avaient déjà utilisés un traitement par Coculine. Tous les patients étaient en échec des thérapeutiques médicamenteuses soit du fait d'un manque d'efficacité soit du fait de leurs effets secondaires

### 3. EVALUATION DE LA NAUPATHIE

Après rééducation, les patients ont navigué en moyenne 24,7 jours (médiane = 12 jours, +/- 22,9 jours).

#### SCORES DE GRAYBIEL ET MILLER

Avant rééducation, tous les patients présentaient une naupathie sévère (stade 4) selon l'échelle de GRAYBIEL et MILLER. En moyenne, avant rééducation, les patients présentaient un score d'intensité de la naupathie de 33,9 et après rééducation, il était de 9,1 ( $p = 0,024$ ) (Figure 4).

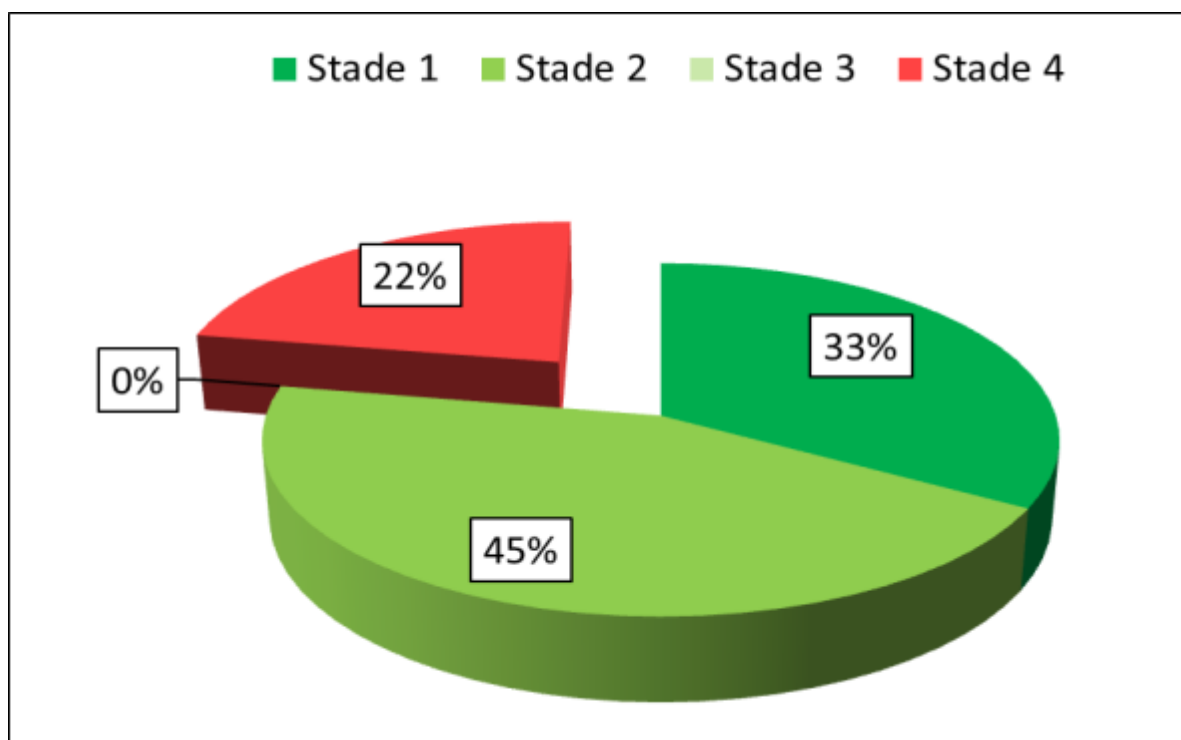


**Figure 4: EVOLUTION DU SCORE DE GRAYBIEL ET MILLER APRES REEDUCATION**



## STADES DE GRAYBIEL ET MILLER

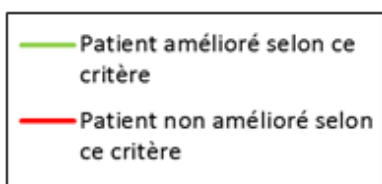
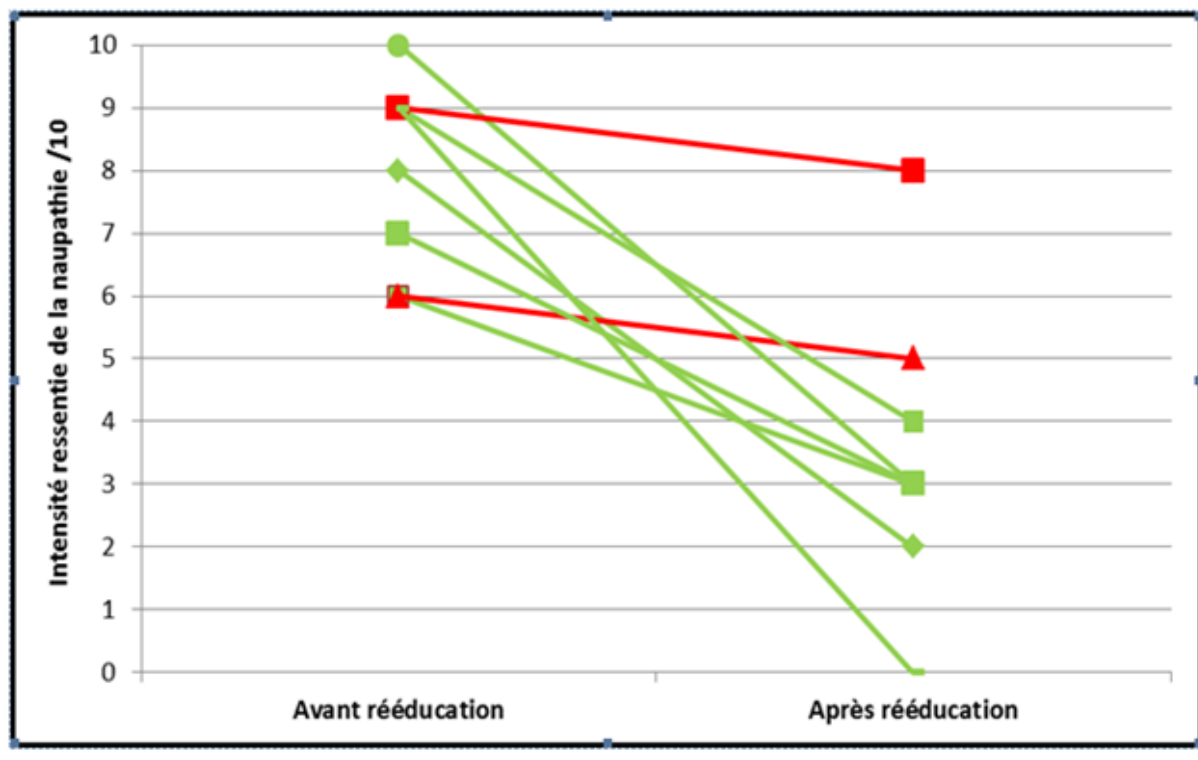
Parmi les 9 patients analysés, 3 patients présentaient à l'issue de la rééducation, une naupathie stade 1, dite minime, 4 patients présentaient une naupathie stade 2, dite modérée. 2 patients présentaient toujours, après rééducation, une naupathie stade 4 (Figure 5).



**Figure 5: NIVEAU DE GRAVITE DE LA NAUPATHIE APRES REEDUCATION SELON L'ECHELLE DE GRAYBIEL ET MILLER**

## INTENSITE RESSENTIE DE LA NAUPATHIE

L'évaluation de l'intensité ressentie de la naupathie montre une diminution significative de l'intensité des symptômes après rééducation. En moyenne, sur une échelle de 0 à 10, les patients ont coté leur naupathie à 8,2 avant rééducation et à 3,6 après ( $p = 0,009$ ) (Figure 6).



