HAL
open science

COGNITION / COMPORTEMENT MOTEUR: une interdépendance fonctionnelle ?

Hadrien Ceyte

To cite this version:

Hadrien Ceyte. COGNITION / COMPORTEMENT MOTEUR: une interdépendance fonctionnelle ?. Psychologie et comportements. Université de Lorraine, 2020. tel-02978899

HAL Id: tel-02978899

https://hal.univ-lorraine.fr/tel-02978899

Submitted on 26 Oct 2020

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

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

2020

Ecole Doctorale n°266 BioSE

* Biologie, Santé, Environnement *

HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES

présentée par

Hadrien CEYTE

COGNITION & COMPORTEMENT MOTEUR

Une interdépendance fonctionnelle ?

** section CNU 74 **

PU-PH	BEDNAREK-WEIRAUCH, Nathalie	CHU / Université de Reims Champagne-Ardenne	(Rapporteur)
PU	DESCHODT-ARSAC, Véronique	CNRS / Université de Bordeaux	(Rapporteur)
PU	TEMPRADO, Jean-Jacques	CNRS / Aix-Marseille Université	(Rapporteur)
PU	OLIVIER, Isabelle	CNRS / Université Grenoble Alpes	(Examinateur)
Dr.	TROTTER, Yves	CNRS / Université de Toulouse III	(Examinateur)
PU-PH	HASCOËT, Jean-Michel	Maternité régionale de Lorraine / Université de Lorraine	(Parrain scientifique)
MD-HDR	BEIS, Jean-Marie	IRR / Université de Lorraine	(Invité scientifique)

COGNITION & COMPORTEMENT MOTEUR

Une interdépendance fonctionnelle ?

Hadrien CEYTE

HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES – 2020

Résumé

L'Homme est au cœur de mes questionnements ; toutefois la prise en compte de son environnement, qu'il soit physique ou encore émotionnel, est indispensable dans ma conception de son étude. Au cours de mon cursus scientifique dans le champ des STAPS, j'ai investi différentes problématiques chez l'Homme notamment celle de sa perception des espaces et celle de l'intime relation qu'il entretient avec son environnement. A partir d'une approche hypothético-déductive, mes analyses ciblent les contributions sensorielles (somesthésiques, proprioceptives, graviceptives…) dans ses élaborations cognitives (perceptions, attentions, représentations…) et leur conséquences motrices (posture, locomotion, mobilité…). Aujourd'hui, je défends l'idée selon laquelle l'action ne peut plus être considérée comme une simple sortie d'exécution.

Tout au long de ce document, j'énonce différents projets expérimentaux, chez l'Homme en développement, sain ou encore pathologique, qui visent à démontrer que la cognition et le comportement moteur sont deux éléments indissociables d'une même entité, l'un impactant l'autre et réciproquement. Seule une approche contextualisée de l'Homme me semble pertinente pour mettre à jour les relations fonctionnelles entre ses activités cognitives et ses activités motrices.

Abstract

Human is the core of my scientific questioning; however, taking into account his environment, whether physical or emotional, is essential in my conception of his study. During my scientific course in the field of STAPS, I have invested in various problematics in human, notably his perception of spaces and his close relationship with his environment. From a hypothetic-deductive approach, my analyzes target the sensory contributions (somesthesic, proprioception, graviception) to its cognitive processes (perceptions, attentions, representations) and their motor consequences (posture, locomotion, mobility). Today, I support the idea that action can no longer be considered as a simple execution output.

Throughout this document, I present various experimental projects on human development, healthy or pathologic, which aim to demonstrate that cognition and motor behavior are two inseparable elements of the same entity, one impacting the other and vice versa. Only a contextualized approach of Human seems relevant to highlight the functional relationship between his cognitive and his motor activities.

Remerciements

Je tiens tout particulièrement à remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail, pour leurs précieux échanges et, surtout, pour s'être déplacés jusqu'en Lorraine.

J'ai une pensée toute particulière pour Jean-Michel Hascoët, pour sa confiance et son immense amitié. Sans lui, il est certain que mon travail, aujourd'hui, n'aurait pas la même dimension.

Je souhaite également adresser à Jean-Marie Beis ma sincère gratitude pour son ouverture, ses questionnements et sa motivation quant à notre passionnante collaboration et à Olivier Dossmann ma profonde reconnaissance pour nous avoir mis en relation, pour son accueil au sein de son institut et son profond respect.

Avec la même énergie, je me dois de citer mes autres partenaires scientifiques et ami(e)s grâce auxquels nos échanges et questionnements hantent mes journées et parfois même mes nuits, mais toujours en me nourrissant : Cécile Aubert, Lionel Bringoux, Leslie Decker, Gabriela Hossu, Muriel Jacquot, Frédéric Noé, Thierry Paillard, Fabien Vérité, sans oublier Sébastien Caudron, Gwenaelle Ceyte et Julien Frère.

Au-delà, je tiens à remercier chaleureusement Patrick Menu, Directeur de l'ED BioSE, pour son soutien, Didier Mainard, Directeur du Pôle Scientifique Biologie-Médecine-Santé, Bruno Charpentier et Caroline Gaucher, ses directeurs adjoints, pour nos multiples partages, ainsi que Malika Akroum, Anne Incerti et Sandra Kenzari pour leur aide précieuse au quotidien.

Ce travail est également la parfaite occasion pour souligner le fabuleux travail de l'ensemble du personnel technique et administratif de l'EA3450 DevAH, de la Faculté des Sciences du Sport de Nancy et de la Maternité Régionale de Lorraine : Merci pour nos contacts toujours agréables et facilitants.

Ce parcours scientifique est jalonné de rencontres et de discussions, et celles qui m'ont le plus forgées ces dernières années sont celles eues avec les étudiants que j'ai pu ou que je continue à suivre : Alexandre, Ali, Almamy, Arnaud, Arthur, Corentin, Dimitri, Jaïmy, Joëlle, Kevin, Léo, Louis-Arthur, Luca, Marina, Margot, Mathilde, Mehdi, Mickael, Nicole, Nicolas, Paul-Antoine, Sarah, Théo, Thibault, Youri… Je les remercie sincèrement de me permettre d'apprendre toujours plus grâce à eux.

Mon investissement dans ce parcours professionnel ne peut se réduire à une activité passionnée. Il est possible uniquement grâce à la présence, à chaque instant, de personnes qui me sont chères. Je veux bien-sûr parler de mes amis rencontrés au sein de l'UL et dont notre amitié dépasse ses murs : Eric, Gérome, Guillaume, John, Julien, Seb mais aussi ceux hors de cette enceinte : Antho, Clem, Dani, Fred, Gaël, Jul, Lulu, Marine, Mel, Nico, p'tit Nico, Oliv', Perrine, Raph, Vaness, Yo, Yohana, tous les pôtes de « Crossfit Laxou » et mes frères de coeur Gaston, Guéna et Lio.

Enfin, je ne peux oublier la contribution des miens : ma mère et mes beaux-parents, toujours présents, et celle qui fait que je dois tous les jours être meilleur qu'hier :
« Gwen, merci d'être là ! »

Un grand merci à Guillaume, Gwen et Jean-Michel pour avoir pris le temps de relire mon document et d'y avoir apporté leurs critiques toujours constructives et bienveillantes.

Avant-propos

Le comportement humain m'a toujours questionné… tellement complexe et parfois si prévisible.

Mais qu'est-ce qui fait qu'un individu agisse de telle manière ? Qu'il perçoive la situation ainsi ? Quels sont les éléments de son environnement, de son histoire qui permettent de comprendre ses choix, ses attitudes, ses postures, ses solutions motrices, son comportement en général ?

La diversité des possibles rend souvent les réponses à ces questions éparses, diffuses voire confuses. La multitude des facteurs et leur pondération nécessitent une analyse fine de chaque facette du comportement, de ses aspects visibles, mais aussi non-visibles. La prise en considération de son contexte de réalisation est cruciale et elle nécessite une approche pluridisciplinaire voire interdisciplinaire, complexe à mettre en place et souvent difficile à coordonner.

Fortement imprégné, dans ma formation doctorale en psychologie cognitive, par l'étude de l'espace et de ses perceptions, j'ai pu constater que la force gravitaire se retrouve toujours au centre des interactions entre l'Homme et son environnement. Auparavant dans mon cursus universitaire en STAPS et plus spécifiquement en sciences du mouvement, l'intime relation que l'Homme entretient avec cette force est continuellement questionnée dans sa motricité, parfois de manière directe, souvent de manière sous-entendue. Dans nos perceptions et dans nos actions, toutes perméables à son omniprésence, on a de tout temps cherché à s'en soustraire. Pour autant, en l'état de mes naïves mais honnêtes observations, il me paraît de plus en plus évident que cette force, terrestre, soit la garante de la justesse et de la finesse de nos relations avec notre environnement : de l'efficience de nos attitudes posturales, certes, mais aussi de nos perceptions et plus largement de nos comportements.

Mon investissement scientifique auprès de populations vulnérables et mes questionnements quant à la relation qu'elles établissent avec leur environnement physique m'amènent à penser que la gravité terrestre est très souvent source de solutions, sans préjuger de leur efficacité contre leur affectation. C'est d'ailleurs l'expression de ces solutions qui nous questionnent. Qu'elles soient motrices, perceptives ou plus largement cognitives, elles témoignent de la relation établie entre ces populations et leur environnement à partir de leurs capacités ; et ces relations sont toujours la meilleure forme d'expression possible en l'état des moyens de ces populations. Mon rôle de chercheur, dans un premier temps, et le plus souvent, est de décrypter ces solutions en prenant en compte ces moyens et le contexte dans lequel ces populations vulnérables les réalisent. Dans un deuxième temps, mon action est de proposer des pistes de compensation, de suppléance, voire de vicariance, toujours via une approche Bottom-Up, afin de parvenir à une nouvelle solution, motrice ou cognitive, plus efficiente.

Dans ce document de synthèse, dont le cœur correspond à mon implication scientifique sur ces questionnements, vous trouverez un premier chapitre qui présente mon entrée dans le domaine de la recherche au travers des problématiques développementales, partant de la maturation de voies visuelles impliquées dans la perception et l'action, en passant à l'appropriation du compromis vitesse/précision, jusqu'à l'évolution du contrôle postural.

Dans un deuxième chapitre, je vous ferai découvrir mon questionnement quant au référencement spatial lié à soi, à son propre corps et sa porosité surprenante vis-à-vis de la force gravitaire établissant ainsi, selon moi, une filiation, difficilement perceptible au premier abord, entre nos différentes perceptions spatiales.

Enfin, le troisième et le quatrième chapitre visent à vous faire découvrir comment j'ai réinvesti les différentes connaissances et découvertes que j'ai assimilées préalablement, notamment sur la question de la place de la cognition dans le comportement moteur. Plus particulièrement dans le dernier chapitre, je vous expose comment je perçois et conçois ce couple non-visible/visible, que constitue la cognition et le comportement, en interrogeant les performances de diverses populations vulnérables notamment les comportements cognitivo-moteurs d'enfants nés prématurément me permettant ainsi de revenir à mes premières interrogations.

Préalablement à ce rapport scientifique, vous découvrirez les pièces nécessaires à ma demande de soutenabilité de cette HDR (diplôme et rapport de soutenance de thèse d'Université, et courrier de recommandation de mon parrain scientifique), ainsi que les présentations synthétiques de mes activités d'enseignement et de recherche en vous présentant les différentes responsabilités que j'ai eu ou que j'ai encore l'honneur d'accomplir.

A la fin de ce document, vous trouverez également des renseignements sur les autres facettes de mon activité scientifique (activités de valorisation scientifique, collaborations, …) et la liste complète et classée de mes productions scientifiques.

Sommaire

A. Copie du diplôme de Doctorat & Rapport de soutenance 1

B. Lettre de recommandation et d'engagement argumentée du parrain scientifique 6

C. Présentation synthétique des activités d'enseignement 7
1. Responsabilités administratives versant Pédagogie 7
2. Responsabilités administratives versant Recherche 9
3. Responsabilités administratives au niveau national 13

D. Présentation synthétique des activités de recherche 14
1. Bilan des activités de recherche 14
2. Liste des encadrements scientifiques 16
3. Autorisation à Co-diriger une Thèse 21
4. Participation à des jurys 22
- Jury de diplômes Universitaires ou assimilés 22
- Comités de sélection (COS) et de recrutement 23
- Jury de thèse 23
- Comités de suivi individuel de thèse 23
5. Projet scientifique 24
- Formation à et par la recherche sur des problématiques développementales 26
- Spécialisation sur la problématique des déterminants aux perceptions spatiales 39
- Perception spatiale ou un préalable au comportement 71
- Interdépendance activités cognitives et mobilité corporelle 137
- Conclusion générale 181
- Références bibliographiques 182
- Les perspectives de recherche & de développement 218
6. Présentation synthétique des activités de valorisation et de transfert 219
7. Rayonnement scientifique 220
- Collaborations scientifiques 220
- Partenaires industriels 221
- Expertises scientifiques auprès des revues internationales indexées 221
- Contrats et financements demandés et/ ou obtenus 222
- Implications dans des évènements scientifiques 223
- Conférencier-invité 224

8. Informations significatives sur le déroulement de la carrière relativement aux conditions d'exercice 225

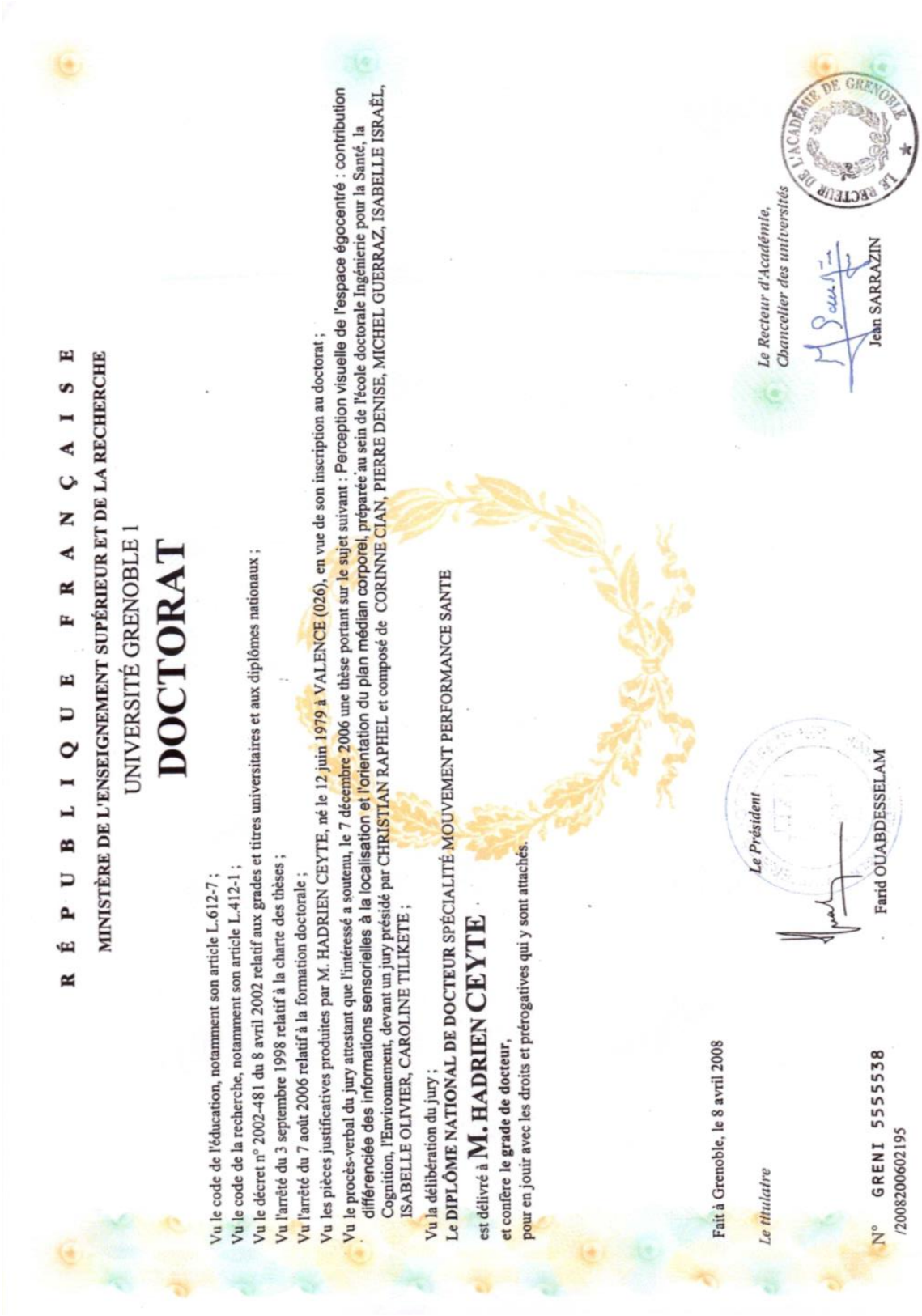
- Evolution de l'EA3450 DevAH vers la formation de Jeunes-Chercheurs 225
- Développement de thématiques translationnelles 226
- Recherche de financements propres 227

E. Liste complète et classée des productions scientifiques 228

- Publications scientifiques dans des revues internationales indexées avec comité de lecture 228
- Actes de congrès dans revues indexées 229
- Communications scientifiques orales et affichées 230
- Chapitres d'ouvrage & Encart dans des périodiques grand public 235

F. Copie des 5 publications les plus significatives 236

A. COPIE DU DIPLOME DE DOCTORAT & RAPPORT DE SOUTENANCE



R É P U B L I Q U E F R A N Ç A I S E

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

UNIVERSITÉ GRENOBLE 1

DOCTORAT

Vu le code de l'éducation, notamment son article L.612-7 ;
Vu le code de la recherche, notamment son article L.412-1 ;
Vu le décret n° 2002-481 du 8 avril 2002 relatif aux grades et titres universitaires et aux diplômes nationaux ;
Vu l'arrêté du 3 septembre 1998 relatif à la charte des thèses ;
Vu l'arrêté du 7 août 2006 relatif à la formation doctorale ;
Vu les pièces justificatives produites par M. HADRIEN CEYTE, né le 12 juin 1979 à VALENCE (026), en vue de son inscription au doctorat ;
Vu le procès-verbal du jury attestant que l'intéressé a soutenu, le 7 décembre 2006 une thèse portant sur le sujet suivant : Perception visuelle de l'espace égocentré : contribution différenciée des informations sensorielles à la localisation et l'orientation du plan médian corporel, préparée au sein de l'école doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition, l'Environnement, devant un jury présidé par CHRISTIAN RAPHEL et composé de CORINNE CIAN, PIERRE DENISE, MICHEL GUERRAZ, ISABELLE ISRAËL, ISABELLE OLIVIER, CAROLINE TILIKETE ;
Vu la délibération du jury ;
Le DIPLÔME NATIONAL DE DOCTEUR SPÉCIALITÉ MOUVEMENT PERFORMANCE SANTE

est délivré à **M. HADRIEN CEYTE**
et confère le grade de docteur,
pour en jouir avec les droits et prérogatives qui y sont attachés.

Fait à Grenoble, le 8 avril 2008

Le titulaire

Le Président

Farid OUABDESSELAM

Le Recteur d'Académie,
Chancelier des universités

Jean SARRAZIN

LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE GRENOBLE

N° GRENI 5555538
/2008200602195

N° Etudiant 97000186

UNIVERSITE JOSEPH FOURIER
SCIENCES. TECHNOLOGIE. MEDECINE

PROCES-VERBAL DE SOUTENANCE

- DOCTORAT DE L'UNIVERSITE JOSEPH FOURIER - GRENOBLE 1

M. CEYTE Prénom Hadrien

Nom Epouse (Ayant) .....

Né(e) le 12 juin 1979 à Valence Département 26 ou Pays .....

Ecole Doctorale de l'Ingénierie pour la santé, la cognition et l'environnement

Date (An. Univ.) de la 1ère inscription en Doctorat d'Université Joseph Fourier .....

Date de Soutenance thèse: 07-12-2006 à 14 heures 30 Lieu (adresse exacte): Bâtiment 36
24 av. des maquis du Grésivaudan BP 87 38702 La Tronche Cedex

Pour une soutenance hors UJF, joindre une demande de dérogation signée par le Directeur de Thèse.

Laboratoire d'accueil Perception et Cognition
adresse: Centre de Recherches du Service de Santé des Armées - BP 87 - 38702 La TRONCHE
Directeur de Laboratoire : Corinne Cian
Directeur de Thèse: Corinne Cian et Isabelle Olivier

Titre de la Thèse : Perception visuelle de l'espace égocentré : Contribution différenciée des informations sensorielles à la localisation et l'orientation du plan médian corporel

Devenir des étudiants après la thèse : (Préciser, Contrat à Durée Déterminée, Indéterminée, ATER, Post-Doc, nom de l'entreprise et Poste) Volontaire du Service de Sa
Financement durant la thèse Contrat de Volontariat du service de santé des Armées

DEMANDE DE CONFIDENTIALITE (18 mois renouvelables)

Mémoire Oui ☐ Non ☒ **Soutenance** (huis clos) Oui ☐ Non ☒

La demande de confidentialité doit être accompagnée d'un courrier des Directeurs de Thèse.

Avis du Directeur du Collège Doctoral de l'U.J.F

Favorable ☐ **Signature:**

Défavorable ☐

COMPOSITION DU JURY
POUR LA SOUTENANCE DU DOCTORAT D'UNIVERSITE GRENOBLE 1

Proposition du Jury

	Nom	Grade (fonction)	Lieu d'exercice
Membres			
Rapporteur **Habilité a Diriger des Recherches)** - Mme / M	C. TILIKETE	Docteur HDR	Lyon INSERM
Rapporteur **(Habilité a Diriger des Recherches)** - Mme / M	P. DENISE	Professeur	Laboratoire de Physiologie, UFR de médecine CAEN
Directeur de Thèse - Mme / M	C. CIAN	Docteur HDR	CRSSA Grenoble et Mme L. Chivac, Docteur HDR, UFR APS Grenoble
Membre du jury - Mme / M	I. ISRAËL	Docteur HDR	EPHE - LPBD Paris
Membre du jury - Mme / M.	C. RAPHEL	Professeur	CRSSA Grenoble
Membre du jury - Mme / M.	M. GUERRAZ	Docteur	Laboratoire de Psychologie et Neurocognition, Université de Savoie

Saint Martin d'Hères le ,

Le Directeur de Thèse **Le Directeur de l'Ecole Doctorale**

Laurent DROUET
Directeur adjoint
EDISCE

Avis du Directeur du Collège Doctoral de l'U.J.F

Devant un jury conforme à l'arrêté du 5 juillet 1984 et à l'arrêté du 25 avril 2002
De la lecture des rapports de :

- Mme / M Pierre Denise et Mme / M Caroline Tilikete

Il ressort que rien ne s'oppose à la soutenance de la thèse de Mme / M Hadrien Ceyte

21.11.06

Collège Doctoral de l'UJF
Le Directeur
Patrick WITOMSKI

AUTORISATION DE SOUTENANCE

Vu les dispositions de l'arrêté du 5 juillet 1984 et de l'arrêté du 25 avril 2002

Mme / M. Hadrien Ceyte est autorisé(e) à présenter une thèse en vue de l'obtention du Doctorat de l'Université Joseph Fourier - Grenoble 1.

Grenoble le

RAPPORT DU PRESIDENT DE JURY
APRES LA SOUTENANCE ET SIGNATURE
DES MEMBRES DU JURY

Arrêté du 25 avril 2002, art 12 : " Le jury désigne parmi eux un président, le président doit être un professeur ou assimilé. Le directeur de thèse ne peut être choisi ni comme rapporteur ni comme président du jury.

« Conformément à l'arrêté du 25 avril 2002 relatif aux Études doctorales, Article 14, les mentions de thèse ne figurent pas sur le diplôme de docteur délivré par l'Université Joseph Fourier. En application des décisions des conseils de l'Université Joseph Fourier (Conseil Scientifique du 11 avril 2003, Conseil d'Administration du 15 avril 2003), le formulaire « Rapport de soutenance » ne comporte pas de liste de mentions de thèse ».

Il est demandé au jury d'indiquer dans le rapport de soutenance son jugement sur la qualité et le niveau de la thèse et de compléter la grille d'évaluation page suivante. Pour les deux premières lignes de cette grille le président reporte la notation que les rapporteurs ont déjà envoyé.

PRESIDENT(E) : ~~Mme~~ / M. Christian RAPHEL, professeur, CRSSA Grenoble

Université Joseph Fourier – Grenoble I
Ecole doctorale « Engéniérie pour le vivant, la santé, la cognition et l'environnement »

Rapport du doctorat d'université de Monsieur **Hadrien CEYTE**
soutenu Le 7 décembre 2006 sous le titre :

« Perception visuelle de l'espace égocentré : contribution différenciée des informations sensorielles à la localisation et l'orientation du plan médian corporel »

Le document doctoral de Monsieur Hadrien CEYTE se présente sous la forme classique d'une thèse en trois parties comportant un cadre théorique, des résultats expérimentaux et une discussion générale avec perspectives. C'est un document bien écrit, soigné dans sa présentation et parfaitement compréhensible. Précédé d'une introduction qui pose clairement les objectifs, le cadre théorique représente à lui seul la moitié du document. S'appuyant sur 260 références, les quatre parties qui le composent argumentent de manière dense et limpide les questions posées et les hypothèses du travail expérimental que le tableau 3 page 88 récapitule de manière utile comme le souligne le Professeur Denise, rapporteur. S'agissant d'une thématique sur la perception spatiale, on regrettera que certaines figures soient trop schématiques pour permettre au lecteur de s'imaginer clairement les dispositifs et les situations expérimentales.

Les rapporteurs jugent le travail expérimental de très grande qualité scientifique avec une démarche méthodologique parfaitement justifiée, originale et soignée, de même que la lecture et l'interprétation des résultats. S'agissant d'une thématique relativement complexe quant à la formalisation du rôle des modalités perceptives qui participent à la construction du plan médian corporel, la partie expérimentale suscite des commentaires pertinents de la part des rapporteurs et des membres du jury sur les interprétations alternatives qui peuvent être avancées à partir des résultats obtenus dans les six expériences. Ils soulignent l'originalité de ce travail qui s'intègre de façon claire dans une démarche scientifique très active et qui s'ouvre sur des perspectives prometteuses. A cet effet le Docteur Tilikete, rapporteur, souligne le côté novateur et conséquent de ce travail doctoral en particulier par l'originalité de l'approche expérimentale. La pertinence de ce travail ambitieux et original est ainsi attestée par deux publications, dont Hadrien CEYTE est l'auteur principal, dans la revue d'excellent niveau qu'est *Experimental Brain Research*.

A l'image de la clarté du document et de la parfaite maîtrise du sujet, Hadrien CEYTE a fait une remarquable présentation orale de son travail doctoral. S'agissant d'un sujet relativement difficile pour un public non averti, il a montré l'excellence de ses compétences pédagogiques en ayant su rendre les concepts, les hypothèses, les résultats expérimentaux et leur interprétation d'une grande clarté explicative en s'appuyant sur une dynamique de présentation très brillante, sans jamais dévoyer la ligne conductrice de la problématique scientifique.

Hadrien CEYTE s'est ensuite livré à la séance des questions avec beaucoup d'aisance et de pertinence dans ses réponses, démontrant sa parfaite maîtrise du sujet dans le dialogue qui s'est engagé avec le jury. Ceci a permis en particulier d'évaluer le regard critique et le recul du candidat sur le débat que suscitent les diverses approches explicatives de la construction perceptive du plan médian corporel qui pose encore des interrogations et suggère des perspectives de recherche comme le souligne avec à-propos le candidat.

Au total, ce travail doctoral a permis de juger de l'excellence des qualités intellectuelles, pédagogiques et humaines qui animent Hadrien CEYTE dont l'avenir scientifique est incontestablement prometteur.

Fait à Grenoble le 8 décembre 2006.

Professeur Christian Raphel
Président du Jury

Rapports préalables — **Niveau Scientifique**

Rapporteurs :	Satisfaisant	Bon	Très bon	Exceptionnel
Mme / M Pauline TILIKETE	[ ]	[ ]	[X]	[ ]
Mme / M Pierre DENISE	[ ]	[ ]	[X] →	[X]

Évaluation générale de la présentation orale

	Satisfaisant	Bon	Très bon	Exceptionnel
Qualité scientifique	[ ]	[ ]	[X]	[ ]
Qualité pédagogique	[ ]	[ ]	[ ]	[X]
Réponses aux questions	[ ]	[ ]	[X]	[ ]

Signatures des membres du jury validé par l'UJF, ayant effectivement participé à la délibération :
indiquer lisiblement le nom au-dessous de chaque signature

GUERRAZ BRAEL OLIVIER CIAN TILIKETE P. DENISE

RAPHEL

B. LETTRE DE RECOMMANDATION ET D'ENGAGEMENT ARGUMENTEE DU PARRAIN SCIENTIFIQUE

MATERNITE REGIONALE UNIVERSITAIRE
Adolphe PINARD

POLE ENFANTS-NEONATOLOGIE

Le Chef des Services de Néonatologie et du Lactarium

Docteur Jean-Michel HASCOËT

Professeur de Pédiatrie - Néonatologie
Président du Conseil Scientifique de la Faculté de Médecine
Membre correspondant de l'**A**cadémie **N**ationale de **M**édecine
Honorary Member of the American Pediatric Society
Membre du **C**onseil de **P**ôle **S**cientifique BMS, Université Lorraine
Membre de la C.M.E. du CHRU

Téléphone : +33 (0) 383 342 934

FAX : +33 (0)383 343 638

Courriel : jean-michel.hascoet@univ-lorraine.fr

Nancy, le 28 Novembre 2019

Monsieur le Directeur de l'École Doctorale BioSE

Objet : soutien à la candidature du Dr Hadrien Ceyte à l'Habilitation à Diriger les Recherches.

Monsieur le Directeur,

Je, soussigné Docteur Jean-Michel HASCOËT, Professeur de Pédiatrie – Néonatologie à la Faculté de Médecine de Nancy– Université de Lorraine, membre de l'Equipe d'Accueil DevAH 3450, Chef des Services de Néonatologie et du Lactarium au CHRU de Nancy, membre correspondant de l'Académie Nationale de Médecine, ai le plaisir de soutenir formellement la candidature du Dr. Hadrien Ceyte à l'Habilitation à Diriger les Recherches.
Les travaux et publications du Dr Ceyte témoignent d'une activité en Recherche d'une qualité exceptionnelle. Ils s'inscrivent dans une thématique d'évaluation des relations entre le comportement moteur des patients et la cognition, véritable fil rouge de ses travaux. C'est dans ce cadre, au sein de l'Équipe d'Accueil Universitaire DevAH, que j'ai pu faire la connaissance du Dr Ceyte. Du fait de mes propres travaux sur le devenir des enfants nés prématurément, en particulier leur suivi neurodéveloppemental avec les difficultés d'apprentissage et donc d'intégration scolaire qu'ils présentent, notre collaboration est apparue comme une évidence. Nous l'avons concrétisée sous forme d'un projet de Thèse d'Université que nous co-dirigeons. Dans ce cadre, j'ai pu constater la motivation, la disponibilité et la compétence du Dr Ceyte au plan de l'accompagnement de la thésarde avec de grandes capacités pédagogiques. Utilisant les principes de la maïeutique de Socrate qu'il complète d'explications claires et pertinentes, il est un encadrant de premier ordre pour la candidate qui s'en réjouit comme elle l'a directement exprimé au Comité de Suivi de sa Thèse. Par ailleurs, l'implication du Dr Ceyte dans la vie de l'Équipe d'Accueil, du Pôle Scientifique BMS et de l'Université de Lorraine est très importante et mérite d'être signalée. Enfin, le Dr Ceyte présente des qualités professionnelles et humaines exemplaires qui en font un enseignant-chercheur de très haut niveau, ce qui augure d'une suite de carrière de très grande qualité. C'est pourquoi, je suis particulièrement fier et honoré de soutenir la candidature du Dr Ceyte, avec enthousiasme et sans aucune réserve.

Restant à votre disposition, je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de mes meilleures salutations,

10, rue du Docteur Heydenreich – CS 60034 – 54035 NANCY CEDEX (France)
Téléphone standard : +33 (0) 383 858 585 – Télécopie : +33 (0) 383 344 411 – Courriel : af.andre@chru-nancy.fr

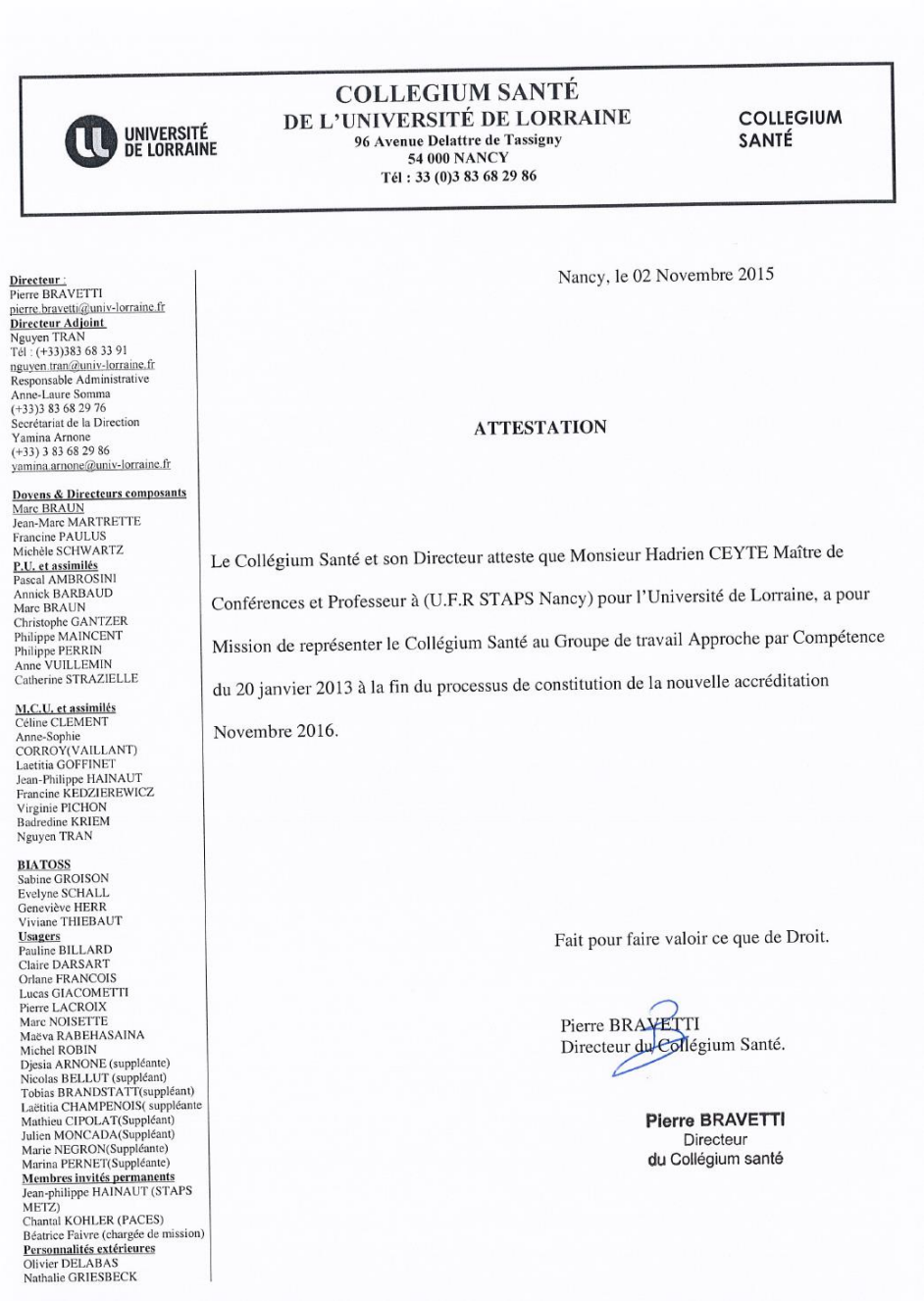
C. PRESENTATION SYNTHETIQUE DES ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT

1. Responsabilités administratives versant Pédagogie

Au-delà de la prise de responsabilité au niveau des Unités d'Enseignement pour lesquels j'ai été recruté, j'ai très vite assumé différentes fonctions administratives au niveau de la composante de formation STAPS mais également au sein de l'Institut de Formation en Ergothérapie ou encore au sein du Collegium SANTE, structure chapotant l'ensemble des composantes de formation de l'Université de Lorraine abordant les thématiques de santé telle que Médecine, Pharmacie, Dentaire et STAPS. Vous trouverez la liste de celles-ci dans le tableau ci-dessous :

FONCTION	PERIODE	INFORMATIONS DIVERSES
Directeur de l'offre de formation Licence mention *STAPS Lorraine*	2013 à 2018	En charge de la fusion des offres de formation de Licence de l'UFR-STAPS de Nancy et de l'antenne d'Epinal – anciennement Université Nancy1 et du Département STAPS de Metz – anciennement Université Paul Verlaine)
Président du jury de diplôme Licence mention *STAPS Lorraine*	2013 à 2018	Jury commun pour les 3 sites de formation
Directeur Adjoint de l'UFR STAPS de Nancy, Faculté des Sciences du Sport	2013 à 2018	En charge de coordonner les différentes formations de l'UFR et de les promouvoir
Chargé de mission par le Collegium SANTE du dossier « Approche par Compétences dans les formations en SANTE de l'UL - voir attestation ci-dessous -	2013 à 2016	J'ai pu découvrir l'ampleur de la tâche pour certaines formations qui résonnaient uniquement sous forme de contenus disciplinaires. Généralement les formations STAPS à niveau Licence sont déjà construites autour de thématiques du fait de la pluridisciplinarité de notre formation et la logique de progressivité du niveau de compétence entre le semestre et année est déjà latente. Il est vrai que pour certains parcours-type tels que Education & Motricité cette réflexion est déjà souvent très avancée.
Membre du Conseil de Validation des crédits de formation de l'Institut de Formation en Ergothérapie	2012 à aujourd'hui	Participation au jury de validation et aux discussion relative à l'universitarisation de la formation en Ergothérapie via la structuration de l'offre de formation

Co-responsable du parcours *Motricité Humaine et Technologies* spécialité *Mesure Performance Certification* du Master mention *Ingénierie des Systèmes Complexes*	2011 à 2013	Parcours au sein du Master mention Ingénierie des Systèmes Complexes proposé par la Faculté des Sciences de Nancy1
Membre élu au Conseil d'Unité de L'UFR-STAPS de Nancy	2009 à 2013	Intégrant la Direction, j'ai décidé de ne pas me représenter à ce Conseil.