**Figure 6: EVOLUTION DE L'INTENSITE RESSENTIE DES SYMPTOMES DE NAUPATHIE APRES REEDUCATION**

### VOMISSEMENTS ET RECOURS A UN TRAITEMENT ANTI-NAUPATHIE

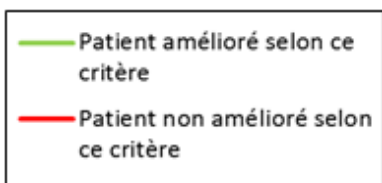
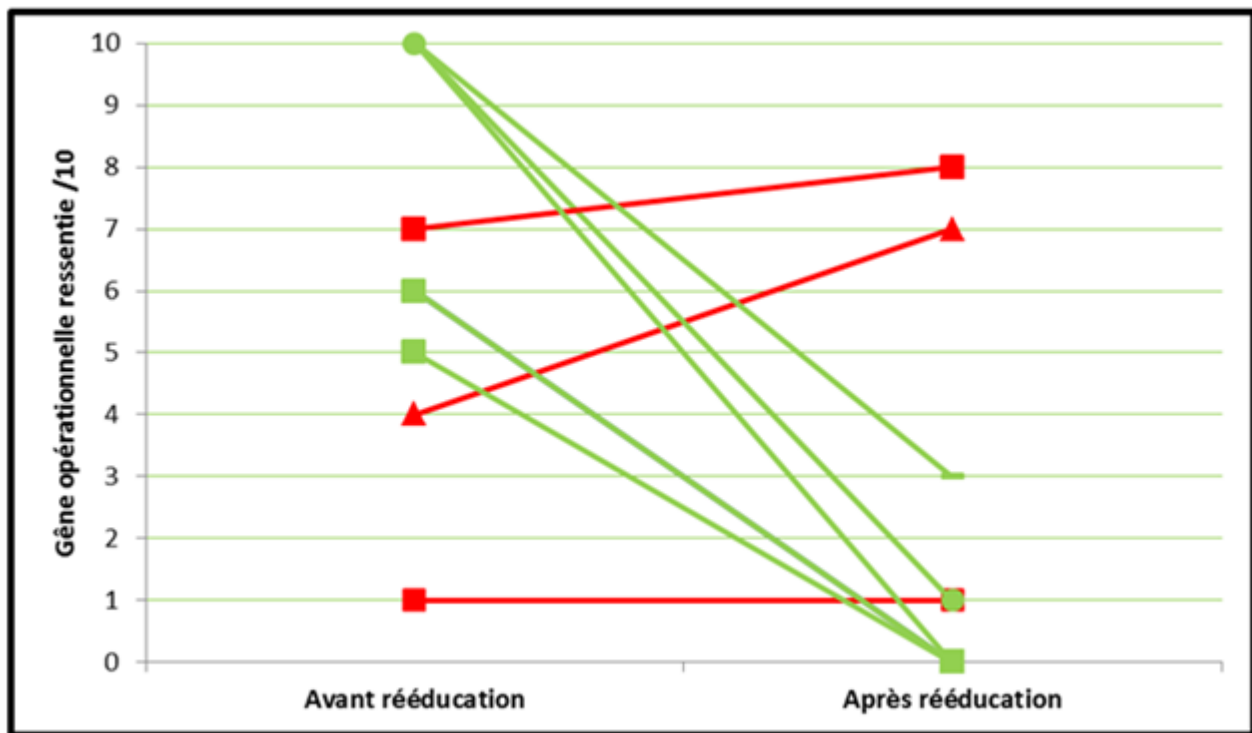
Sur les 7 patients qui rapportaient des vomissements en mer avant la rééducation, 6 n'ont pas vomi au cours des embarquements suivant la rééducation. 6 patients sur 9 n'ont pas eu recours à un traitement anti-naupathie après la rééducation (tableau 1). Parmi ceux qui rapportent la prise d'un traitement médicamenteux, 1 a pris de la coculine à visée préventive et 2 du mercalm R à visée curative.

	Avant rééducation	Après rééducation
Nombre de patients présentant des vomissements	7	1
Nombre de patients ayant recours à un traitement anti-naupathie	9	3

**Tableau 1: SURVENUE DE VOMISSEMENTS EN MER ET RECOURS A UN TRAITEMENT ANTI-NAUPATHIE**

### GENE FONCTIONNELLE RESSENTIE

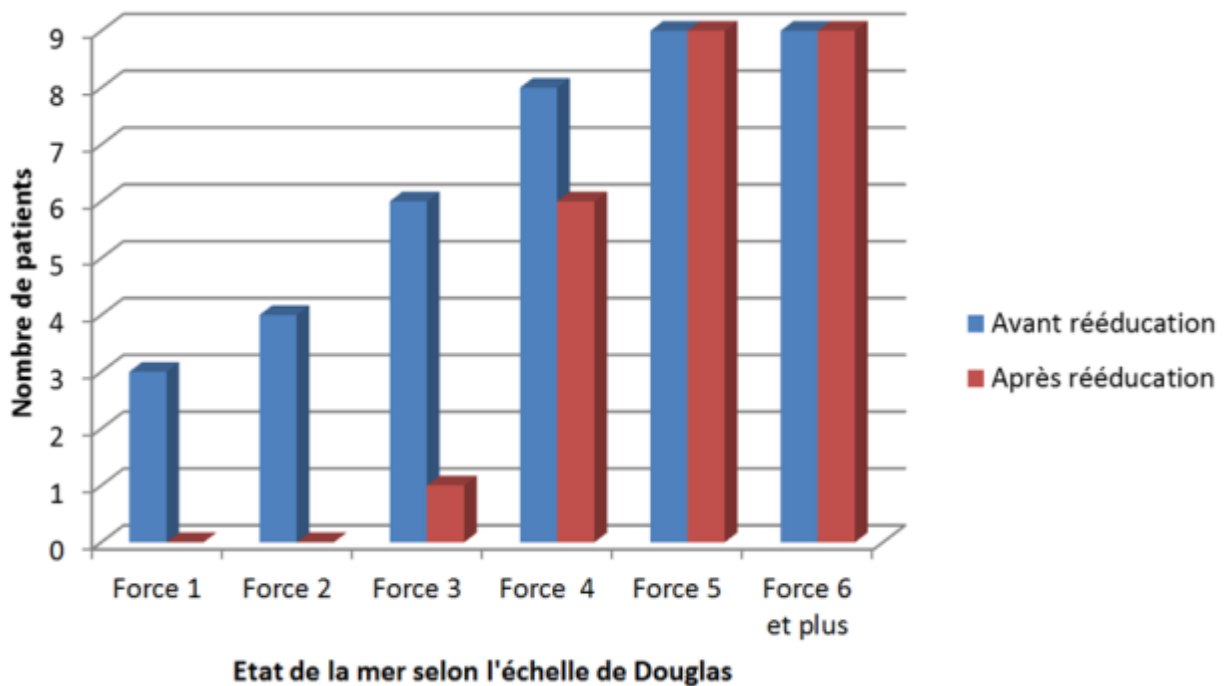
Suite à la rééducation, les patients ont rapporté une gêne opérationnelle due à la naupathie significativement moins importante. Ainsi, sur une échelle de 0 à 10, la gêne moyenne ressentie était de 6,5 avant rééducation et de 2,2 après rééducation ( $p = 0,042$ ) (Figure 7).



**Figure 7: EVOLUTION DE LA GENE OPERATIONNELLE RESSENTIE APRES REEDUCATION**

## STIMULUS CINETOGENE

L'état de la mer, selon l'échelle de Douglas, était la seule caractéristique du stimulus cinétogène étudiée dans cette étude. Après rééducation, les patients ont rapporté une tolérance à l'agitation de la mer significativement plus élevée. Ainsi, avant rééducation, les patients décrivaient les premiers symptômes de naupathie avec une mer de degrés moyen de 2,7 et de degré moyen de 4,2 après rééducation (  $p = 0,049$ ) (Figure 8).



**Figure 8: NOMBRE DE PATIENTS PRESENTANT DES SYMPTOMES DE NAUPATHIE EN FONCTION DE L'ETAT DE LA MER SELON L'ECHELLE DE DOUGLAS**

#### 4. EVALUATION DE LA REEDUCATION

Les réponses des patients aux questions d'évaluation rétrospective de la rééducation et de ses effets sont regroupées dans le tableau 2.