UNIVERSITÉ DE LORRAINE

COLLEGIUM SANTÉ
DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE
96 Avenue Delattre de Tassigny
54 000 NANCY
Tél : 33 (0)3 83 68 29 86

COLLEGIUM SANTÉ

Directeur :
Pierre BRAVETTI
pierre.bravetti@univ-lorraine.fr
Directeur Adjoint
Nguyen TRAN
Tél : (+33)383 68 33 91
nguyen.tran@univ-lorraine.fr
Responsable Administrative
Anne-Laure Somma
(+33)3 83 68 29 76
Secrétariat de la Direction
Yamina Arnone
(+33) 3 83 68 29 86
yamina.arnone@univ-lorraine.fr

Doyens & Directeurs composants
Marc BRAUN
Jean-Marc MARTRETTE
Francine PAULUS
Michèle SCHWARTZ
P.U. et assimilés
Pascal AMBROSINI
Annick BARBAUD
Marc BRAUN
Christophe GANTZER
Philippe MAINCENT
Philippe PERRIN
Anne VUILLEMIN
Catherine STRAZIELLE

M.C.U. et assimilés
Céline CLEMENT
Anne-Sophie CORROY(VAILLANT)
Laetitia GOFFINET
Jean-Philippe HAINAUT
Francine KEDZIEREWICZ
Virginie PICHON
Badredine KRIEM
Nguyen TRAN

BIATOSS
Sabine GROISON
Evelyne SCHALL
Geneviève HERR
Viviane THIEBAUT
Usagers
Pauline BILLARD
Claire DARSART
Orlane FRANCOIS
Lucas GIACOMETTI
Pierre LACROIX
Marc NOISETTE
Maëva RABEHASAINA
Michel ROBIN
Djesia ARNONE (suppléante)
Nicolas BELLUT (suppléant)
Tobias BRANDSTATT(suppléant)
Laëtitia CHAMPENOIS(suppléante
Mathieu CIPOLAT(Suppléant)
Julien MONCADA(Suppléant)
Marie NEGRON(Suppléante)
Marina PERNET(Suppléante)
Membres invités permanents
Jean-philippe HAINAUT (STAPS METZ)
Chantal KOHLER (PACES)
Béatrice Faivre (chargée de mission)
Personnalités extérieures
Olivier DELABAS
Nathalie GRIESBECK

Nancy, le 02 Novembre 2015

ATTESTATION

Le Collégium Santé et son Directeur atteste que Monsieur Hadrien CEYTE Maître de Conférences et Professeur à (U.F.R STAPS Nancy) pour l'Université de Lorraine, a pour Mission de représenter le Collégium Santé au Groupe de travail Approche par Compétence du 20 janvier 2013 à la fin du processus de constitution de la nouvelle accréditation Novembre 2016.

Fait pour faire valoir ce que de Droit.

Pierre BRAVETTI
Directeur du Collégium Santé.

Pierre BRAVETTI
Directeur
du Collégium santé

Attestation de chargé de mission « Approche par Compétences »

- En 2013, j'ai suivi la formation « Management d'équipe » proposée par l'Universté de Lorraine.

J'ai œuvré très activement à la fusion des formations à niveau Licence des formation STAPS du territoire lorrain (Département STAPS de Metz, UFRSTAPS de Nancy et Antenne STAPS de Nancy à Epinal) dans le contexte de la création de l'Université de Lorraine (2012) en tant que Porteur de diplôme, je connais parfaitement la difficulté de montage de ce type de dossier mais également du quotidien des responsables de *parcours-type* et des responsables d'année. Parallèlement à cette responsabilité, j'ai été Président du Jury de Licence, et j'ai dû faire face à l'hétérogénéité des conceptions pédagogiques des collègues au sein d'un même site mais également aux différences de vision pédagogique entre les sites.

Par ailleurs, j'ai fait partie de l'équipe de Direction de l'UFR STAPS de Nancy pendant 4 ans, ce qui m'a permis d'étendre ma vision des éléments structurants de notre environnement universitaire mais également de porter différents projets pour la lisibilité de notre formation par rapport aux autres existantes dans le domaine de la SANTE.

2. Responsabilités administratives versant Recherche

FONCTION	PERIODE	INFORMATIONS DIVERSES
Membre nommé du Groupe de travail PEDR 2020 de l'Université de Lorraine	Depuis février 2020	Nomination par le Conseil Scientifique
Membre du Conseil Scientifique de l'Unité DevAH EA 3450	Depuis janvier 2018	Membre de droit
Directeur Adjoint du Pôle Scientifique Biologie, Médecine, Santé de l'Université de Lorraine (Porteur de liste du Collège B [Chercheur(e)s & Enseignant(e)s-Chercheur(e)s])	Depuis septembre 2017	Le nouveau Directeur du Pôle Scientifique BMS m'a proposé de devenir l'un de ses Directeurs Adjoints afin de participer au choix stratégique de son mandat.
Membre nommé du Conseil Scientifique de l'Ecole Doctorale #266 BioSE (Biologie, Santé, Environnement)	Depuis septembre 2017	Nomination par le Directeur de l'ED BioSE en cours du dernier contrat et nouvelle nomination pour le contrat actuel.
Membre élu au Conseil du Pôle Scientifique Biologie Médecine Santé (BMS) de l'Université de Lorraine	Depuis septembre 2012	Elu à 2 reprises consécutivement en tant que représentant du collège B [Chercheur(e)s & Enseignant(e)s-Chercheur(e)s] Lors de l'élection d'avril 2017, j'étais porteur de la liste collège B

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Nancy, le 31/01/2020

Direction de la Recherche et de la Valorisation

Sous-Direction de l'Administration de la Recherche

91 avenue de la Libération
BP454
54001 NANCY Cedex

DINE Clotilde
Tél. : 03.72.74.04.53

Monsieur Hadrien CEYTE
DevAH

Faculté de Médecine de Nancy - Laboratoire de Physiologie
9 Avenue de la Forêt de Haye
CS 50184
54505 Vandœuvre-lès-Nancy

Objet : Désignation d'un membre au GT PEDR 2021

Monsieur,

Le Conseil Scientifique, réuni le 28 janvier 2020, a approuvé votre candidature pour participer au groupe de travail Recherche/RH PEDR 2021.

Ce groupe de travail se réunira environ trois fois avant l'été 2020 aux dates d'ores et déjà prévues ci-dessous :

* 26 mars 2020, après-midi,

* 6 mai 2020, après-midi,

* 19 juin 2020, après-midi.

Les précisions concernant les horaires et lieux vous seront communiquées ultérieurement.

Je vous prie d'agréer, Monsieur, l'expression de mes sincères salutations.

Frédéric VILLERAS

Vice-Président de l'Université de Lorraine

ADRESSE POSTALE
UNIVERSITE DE LORRAINE
34, COURS LEOPOLD – CS 25233
54052 NANCY CEDEX
EMAIL@UNIV-LORRAINE.FR
WWW.UNIV-LORRAINE.FR

Attestation de nomination au GT PEDR 2020 de l'UL

Structuration de l'Université de Lorraine et aux rôles du Collegium SANTE et du Pôle Scientifique Biologie Médecine Santé

L'université de Lorraine a été créée par le décret n° 2011-1169 du 22 septembre 2011. Ce décret stipule la création d'un nouvel établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel constitué sous la forme d'un grand établissement dénommé « université de Lorraine », regroupant l'Institut national polytechnique de Lorraine et les universités de Metz, Nancy-I et Nancy-II.

L'administration de l'université est assurée par un président élu, assisté d'une instance collégiale, le directoire, par le conseil d'administration, dont le rôle stratégique est réaffirmé, le conseil scientifique, qui veille à la qualité et à la cohérence de la politique scientifique et de ses liens avec l'offre de formation, et deux nouvelles instances de consultation : le conseil de la formation et le conseil de la vie universitaire. L'université est en outre dotée d'un sénat académique, représentation élargie de la communauté universitaire.

Le statut de grand établissement (au sens de l'article L. 717-1 du code de l'éducation) permet d'assurer, au sein de ces conseils, une représentation des grands secteurs de formation et des sites d'implantation de l'établissement et d'instaurer une gouvernance de proximité au travers de collégiums et de pôles scientifiques qui disposent de compétences propres.

Le Collegium SANTE

Les compétences du conseil du Collegium sont :

- L'approbation des accords et conventions, pour les affaires l'intéressant, dans les conditions fixées par le règlement intérieur ;

- La répartition des emplois et des crédits dans les structures internes qu'il regroupe ;

- L'adoption des règles relatives aux examens et des modalités de contrôle des connaissances du Collegium après avis du conseil de la formation.

Le Pôle Scientifique Biologie Médecine Sante (BMS)

Le Pôle BMS a un rôle d'interface entre les services centraux UL, les structures de recherche (5 UMR dont 4 INSERM et 1 CNRS ; 4 EA ; les CIC ; La Fédération de Recherche FR 3209 BMCT - Bio-ingénierie Moléculaire, Cellulaire et Thérapeutique favorisant la mutualisation d'une dizaine de plateformes de haut niveau technologique et le développement de projets transversaux), le CHRU.

La stratégie scientifique du Pôle BMS est basée sur un projet central en adéquation avec les grands axes prioritaires de la politique scientifique de l'UL et l'une des cinq thématiques prioritaires du CPER sur les « Sciences et ingénierie pour la santé et le vieillissement ». Le projet central du Pôle BMS porte sur le vieillissement normal et pathologique. A côté de ce thème fédérateur, plusieurs initiatives émergentes sont individualisées, basées sur des expertises spécifiques et reconnues internationalement pour développer l'attractivité et l'évolution du Pôle en fonction des talents qui le composent et de sa capacité à interagir avec les autres Pôles de l'établissement sur les recherches en santé.

Parmi ses différentes missions, le Pôle Scientifique BMS assure :

- les campagnes emplois EC et BIATSS en lien avec les Collégium (Instance analogue au niveau des formations) ;

- les répartitions annuelles la dotation de l'Université de Lorraine aux structures de recherche du Pôle et des différentes enveloppes budgétaires disponibles en cours d'année ;

- les différents appels d'offres de la Grande Région « Grand-Est » et de l'Université de Lorraine ;

- les actions de site CNRS/UL ;

- les campagnes « invités » ;

- le reversement des bourses doctorales aux Ecoles doctorales en lien avec les thématiques du Pôle BMS.

3. Responsabilités administratives au niveau national

J'ai participé aux discussions de la « LISTE INDEPENDANTE POUR LA QUALITE ET L'IDENTITE PLURIDISCIPLINAIRE DES STAPS » portée par Christophe BOURDIN lors de la campagne de 2011 et à celle portée par Valérie BOUGAULT lors de la campagne de 2015 du CNU 74ème section. En 2011, j'étais en position non éligible au rang de suppléant et en 2015, j'étais en rang 7 titulaire non élu.

En rang 5 de la « LISTE INDEPENDANTE ET PLURIDISCIPLINAIRE DES STAPS » portée par Robin BAURES, je suis élu, depuis octobre 2019, au CNU 74ème section, présidé par Christophe BOURDIN, en tant que représentant du collège B.

D. PRESENTATION SYNTHETIQUE DES ACTIVITES DE RECHERCHE

1. Bilan des activités de recherche

CURSUS UNIVERSITAIRE	THESE D'UNIVERSITE soutenue le 07/12/2006
Baccalauréat série S (spécialité mathématique), Lycée Vincent d'Indy, Privas, Ardèche - 1997 DEUG STAPS : Mention Assez Bien. Université Joseph Fourier de Grenoble (UJF), Valence, Drôme - 1997-1999 Licence et Maîtrise STAPS : Travail de recherche "ONTOGENESE ET CAPACITE PERCEPTIVO-MOTRICE" Mention Assez Bien. UJF de Grenoble, Grenoble, Isère - 1999-2001 DEA « Sport et Performance » : Travail de recherche "ROLE DES AJUSTEMENTS POSTURAUX ANTICIPES DANS UN MOUVEMENT DE LEVE DE JAMBE VERS L'AVANT" Mention Assez Bien. Rattaché à l'école doctorale de l'INGENIERIE POUR LA SANTE, LA COGNITION ET L'ENVIRONNEMENT (EDISCE), UJF de Grenoble I - 2001-2002	"PERCEPTION VISUELLE DE L'ESPACE EGOCENTRE : CONTRIBUTION DIFFERENCIEE DES INFORMATIONS SENSORIELLES A LA LOCALISATION ET L'ORIENTATION DU PLAN MEDIAN CORPOREL" Jury : C. Cian, Pr P. Denise, M. Guerraz, I. Israël, I. Olivier, Pr C. Raphel, C. Tilikete. Avis (mention) : L'UJF ne discerne plus de mention, toutefois le jury, à l'unanimité, a qualifié ce travail de « *très honorable avec félicitations du jury* ». Direction : Corinne Cian, laboratoire "Perception & Cognition" du département des Facteurs Humains du CRSSA, Grenoble, co-Direction : Isabelle Olivier, Laboratoire "Sport et Performance Motrice" de l'UJF de Grenoble I (EA 597).

Au cours de mon cursus universitaire dans le champ des STAPS, j'ai investi différentes problématiques du comportement chez l'Homme notamment celles relatives à son contrôle postural et à sa perception visuelle. Lors de ma formation doctorale, je me suis intéressé aux contributions sensorielles (somesthésiques, proprioceptives, graviceptives …) dans l'élaboration des perceptions spatiales chez l'Homme notamment celles dont l'origine est le corps de l'observateur. Ces perceptions égocentrées, souvent mal comprises voire oubliées de nombreuses interprétations scientifiques dans le domaine des neurosciences comportementales, sont pourtant fondamentales dans l'organisation des comportements orientés vers les espaces péri- et extra-corporels. Ainsi la prise en compte de cette dimension cognitive participe grandement à une

meilleure compréhension des performances comportementales, notamment celles posturo-locomotrices. Mon attrait scientifique pour les liens Perception/Action s'observe aujourd'hui dans chacun de mes travaux de recherche où je défends une approche contextualisée de l'étude des comportements moteurs de l'Homme en développement, sain ou pathologique, basée sur les relations réciproques entre les activités cognitives et celles motrices.

ACTIVITES SCIENTIFIQUES

Laboratoire d'accueil Laboratoire DevAH EA 3450, Campus BRABOIS SANTE, Université de Lorraine, Directeur : PU-PH P. Perrin

Orientations des recherches Neurosciences comportementales / Psychologie cognitive et expérimentale

Mes travaux s'intéressent à l'Interdépendance COGNITION & COMPORTEMENT MOTEUR (approches fondamentale et translationnelle) :

- liens entre *perception visuelle des espaces (égocentré et géocentré) et leurs conséquences sur les comportements posturo-locomoteurs* (cohortes : Patients atteints de NSU, implantés cochléaire ou ayant des dysfonct. de l'appareil manducateurs)
- liens entre les *fonctions attentionnelles (alerte, orientation et inhibition) de nature visuelle et la Mobilité corporelle (cohortes :* Enfant d'âge scolaire né grand prématuré - Personne âgée déficiente visuelle)

Collaborations cliniques IRR de Nancy et de Lay St Christophe, CHRU Nancy-Brabois, CHRU Nancy-Central, Centre de Rééducation de Florentin, Maternité Régionale de Lorraine…

Productions scientifiques 21 articles dans des revues indexées (6 Q1 et 10 Q2) dont 9 en 1er auteur, 9 actes de congrès dans une revue indexée, 8 conférences invitées (dont *1 au Collège de France*), 3 chapitres d'ouvrage, 23 com. orales, 24 com. affichées, 3 articles en soumission, 4 articles en préparation

Autres

- Encadrements doctoral et scientifique : 3 encadrements doctoraux, 5 M2-Recherche (dont 2 articles publiés ISI), 18 M1-Recherche, 2 thèses Médecine, 3 S.I.R. Médecine, 1 étudiant de 3ème année d'Ergothérapie et 4 étudiants d'écoles d'Ingénieur,

- 4 contrats / financements obtenus (Appel d'offre Région GrandEst, Appel d'offre UL, Contrat doctoral…),

- Reviewer pour des revues internationales : Experimental Brain Research, Gait & Posture, Medical Sciences : Biology and Medicine, Neurosciences Letters, PlosOne, Journal of Motor Behavior, Frontiers in Medicine…,

- 5 CPP et Clinical Trials,

- Développements de logiciels et d'appareillage à visée Recherche (dépôts de propriété intellectuelle en cours)

Aujourd'hui, je compte 21 articles dans des revues indexées, 6 dans le 1er quartile et 10 dans le 2ème quartile. Parmi ces publications scientifiques, je suis 1er auteur pour 9 d'entre elles et dernier auteur pour 3 autres. J'ai fait le choix depuis mon premier recrutement de privilégier une implication centrale et active dans chaque travail expérimental et rédactionnel plutôt qu'une course à la production où je ne serai pas totalement investi. Actuellement, 3 articles scientifiques sont soumis et 4 autres en fin de préparation ou en cours de rédaction.

2. Liste des encadrements scientifiques

Depuis mon recrutement, j'ai réalisé différentes formes d'encadrements scientifiques d'étudiants aux parcours universitaires variés : de l'élève-ingénieur au jeune chercheur en formation doctorale en passant par l'étudiant de Médecine en 3ème cycle en Stage d'Initiation à la Recherche (S.I.R.) ou encore celui de Master 1ère et 2ème année. Ces stages avaient pour objectif soit d'initier leur première démarche expérimentale (Etudiant en Ergothérapie, en Médecine, en Master1 et en Master2 Recherche), soit de développer des outils à visée expérimentale afin de rendre possible la mise en place de futurs protocoles de Recherche (Elève-Ingénieur), soit d'approfondir leur problématique scientifique en cours (Doctorants). Tous ces encadrements l'ont été sur des thématiques en lien avec le comportement humain et plus particulièrement ses activités cognitives et/ou motrices. Vous trouverez ci-dessous la liste des encadrements réalisés depuis mon recrutement à l'Université de Lorraine :

1 CO-DIRECTION DOCTORALE *(ACT EN COURS, FORMATION ENCADREMENT DOCTORAL SUIVIE)*

2018 - …	Etudiante : Joëlle Rosenbaum. Co-Direction avec Jean-Michel Hascoët (PU-PH, DevAH EA3450) Titre de la thèse : Interdépendance fonctionnelle entre mobilité corporelle et capacités attentionnelles chez l'enfant d'âge scolaire né à terme ou prématurément. • Lauréate au concours de l'Ecole Doctorale (ED BioSE) 2018 (rang 4) ; pour information cette Ecole Doctorale regroupe l'ensemble des Structures de Recherche (UMR CNRS et INSERM, EA) dans le domaine de la Biologie, Médecine, Santé de l'Université de Lorraine. • Lauréate du concours de l'ED BioSE entre les doctorants de 2ème année (2019) • 2 articles dans des revues indexées où l'étudiante est 2ème auteur dont 1 où je suis 1er auteur et un autre où je suis dernier auteur (BMC Pediatrics 2018;18(1):264. doi: 10.1186/s12887-018-1229-1 et Bulletin de l'Académie Nationale de Medecine. doi : 10.1016/j.banm.2019.05.018) • 3 communications en congrès dont 2 internationaux (Paris 2019, Philadelphie 2020)

2 CO-ENCADREMENTS DOCTORAUX *(2 SOUTENUS)*

2015 - 2019	Etudiant : Dimitri Fabre-Adinolfi. Co-Direction Parietti-Winkler C (PU-PH, DevAH EA3450) et Frere J, (MCU, DevAH EA3450) • 1 article où l'étudiant est 1er auteur et moi 2ème auteur : Fabre-Adinolfi D, Ceyte H, Hoffman C, Frere J, Parietti-Winkler C. Short-terms postural behavior and geocentric perception disorders induced by cochlear implantation in the normo-reflexic patient. 2019 ; submited to Gait & Posture • 1 communication orale en congrès
2010 - 2013	Etudiant : Sébastien Freppel. Co-Direction Philippe P. Perrin (PU, PH, DevAH EA3450) et Sophie Colnat-Coulbois (PU, PH, DevAH EA3450) Titre de la thèse : Interactions visuo-proprioceptives dans les pathologies dégénératives du rachis cervical relevant d'un traitement chirurgical. • 1 article où l'étudiant est 1er auteur et moi 3ème auteur : Freppel S, Bisdorff A, Colnat-Coulbois S, Ceyte H, Gauchard GC, Auque J, Perrin PhP. Visuo-proprioceptive interactions in degenerative cervical spine diseases requiring surgery. Neurosciences 2013;255:226-232

5 ENCADREMENTS DE MASTER 2 « RECHERCHE » *(3 SOUTENUS ET 2 EN COURS)*

2019 - 2020	Etudiant : Luca Fantin. Co-Direction avec Gabriela Hossu (Ingénieur Recherche Ph.D, IADI UMR 947) Titre du stage : Phénomène cross-modal visuo-olfactif & Cybercinétose : de la validation cérébrale aux conséquences comportementales *(en cours)* Etudiant : Arnaud Lorfanfant. Co-Direction avec Julien Frère (MCU, DevAH EA3450) Titre du stage : Persistance d'une stimulation proprio-cervicale unilatérale sur la perception spatiale égocentrée et ses conséquences sur les synergies locomotrices *(en cours)*
2018 - 2019	Etudiante : Margot Schaeffer Titre du stage : Peut-on moduler l'apparition d'une cinétose visuellement induite via un arrangement chromatique suggérant une odeur ? *(soutenu - communication orale à l'ACAPS 2019 – article en rédaction)*
2016 - 2017	Etudiante : Joëlle Rosenbaum. En collaboration Jean-Michel Hascoët (PU-PH, DevAH EA3450) Titre du stage : Influence de la mobilité corporelle sur les troubles attentionnels chez l'enfant de 7 ans né prématurément. *(soutenu)* 1 article où l'étudiante est 2ème auteur et moi 1er auteur : Ceyte H, Rosenbaum J, Hamon I, Wirth M, Caudron S, Hascoët JM. Mobility may impact attention abilities in healthy term or prematurely born children at 7-years of age: protocol for an intervention controlled trial. BMC Pediatr. 2018 Aug 6;18(1):264. doi: 10.1186/s12887-018-1229-1.

2015 - 2016	Etudiante : Mathilde Simon. En collaboration Jean-Marie Beis (MCU-PH, DevAH EA3450) Titre du stage : Effet de stimulations proprioceptives au niveau cervical sur les troubles perceptifs du « droit devant soi » et des habiletés sous-jacentes comme la conduite en fauteuil roulant chez des patients atteints d'héminégligence. *(soutenu)* 1 papier où l'étudiante est 3ème auteur et moi 1er auteur : Ceyte H, Beis J-M, Simon M, Rémy A, Anxionnat R, Paysan J, Caudron, S. Lasting improvements in left spatial neglect following a protocol combining neck-muscle vibration and voluntary arm movements: a case-study. Disabil Rehabil. 2018 Jan 22:1-9. doi: 10.1080/09638288.2018.1430178.

18 ENCADREMENTS DE MASTER 1 (13 SOUTENUS ET 5 EN COURS)

2019 - 2020	- Etudiant : Mickaël Kuenzi Titre du mémoire : *Performance posturale du jeune adulte en fonction du type de tâche cognitive associée (en cours)* - Etudiant : Théo Weber Titre du mémoire : *Evolution du contrôle postural chez le jeune adulte en fonction du niveau de difficulté d'une tâche de discrimination visuelle (en cours)* - Etudiant : Thibaut Jean Titre du mémoire : Effet d'une stimulation proprio-cervicale unilatérale sur la perception visuelle du droit devant soi et la trajectoire de marche *(en cours)* - Etudiant : Corentin Lamaze Titre du mémoire : *Bénéfices d'un échauffement cognitif et physique chez le joueur de tennis de table sur ses capacités de mémorisation spatiale (en cours)* - Etudiant : Jaïmy Dos Santos Titre du mémoire : *Intérêt d'un échauffement cognitif dans la performance en e-sport (en cours)*
2019 - 2018	- Etudiant : Louis-Arthur Coquillat Titre du mémoire : Effet d'un effort physique sous-maximal sur la mémorisation spatiale. *(soutenu)* - Etudiant : Lucas Fantin Titre du mémoire : Effet d'une stimulation nauséogène sur la Dépendance visuelle. *(soutenu ; communication affichée à l'ACAPS 2019 – article en rédaction)* - Etudiant : Arthur Favennec Titre du mémoire : Potentialisation des effets perceptifs de la vibration musculo-tendineuse : stimulus continu ou stimuli « pulse » ? *(soutenu)* - Etudiant : Arnaud Lorfanfant Titre du mémoire : Mode de gestion posturale & Attention visuelle. *(soutenu)* - Etudiant : Paul-Antoine Sebald Titre du mémoire : Stimulations cervicales et modifications perceptivo-locomotrices. *(soutenu)* - Etudiant : Léo Vanini Titre du mémoire : Effet d'une structuration visuelle fixe sur l'apparition d'une cinétose induit par un environnement virtuel. *(soutenu)*

2017 - 2018	Etudiante : Margot Schaeffer Titre du mémoire : Cinétose & Phénomène cross-modal visuo-olfactif. *(soutenu)*
2015 - 2016	Etudiante : Joëlle Rosenbaum Titre du mémoire : Influence de la mobilité corporelle sur les capacités attentionnelles chez l'enfant de 7 ans d'âge scolaire. *(soutenu)*
2014 - 2015	- Etudiant : Ali Alem Titre du mémoire : Cinétose en base mobile. *(soutenu)* - Etudiant : Kevin Barbe Titre du mémoire : Effets de stimulations visuelles et/ou auditives sur le patron Locomoteur et la dépense énergétique à la vitesse de transition Marche – Course. *(soutenu)* - Etudiant : Alexandre Davinroy Titre du mémoire : Influence du contexte émotionnel sur nos perceptions d'orientation spatiale. *(soutenu)* - Etudiante : Mathilde Simon Titre du mémoire : Stimulations cervicales et modifications perceptives égocentrées. *(soutenu)*
2013 - 2014	Etudiante : Dimitri Fabre Titre du mémoire : *Overspeed Swimming® : effet d'un entrainement en vitesse supra-maximale chez le nageur. (soutenu)*

2 ENCADREMENT DE THESE D'EXERCICE EN MEDECINE *(1 SOUTENU)*

2020 - 2023	Etudiante : Sarah Millot. En collaboration Jean-Marie Beis (MCU-PH, DevAH EA3450) Titre de la thèse : Effet d'un protocole combinant stimulation proprioceptive au niveau cervical et stimulation transcrânienne à courant continu (tDCS)sur les troubles perceptifs de l'espace et sur les troubles locomoteurs chez des patients atteints d'héminégligence. *(en cours)*
2010 - 2011	Etudiante : Nicole Krall, sous la Direction par le Professeur Hamann (ENT Hospital, Technical University Munich, München, Allemagne) Titre de la thèse : Conséquences de lésions vestibulaires unilatérales sur la mémorisation de la position spatiale d'une cible visuelle. *(soutenu)* • Ce projet est soutenu financièrement par le Centre de Coopération Universitaire Franco-Bavarois.

3 ENCADREMENTS DE STAGE D'INITIATION A LA RECHERCHE EN MEDECINE *(3 SOUTENUS)*

2018 - 2019	Etudiants : Alexandre Hascoët Stage d'initiation à la recherche (S.I.R.) : Impact de la corpulence, de la prématurité et de la courbe de croissance sur le contrôle postural chez l'enfant de 7 ans. *(soutenu)*
2016 - 2017	Etudiants : Marina Badin et Nicolas Vidalie Stage d'initiation à la recherche (S.I.R.) : Améliorations perceptives suite à un protocole de stimulations proprioceptives au niveau cervicale chez le patient atteint de NSU. *(soutenus)* • 1 communication affichée associée à 1 présentation orale primée lors du « concours jeune-chercheur » du congrès de la 32ème édition du congrès de la Société Française de Médecine Physique et de Réadaptation (SOFMER), les 05-07 Octobre 2017, Nancy • 1 publication de ce travail où les étudiants sont aux deux premières places : Badin M, Vidalie N, Beis J-M, Pelé G, Paysant J, Ceyte H. Combining left neck muscle vibration to voluntary arm movements: to new perspectives in the therapeutic care in neglect. Annals of Physical and Rehabilitation Medicine. 2017; 60(sup), e5.

1 ENCADREMENT DE STAGE D'INITIATION A LA RECHERCHE EN ERGOTHERAPIE *(1 SOUTENU)*

2016 - 2017	Etudiant : Farès Madaci Titre du stage et du mémoire : Etude comparative de méthodes de régulation dans la tâche « Mettre le couvert » auprès d'enfants atteints de cécité visuelle précoce. *(soutenu)*

4 ENCADREMENTS DE STAGE INGENIEUR – PROJET RECHERCHE *(4 SOUTENUS)*

Développement a partir d'un cahier des charges que j'ai préétabli en fonction des projets de recherche à venir

2019 - 2018	Etudiants : Almamy Kanté & Oscar Tematio Titre du stage ingénieur de 5ème année PolyTechNancy : Dispositif électro-mécanique d'évaluation perceptive d'orientation spatiale et de dépendance visuelle : conception d'un prototype et de son logiciel. *(soutenus)*
2016 - 2017	Etudiant : Mehdi Akkari Titre du stage ingénieur de 4ème année TelecomNancy : Création d'un logiciel permettant d'induire visuellement une cinétose de type « Motion Ship ». *(soutenu)*
2015 - 2016	Etudiant : Julien Feuvrier Titre du stage ingénieur de 4ème année TelecomNancy : Dispositif électro-mécanique d'évaluation perceptive des localisations spatiales via la modalité visuelle : conception d'un prototype et de son logiciel permettant également d'évaluation de la mémorisation de localisations égocentrées horizontale et verticale. *(soutenu)*

3. Autorisation à Co-diriger une Thèse

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Mercredi 23 octobre 2019

Direction de la Recherche et de la Valorisation

Sous-Direction de l'Administration de la Recherche

91 avenue de la Libération BP 50454
54 001 NANCY Cedex

Personne chargée du dossier :
Isabelle MARECHAL
Ligne directe :
03.72.74.04.55
drv-act@univ-lorraine.fr

Monsieur CEYTE Hadrien
DevAH
Faculté des Sciences du Sport
30 Rue du Jardin Botanique
CS 30156
54500 VILLERS LES NANCY

Monsieur,

J'ai l'honneur de vous faire connaître qu'après avis favorable de l'école doctorale BIOSE et du Conseil Scientifique restreint réuni le 22 octobre 2019, je vous autorise à codiriger la thèse de Madame ROSEBAUM Joëlle.

Je vous encourage vivement par ailleurs, à suivre la formation dédiée aux encadrants de thèse proposée par l'Université de Lorraine, dont la description et l'inscription sont disponibles au lien suivant :
http://formationdespersonnels.univ-lorraine.fr/thematique/enseignement-et-recherche/encadrer-un-doctorant-en-cours-delaboration.
Pour plus de renseignements concernant cette formation :

- Contact mail : drv-fip-contact@univ-lorraine.fr
- Contact tél : Marie Pierre KNIDEL : 03.72.74.04.62 / Fatima ATOURKI : 03.72.74.04.58

Veuillez agréer, Monsieur, l'expression de ma considération distinguée.

Le Président, par délégation
le Vice-Président du Conseil Scientifique
de l'Université de Lorraine

Frédéric VILLIERAS

Copies :

Monsieur HASCOET Jean-Michel – Directeur de thèse
Monsieur MENU Patrick - Ecole Doctorale BIOSE
Monsieur BEYAERT Christian – Directeur du laboratoire DevAH

4. Participation à des jurys

Dès la première année de ma prise de fonction à l'Université de Lorraine, j'ai participé à différents types de jury : jurys de diplôme, comités d'attribution de crédits (CAC) ou comités de sélection (COS) et de recrutement pour l'Université Nancy1, puis l'Université de Lorraine, mais également pour d'autres établissements universitaires.

❖ JURY DE DIPLOMES UNIVERSITAIRES OU ASSIMILES

Préalablement aux jurys de diplôme, je participe aux commissions pédagogiques qui ont pour fonction de faire des propositions au jury de diplôme en fonction des cas étudiants. Toutefois, j'ai décidé lorsque j'étais Président de jury de ne pas participer à ces commissions afin de conserver une impartialité de traitement pour l'ensemble des cas-étudiant. Ci-dessous vous trouverez l'ensemble des jurys de diplôme auxquels j'ai participé :

PERIODE	JURY	FONCTION	INFORMATIONS DIVERSES
2015 à aujourd'hui	Conseil de Validation des crédits de formation de l'Institut de Formation en Ergothérapie	Membre formateur	Participation aux discussion relative à l'universitarisation de la formation en Ergothérapie via la structuration de l'offre de formation
2015 à aujourd'hui	Diplôme d'Etat en Ergothérapie	Membre universitaire	
2015 à 2018	Diplôme de PACES	Membre référent de la passerelle STAPS	
2013 à 2018	Diplôme de Licence STAPS Lorraine	Président du jury	Jury commun pour les 3 sites de formation

❖ COMITES DE SELECTION (COS) ET DE RECRUTEMENT

ANNEE	EMPLOI
2020	Emploi au Service Universitaire des Activités Physiques et Sportives de NANCY
2017	Emploi n°984 au Service Universitaire des Activités Physiques et Sportives de LORRAINE
2014	Emploi de MCU n°4199 à l'UFRSTAPS de Reims Emploi de MCU n°0544 à l'UFRSTAPS de Nancy
2013	Emploi de MCU N°4133 à l'UFRSTAPS de REIMS Emploi de MCU à l'UFRSTAPS de NANCY
2011	Emploi au Service Universitaire des Activités Physiques et Sportives de NANCY

❖ JURY DE THESE

DATE et LIEU de SOUTENANCE	THESE et DIRECTION	ROLE
05/01/2018 Annaba, Algérie	« Plasticité de la fonction posturale : effet de l'entraînement controlatéral sur le contrôle postural monopodal ». Mohamed Abdelhafid Kadri Direction en cotutelle : Pr. Merbouha Boulahbel Nouar (Département EPS de l'Université ANNABA, Algérie), et Pr. Thierry Paillard (CIF STAPS à Tarbes de l'Université de PAU et des pays d'Adour).	Rapporteur L'Université de Lorraine ne m'a pas accordé le droit de me déplacer sur site.
12/12/2013 Faculté de Médecine à Nancy	« Interactions visuo-proprioceptives dans les pathologies dégénératives du rachis cervical relevant d'un traitement chirurgical ». Sébastien Freppel Titre de Docteur de l'Université de Lorraine, mention : Sciences de la Vie et de la Santé. Direction : Pr. Philippe Perrin (Université de Lorraine), et Pr. Sophie Colnat-Coulbois (Université de Lorraine).	Examinateur
24/10/2008 Faculté du Sport de Nancy1	« Corps, conduite motrice et connaissance. Un paradigme phénoménologique holistique du corps en situation ». Yannick Vandepoulle Titre de Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy II, mention : Epistémologie, Histoire des Sciences. Direction : Pr. Bernard Andrieu (Université Nancy1), et Pr. Christian Collet (Université de Lyon I).	Examinateur

❖ COMITES DE SUIVI INDIVIDUEL DE THESE

ANNEE	Doctorant & Encadrement
2020	Marie Philippine SEBA encadrée par Pauline MAILLOT (MCU à l'Université de Paris (anciennement Paris V)

5. Projet scientifique

Pour faciliter la lecture de mon projet scientifique et notamment de mes résultats expérimentaux, aucune analyse statistique ni développement méthodologique n'est rédigée dans le corps de texte qui suit lorsqu'il s'agit de travaux publiés. Pour de plus amples précisions, veuillez-vous référer aux articles correspondants précisés dans chaque section.

Ci-dessous, vous trouverez le sommaire de mon projet scientifique afin de vous aider à suivre et mieux comprendre l'artictecture de mon raisonnement scientifique actuel.

Chapitrage

- Formation à et par la recherche sur des problématiques développementales 26
  - Ontogenèse des voies de traitement de l'information visuelle 26
    - Les processus visuels impliqués dans la perception et l'action : estimation de la distance et de la position 26
    - L'effet de la mémorisation spatiale sur ces processus visuels 29
  - Ontogenèse de la prise en compte des contraintes temporelles et spatiales dans l'exécution visuo-motrice 30
  - Ontogenèse des processus sous-jacents au contrôle postural 33
    - L'évolution du contrôle de l'équilibre statique 33
    - Les ajustements posturaux anticipés lors d'un transfert de poids 35

- Spécialisation sur la problématique des déterminants aux perceptions spatiales 39
  - Diversité des appellations égocentrées : un éclaircissement conceptuel nécessaire 40
  - Influence des stimulations graviceptives 41
    - Une contribution différenciée des indices tactiles de pression 43
    - La contribution des indices otolithiques 45
  - Conséquences des stimulations proprio-cervicales 47
    - L'existence d'une chaîne proprioceptive ? 51
  - Perception égocentrée & perception géocentrée : une filiation ? 57
    - Les erreurs d'orientation géocentrée : une origine égocentrée ? 57
    - Vers une modélisation exhaustive des perceptions spatiales ? 61
  - Conclusion 64

❖ Perception spatiale ou un préalable au comportement 71

Problématique « Discordances perceptives & Comportement moteur » 71

La cinétose : une divergence cognitive 71

Problématique « Troubles perceptifs & Comportement » 103

Le syndrome spatial unilatéral : un trouble de la perception spatiale 103

Des maladies dégénératives de la colonne vertébrale 124

L'implanté cochléaire au statut vestibulaire normo-réflexif 129

❖ Interdépendance activités cognitives et mobilité corporelle 137

Problématique « Influences des contraintes environnementales et internes sur l'exécution de tâches réalisées simultanément » 138

Les effets de contraintes environnementales sur la performance posturale lors de la réalisation d'une tâche supraposturale à focalisation interne 140

Les effets de contraintes internes sur les stratégies posturales de l'expert postural 143

Les effets d'une fatigue cognitive sur le niveau de performance posturale 147

Conclusion 152

Problématique « Influences réciproques de la mobilité corporelle et de l'activité attentionnelle chez l'enfant d'âge scolaire » 157

L'influence de la mobilité corporelle sur les performances d'attention soutenue chez l'enfant d'âge scolaire 159

L'influence de la mobilité corporelle sur les performances d'attention chez l'enfant vulnérable d'âge scolaire : l'enfant né prématurément 163

L'effet de la mobilité corporelle sur les capacités d'inhibition de l'enfant âgé de 7 ans né prématurément : réflexions préliminaires 168

❖ Conclusion générale 181

❖ Références bibliographiques 182

❖ Les perspectives de recherche & de développement 218

❖ FORMATION A ET PAR LA RECHERCHE SUR DES PROBLEMATIQUES DEVELOPPEMENTALES

J'ai débuté ma formation à l'activité de recherche en Maîtrise dès mon arrivée à Grenoble en 2000. Intrigué par l'activité du laboratoire "Sport, Performance, Mouvement" présent dans les locaux de l'UFR-STAPS, j'ai très vite intégré en tant que stagiaire les études du projet de thèse de Christina Rival dirigée par la Professeure Isabelle Olivier portant sur la problématique de l'Ontogénèse des voies de traitement des informations visuelles impliquées dans la perception et l'action : le cas des illusions visuelles. Au cours de ce stage, j'ai également participé à une étude sur les problématiques ontogénétiques du compromis vitesse/précision lors de geste visuo-manuel et de celles du contrôle postural. Mon implication m'a permis de participer en tant qu'expérimentateur à différentes études et d'être co-auteur des travaux présentés succinctement ci-dessous.