		Nombre de patients
Avez-vous ressenti une amélioration de vos symptômes de naupathie?	Oui	5
	Non	1
	Ne sait pas	3
Seriez-vous prêts à recommencer la rééducation?	Oui	6
	Non	1
	Ne sait pas	2
Seriez-vous prêts à recommander la rééducation?	Oui	7
	Non	1
	Ne sait pas	1

**Tableau 2: EVALUATION DE LA REEDUCATION PAR LES PATIENTS**

Aucun patient n'a relaté d'effet secondaire lors de la navigation dans les suites d'une rééducation.

5 patients ont rapporté une sensation de malaise prolongée après les premières séances de rééducation allant de quelques minutes jusqu'à deux heures.

1 patient a décrit une véritable perte de motivation à la poursuite de la rééducation au-delà de la 5ème séance. Il a été revu en consultation par un médecin du service et a poursuivi la rééducation jusqu'à son terme.

1 patient a rapporté l'apparition d'une cinétose en voiture au cours de la rééducation qui s'est progressivement estompée après l'arrêt de celle-ci. Ce patient fait partie des deux patients non-répondeur à la rééducation.

Le patient qui n'a pas effectué sa dernière séance parce qu'il n'était plus gêné par les différents scénarii projeté fait partie des deux patients décrivant toujours une naupathie stade 4 après rééducation.

## D) ANALYSE ET DISCUSSION

### 1. LA REEDUCATION PAR REALITE VIRTUELLE

#### a) INTERÊTS

##### INTENSITE DU MAL DE MER

Les résultats de cette étude ont montré une véritable amélioration de l'état clinique des patients en mer après avoir suivi une rééducation par réalité virtuelle. En effet, en moyenne avant rééducation, les patients présentaient un score de Graybiel et Miller de 33,9. Après rééducation, le score moyen de la cohorte était de 9,1. L'amélioration clinique des patients est significative ( $p = 0,024$ ). Avant rééducation, tous les patients présentaient une naupathie de niveau IV c'est à dire à l'origine d'un malaise franc en mer. Après rééducation 7 sur les 9 présentaient une naupathie stade 2 ou inférieur c'est à dire un malaise peu important à modéré. Selon le critère de jugement principal de l'étude, cette technique de rééducation semble donc efficace pour obtenir l'amarinage qui ne s'était pas effectué spontanément.

Comme critère de jugement secondaire, avait été retenue la disparition des vomissements. Les résultats de l'étude montrent une disparition des vomissements chez 6 patients sur 7 ce qui est un aspect intéressant de l'amélioration apportée parce qu'ils sont des signes objectifs du mal de mer (Tableau 1).

L'évaluation standardisée de l'échelle de Graybiel et Miller était couplée à une évaluation subjective de l'intensité des symptômes ressentie par les patients via une échelle visuelle analogique. Les résultats obtenus par l'échelle visuelle analogique semble corrélés aux résultats de l'échelle de Graybiel et Miller. En effet, en moyenne, les patients rapportent des symptômes significativement moins intenses après rééducation et les deux patients dont le score de Graybiel et Miller n'a pas diminué après rééducation, ont évalué avec la même intensité leurs symptômes de naupathie sur l'échelle visuelle analogique (différence inférieure ou égale à un point) (Figure 4 et 6). Cette échelle visuelle analogique est d'utilisation simple et rapide pour les patients. Elle pourrait être un outil intéressant pour

l'évaluation du mal de mer dans la mesure où elle semble être bien corrélée aux résultats de l'échelle de Graybiel et Miller, questionnaire référence pour évaluer l'intensité de la naupathie.

## GENE FONCTIONNELLE

La rééducation proposée a permis une diminution significative de la gêne fonctionnelle ressentie par les patients. Évaluée à 6,5/10 en moyenne avant rééducation, elle n'est plus qu'à 2,2/10 après. Ce critère de jugement secondaire apparaît donc en faveur de la rééducation par simulateur visuel qui semble restaurer les capacités de travail du marin embarqué ce qui est particulièrement recherché pour les marins professionnels (Figure 7).

## FORCE DU STIMULUS CINETOGENE

Enfin, l'évaluation de l'état de la mer déclenchant les premiers symptômes de naupathie montre une meilleure résistance des patients aux stimuli cinétogènes. Seulement 1 patient présente encore des symptômes pour une mer peu agitée (degrés 3 de l'échelle de Douglas) contre 6 avant rééducation et plus aucun n'est gêné pour des mers calmes ou belles (degrés 1 ou 2 de l'échelle de Douglas) (Figure 8). La tolérance à la houle des patients est donc améliorée après rééducation.

## CONSOMMATION DE MEDICAMENTS

La consommation de médicaments contre le mal de mer a également chuté après la rééducation: sur les 9 marins rééduqués, seuls 3 ont encore besoin d'un traitement médicamenteux. Pour l'un d'entre eux, il s'agit seulement d'homéopathie dont l'efficacité n'a jamais été prouvée (8), les deux autres sont les 2 patients chez qui la rééducation n'a pas été efficace. La rééducation permet donc, lorsque le patient est répondeur, de s'affranchir des contraintes du traitement médicamenteux.

## ABSENCE D'EFFETS SECONDAIRES EN MER

Aucun patient n'a relaté d'effet secondaire lors de la navigation suivant la rééducation. La rééducation s'inscrit donc comme un traitement alternatif aux traitements médicamenteux qui entraînent des effets secondaires peu compatibles avec les exigences de vigilance du monde de la mer (sommolence, troubles de l'accommodation,...).

5 patients sur 9 rapportent des troubles neurovégétatifs dans les suites immédiates de la rééducation. Ces manifestations sont normales et même recherchées. Elles montrent qu'un réel travail d'adaptation sur le conflit sensoriel a été réalisé.

Ces manifestations concordent avec les données déjà apportées par les études antérieures (7). Elles amènent à préférer des règles de prudence vis-à-vis des patients rééduqués avec notamment le respect d'un délai de 30 à 45 minutes avant la conduite automobile ou la nécessité d'être accompagné.

Un patient a rapporté l'apparition d'une cinétose en voiture pendant la rééducation. La cinétose apparue a ensuite progressivement régressée. Ce patient fait partie des deux patients pour lesquels la rééducation n'a pas été efficace. Il n'a rapporté ni diminution du score de Graybiel, ni diminution de l'intensité ressentie sur l'échelle visuelle analogique de la naupathie, ni réduction de la gêne fonctionnelle. En 2011, *Ressiot et al* avaient également rapporté l'apparition d'une cinétose en voiture chez un de leurs patients au décours d'une rééducation optocinétique (7). Une étude à plus grande échelle permettrait de déterminer s'il s'agit d'un effet du hasard ou s'il s'agit d'un effet paradoxal de la rééducation.

## EVALUATION DE LA REEDUCATION PAR LES PATIENTS

Les patients apparaissent globalement satisfaits de la rééducation avec 6 patients sur 9 qui seraient prêts à recommencer la rééducation et 7 sur 9 seraient prêts à la recommander à un proche.



## b) LIMITES

Les résultats encourageants de cette rééducation sont à pondérer par certaines limites.

### AMELIORATION MAIS PAS GUERISON

Le score de Graybiel final des patients n'est pas nul. Tous les patients ont rapportés une gêne persistante. Ainsi, la rééducation par réalité virtuelle ne permet pas de guérir les patients de la naupathie mais de diminuer les symptômes ressentis.

Les résultats de l'étude montrent que la tolérance à la houle des patients est améliorée après rééducation. Cependant tous les patients décrivent encore des symptômes pour une mer d'une intensité de degrés 5. L'amarinage apporté par la rééducation a donc des limites. Lorsque la mer est trop agitée, il peut être dépassé. Ce n'est pas surprenant puisque des conditions de navigation extrêmes peuvent rendre malade même un marin spontanément amariné.

### CERTAINS PATIENTS EN ECHEC THERAPEUTIQUE

Certains patients ne sont pas répondeurs à la rééducation. Ainsi 2 patients sur 9 ne décrivent aucune amélioration de leur naupathie. Cependant, l'étude ne permet pas de déterminer de facteurs prédictifs de la réponse des sujets à la rééducation. La littérature n'en apporte pas non plus et s'attache principalement à tenter de déterminer les facteurs de susceptibilité aux cinétoses. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cet échec thérapeutique. Il est possible que la réalité virtuelle ne parvienne pas à déclencher suffisamment le conflit causal. En effet, un des deux patients non répondeur n'avait réalisé que 9 séances de rééducation car il ne présentait plus de gêne lors des huitième et neuvième séances.