Ontogenèse des voies de traitement de l'information visuelle

Les processus visuels impliqués dans la perception et l'action : estimation de la distance et de la position

Dans les années 90, de nombreux travaux notamment ceux de Milner & Goodale (1995) se sont intéressés aux deux voies nerveuses du système visuel : la voie ventrale et la voie dorsale. Distinctes, chacune d'elles aurait une fonction spécifique dans le traitement de l'information visuelle. Le système ventral permettrait la construction de représentations perceptives à long terme des caractéristiques et des relations entre les objets. Alors que le système dorsal effectuerait un traitement visuel en ligne impliqué dans les actions orientées vers ces objets, ne conservant les informations visuelles que pendant environ deux secondes (Elliott & Madalena, 1987). Cette dissociation entre perception et action a été observée lors d'expériences impliquant des illusions visuelles, qui montrent que la perception visuelle est affectée par l'illusion, alors que l'action ne l'est pas (Haffenden & Goodale, 1998).

Dans un article publiée en 2004 [**Rival C, Olivier I, Ceyte H, Bard C. Age-related differences in the visual processes implied in perception and action: distance and location parameters. *Journal of Experimental Child Psychology* 2004; 87(2): 107-24**], nous avons examiné le développement ontogénétique de la dissociation de ces deux voies visuelles en utilisant l'illusion Duncker (illusion de mouvement d'une cible objectivement stationnaire dans la direction opposée au déplacement réel d'un fond en l'arrière plan). Dans une 1ère expérience d'estimation de localisation, nous avons demandé à des enfants de différents âges (7, 9 et 12 ans) et à des adultes soit de juger verbalement de la dernière position perçue de la cible (tâche perceptive), soit de la pointer le plus précisément possible avec leur index (tâche active). Dans une 2nde expérience d'estimation de distance, nous avons demandé à des enfants (7, 8, 9, 10 et 11 ans) et des adultes soit de juger verbalement de la distance parcourue par la cible (tâche perceptive) soit de reproduire, le précisément possible, cette distance via le déplacement d'une poignée (tâche active).

Nos résultats ont montré que les enfants âgés de 7 ans étaient les plus sujets à l'illusion lors de l'estimation verbale de la localisation de la cible (voir figure 1) et que, jusqu'à 11 ans, la distance illusoire perçue était bien plus importante que celle perçue par les adultes (voir figure 2). En revanche, dès 7 ans, l'utilisation des informations visuelles pour l'action n'était pas influencée par l'illusion. Cette étude étaye la thèse de la séparation des voies visuelles avant l'âge de 7 ans.

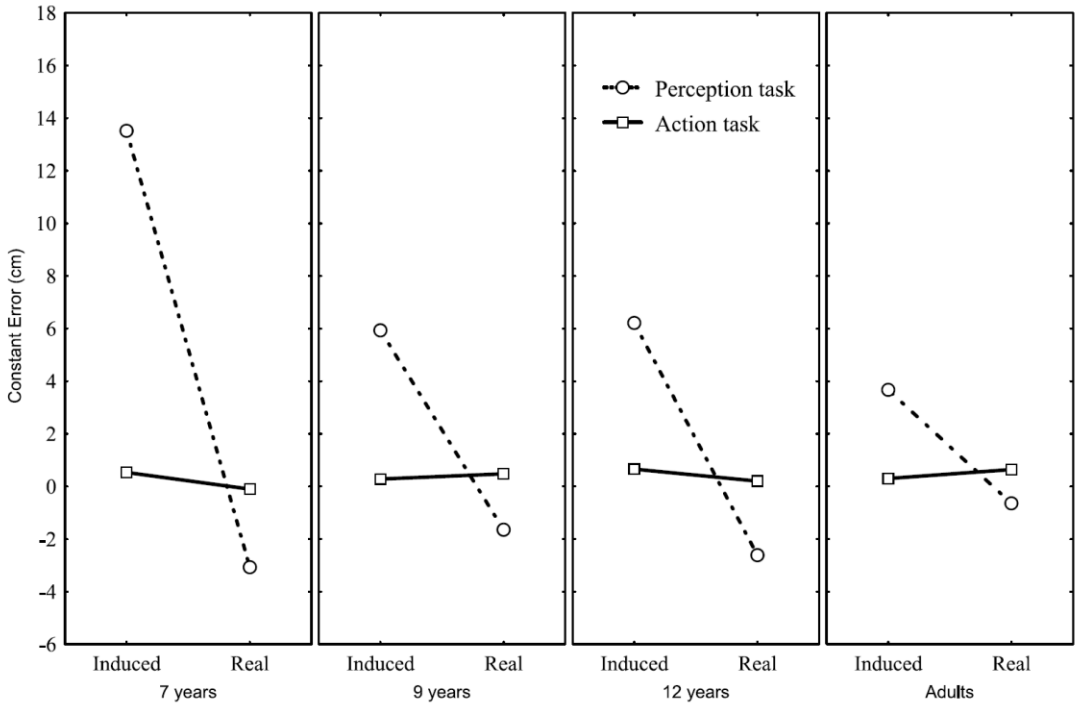


Figure 1 : Erreurs perceptives et de pointage (Constant Error) en centimètre à 7, 9, 12 ans et chez l'adulte lors d'un mouvement illusoire ou réel d'une cible.

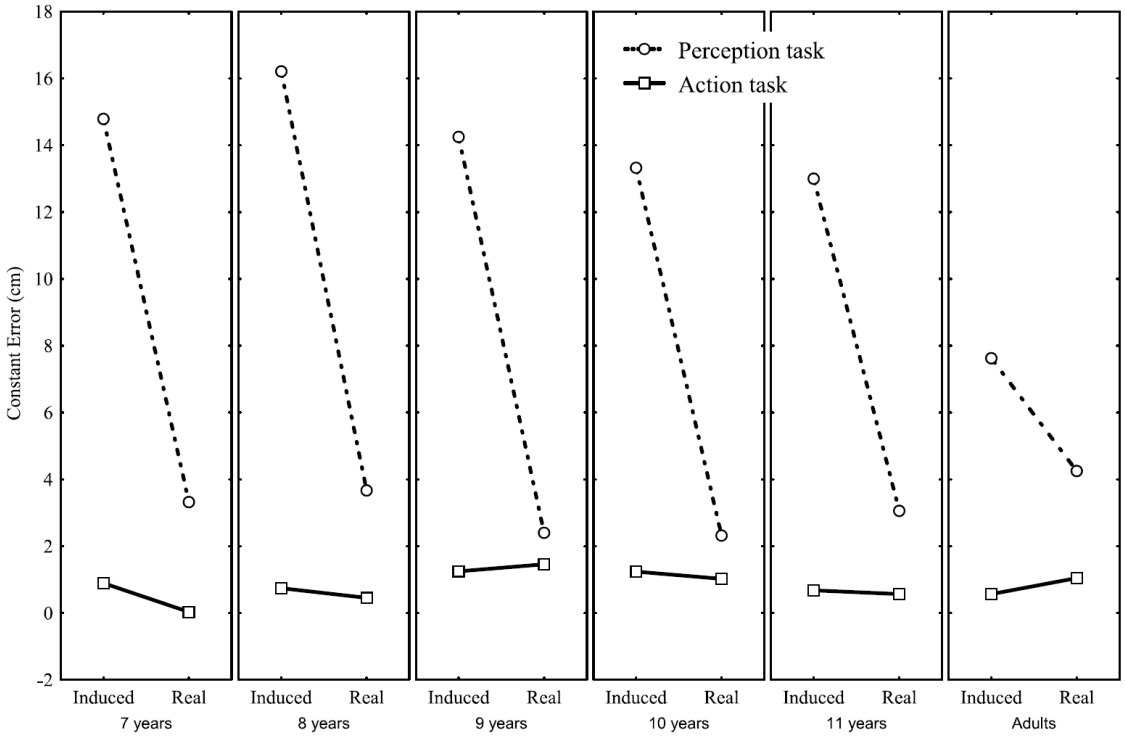


Figure 2 : Erreurs perceptives et reproduction de distance (Constant Error) en centimètre à 7, 8, 9, 10, 11 ans et chez l'adulte lors d'un mouvement illusoire ou réel d'une cible.

L'effet de la mémorisation spatiale sur ces processus visuels

Cependant, d'autres études rejettent l'affirmation selon laquelle les illusions visuelles n'ont pas d'impact sur l'action et remettent en question l'hypothèse principale selon laquelle perception et action sont neurologiquement dissociées (Donkelaar, 1999). Des effets d'illusion visuelle ont été observés sur de nombreux paramètres d'action, tels que le temps de mouvement (Donkelaar, 1999), ainsi que sur des mouvements exécutés sans rétroaction visuelle (Gentilucci, Chieffi, Daprati, Saetti, & Toni, 1996) et un mouvement retardé (Westwood, Chapman, & Roy, 2000). Milner & Goodale (1995) et Westwood et al. (2000) ont suggéré que les mouvements vers des cibles, dont la position a été préalablement mémorisée, pourraient être guidés par le système ventral, alors que les actions naturelles sont médiées par le système dorsal.

Dans une étude publiée en 2003 [**Rival C, Olivier I, Ceyte H, Ferrel C. Age-related differences in a delayed pointing of a Muller-Lyer illusion. *Experimental Brain Research* 2003; 153(3): 378-81**], nous cherchions à déterminer la participation de ce système entre 7 et 11 ans dans l'atteinte de position de cible mémorisée. Bien que seuls les enfants de 7 ans étaient sensibles à cette illusion perceptive, nos résultats ont montré qu'à tous les âges seuls les mouvements de pointage mémorisés étaient affectés par l'illusion confirmant ainsi une participation du système ventral dans l'exécution motrice mémorisée.

Ontogenèse de la prise en compte des contraintes temporelles et spatiales dans l'exécution visuo-motrice

De la petite enfance (3 à 5 ans) à l'adolescence, il est connu que le temps nécessaire pour répondre à une tâche diminue (Hay, 1990). Plus précisément, les données de la littérature montrent qu'entre 4 à 7-8 ans le temps de réponse diminue rapidement, puis entre 8 à 17 ans plus lentement ce qui suggére l'existence d'une période charnière à l'âge de 8 ans (Olivier, Audiffren, & Ripoll, 1998; Olivier & Bard, 2000). Selon Kail (1986, 1991), cette évolution du temps de réponse serait le reflet d'une augmentation non linéaire avec l'âge de la quantité de ressources de traitement disponibles pour l'exécution motrice. Toutefois, dans ces travaux, seules les caractéristiques temporelles des réponses ont été analysées sans rendre compte de la précision spatiale correspondante. L'analyse de la relation entre la vitesse et la précision des mouvements chez l'enfant devrait améliorer la compréhension de l'ontogenèse des mouvements dirigés vers une cible. Chez l'adulte, de nombreux auteurs ont étudié cette relation soit en contraignant le mouvement spatialement, soit en contraignant son exécution temporellement ou bien en lui imposant ces deux types de contraintes simultanément (voir la revue Plamondon & Alimi, 1997). Les effets de ces contraintes sur cette relation vitesse-précision modifiaient significativement la forme de la relation entre ces deux composantes permettant ainsi d'établir un modèle idéalisé du compromis vitesse-précision (voir figure 3 - Pachella, 1973; Pew, 1969). Plus précisément pour améliorer la précision de leur mouvement, les adultes doivent réagir plus lentement, alors que pour améliorer la rapidité de leur mouvement, ils doivent réagir en diminuant la précision de leur mouvement.

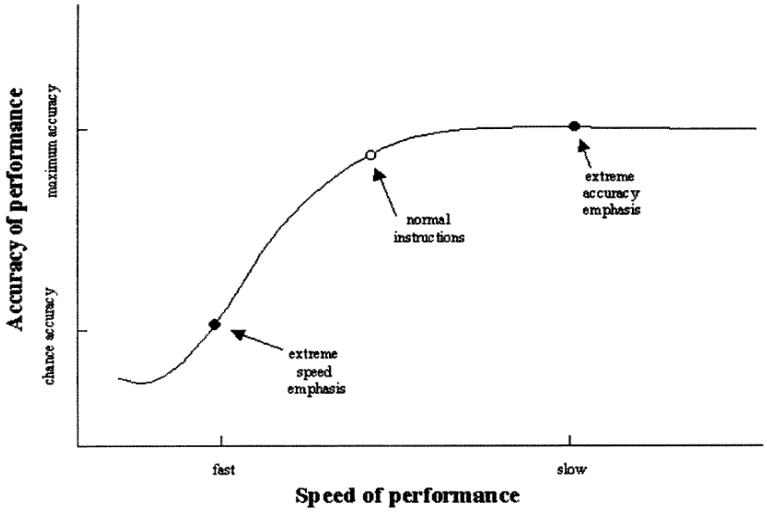


Figure 3 : Illustration d'une caractéristique de fonctionnement idéalisée vitesse-précision (cité par Pachella 1974).

Dans une étude publiée en 2003 [**Rival C, Olivier I, Ceyte H. Effects of temporal and/or spatial instructions on the speed-accuracy trade-off of pointing movements in children. *Neurosciences Letters* 2003; 336(1): 65-9**], nous avons cherché à déterminer l'évolution des effets des contraintes spatiales et temporelles sur la relation vitesse/précision lors d'un mouvement visuo-manuel chez l'enfant âgé de 6, 8 et 10 ans et chez l'adulte. Les participants devaient atteindre une cible présentée face à eux soit le plus précisément possible (contrainte spatiale), soit le rapidement possible (contrainte temporelle) ou soit le précisément et le plus rapidement possible (contrainte vitesse/précision). Les temps de réaction et de mouvement ainsi que les pourcentages d'atteinte de la cible (pourcentrage de réussite) ont été enregistrés.

Nos résultats ont montré qu'à partir de 6 ans, les enfants étaient capables de respecter les contraintes imposées afin de trouver le meilleur compromis entre vitesse et précision à l'instar des autres classes d'âge (voir figure 4). En ce qui concerne le nombre d'erreurs, il est intéressant de noter que, quel que soit leur âge, la performance des enfants était similaire à celles des adultes. Les résultats ont montré également une diminution avec l'âge du temps de mouvement. En effet,

lorsque seule la contrainte spatiale était imposée, les enfants de 6 ans ont pris beaucoup de temps par rapport aux autres participants adoptant vraisemblablement une stratégie très, voire trop, prudente afin de ne commettre aucune erreur de pointage. En revanche, dès que la contrainte temporelle était requise, l'amélioration de la vitesse du mouvement était fortement visible chez les enfants les plus âgés et chez les adultes.

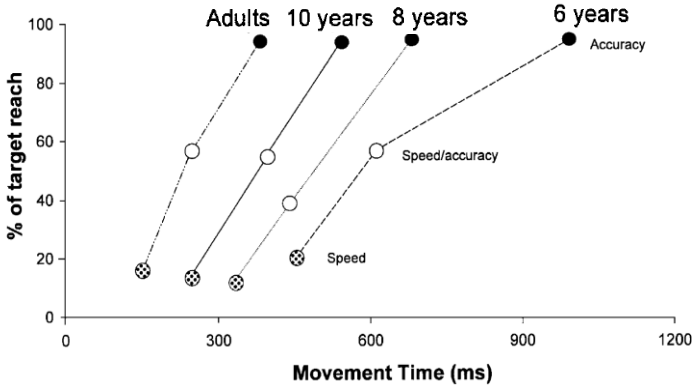


Figure 4 : Temps de mouvement en fonction du pourcentage de cible atteinte pour chacune des trois contraintes (temporelle, spatiale et vitesse/précision) chez l'enfant âgé de 6, 8, 10 ans et chez l'adulte.

Les principaux changements de développement du compromis vitesse-précision pendant l'enfance concernent donc uniquement la prise en compte des contraintes temporelles, n'affectant pas celle des contraintes de précision suggérant que cette dernière est interprétée de la même manière à tous les âges. Toutefois, les enfants plus âgés et les adultes sont plus rapides dans les tâches simples, i.e. qui ne nécessitent pas d'exigence spatiale. Mais dès que la contrainte de précision est forte, leur performance est plus affectée que pour les plus jeunes (voir figure 5).

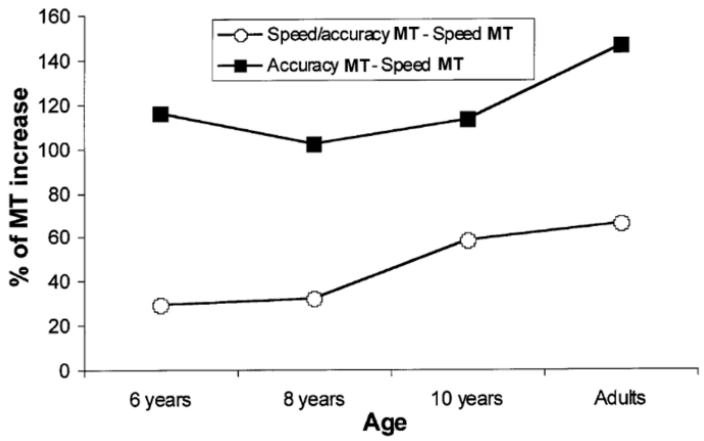


Figure 5 : Pourcentage d'augmentation du temps de mouvement (% of MT increase) entre la condition de vitesse et les conditions de précision (Accuracy MT – Speed MT) et de précision de vitesse (Speed/accuracy MT – Speed MT) chez l'enfant âgé de 6, 8 et 10 ans et chez l'adulte.

Une explication possible de ces résultats serait le changement de mode de contrôle de l'action avec l'âge, bien connu dans la littérature, lors de l'imposition de la contrainte temporelle. Chez les plus âgés, cette contrainte imposerait un contrôle de l'action par des processus en feedforward alors que, quand la contrainte spatiale est présente, les mouvements seraient contrôlés à la fois par des processus en feedforward et en feedback. Chez les plus jeunes, ces processus n'étant pas encore complètement matures, le contrôle des mouvements de pointage serait similaire quelle que soit la contrainte imposée. En conclusion, la vitesse de traitement doit être considérée comme un indicateur du fonctionnement cognitif tout au long de l'ontogenèse.

Ontogenèse des processus sous-jacents au contrôle postural

L'évolution du contrôle de l'équilibre statique

L'étude du développement du contrôle postural chez l'homme a suscité un intérêt considérable ces dernières décennies (Assaiante & Amblard, 1995; Kirshenbaum, Riach, & Starkes, 2001; Nougier, Bard, Fleury, & Teasdale, 1998; Shumway-Cook & Woollacott, 1985). Plusieurs études suggèrent une évolution non linéaire des stratégies utilisées dans ce contrôle avec une période

charnière située vers 7-8 ans (Forssberg & Nashner, 1982). Avant cet âge, les stratégies posturales seraient basées sur un mode de contrôle en boucle ouverte, peu efficace puis sur un mode de contrôle en boucle fermée où la contribution des informations visuelles serait omniprésente jusqu'à la coordination de ces deux modes de contrôle pour une optimisation des ajustements posturaux en fonction de la perturbation subie. Néanmoins, l'analyse de l'évolution du contrôle postural au cours du temps ainsi que le délai de prise en compte de l'information visuelle dans ce contrôle chez l'enfant n'ont jamais été étudié auparavant.