L'autre hypothèse est que certains marins ne sont peut-être pas capables d'adaptation. Ils ne parviennent pas à s'amariner: ni spontanément ni avec rééducation.

## TRAITEMENT CHRONOPHAGE:

La rééducation présente l'inconvénient d'être longue et chronophage. En effet, la durée moyenne de rééducation était de 4,5 semaines (+/- 2,4 semaines) pour dix séances de rééducation auxquelles s'ajoutent le bilan initial et les consultations médicales initiales et finales mais cette durée est le fait de la plus part des thérapeutiques de type rééducation. Ce traitement trouve donc sa place pour des marins qui naviguent souvent. Si les sorties en mer sont épisodiques, le traitement médicamenteux peut rester intéressant.

## EFFET PLACEBO

Compte tenu de la part importante des facteurs cognitifs dans la résolution du conflit sensoriel causal, on peut se demander si ce type de rééducation, qui se veut très subjectif, ne bénéficie pas simplement d'un effet placebo.

Dans le cadre de la rééducation optocinétique des cinétoses, *E.RESSIOT* (7) a déjà démontré l'efficacité propre de la rééducation indépendante de l'effet placebo.

La rééducation en réalité virtuelle reposant sur le même principe d'une information visuelle de mouvement, il est fort probable que les mêmes conclusions dans ce domaine soient obtenues, encore faudrait-il le vérifier.

## AUTO-EVALUATION DIFFICILE

La question « Avez-vous ressenti une amélioration de vos symptômes ? » ne reçoit une réponse positive que par 5 patients sur 9 et 3 patients répondent "je ne sais pas" ce qui est surprenant au vu des réponses précédentes. Les patients semblent arriver à évaluer leurs symptômes, l'intensité de leur naupathie et la gêne fonctionnelle ressentie mais ont du mal à comparer leur mal de mer entre avant et après rééducation. Une des explications est probablement le problème de mémoire car plusieurs semaines se sont écoulées depuis l'évaluation initiale. Une autre explication pourrait être des durées de navigation relativement faibles chez certains patients depuis la rééducation. Ainsi il est difficile pour

les patients de comparer des mois voire des années de mal de mer à quelques jours de navigation post-rééducation. Il semble donc plus judicieux de ne pas demander aux patients une comparaison de leur état en mer mais plutôt une évaluation à différents temps: avant rééducation, après un, trois ou six mois.

### c) COMPARAISON AVEC LA REEDUCATION OPTOCINETIQUE

Cette étude constate une amélioration chez 7 patients sur 9 (soit 78%) avec la réalité virtuelle. Par rapport aux études antérieures menées sur la rééducation optocinétique, le taux de réussite de la rééducation par simulateur visuel semble similaire. En effet, *Trendel et al* (6) constatait 60 patients améliorés sur 75 (soit 80%) par la rééducation optocinétique en utilisant le même outil de mesure qu'est l'échelle de Graybiel et Miller et les mêmes critères d'amélioration à savoir le passage d'un stade 3 ou 4 à un stade inférieur. L'étude *Ressiot et al* constatait une amélioration avec la rééducation optocinétique chez 5 patients sur 7 (soit 71,4%) (7).

*Maffert* a évalué l'intensité ressentie de la naupathie avant et après rééducation optocinétique avec un outil que nous avons également utilisé dans cette étude à savoir l'échelle visuelle analogique (44). Il constate une baisse significative de l'intensité ressentie de la naupathie évaluée à 7,92/10 en moyenne avant rééducation optocinétique et à 4,28 après. L'étude actuelle semble montrer une efficacité au moins aussi bonne selon ce critère d'évaluation avec une intensité ressentie de la naupathie évaluée à 8,2/10 avant rééducation par simulateur visuel et 3,6 après (Figure 6).

Cependant, le ressenti des patients semble moins bon en rééducation par simulateur visuel qu'en rééducation optocinétique. En effet, dans l'étude *Trendel et al* (6) 67 patients sur 75 étaient prêts à recommencer l'expérience (soit 89%) contre 6 patients sur 9 en réalité virtuelle (soit 66%). De même, 72 patients sur 75 se disaient prêts à recommander la rééducation optocinétique à un proche (soit 96%) contre 7 patients sur 9 en réalité virtuelle (soit 78%). Ainsi, la satisfaction des patients avec la rééducation par simulateur visuel semble moins bonne qu'en optocinétique mais seule une étude comparative permettrait de l'affirmer.

## d) MECANISMES D'ACTION

Il est difficile de considérer le message visuel délivré par un scénario de mer comme déclenchant un réflexe optocinétique. Il s'agit plus ici d'une information visuelle de mouvement intégrée au niveau central et générateur d'un conflit sensoriel par des voies, sans doute différentes de celles de l'optocinétique. Cette constatation laisse à penser que toute illusion visuelle de mouvement reproduisant les mouvements de la houle (message de basse fréquence, de grande amplitude et plutôt horizontal) est susceptible de créer un conflit sensoriel favorisant l'adaptation centrale bénéfique pour le mal de mer.

Les stimuli de la réalité virtuelle auraient pu permettre de faciliter l'adaptation, la participation cognitive et le travail sur la proprioception. Les résultats ne semblent pas montrer de véritable différence par rapport à la technique optocinétique mais seule une étude comparative permettrait de l'évaluer.

## 2) METHODOLOGIE DE L'ETUDE:

### a) CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION

L'échantillon étudié comportait 7 hommes et 2 femmes. Cette cohorte largement masculine, s'explique par le fait que le monde de la mer est très majoritairement masculin. En effet, au sein de la Marine Marchande et des marins pêcheurs, on comptait 8,3% de femmes en 2010 (45). Selon le ministère de la Défense, 13,6% de femmes servent dans la Marine mais seulement 8,5% sont embarquées à bords des bâtiments (46). Et la fédération française de voile comptait, en 2010 comme en 2016, 34% de femmes licenciées (47).

Parmi les patients inclus dans l'étude, militaires et plaisanciers représentent près de 90% de l'effectif. La médecine du travail des gens de la mer, contactée afin de proposer la rééducation aux marins pêcheurs et aux marins de la Marine Marchande, a constaté que très peu de leurs patients étaient éligibles à l'étude car la plupart ne souffraient pas de naupathie invalidante. D'après le service, les marins ne débutent pas ou ne poursuivent pas de telles

carrières s'ils souffrent d'un mal de mer invalidant.

La moyenne d'âge était de 31,6 ans (+/- 8,8 ans) et la médiane de 29 ans [22-48]. L'IMC moyen des patients de ce groupe était de 23,5 kg.m<sup>-2</sup> (+/-2,9).

Compte tenu de la répartition par sexe, de la moyenne d'âge (31,6 ans +/- 8,8 ans) et du type de navigation pratiquée, on peut considérer l'échantillon étudié comme représentatif d'une population de marins souffrant de naupathie.

#### b) TAILLE DE L'ECHANTILLON

La principale difficulté rencontrée dans la mise en place de l'étude a été le recrutement des patients. En effet, les critères d'exclusion de notre étude nous ont amenés à exclure beaucoup de marins : faible expérience de navigation, prévision de navigation trop éloignée par rapport à notre évaluation des résultats, antécédent de rééducation de la naupathie réalisée sans résultat ou encore pour des raisons socio-professionnelles.

#### PATIENTS PERDUS DE VUE:

30,8% des patients inclus n'ont pas pu être réévalués. Les récentes études réalisées en France pour évaluer des techniques de rééducation de cinétoses rapportent un nombre de perdus de vue variable allant de 15 à 48% (3) (7) (44) (48). Parmi les perdus de vue de cette étude, tous étaient des marins militaires embarqués. Cette population est difficile à suivre sur une étude longue parce soumise à des changements rapides et fréquents d'emploi du temps. La programmation des rendez-vous et le suivi sont donc particulièrement compliqués. Ainsi, 2 patients ont réalisés leur rééducation en totalité mais ne sont pas repartis en mer à l'issue (changement de programme du bateau ou changement de poste) et l'un d'entre eux a retardé le début de sa rééducation, sortant ainsi des délais de l'étude. Enfin, 1 patient a retiré son consentement et interrompu son étude au milieu des séances. Plusieurs hypothèses sont envisageables: soit le patient a constaté une amélioration qu'il a jugé suffisante, soit il a interrompu la rééducation en raison d'une perte de motivation ou d'une perte de confiance dans les résultats potentiels, soit les séances ont été trop désagréables et il

n'a pas souhaité les poursuivre.

Le petit effectif de patient inclus et réévalués s'inscrit dans le cadre d'une étude pilote sur un nouveau type de rééducation encore non évalué. L'interprétation des résultats doit prendre en compte la petite taille de l'échantillon qui amène à une faible puissance statistique. Mais malgré cela, les résultats significatifs de cette étude laissent à penser que la rééducation par réalité virtuelle est une technique véritablement efficace contre la naupathie.

Il serait important d'augmenter la taille de la population étudiée de façon à ce que l'étude gagne en puissance statistique, en augmentant de la durée des inclusions.

La réalisation d'une étude multicentrique apparaît difficile car le simulateur visuel est un prototype. Le matériel proposé en ville fournit des scénarii de natures différentes avec une figuration des vagues qui favorise l'effet d'écume et une navigation sur embarcation semi-rigide avec une proue de l'embarcation nettement visible par le patient qui rend la stimulation de la rétine périphérique plus difficile du fait de la présence de nombreux points fixes (49).

### c) DUREE DE NAVIGATION AVANT ET APRES REEDUCATION

En moyenne, les patients naviguaient régulièrement depuis 109 mois (+/- 73,8) [6-252]. Avoir exclus les marins ayant moins de 6 mois de navigation régulière permet de limiter le biais de confusion lié à l'amarinage naturel.

Après rééducation, les patients ont navigué en moyenne 24,7 jours mais la médiane est faible (12 jours) et l'écart type (+/- 22,9) témoigne d'une grande disparité dans la durée de navigation. Cette faible durée de navigation peut s'expliquer par une réévaluation trop précoce mais également par une réévaluation difficile. En effet, le programme très changeant des embarquements et les longues périodes sans communications qui en découlent pour les professionnels d'une part et les embarquements réduits en hiver pour les plaisanciers d'autre part rendent la réévaluation difficile et les délais hétérogènes. Ce biais

de réévaluation est une limite importante de cette étude.

Une durée de navigation d'un mois après rééducation semblerait raisonnable pour évaluer de façon fiable le traitement.

#### d) REEVALUATION FINALE

Sur les 9 patients réévalués, seulement 3 ont pu être revus en consultation et 6 ont été réévalués par téléphone. En effet, il s'est révélé compliqué de revoir les patients en consultation à l'issue de la rééducation. Beaucoup de patients déclarant ne plus être disponible pour des rendez-vous en particulier parce qu'ils avaient recommencé à naviguer. L'évaluation finale n'a donc pas pu se dérouler dans des conditions parfaitement similaires à l'évaluation initiale, ce qui constitue un biais d'évaluation de cette étude. Cependant, le rendez-vous téléphonique programmé avait pour but d'assurer une véritable disponibilité du patient lors de l'entretien avec le médecin investigateur pour limiter ce biais.

L'évaluation finale des patients consistait en un bilan des conditions de navigation réalisé à posteriori (après l'embarquement): intensité des symptômes, de la gêne fonctionnelle et force de la mer. Cela expose à un biais de mémoire. La réévaluation précoce après la navigation a permis de limiter au maximum ce biais. Une auto-évaluation par le patient sous forme de questionnaires compilés dans un journal de bord pourrait également limiter ce biais. Cependant cela rendrait l'étude plus fastidieuse pour le patient et donc exposerait à plus de données manquantes. De plus, l'auto-évaluation exposerait à un biais de compréhension c'est pourquoi il avait été choisi que le médecin investigateur remplisse lui-même le questionnaire.

### 3. OUVERTURE

#### a) MAINTIEN DES RESULTATS DANS LE TEMPS

Cette étude pilote cherchait à évaluer l'efficacité d'une technique de rééducation de la naupathie utilisant un simulateur visuel. Ses résultats nécessitent d'être appuyés et complétés.

La réévaluation des patients a été réalisée entre 1 et 9 mois après la fin de la rééducation. Les résultats obtenus en moyenne 4,9 mois (+/- 2,9) après la rééducation sont plutôt en faveur d'un maintien des bénéfices dans le temps (18). En effet, les études tendent à montrer que l'adaptation est un mécanisme durable dans le temps. *A.Maffert* (44) a montré la persistance de ces résultats pour la rééducation optocinétique. Il est licite de penser que les mêmes résultats sont probablement obtenus pour la réalité visuelle puisque c'est également une rééducation de type adaptation mettant en jeu la plasticité neuronale. Il pourrait être intéressant d'effectuer plusieurs évaluations chez les patients pour évaluer l'évolution des résultats dans le temps, par exemple à un et trois ans de la rééducation.

#### b) AMELIORATION DE LA REEDUCATION

La rééducation actuelle recrée le conflit sensoriel à partir d'une stimulation visuelle mais en intégrant le son et une stimulation vestibulaire adaptée, le stimulus pourrait être capable de créer un conflit sensoriel plus proche de la réalité maritime. C'est l'objectif de la plateforme créée dans le service ORL de l'HIA de Brest. L'objectif n'est pas de créer un simulateur de navigation. En effet les marins concernés par la rééducation ne sont pas parvenus à s'amariner dans les conditions réelles. Le but est donc de les aider à s'adapter progressivement en résolvant au mieux les principaux conflits en cause.

Dans ce but, l'hôpital d'instruction des armées de Brest propose d'intégrer progressivement



ces différentes techniques à travers un protocole qui inclut des exercices optocinétiques puis la réalité virtuelle en statique puis sur plateforme mobile.

La rééducation cognitive fait également partie de l'arsenal thérapeutique contre la naupathie. Les techniques d'optimisation des potentiels ou TOP sont déjà largement utilisées dans les armées ou par les sportifs de haut niveau. Adaptées au mal de mer, elles apprennent au patient à ne pas subir. En rendant le patient acteur de sa guérison (50).

### c) CHAMPS D'APPLICATION

Les applications pratiques potentielles de la rééducation par simulateur visuel sont nombreuses. Bien qu'elle nécessite d'être étayée par des études ultérieures pour renforcer et compléter ses résultats, cette étude donne sa place à la réalité virtuelle au sein des contre-mesures efficaces pour lutter contre la naupathie.

Pour les marins civils ou militaires, plaisanciers ou professionnels souffrant de naupathie sévère et navigant régulièrement, les résultats de l'étude tendent à prouver que cette rééducation peut leur apporter plus de confort en mer et restaurer leurs capacités opérationnelles.

D'autre part, le message visuel de la réalité virtuelle peut être facilement adapté et pourrait se décliner pour d'autres moyens de transports. En effet, les conflits créés lors de cette rééducation sont très proches de ceux rencontrés dans les cinétoses routièrès avec un message visuel de défilement de paysage sans accélération verticale. Des scénarii en réalité virtuelle de type déplacements automobiles ont déjà été réalisés (49). Plusieurs études ont montré l'efficacité de la rééducation optocinétique dans les cinétoses routièrès (3) (44). Il serait pertinent d'évaluer l'efficacité de la rééducation par réalité virtuelle pour ces cinétoses terrestres.

Enfin, les traitements médicamenteux sont souvent contre-indiqués où peu évalués chez l'enfant et laissent les familles démunies face au problème. L'absence d'effet indésirable avec la rééducation et l'aspect "ludique" de la réalité virtuelle pourrait être intéressant pour traiter les enfants souffrant de cinétoses avec cependant la limite de la nécessaire coopération de l'enfant.

## E) CONFLITS D'INTERET

L'auteur déclare ne pas avoir de conflit d'intérêt dans cette étude.