Dans une étude publiée en 2005 [**Rival C, Ceyte H, Olivier I. Developmental changes of static standing balance in children. *Neurosciences Letters* 2005; 376(2): 133-6**], nous avions pour objectif d'examiner les changements dynamiques de l'équilibre statique chez l'enfant âgé de 6, 8 et 10 ans comparativement à l'adulte. Plus précisément, nous avons analysé les modifications de leur posture debout lors de périodes de 2 secondes (d'un essai durant 10 secondes et dont nous avons supprimé la 1ère et la dernière seconde d'acquisition) afin d'étudier comment évolue la capacité à maintenir un équilibre bipédique avec l'âge. Les résultats ont montré 1) une diminution non monotone du déplacement du centre de pression (CoP) avec l'âge, avec une augmentation brutale à 8 ans, et 2) une diminution linéaire de la vitesse de cette variable entre 6 et 10 ans (voir figure 6). Ces résultats suggèrent également que le niveau optimal d'équilibre statique en fonction de l'âge n'est pas instantanément atteint. En effet, quel que soit l'âge, l'atteinte de ce niveau nécessite au moins 5 secondes et il est maintenu jusqu'à la fin de l'acquisition. Cela suggère que les processus sous-jacents au maintien d'un niveau optimal de stabilité posturale statique sont matures à l'âge de 6 ans bien que les stratégies adoptées soient différentes.

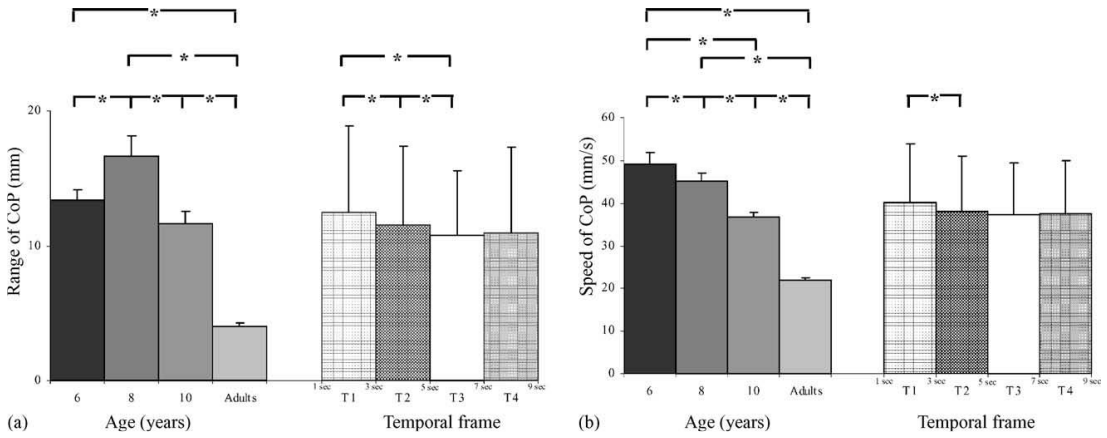


Figure 6 : (a) Moyenne et écart type du déplacement du CoP (Range of CoP) en mm à 6, 8, 10 ans et chez l'adulte (graphique de gauche) et en fonction des périodes temporelles de 2 secondes T1 à T4 (graphique de droite). (b) Moyenne et écart type pour la vitesse de COP (mm/s) à 6, 8, 10 ans et chez l'adulte (graphique de gauche) et en fonction des périodes temporelles de 2 secondes T1 à T4 (graphique de droite).

Les ajustements posturaux anticipés lors d'un transfert de poids

Convaincu par ce projet professionnel, en amont de mon inscription en DEA, j'ai réalisé un stage de 2 mois à l'Institut de Réadaptation en Déficience Physique de Québec auprès du Professeure Chantal Bard sur la problématique de la programmation posturale liée à l'exécution d'une élévation volontaire d'un des membres inférieurs chez l'expert postural et chez l'enfant de 7ans. Après un nouveau séjour de 2 mois à Québec et une première année de thèse sur cette problématique, ce travail a été poursuivi par Estelle Palluel, aujourd'hui Maître de Conférences à Grenoble-Alpes Université et a fait l'objet d'une publication résumée ci-dessous.

La réalisation d'un mouvement volontaire implique la genèse d'ajustements posturaux qui le précèdent, les soutiennent et les suivent. Ceux intervenant avant le début du mouvement sont communément appelées ajustements posturaux anticipés (APA). Ils sont programmés au niveau central en fonction de l'importance des perturbations internes liées aux caractéristiques du mouvement à venir (Bouisset, 1991; Bouisset & Zattara, 1981; Crenna & Frigo, 1991; Horak, Esselman, Anderson, & Lynch, 1984; Pedotti, Crenna, Deat, Frigo, & Massion, 1989). Bien que déclenché avant le mouvement volontaire, ces APA semblent être influencés par la présence des

rétroactions sensorielles (Forget & Lamarre, 1990; Kasai, Yahagi, & Shimura, 2002). Lors d'un mouvement nécessitant une élévation d'un des membres inférieurs, comme lors la marche en avant, le transfert de sa masse vers l'appui est alors considéré comme un APA (Crenna & Frigo, 1991; Haas, Diener, Rapp, & Dichgans, 1989; Mouchnino, Aurenty, Massion, & Pedotti, 1992, 1993) assurant les trois objectifs suivants : (1) déplacer le CoP vers la jambe de force (phase de charge + phase de décharge), (2) effectuer un mouvement de soulèvement de jambe, et (3) stabiliser la position de la jambe en mouvement. De nombreuses études ont montré la présence d'APA chez l'enfant lors de tâche d'initiation à la marche (Assaiante, Woollacott, & Amblard, 2000; Ledebt, Bril, & Brenière, 1998; Malouin & Richards, 2000). (Hay & Redon, 1999) ont montré que la contribution des processus en feedforward au contrôle postural évolue de manière non linéaire entre 3 et 10 ans. Plus précisément, ces processus à 6 ans semblent presque similaires à ceux observés chez l'adulte mais ils semblent être moins efficaces vers 9-10 ans. D'autres études montrent que le niveau adulte n'est pas encore atteint à 8 ans (McFadyen, Malouin, & Dumas, 2001; Schmitz, Martin, & Assaiante, 2002; Vallis & McFadyen, 2005).

Le but de notre étude publiée en 2008 [**Palluel E, Ceyte H, Olivier I, Nougier V. Anticipatory postural adjustments associated with a forward leg raising in children: Effects of age, segmental acceleration and sensory context. *Clinical Neurophysiology* 2008; 119(11):2546-54**] était de déterminer l'influence de l'âge, de l'accélération segmentaire et du contexte sensoriel sur les APA lors d'une élévation du membre inférieur vers l'avant. Trois groupes de 11 enfants âgés de 8, 10 et 12 ans et un groupe de 12 adultes ont été recrutés. Ils devaient effectuer ce mouvement soit le plus rapidement possible soit à une accélération sous-maximale. Différentes conditions sensorielles ont été testées : avec et sans vision associées ou non à des perturbations proprioceptives par vibration mécanique au niveau de la cheville. Nos résultats ont montré que tous les participants présentaient un comportement postural anticipé (APA) lors de la phase de

décharge, mais que le comportement des adultes n'est atteint qu'à l'âge de 12 ans (voir figure 7). Nos résultats ont également montré une influence de la perturbation proprioceptive dans le calibrage des APA à tout âge.

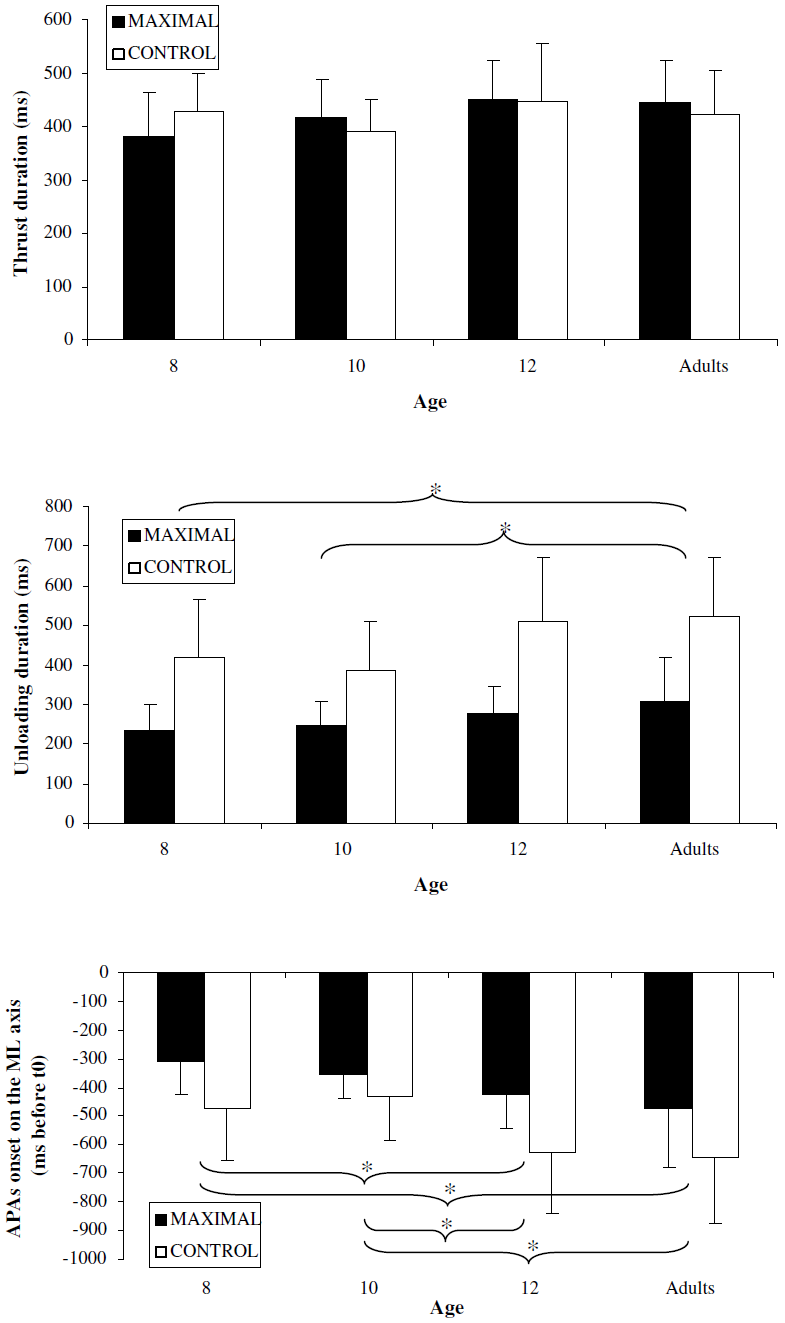


Figure 7 : Durée de déplacement du CoP (en ms) lors des phases de poussée (Thrust) et de déchargement (Unloading), sur l'axe ML dans les conditions d'accélération segmentaire maximale (MAXIMAL) et sous-maximale (CONTROL) en fonction de l'âge. Les valeurs significatives sont rapportées (* $p < 0,05$).

Messages à retenir

- Avant l'âge de 7 ans : séparation des voies de traitement des informations visuelles,
- Maturation asynchrone de la voie ventrale en fonction de la caractéristique spatiale perçue de l'objet : après 7ans pour la localisation, après 11 ans pour la distance,
- Participation de la voie ventrale lors de l'atteinte d'une cible dont la position a été préalablement mémorisée.

- Dès 6 ans : respect du compromis vitesse-précision lors d'une exécution motrice,
- A 6 ans : immaturité du mode fonctionnement en feedforward,
- Dès 10 ans : association de processus en feedforward et en feedback lors de l'exécution d'un mouvement spatialement contraint.

- Dès 6 ans : atteinte du niveau optimal d'équilibration statique après 5 secondes,
- Stratégies d'équilibration différentes avant et après 8 ans (âge charnière),
- Dès 8 ans : prèsence d'APA lors d'une élévation d'un membre inférieur,
- Dès 8 ans : contribution des indices proprioceptifs dans la programmation posturale,
- A 12 ans : atteinte de la programmation posturale de « l'adulte ».

❖ SPECIALISATION SUR LA PROBLEMATIQUE DES DETERMINANTS AUX PERCEPTIONS SPATIALES

A l'issue d'une première année de thèse non financée, on m'a proposé de postuler à un projet de thèse financé au Centre de Recherche du Service des Armées de La Tronche (commune mitoyenne de Grenoble) sur la problématique de la perception spatiale égocentrée et de la contribution sensorielle à son élaboration. Co-dirigée par les Professeures Corinne Cian et Isabelle Olivier, ce projet doctoral s'appuyait essentiellement sur des connaissances en psychologie cognitive et expérimentale. Dès lors une reconversion thématique a été nécessaire à la suite de l'obtention de ce projet afin de le mener à bien.

Au cours de mon travail doctoral intitulé PERCEPTION VISUELLE DE L'ESPACE EGOCENTRE : CONTRIBUTION DIFFERENCIEE DES INFORMATIONS SENSORIELLES A LA LOCALISATION ET L'ORIENTATION DU PLAN MEDIAN CORPOREL, je me suis intéressé à fournir de nouvelles données expérimentales dans le domaine peu documenté (à l'époque) de la perception spatiale de nature visuelle dont l'origine est le corps de l'observateur. Bien que fondamentale dans l'organisation de nos comportements orientés vers l'espace extra-corporel (Jeannerod, 1988; Jeannerod & Biguer, 1987), la perception égocentrée de l'espace était encore mal comprise voire oubliée de nombreuses interprétations scientifiques dans le domaine des neurosciences comportementales chez l'Homme.

Un pan entier de la littérature scientifique considère que la représentation de notre espace corporel repose sur un véritable processus computationnel dont l'ensemble des indices sensoriels disponibles en sont les données d'entrée. Une fois captés, ces indices seraient retranscrits en coordonnées rétinocentrées, céphalocentrées et égocentrées afin de reconstruire la position spatiale de l'objet visuel par rapport à notre corps à des fins perceptives ou de manipulation (Jeannerod, 1988). La représentation spatiale d'un objet visuel par rapport au corps serait dès lors construite à partir de la représentation interne d'un plan virtuel plus ou moins superposé au plan sagittal de notre corps, appelé Plan Médian Subjectif. La superposition exacte de ce plan avec le

plan sagittal corporel conditionnerait la qualité de nos perceptions spatiales relativement à soi notamment l'égalité des deux secteurs égocentriques droit et gauche de l'espace représenté ainsi que leur orientation (Jeannerod & Biguer, 1989). Autrement dit, cet égocentre correspondrait à la référence égocentrée naturelle pour l'estimation cognitive de la localisation horizontale (gauche ou droite) d'un objet visuel mais aussi de son orientation (ou de son inclinaison) par rapport à soi.

Diversité des appellations égocentrées : un éclaircissement conceptuel nécessaire

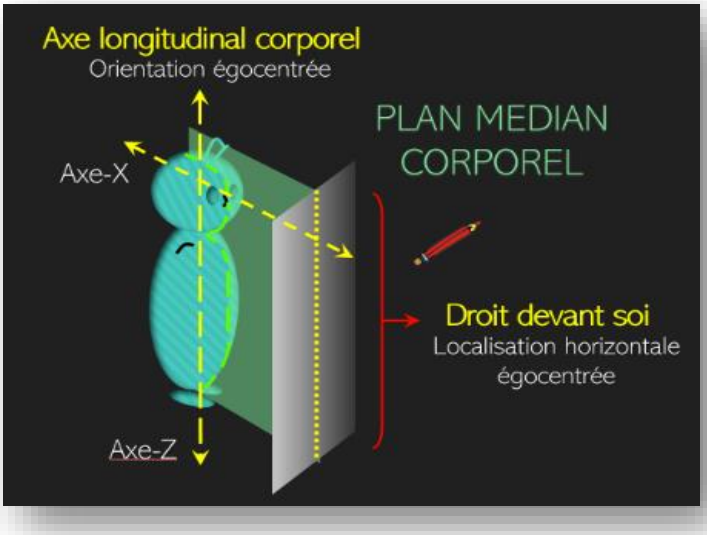


Illustration 1 : Les différentes terminologies égocentrées

Toutefois, différentes terminologies sont utilisées dans la littérature pour énoncer l'origine d'un codage égocentré, telle que la notion d'Axe-Z, correspondant à l'axe longitudinal corporel, ou encore la notion de Droit-Devant-Soi correspondant à un point particulier de la projection de l'axe longitudinal corporel sur un plan fronto-parallèle (voir illustration 1). L'utilisation de ces deux dernières notions impose la nature de la caractéristique spatiale de l'objet que l'on souhaite étudier. En effet, un référencement spatial basé sur l'Axe-Z renseigne sur l'orientation perçue de l'objet visuel alors que celui basé sur le Droit-Devant-Soi renseigne sur sa localisation perçue. Toutefois une profonde confusion dans la littérature est présente quant à l'utilisation de ces deux référencements.

Au cours de ce travail doctoral, j'ai pu mettre en exergue la nécessité de préciser et de maintenir cette distinction conceptuelle en raison de leur élaboration sensorielle singulière, comme nous le verrons dans l'ensemble des travaux que je vais exposer ci-dessous.

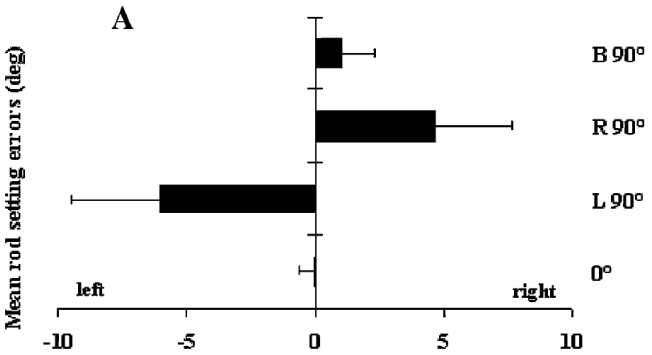
Afin d'investir la problématique des perceptions spatiales égocentrées, j'ai orienté mes travaux vers trois axes d'intérêt principaux. Le premier d'entre eux ciblait la contribution des indices graviceptifs de nature somesthésique et otolithique, renseignant sur l'espace gravitaire, dans nos perceptions visuelles égocentrées d'orientation et de localisation. Le deuxième axe concernait les conséquences des stimulations proprio-cervicales, indispensables à l'indication du positionnement relatif des segments axiaux (tête et tronc) entre eux, dans l'élaboration des référencements égocentrés. Enfin, le troisième et dernier axe portait sur la relation fonctionnelle et la possible filiation entre les perceptions visuelles égo- et géocentrée du fait que chacune d'entre elles est médiée par l'individu lui-même. Ces trois axes d'intérêt ont fait l'objet d'études expérimentales spécifiques nous amenant à proposer un éclaircissement nécessaire des concepts théoriques utilisés dans la littérature portant sur cette thématique de recherche.

Influence des stimulations graviceptives

D'une manière générale, il est admis dans la littérature qu'agir efficacement sur un objet nécessite au préalable une perception visuelle égocentrée juste (dans le sens correct) de cet objet et de l'ensemble de l'environnement et que cette perception nécessite spécifiquement un codage spatial de l'objet par rapport à l'effecteur (Jeannerod, 1988). D'un point de vue théorique, une perception égocentrée est indépendante de la position du corps dans l'espace gravitaire. Cependant, les choses ne paraissent pas aussi simples en réalité. En effet, il a été montré dans la littérature que le non-alignement de l'axe du corps de l'individu sur le vecteur gravitaire induit

une sur-estimation de l'inclinaison des objets environnants qui augmente en fonction de l'ampleur de l'inclinaison corporelle de l'individu (Bauermeister, 1964; Bradshaw, Nettleton, Nathan, & Wilson, 1985). Dès lors, se pose la question relative à la contribution des informations graviceptives dans l'élaboration perceptive égocentrée des caractéristiques extrinsèques d'un objet visuel.