## CONCLUSION

Les résultats de cette étude, bien que pondérés par la petite taille de l'échantillon et la durée de navigation peu importante chez certains patients après rééducation, sont en faveur d'un véritable bénéfice apporté par la rééducation par simulateur visuel chez le patient sujet à la naupathie.

Elle permet une amélioration clinique significative des symptômes et de la gêne fonctionnelle en mer des patients traités, avec entre autre une disparition des vomissements chez 6 patients sur 7. Les patients semblent plus résistants aux stimuli cinétogènes et ont moins recours au traitement médicamenteux. Malgré des séances parfois désagréables et l'aspect chronophage du traitement, les patients apparaissent globalement satisfaits de la rééducation qui est dépourvu d'effets secondaires lors des embarquements ultérieurs.

Malgré tout, 22% des patients de la cohorte ont été non-répondeurs à la rééducation et l'étude a montré que si la rééducation par simulateur visuel permet d'atténuer la naupathie, elle ne permet pas la guérison totale.

Les résultats nécessitent d'être confirmés par des études ultérieures qui évalueront également son maintien dans le temps. La rééducation par simulateur visuel, même si l'étude semble montrer une efficacité similaire à la rééducation optocinétique, devra par ailleurs être comparée aux techniques d'optocinétique.

La technique peut encore être améliorée pour mieux s'approcher du conflit sensoriel initial et pourrait être associée à une prise en charge cognitive pour gagner en efficacité.

Ce nouveau type de rééducation trouve sa place au sein de l'arsenal thérapeutique contre la naupathie sévère en préparation aux embarquements réguliers et itératifs mais offre également un potentiel plus large à travers des scénarii adaptés aux autres cinétoses, notamment terrestres.

## ANNEXES

### **ANNEXE 1: Echelle de GRAYBIEL ET MILLER et stadification de GRAYBIEL ET MILLER du niveau de sévérité de la naupathie**

nombre de points  signes fonctionnels	16	8	4	2	1
<b>signes épigastriques</b>	Vomissements	nausées majeures importantes	nausées modérées	inconfort gastrique	gêne épigastrique
<b>teint cutané</b>		pâleur majeure ou importante	pâleur modérée	discrète pâleur	flush
<b>sueurs froides</b>		majeures ou importantes	Modérées	mineures	
<b>augmentation du flux salivaire</b>		majeure ou importante	Modérée	faible	
<b>somnolence</b>		majeure ou importante	Modérée	discrète	
<b>douleur</b>					céphalées
<b>signes nerveux centraux</b>					vertiges

<b>malaise franc</b>	<b>malaise sévère</b>	<b>malaise modéré</b>	<b>malaise peu important</b>
≥16 points	8-15 points	3-7 points	1-2 points
niveau IV	niveau III	niveau II	niveau I

**ANNEXE 2: Echelle de DOUGLAS (échelle de 10 degrés d'intensité décrivant l'état de la mer)**

<b>Intensité</b>	<b>état de la mer</b>	<b>hauteur des vagues (m)</b>
<b>1</b>	calme, ridée	0 - 0,1
<b>2</b>	belle (vaguelettes)	0,1 - 0,5
<b>3</b>	peu agitée	0,5 - 1,25
<b>4</b>	agitée	1,25 - 2,5
<b>5</b>	forte	2,5 - 4
<b>6</b>	très forte	4 - 6
<b>7</b>	grosse	6 - 9
<b>8</b>	très grosse	9 - 14
<b>9</b>	énorme	> 14

### ANNEXE 3: Avis du comité d'éthique et d'expérimentations médicales



Brest, le 22 juin 2016  
N° 2514/HIACT/BLRH/SAG

Bureau Local des Ressources Humaines  
de Brest

Section d'Administration Générale

Dossier suivi par :  
SACS Béatrice LEON

Le Médecin général Rémi MACAREZ  
Médecin-chef de l'Hôpital d'Instruction des armées Clermont Tonnerre Brest

A

L'interne Marie-Alexandra GUINARD  
CHRU de Brest

Objet : Demande concernant le projet d'expérimentation  
P-J : PV du Comité d'Ethique du 20 juin 2016

J'ai l'honneur de vous faire connaître que j'émet un avis favorable à votre projet d'étude intitulé « Etude prospective d'évaluation d'efficacité de la rééducation des naupathies par simulateur visuel » soumis au Comité d'Ethique et Expérimentations Médicales du 20 juin 2016.



Le Médecin général Rémi MACAREZ  
Praticien certifié des hôpitaux des armées  
Médecin-chef de l'Hôpital d'Instruction des Armées  
"Clermont Tonnerre" - BREST

Copie (s) :  
- SAG  
- A/C

BCRM de Brest - Hôpital d'Instruction des Armées Clermont Tonnerre - CC41 - 29240 BREST CEDEX 9 -  
Tél 02 98 43 72 42 - beatrice.leon@intradef.gouv.fr

**ETUDE PROSPECTIVE SUR L'EFFICACITE DE  
LA REEDUCATION VISIO-PROPRIOCEPTIVE  
DES NAUPATHIES**

Promoteur : HIA Clermont Tonnerre – rue du Colonel Fonferrier – 29240 BREST CEDEX  
Coordonnateur : Médecin en Chef Bonne – Service ORL – HIA Clermont Tonnerre – rue  
du Colonel Fonferrier – 29240 BREST CEDEX

Le but de l'étude à laquelle nous vous proposons de participer est l'évaluation de la rééducation du mal de mer par une technique utilisée dans le service d'ORL de l'HIA Clermont Tonnerre basée sur un simulateur visuel de situations maritimes.

Des études ont démontré qu'un conflit d'informations entre le système vestibulaire et le système visuel pouvait être à l'origine de la maladie.

Les traitements actuels reposent sur la prise d'antihistaminiques tels que Mercalm® ou d'atropiniques tels que le Scopoderm®. Ces médicaments ne sont pas toujours très efficaces et ils entraînent des effets secondaires gênants au long court, tels que des troubles visuels, une sécheresse buccale, une somnolence.

La technique de rééducation que nous proposons recrée le conflit d'information entre le système vestibulaire et le système visuel ; permettant de reproduire les manifestations cliniques du mal de mer. Il s'agit donc d'un traitement de désensibilisation, permettant de réduire la symptomatologie tout au long des séances de rééducation.

Nous réalisons déjà, dans le service, ce type de rééducation depuis de nombreuses années à partir d'exercices optocinétiques et avec des résultats intéressants (1, 2).

Par cette étude, nous voulons améliorer cette rééducation en créant des conflits sensoriels encore plus proche de la réalité maritime en reproduisant les mouvements du bateau à travers une image projetée. Les patients feront au total 10 séances, la durée de chaque séance étant de 30 minutes environ. Une évaluation initiale et finale de l'intensité de la naupathie sera réalisée.

Pour cela, si vous acceptez de participer à cette étude, une consultation initiale sera réalisée afin d'éliminer toute contre-indication à votre participation à cette étude. Les 10 séances devront être réalisées dans leur totalité. Les principaux effets indésirables de cette rééducation sont la reproduction de la symptomatologie du mal de mer en début de traitement.

La participation à cette étude est volontaire, si vous refusez de participer, ceci n'aura aucun préjudice dans la poursuite de votre prise en charge.

Le nombre de patients participant à cette étude est de 20. La durée de la rééducation sera de 2 semaines à raison d'une séance par jour, 5 jours sur 7. Une évaluation finale de

l'efficacité de la rééducation sera réalisée, après un mois d'embarquement.

Les frais induits par cette recherche sont pris en charge par le promoteur de l'étude et aucune indemnisation n'est prévue pour votre participation.

Cette étude, promue par le HIA Clermont Tonnerre à Brest a reçu un avis favorable du Comité d'éthique en date du 20 juin 2016.

Dans le cadre de la recherche à laquelle l'HIA Clermont Tonnerre vous propose de participer, un traitement de vos données personnelles va être mis en œuvre permettant l'analyse des résultats de la recherche. Conformément aux dispositions de la loi relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification de vos données personnelles.