Dans l'une des études publiées en 2007 [**Ceyte H, Cian C, Nougier V, Olivier I, Trousselard M. Role of gravity-based information on the orientation and localization of the perceived body midline. *Experimental Brain Research* 2007; 176:504-509**], nous nous sommes intéressés à la manière dont l'individu perçoit la localisation et l'orientation des objets visuels dans différentes inclinaisons corporelles et nous les avons étudiées respectivement l'une et l'autre par l'ajustement horizontal d'un point visuel (diode) droit-devant-soi et par l'ajustement au roulis d'une baguette visuelle parallèlement à l'axe-Z du participant. Nos résultats (voir la figure 8) ont montré des déviations distinctes pour chacune de ces perceptions visuelles égocentrées lorsque le corps est incliné de 90 degrés en roulis : la perception visuelle de l'orientation égocentrée est déviée dans la direction de l'inclinaison du corps, alors que celle de la localisation est déviée dans la direction opposée. Lorsque le corps était aligné avec la direction gravitaire ou qu'il est incliné en décubitus dorsal, aucune erreur perceptive n'était significative.



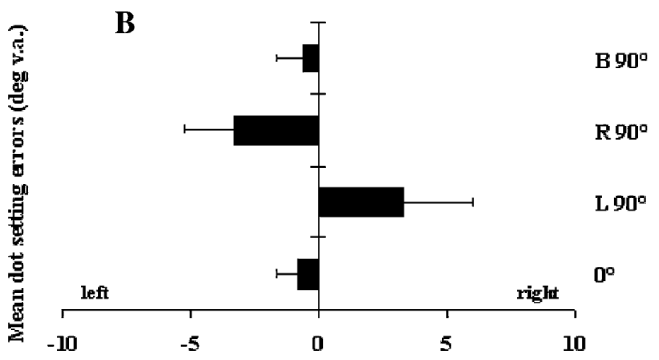


Figure 8 : Erreurs perceptives moyennes d'orientation (en degré - A) et de localisation (en degré d'angle visuel - B) en fonction de l'inclinaison du corps (B90° : décubitus dorsal ; R90° : allongé à droite ; L90° : allongée à gauche ; 0° : en position assise)

Ces résultats prouvent l'influence différenciée des stimulations graviceptives dans nos perceptions visuelles égocentrées ; les déviations perceptives obtenues laissent penser que la composante horizontale du réflexe otolithico-oculaire (Pansell, Ygge, & Schworm, 2003) participe à la localisation égocentrée perçue, alors que les informations tactiles de pression influenceraient principalement l'orientation égocentrée perçue. Toutefois, la contribution effective de ces informations pour chacune de ces perceptions restait à être démontrée plus précisément (ce qui est fait dans l'étude suivante). Au-delà, nos résultats concernant la perception de localisation égocentrée laissent penser à une influence significative de l'orientation du segment céphalique dans cette évaluation spatiale. Cette question fera l'objet d'une partie spécifique dans le chapitre suivant.

Une contribution différenciée des indices tactiles de pression

Dans la seconde expérience de ce même article, [**Ceyte H, Cian C, Nougier V, Olivier I, Trousselard M. Role of gravity-based information on the orientation and localization of the perceived body midline. *Experimental Brain Research* 2007; 176:504-509**], nous avons spécifiquement étudié la contribution des stimulations cutanées de pression en les homogénéisant à toute inclinaison

corporelle émettant l'hypothèse d'une diminution des erreurs d'orientation et sans modifier celles de localisation. Nos résultats ont montré qu'effectivement seule la perception visuelle de l'orientation égocentrée a été modifiée (voir figure 9), suggérant bien que ces informations participent à l'élaboration perceptive de l'orientation égocentrée de l'espace et non à celle de la localisation égocentrée.

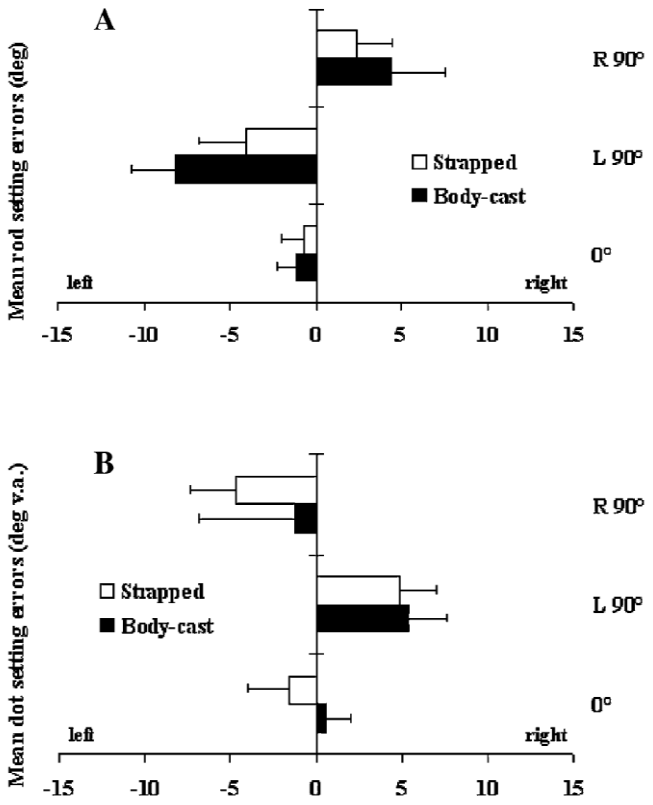


Figure 9 : Erreurs perceptives moyennes d'orientation (en degré - A) et de localisation (en degré d'angle visuel - B) en fonction de l'inclinaison du corps (R90° : allongé à droite ; L90° : allongée à gauche ; 0° : en position assise) en condition sanglé (Strapped) et d'homogénéisation de pression (Body-cast).

Cependant, si on s'attarde plus précisément sur la magnitude des erreurs perceptives d'orientation égocentrée lorsque le participant est incliné latéralement en absence d'asymétrie des pressions, on observe une augmentation de la surestimation perceptive de l'orientation des objets visuels environnant (voir figure 9A). Cette évolution des erreurs perceptives amène à

penser que le participant percevait sa tête plus inclinée que le reste de son corps en raison de la conservation de l'intégrité des messages otolithiques et proprio-cervicaux dans cette condition expérimentale. Dès lors, pour expliquer le sens de ces erreurs perceptives, que ce soit pour l'orientation ou pour la localisation, deux hypothèses s'offrent à nous à ce stade. La première serait que la position perçue de notre segment céphalique joue un rôle prépondérant par rapport au reste de notre corps dans notre perception de localisation égocentrée d'une manière générale alors que cela ne serait le cas pour la perception visuelle d'orientation égocentrée uniquement lorsque le contexte sensoriel est discordant. La seconde hypothèse proposerait que le message proprio-cervical influence toujours notre perception d'orientation égocentrée alors que notre perception visuelle de localisation égocentrée y serait sensible uniquement lorsque les indices graviceptifs au niveau de la tête ne sont plus pertinents.

La contribution des indices otolithiques

Afin de tenter de prendre position sur les deux hypothèses explicatives ci-dessus, nous avons spécifiquement analysé les conséquences de l'absence de stimulations otolithiques sur nos perceptions visuelles d'orientation égocentrée dans une étude publiée en 2008 [**Ceyte H, Trousselard M, Barraud PA, Roux A & Cian C. Perceived head-trunk angle during microgravity produced by parabolic flight. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 2008;79:420-423**]. Cette analyse réalisée dans différentes configurations des segments axiaux nous a permis de discuter de l'influence de l'inclinaison de la tête en fonction de l'intégrité des messages otolithiques dans ces perceptions. Expérimentalement, nous avons réalisé deux sessions distinctes, une sur Terre (soumise à la gravité terrestre : 1G) et une en vols paraboliques lors des phases de microgravité (µG). Ici, les participants devaient orienter le stimulus visuel parallèlement à l'axe longitudinal de leur tête ou de leur tronc dans deux configurations segmentaires distinctes :

une où leur tête était alignée avec leur tronc et une autre où leur tête était inclinée en roulis à gauche par rapport à leur tronc.

En 1G, nos résultats n'ont montré aucune déviation perceptive de l'orientation de la tête et de celle du tronc et ce quel que soit la configuration segmentaire. En µG, ils rendent compte uniquement d'une déviation perceptive de l'orientation de la tête et du tronc dans le sens de l'inclinaison céphalique (voir figure 10).

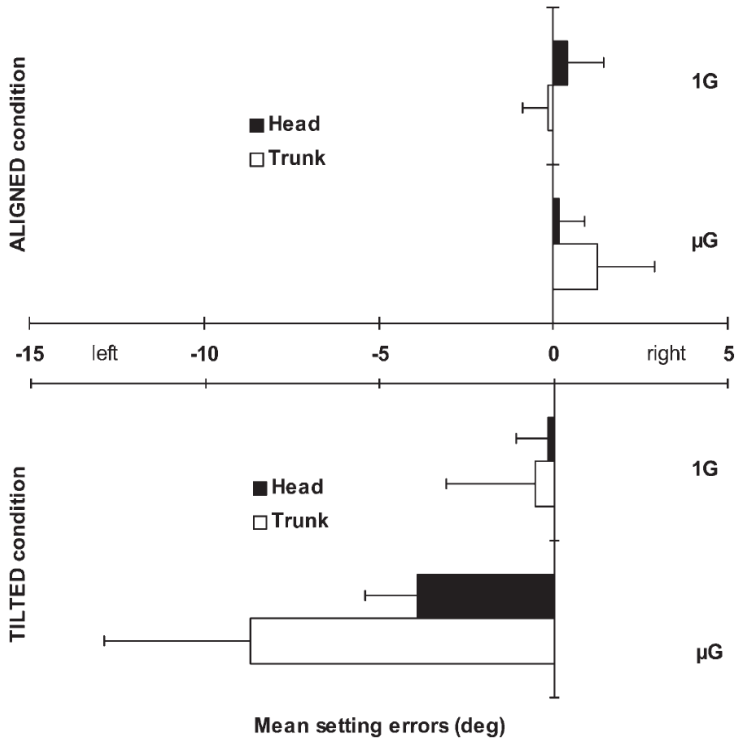


Figure 10 : Les erreurs perceptives moyennes (en degré) pour les conditions alignées (ALIGNED) et inclinées (TILTED) en gravité terrestre (1G) et en microgravité (µG). Les barres d'erreur indiquent les écarts-type.

Dès lors, ces résultats n'indiquent pas une attraction de la perception d'orientation du tronc vers celle de la tête mais plutôt une influence de la stimulation proprio-cervicale dans ces deux perceptions d'orientation segmentaire. Par ailleurs, nos données montrent également que l'angle tête/tronc reste correctement perçu, malgré les déviations perceptives d'orientation de chaque segment axial.

Perspectives de recherche

→ Influence des stimulations otolithiques dans la perception de la localisation visuelle égocentrée

Les résultats présentés précédemment ciblent uniquement la perception visuelle d'orientation égocentrée dû au choix fait sur le ciblage de l'effet de stimulations otolithiques sur la perception d'orientation corporelle. Cependant, à la lueur de nos connaissances actuelles et des hypothèses rédigées précédemment, la question relative de la contribution effective de ces stimulations dans la perception visuelle de localisation égocentrée nécessite d'être soulevée spécifiquement. A partir du paradigme de localisation visuelle égocentrée présentée précédemment, l'analyse de cette contribution pourrait analysée en décorrélant l'axe de la tête par rapport à celui du corps quand l'axe du segment céphalique est aligné ou non avec la direction de la gravité ou encore en absence de gravité terrestre, ce qui nécessiterait de concevoir cette étude lors d'une campagne de vol ESA.

Conséquences des stimulations proprio-cervicales

Il est abondamment documenté dans la littérature scientifique que la perception de la position de la tête relativement à celle du tronc, et inversement est dépendant de l'intégrité des signaux proprioceptifs dérivés de la région du cou (Biguer, Donaldson, Hein, & Jeannerod, 1988). Différents procédés peuvent induire des discordances sensorielles dans nos perceptions d'orientation corporelle. La manipulation expérimentale par stimulations mécaniques vibratoires appliquées unilatéralement au niveau des muscles cervicaux est sans doute la méthode la moins invasive. Appliquées généralement au niveau du faisceau supérieur du trapèze gauche (le plus fréquent dans la littérature), ces stimulations, d'une fréquence située entre 80 Hz et 100 Hz, provoquent une dépolarisation des fibres nerveuses afférentes, particulièrement celles 1a responsables de la sensibilité kinesthésique (Biguer et al., 1988; Karnath, 1994; Lekhel et al., 1997; Taylor & McCloskey, 1991). Ce message est ensuite interprété au niveau central comme une

modification de la longueur des fuseaux neuro-musculaires stimulés (Goodwin, McCloskey, & Matthews, 1972; Lackner & Levine, 1979) qui a pour conséquence perceptive, l'illusion du déplacement horizontal d'une cible visuelle, placée face à l'individu testé et objectivement stationnaire, vers le côté opposé à la stimulation lorsque la tête est contrainte spatialement (Biguer et al., 1988; Karnath, Sievering, & Fetter, 1994; Taylor & McCloskey, 1991). Ces impressions suggèrent la production d'une illusion kinesthésique de rotation de la tête en lacet vers le côté de la stimulation et donc le déplacement perceptif du droit-devant-soi au niveau de la tête vers ce même côté. Au-delà, cette illusion propose que la localisation apparente du tronc reste perçue correctement, soit déplacée dans la direction opposée. Par ailleurs, compte tenu de la complexité de la disposition des muscles au niveau cervical et de leur fonction motrice, il est fortement probable que la vibration dans cette région induise d'autres effets perceptifs. En effet, certains individus ont signalé des déplacements verticaux perçus de la cible visuelle objectivement stationnaire lors de ce type de stimulation suggérant ainsi l'illusion d'une inclinaison de la tête en roulis (Biguer et al., 1988). Malgré ces retours, aucune étude n'est parvenue à montrer objectivement cette illusion kinesthésique autour de cet axe sans nul doute en raison de l'utilisation d'un paradigme expérimental non adéquat. En effet ces études ont essayé de rendre compte de ce phénomène via l'utilisation d'un paradigme de la localisation visuelle (Biguer et al., 1988; Karnath et al., 1994). Seul un paradigme d'orientation utilisé pour évaluer directement l'inclinaison perçu de l'axe de la tête peut rendre compte de l'existence de cette illusion kinesthésique.

L'objectif d'une étude publiée en 2006 [**Ceyte H, Cian C, Nougier V, Olivier I, Roux A. Effects of neck muscles vibration on the perception of the head and trunk midline position. *Experimental Brain Research* 2006; 170(1): 136-140**] était de démontrer les conséquences de stimulations musculo-tendineuses du faisceau supérieur du trapèze gauche sur nos perceptions visuelles égocentrées de la tête et du tronc. Comme illustré dans la figure 11, nos résultats ont montré des déviations perceptives significatives de même direction (vers le côté stimulé) et de même

amplitude pour les deux segments axiaux et ce, séparément dans nos deux paradigmes égocentrés (localisation et orientation).

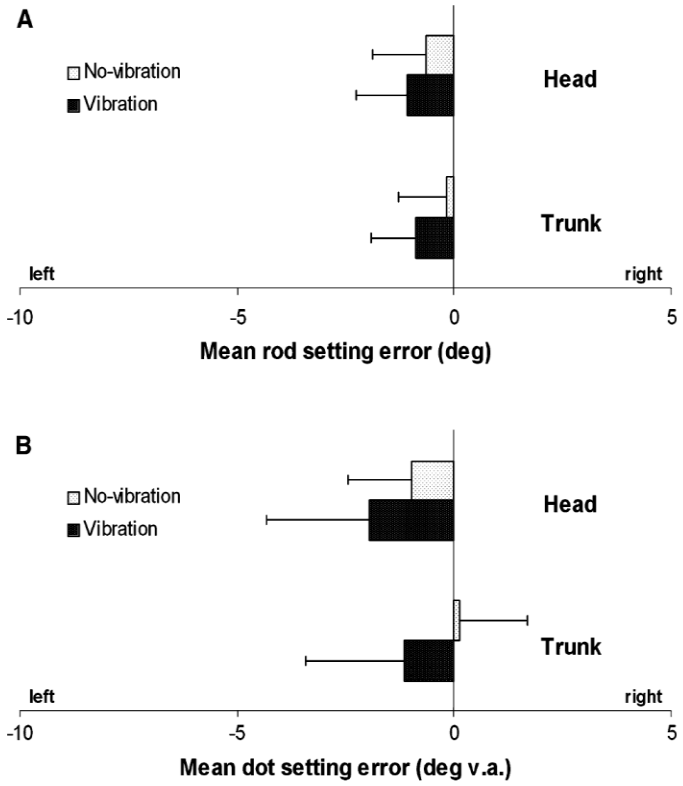


Figure 11 : Erreurs perceptives moyennes d'orientation (en degré - A) et de localisation (en degré d'angle visuel - B) avec et sans vibration. Les barres d'erreur indiquent les écarts-type.

Ces données suggèrent que la stimulation de la région cervicale induit une modification perceptive de l'ensemble des coordonnées corporelles et ce, malgré des informations discordantes d'autres modalités sensorielles. En effet, bien que le système vestibulaire n'indique ni déplacement, ni inclinaison de la tête par rapport au tronc, celle-ci est perçue inclinée tout comme le reste du corps dans le sens de la stimulation cervicale.

Dans la seconde expérience de cette étude, nous avons cherché à déterminer l'effet de ces stimulations proprio-cervicales lorsque les gravicepteurs corporels sont également stimulés. Nos résultats ont montré que l'effet de la vibration disparaissait lorsque le côté de la stimulation

proprio-cervicale était opposé à celui de l'inclinaison corporelle et il était augmenté lorsqu'ils étaient congruents (voir figure 12A). Par ailleurs, dans la tâche de localisation égocentrée, cet effet était plus important pour la tête que pour le tronc (voir figure 12B).

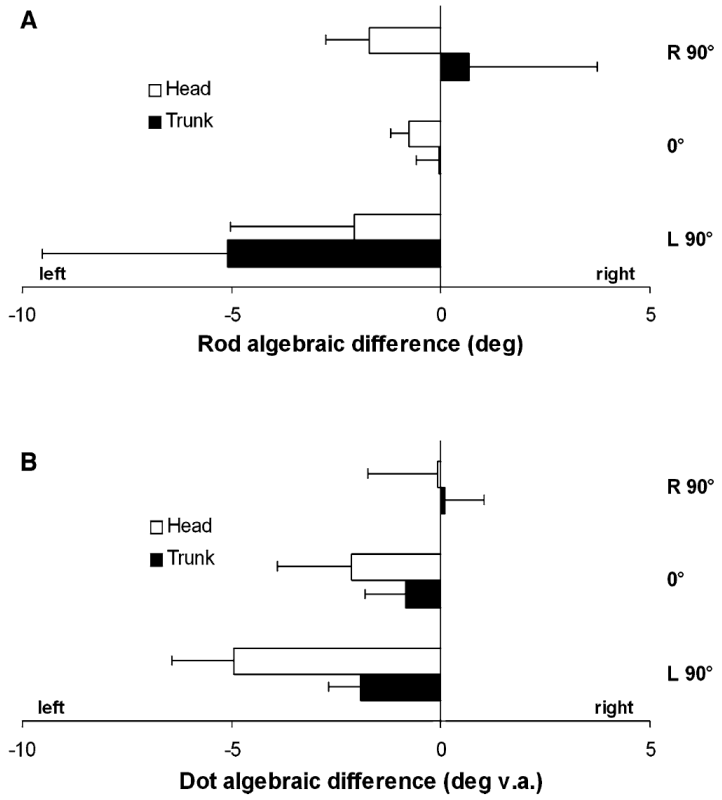


Figure 12 : Différence algébrique entre les conditions avec et sans vibration pour la tâche d'orientation (en degré – A) et celle de localisation aux points (en degré d'angle visuel – B) en fonction de l'inclinaison du corps (R90 : allongé à droite ; 0 : en position assise ; L90 : allongée à gauche). Les barres d'erreur indiquent les écarts-type.