Vous pouvez également accéder directement ou par l'intermédiaire d'un médecin de votre choix à l'ensemble de vos données médicales en application des dispositions de l'article L1111-7 du Code de Santé Publique. Ces droits s'exercent auprès du médecin qui vous suit dans le cadre de la recherche et qui connaît votre identité.

Votre anonymat sera respecté et les résultats de l'étude ne seront utilisés qu'à des fins scientifiques.

Vous avez le droit de refuser de participer à cette étude ou de retirer votre consentement à tout moment sans encourir aucune responsabilité ni aucun préjudice.

A votre demande, conformément à l'article 15 de la loi du 4 mars 2002, vous pourrez avoir communication des résultats globaux de l'étude.

#### Références :

1. Ressiot E, Dolz M, Marianowski R, Bonne L. Prospective study on the efficacy of optokinetic in the treatment of seasickness. Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis 2013 Apr 2 S1879-7296(13).

2. Trendel D, Haus-Cheymol R, Erauso T, Bertin G, Florentin JL, Vaillant PY, Bonne L. [Optokinetic stimulation rehabilitation in preventing seasickness](#). Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis. 2010 Sep;127(4):125-9. doi: 10.1016/j.anorl.2010.07.006.

*Paraphes patient :*

*Paraphes investigateur :*



**ETUDE PROSPECTIVE SUR L'EFFICACITE DE  
LA REEDUCATION VISIO-PROPRIOCEPTIVE  
DES NAUPATHIES**

Promoteur : Direction Centrale du Service de Santé des Armées  
Investigateur Principal : Médecin Chef des Services BONNE Louis –Chef du Service ORL  
– HIA Clermont Tonnerre – rue du Colonel Fonferrier – 29240 BREST CEDEX 9

Je soussigné(e), M .....(nom, prénom),  
demeurant.....  
.....

Accepte de participer à l'étude intitulée « étude prospective sur l'efficacité de la rééducation visio-proprioceptive des naupathies ».

Le Docteur .....m'a précisé que je suis libre d'accepter ou de refuser de participer.

J'ai reçu et bien compris les informations suivantes.

L'objectif de l'étude est d'évaluer l'efficacité d'une nouvelle technique de rééducation du mal de mer dite visio-proprioceptive qui reproduit les mouvements du bateau à travers une image projetée et les mouvements du sol.

J'ai eu un délai de réflexion suffisant. J'accepte que les données médicales recueillies à cette occasion et me concernant puissent faire l'objet d'un traitement informatisé pour les besoins de l'étude. Les données recueillies demeureront strictement confidentielles. Elles ne pourront être consultées que par l'équipe médicale, les personnes dûment mandatées par le promoteur de l'étude et éventuellement par des représentants des autorités sanitaires et judiciaires habilitées.

Après avoir obtenu réponse à toutes mes questions, j'accepte librement et volontairement de participer à l'étude.

Je sais que je peux retirer à tout moment mon consentement à ma participation à cette étude, quelles que soient mes raisons et sans supporter aucune responsabilité. Le fait de ne plus participer à cette recherche ne portera pas atteinte à mes relations avec le médecin investigateur.

Je peux à tout moment demander toute information complémentaire au Dr...BONNE.....(n° de téléphone : 02 98 43 73 67).

Si je le souhaite, à son terme, je serai informé par l'investigateur qui recueille mon consentement des résultats globaux de cette étude.

Mon consentement ne décharge en rien l'investigateur et le promoteur de l'ensemble de leurs responsabilités et je conserve tous mes droits garantis par la loi.

L'investigateur :

Fait à                      le :

Nom, prénom :

Signature

Personne donnant le consentement :

Fait à                      le :

Nom, prénom :

Signature

## BIBLIOGRAPHIE

1. Bertolini G, Straumann D. Moving in a Moving World: A Review on Vestibular Motion Sickness. *Front Neurol.* 2016;7:14.
2. Renaudie V. Amarinage du plongeur sous-marin en intersaison [Internet]. 2009 p. 49. Available from: [http://www.vestib.org/images/contenu/amarinage\\_renaudie-xsurq.pdf](http://www.vestib.org/images/contenu/amarinage_renaudie-xsurq.pdf)
3. Bonne L, Loaec E, Aupy B, Augowet G, Maffert A, Vaillant P-Y. Cinétose. *EMC - Oto-rhinolaryngologie* 2016;12(1):1-5 [Article 20-201-A-10].
4. Chen W, Chao J-G, Wang J-K, Chen X-W, Tan C. Subjective Vertical Conflict Theory and Space Motion Sickness. *Aerosp Med Hum Perform.* 2016 Feb;87(2):128–36.
5. Munafo J, Diedrick M, Stoffregen TA. The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects. *Exp Brain Res.* 2016 Dec 3;
6. Trendel D, Haus-Cheymol R, Erauso T, Bertin G, Florentin J-L, Vaillant P-Y, et al. Rééducation optocinétiq ue dans la prévention du mal de mer. *Ann Fr Oto-Rhino-Laryngol Pathol Cervico-Faciale.* 2010 Sep;127(4):162–7.
7. 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.* 2013 Nov;130(5):263–8.
8. Lucertini M, Mirante N, Casagrande M, Trivelloni P, Lugli V. The effect of cinnarizine and cocculus indicus on simulator sickness. *Physiol Behav.* 2007 May;91(1):180–90.
9. Zhang L-L, Wang J-Q, Qi R-R, Pan L-L, Li M, Cai Y-L. Motion Sickness: Current Knowledge and Recent Advance. *CNS Neurosci Ther.* 2016 Jan;22(1):15–24.
10. Société Internationale de Réhabilitation Vestibulaire. Equilibration : système de l'équilibre, systèmes récepteurs et effecteurs [Internet]. [cited 2017 Feb 21]. Available from: <http://www.vestib.org/equilibration.html>
11. Pritchard TC, Alloway KD. Neurosciences médicales: Les bases neuroanatomiques et neurophysiologiques. De Boeck Supérieur; 2002. 532 p.
12. Anatomie de l'oreille interne [Internet]. Anatomie de l'oreille interne. [cited 2017 Feb 21]. Available from: <http://3A%2F%2Fwww.lesvertiges.com%2Ffr%2Ffotoconies-recepteurs-otolithiques.html>
13. Lopez C, Lacour M, Borel L. Perception de la verticalité et représentation spatiale dans les aires corticales vestibulaires [Internet]. 2005. Available from: <http://Inco.epfl.ch/webdav/site/Inco/users/172036/public/LOPEZ%20et%20coll%202005%20REVIEW%20Systeme%20vestibulo-cortical.pdf>
14. Perrin C, Conraux C, Collard C, Freyss G, Sauvage JP. L'équilibre en pesanteur et impesanteur. Arnette. 1987. 414 p.
15. Physiologie vestibulaire [Internet]. Medix. [cited 2017 Feb 22]. Available from:

16. Tanguy S. Plasticité vestibulaire chez l'homme: approches écologique et expérimentale [Thèse de doctorat]. [France]: Université de Caen. UFR de médecine;
17. Cohen H, Cohen B, Raphan T, Waespe W. Habituation and adaptation of the vestibuloocular reflex: a model of differential control by the vestibulocerebellum. *Exp Brain Res.* 1992;90(3):526–38.
18. Clément G, Tilikete C, Courjon J-H. Retention of habituation of vestibulo-ocular reflex and sensation of rotation in humans. *Exp Brain Res.* 2008 Sep;190(3):307–15.
19. Reason JT. Motion sickness adaptation: a neural mismatch model. *J R Soc Med.* 1978 Nov;71(11):819–29.
20. Golding JF. Motion sickness susceptibility. *Auton Neurosci.* 2006 Oct;129(1–2):67–76.
21. Thornton WE, Bonato F. Space motion sickness and motion sickness: symptoms and etiology. *Aviat Space Environ Med.* 2013 Jul;84(7):716–21.
22. Graybiel A, Wood CD, Miller EF, Cramer DB. Diagnostic criteria for grading the severity of acute motion sickness. *Aerosp Med.* 1968 May;39(5):453–5.
23. Matsangas P, McCauley ME. Sopsite syndrome: a revised definition. *Aviat Space Environ Med.* 2014 Jun;85(6):672–3.
24. Cha Y-H. Mal de débarquement syndrome: new insights. *Ann N Y Acad Sci.* 2015 Apr;1343(1):63–8.
25. Irwin J. The pathology of seasickness. 1881;(2):907–9.
26. Catanzariti J-F, Guyot M-A, Massot C, Khenioui H, Agnani O, Donzé C. Evaluation of motion sickness susceptibility by motion sickness susceptibility questionnaire in adolescents with idiopathic scoliosis: a case-control study. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc.* 2016 Feb;25(2):438–43.
27. Koslucher F, Munafo J, Stoffregen TA. Postural sway in men and women during nauseogenic motion of the illuminated environment. *Exp Brain Res.* 2016 Sep;234(9):2709–20.
28. Varlet M, Bardy BG, Chen F-C, Alcantara C, Stoffregen TA. Coupling of postural activity with motion of a ship at sea. *Exp Brain Res.* 2015 May;233(5):1607–16.
29. James W. The sense of dizziness in deaf-mutes. *Am J Otolaryngol.* 1882;4:239–54.
30. Kennedy RS, Graybiel A, McDonough RC, Beckwith FD. Symptomatology under storm conditions in the North Atlantic in control subjects and in persons with bilateral labyrinthine defects. *Acta Otolaryngol (Stockh).* 1968 Dec;66(6):533–40.
31. Bos JE, Damala D, Lewis C, Ganguly A, Turan O. Susceptibility to seasickness. *Ergonomics.* 2007 Jun;50(6):890–901.
32. Sharon JD, Hullar TE. Motion sensitivity and caloric responsiveness in vestibular migraine and Meniere's disease. *The Laryngoscope.* 2014 Apr;124(4):969–73.

33. Klosterhalfen S, Kellermann S, Pan F, Stockhorst U, Hall G, Enck P. Effects of ethnicity and gender on motion sickness susceptibility. *Aviat Space Environ Med.* 2005 Nov;76(11):1051–7.
34. Finley JC, O’Leary M, Wester D, MacKenzie S, Shepard N, Farrow S, et al. A genetic polymorphism of the alpha2-adrenergic receptor increases autonomic responses to stress. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 2004 Jun;96(6):2231–9.
35. Brainard A, Gresham C. Prevention and treatment of motion sickness. *Am Fam Physician.* 2014 Jul 1;90(1):41–6.
36. Nachum Z, Shupak A, Gordon CR. Transdermal scopolamine for prevention of motion sickness : clinical pharmacokinetics and therapeutic applications. *Clin Pharmacokinet.* 2006;45(6):543–66.
37. Lucertini M, Verde P, Trivelloni P. Rehabilitation from airsickness in military pilots: long-term treatment effectiveness. *Aviat Space Environ Med.* 2013 Nov;84(11):1196–200.
38. Stroud KJ, Harm DL, Klaus DM. Preflight virtual reality training as a countermeasure for space motion sickness and disorientation. *Aviat Space Environ Med.* 2005 Apr;76(4):352–6.
39. Lewis T. When Will Virtual-Reality Headsets Stop Making People Sick? [Internet]. [cited 2017 Feb 21]. Available from: <http://www.livescience.com/50129-virtual-reality-nausea-sickness.html>
40. Merhi O, Faugloire E, Flanagan M, Stoffregen TA. Motion sickness, console video games, and head-mounted displays. *Hum Factors.* 2007 Oct;49(5):920–34.
41. Piette P, Pasquier J. Réalité virtuelle et rééducation. *Kinésithérapie Rev.* 2012 Aug;12(128–129):38–41.
42. Parenthoën M. Animation phénoménologique de la mer - une approche éactive - Modélisation et simulation [Internet]. [Brest]: Université de Bretagne Occidentale; 2004. Available from: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00007695v1/document>
43. Les unites meteorologiques [Internet]. [cited 2017 Jan 25]. Available from: <http://www.utc.fr/~tthomass/Themes/Unites/unites/cat/aut/Les%20unites%20meteorologiques.pdf>
44. Maffert A. Ressenti de l’efficacité de la rééducation optocinétique dans la prévention du mal de mer. Université de Bretagne Occidentale; 2017.
45. Analyse statistique de l’emploi et des caractéristiques démographiques du personnel navigant du transport maritime (années 2009 et 2010) [Internet]. [cited 2017 Mar 7]. Available from: [http://www.formation-maritime.fr/images/stories/emploi/Rapport%20final%20OPMQ\\_CEREQ.pdf](http://www.formation-maritime.fr/images/stories/emploi/Rapport%20final%20OPMQ_CEREQ.pdf)
46. Ministère de la défense. les femmes dans la Marine nationale [Internet]. 2013 [cited 2017 Mar 7]. Available from: <http://www.defense.gouv.fr/marine/a-la-une/8-mars-les-femmes-dans-la-marine-nationale>
47. Fédération française de voile. Statistiques FFV [Internet]. 2017 [cited 2017 Mar 7]. Available from: <http://www.ffvoile.fr/ffv/Statistiques/>
48. Bellon C. Influence d’une rééducation vestibulaire sur la cinétose [Internet]. 2006 juillet p. 69.

Available from: [https://doc.rero.ch/record/6524/files/MFE\\_Bellon.pdf](https://doc.rero.ch/record/6524/files/MFE_Bellon.pdf)

49. Assaban F. Les Cinétoses en 2015 Apports de la Réalité Virtuelle. In 2015. 49<sup>ème</sup> symposium de la Société Internationale d'Otoneurologie. 2015 May 14-16. Fes, Morocco. Available from: <http://virtualis-lab.com/wp-content/uploads/2016/01/Cin%C3%A9toses-RV-SIO-2015.pdf>
50. Perreaut-Pierre E. Comprendre et pratiquer les Techniques d'Optimisation du Potentiel. Paris: InterEditions; 2016. 311 p.

GUINARD épouse CIVRAC DE FABIAN (Marie-Alexandra)  
INTERET DE LA SIMULATION VISUELLE DANS LA REEDUCATION DE LA  
NAUPATHIE  
Thèse Médecine: Brest 2017

**RESUME :**

Le principe de la rééducation des naupathies est basé sur la capacité d'adaptation du système vestibulaire et la plasticité neuronale. Le but d'obtenir l'amarinage qui ne s'est pas fait spontanément. La réalité virtuelle, elle-même génératrice de cinétose, pourrait être un outil puissant pour améliorer la rééducation des naupathies. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'efficacité de la rééducation par réalité virtuelle dans la rééducation des naupathies. Cette étude était une étude pilote prospective monocentrique. Les patients inclus ont bénéficié de dix séances de rééducation de trente minutes en simulation visuelle de situations de navigation. L'intensité de leur mal de mer était évaluée avant et après rééducation. Les résultats de cette étude ont montré une véritable amélioration de l'état clinique des patients en mer après avoir suivi une rééducation par réalité virtuelle. 7 patients sur 9 sont passés d'une naupathie stade 4 selon l'échelle de GRAYBIEL et MILLER à une naupathie stade 2 ou inférieur. La gêne fonctionnelle moyenne est significativement inférieure après rééducation et une meilleure résistance à l'agitation de la mer. Cependant, 2 patients sur 9 ont été non-répondeurs à la rééducation. Les patients répondeurs ont rapporté une persistance de symptômes atténués. Les résultats semblent être du même ordre que ceux obtenus avec une rééducation optocinétique. Ils sont à pondérer par la faible taille de l'effectif de la cohorte et par une durée de navigation post-rééducation parfois faible. Bien qu'elle nécessite d'être complétée par des études ultérieures et comparée à la rééducation optocinétique, elle donne à la réalité virtuelle une place au sein de l'arsenal thérapeutique des naupathies.

**MOTS CLES :**

naupathie, cinétose, évaluation, rééducation, traitement, réalité virtuelle

**JURY :**

Président du jury: Monsieur le Professeur Rémi Marianowski

Membres du Jury: Monsieur le Docteur Jean Rousset

Monsieur le Docteur Loïs Bonne

Monsieur le Docteur Brice Loddé

Monsieur le Docteur Nicolas Paleiron

Monsieur Frédéric Devillers

**DATE DE SOUTENANCE :** 09 Mai 2017

**ADRESSE DE L'AUTEUR :**