Il est intéressant de noter que quel que soit le contexte de discordances sensorielles, le système est toujours parvenu à fournir une estimation du positionnement spatial (orientation et localisation égocentrées) du corps du participant (Lekhel et al., 1997) en interprétant que l'ensemble du corps était positionné plus à gauche que sans cette stimulation proprio-cervicale. Toutefois, au regard des résultats de notre étude de 2007 [**Ceyte H, Cian C, Nougier V, Olivier I, Trousselard M. Role of gravity-based information on the orientation and localization of the perceived body midline. *Experimental Brain Research* 2007; 176:504-509**], le sens de la déviation

égocentrée résultant de la combinaison inclinaison corporelle et stimulation proprio-cervicale gauche questionne. En effet, la déviation perceptive opposée à l'inclinaison du corps aurait dû être « annulée » par celle induite par la stimulation cervicale lors d'une inclinaison gauche et cette déviation aurait dû être augmentée lors d'une inclinaison droite du corps. Cependant, nos résultats amènent à considérer l'effet de la stimulation proprio-cervical au niveau vestibulaire et donc ces répercussions dans le positionnement des yeux dans l'orbite via un réflexe otolithico-oculaire. Cette réflexion devra être vérifiée dans une prochaine étude spécifique à la question des incidences oculaires dues à ce type de stimulation cervicale par vibration. Au- delà, alors qu'il semble maintenant clair que les propriocepteurs cervicaux participent directement à l'élaboration de nos perceptions égocentrées, on peut se poser la question de l'interaction de l'ensemble des indices sensoriels en présence dans l'élaboration perceptive du système de coordonnées égocentrées.

L'existence d'une chaîne proprioceptive ?

A première vue, les déviations de nos perceptions visuelles égocentrées, obtenues lors d'inclinaison corporelle, peuvent paraître totalement indépendantes des stimulations proprio-cervicales. Toutefois, dès que ces dernières sont stimulées, isolément (vibration mécanique, microgravité) ou non (vibration mécanique lors d'une inclinaison corporelle), les résultats de nos différentes études laissent entrevoir une influence spécifique de ce type d'information dans nos perceptions égocentrées et particulièrement dans notre perception d'orientation de l'ensemble du corps. Leurs stimulations provoquent une déviation de l'ensemble des coordonnées égocentrées dans le sens de la stimulation proprio-cervicale.

Les déviations que nous avons obtenues en contexte microgravitaire [**Ceyte H, Cian C, Nougier V, Olivier I, Trousselard M. Role of gravity-based information on the orientation and localization of the perceived body midline. *Experimental Brain Research* 2007; 176:504-509**] et lors d'une

illusion proprioceptive [**Ceyte H, Cian C, Nougier V, Olivier I, Roux A. Effects of neck muscles vibration on the perception of the head and trunk midline position. *Experimental Brain Research* 2006; 170(1): 136-140**] corroborent l'existence d'une « chaîne proprioceptive » parcourant l'ensemble du corps dont les deux points cardinaux seraient les yeux et les pieds selon Roll & Roll (1988). Par ce concept de chaîne, il faut entendre que toute action, toute stimulation, à n'importe quel niveau de celle-ci induit les mêmes conséquences sur notre perception d'orientation corporelle. Ainsi, elle aurait un effet sur le schéma corporel. Dès lors, l'ensemble des indices musculo-tendineux du corps aurait à la fois pour fonction de renseigner sur l'orientation des segments les uns par rapport aux autres et de renseigner sur l'orientation corporelle afin de permettre l'organisation posturale de corps par rapport à l'espace exocentré en association avec les autres gravicepteurs.

- D'autres preuves d'ordre comportemental

Afin d'approfondir cette réflexion et étayer l'existence de cette « chaine proprioceptive » parcourant l'ensemble du corps, j'ai évalué les conséquences de stimulations musculo-tendineuses au niveau d'un autre site anatomique lors de collaborations avec Michel Guerraz, Professeur de l'Université de Grenoble-Alpes, et Sébastien Caudron, Maître de Conférences de l'Université de Lorraine. Si ces stimulations parviennent également à modifier la perception d'orientation de l'ensemble du corps, alors le concept de « chaine proprioceptive » serait renforcé. Dans une première étude publiée en 2007 [**Ceyte H, Cian C, Zory R, Barraud PA, Roux A, Guerraz M. Effect of tendon vibration on postural orientation. *Neuroscience Letters* 2007; 416:71-75**], nous avons évalué l'effet de la vibration mécanique au niveau des tendons d'Achilles sur l'orientation posturale perçue chez des individus non soumis aux contraintes d'équilibration. Sanglés à un support dorsal, pouvant être orienté en tangage grâce à un axe servo-motorisé à l'arrière des chevilles, 12 participants, en position érigée, leurs pieds en appui sur un sol horizontal et rigide, étaient initialement orientés soit à la verticale gravitaire soit à 4 degrés en avant ou en

arrière (voir figure 13A). Ils avaient pour tâche d'orienter leur corps à la verticale via une manette contrôlant le moteur du support. Deux conditions expérimentales, contrebalancées, ont été réalisées : une où les tendons d'Achille du participant étaient vibrés à une fréquence de 90 Hz et une autre sans vibration. Les résultats ont montré qu'en réponse à la vibration, les participants orientaient leur corps en arrière comparativement à la condition sans vibration (voir figure 13B). La direction de cet ajustement corporel par rapport à la verticale gravitaire serait due à l'illusion d'une inclinaison de l'ensemble du corps vers l'avant. Nos résultats ont montré également que l'effet de vibration était plus prononcé lorsque l'ajustement corporel, réalisé par le participant était congruent, avec l'illusion perçue, i.e. l'allongement des muscles solaires.

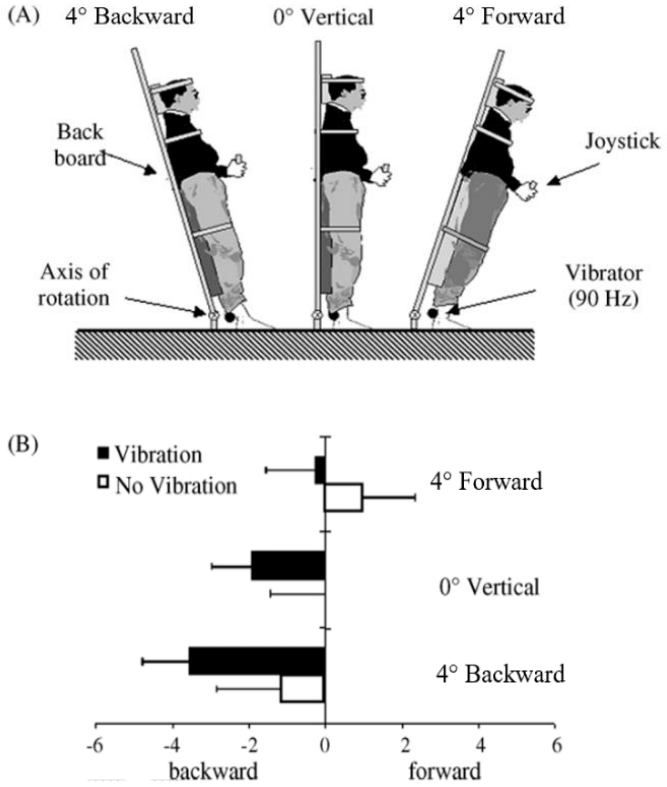


Figure 13 : (A) Dispositif expérimental. (B) Erreurs perceptives moyennes (en degrés - °) en fonction de l'orientation initiale du corps (4° en avant, 0° - vertical, 4° en arrière) en condition vibration (VIB) et sans vibration (NVIB). Les barres d'erreur indiquent les écarts-types.

Dans une seconde étude publiée en 2018 [**Caudron S, Ceyte H, Barraud PA, Cian C, Guerraz M. Perception of body movement when real and simulated displacements are combined. *PLoS One* 2018 Mar 6;13(3):e0193174**], nous avons pu approfondir ces résultats en analysant spécifiquement les caractéristiques dynamiques de l'illusion kinesthésique corporelle induite par la vibration des tendons d'Achille (voir figure 14). Ici les 11 participants avaient pour tâche d'indiquer lorsqu'ils se percevaient en mouvement en appuyant sur la manette et ce jusqu'à la fin de cette perception.

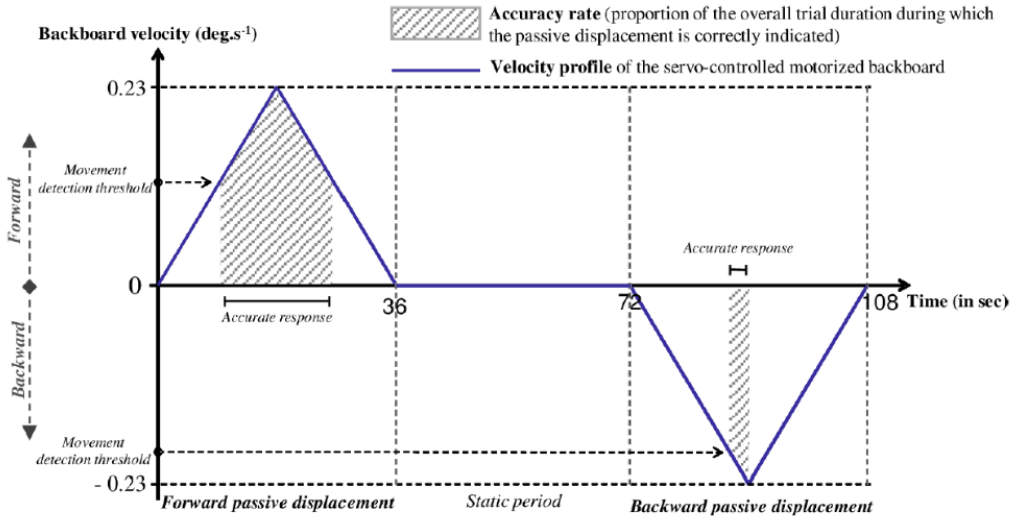


Figure 14 : Exemples de déplacements passifs vers l'avant (vers le haut) et vers l'arrière (vers le bas) du support dorsal, ainsi que les variables dépendantes calculées. La ligne bleue représente le profil de vitesse du déplacement (accélération et décélération de 0,0125 deg.s^{-2}). Les périodes qui ont été perçues avec précision par le participant sont indiquées par les zones hachurées. Le seuil de détection de mouvement (en deg.s^{-1}) a été déterminé pour chaque essai en tant que vitesse angulaire instantanée enregistrée au moment de la première réponse précise maintenue pendant au moins 300 ms. Notez que, dans les conditions avec vibration (VIB), les vibrateurs étaient activés pendant tout le bloc.

Les résultats ont montré qu'en l'absence de vibration, le déplacement réel vers l'avant est détecté plus tôt que celui vers l'arrière. En présence de vibration, le seuil de détection du déplacement vers l'arrière est élevé et la proportion de la durée totale du déplacement passif correctement perçue est réduite (voir figure 15). Concernant les déplacements vers l'avant en présence de

vibration, leur seuil de détection a tendance à s'abaisser et la proportion du déplacement correctement perçue est augmentée.

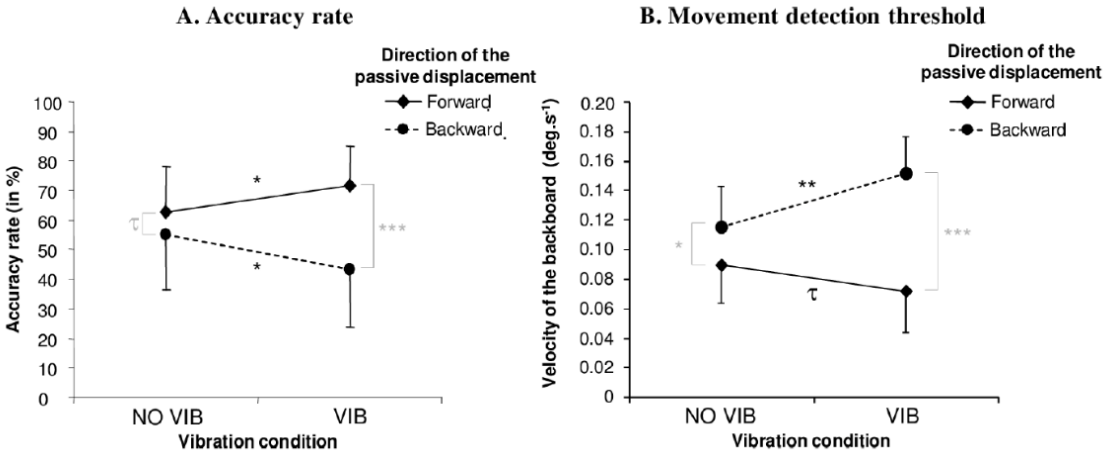


Figure 15 : (A) le taux de précision moyen, c'est-à-dire la proportion moyenne (en %) de la durée totale de l'essai pendant laquelle le déplacement passif a été correctement indiqué par le participant, et (B) le seuil de détection du mouvement moyen, c'est-à-dire la vitesse angulaire instantanée enregistrée au moment de la première réponse précise maintenue pendant au moins 300 ms pour un déplacement en avant (symboles de losange et lignes continues) ou en arrière (points et lignes en pointillés) en présence (VIB) ou en l'absence de vibration du tendon d'Achille (NO VIB). Les barres d'erreur indiquent les écarts-types. Les astérisques et les symboles indiquent le niveau p lors des comparaisons par paire de NK : * : p <0,05; ** : p < 0,01; *** : p < 0,001; τ: $p \leq 0,10$.

Les résultats de ces deux études indiquent que la stimulation proprioceptive au niveau des chevilles influence la perception spatiale d'orientation de l'ensemble du corps et que l'illusion kinesthésique induite s'ajouterait aux autres perceptions de déplacements corporels en fonction de leur congruence perceptive. La perception de l'orientation du corps émanerait donc d'un processus additif entre les différents indices positionnels et dynamiques du corps dans lequel la contribution de ceux musculo-tendineux ne peut plus être négligée. Par ailleurs, nos données corroborent le modèle proposé par Massion (1992, 1994) proposant que la perception d'orientation corporelle dans l'espace gravitaire, qu'il qualifie d'orientation posturale, est la composante cognitive de la réponse posturale observée chez l'individu debout, l'équilibration étant celle sensori-motrice. En effet, les ajustements perceptifs réalisés dans ces deux études sont en accord avec les réactions posturales classiquement rapportées dans la littérature quand la modalité musculo-tendineuse est stimulée à cette fréquence au niveau des tendons d'Achille.

Enfin, ces dernières données étayent nos interprétations quant aux fonctions proprioceptives et renforcent la thèse de l'existence d'une « chaine proprioceptive » parcourant l'ensemble du corps qui permettrait d'expliquer (1) la conservation de l'alignement des segments axiaux lors de stimulations proprio-cervicales et (2) la déviation de l'espace égocentré dans la direction de cette stimulation. Autrement dit et pour conclure, dans certains contextes sensoriels notamment ceux discordants ou bien quand la composante d'équilibration de la posture n'est pas requise (certes exceptionnel), le système nerveux central interprèterait l'orientation posturale (selon Massion) de préférence dans la direction de l'allongement musculo-tendineux perçu, i.e. dans sens de la stimulation proprioceptive, tout en conservant la relation intersegmentaire inchangée. Dès lors, ce phénomène perceptif possédant une grande valeur heuristique aux ajustements posturaux observés dans ces situations corroborent pleinement l'existence d'une « chaîne proprioceptive » corporelle (voir illustration 2).

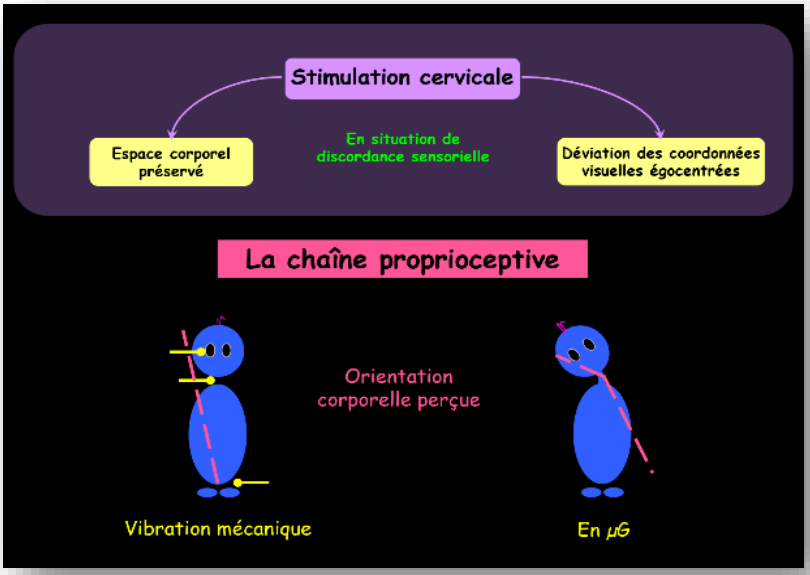


Illustration 2 : La chaine proprioceptive

Perception égocentrée & perception géocentrée : une filiation ?

Comme nous venons de le voir, les indices proprioceptifs, considérés initialement comme exclusivement consacrés à l'élaboration de l'espace corporel, semblent clairement participer à l'élaboration de notre perception d'orientation posturale (Massion, 1992), i.e. l'agencement de l'ensemble de notre corps dans l'espace gravitaire. Par ailleurs, rappelons que dans l'étude de 2007 [**Ceyte H, Cian C, Nougier V, Olivier I, Trousselard M. Role of gravity-based information on the orientation and localization of the perceived body midline. *Experimental Brain Research* 2007; 176:504-509**], nous avons pu faire la preuve de la participation d'indices graviceptifs dans nos perceptions égocentrées. Il apparait assez clair, à ce stade de nos investigations, qu'il existe des constituants partagés dans l'élaboration de nos perceptions égo- et géocentrée et bien que jusqu'alors, aucune étude n'ait pu mettre en évidence une relation fonctionnelle claire entre elles, la question quant à la nature de leur filiation reste entière.

« Absence of evidence is not evidence of absence. » Martin Rees (1971)

in Project Cyclops: A Design Study of a System for Detecting Extraterrestrial Intelligent Life by Bernard M. Oliver and John Billingham, Ch.2 : Life in the Universe, p.3

Les erreurs d'orientation géocentrée : une origine égocentrée ?

Il est connu dans la littérature, que lorsque l'ensemble du corps est incliné, la perception visuelle géocentrée est déviée du côté de l'inclinaison corporelle : ce phénomène perceptif est connu sous le nom d'effet Aubert. Les études ayant tenté d'explorer les mécanismes sous-jacents à cette déviation proposent comme explication une tendance de l'individu à sous-estimer son inclinaison corporelle associée à une lecture juste de l'espace Euclidien, i.e. de l'espace entre le corps et un objet réel ou imaginé de l'environnement. Cependant, van Beuzekom, Medendorp, & Van

Gisbergen (2001) montrent qu'effectivement les individus sont capables d'estimer correctement l'inclinaison d'objets visuels quand ils sont inclinés à moins de 45 degrés, mais, au-delà de cette inclinaison corporelle ils la sous-estiment. C'est pourquoi, à partir de ces résultats et de nos connaissances de l'effet d'une inclinaison corporelle sur notre perception visuelle d'orientation égocentrée, l'existence de l'effet Aubert pose la question de la part relative de la perception visuelle d'orientation égocentrée et de celle de l'espace Euclidien dans l'émergence de l'effet Aubert. En d'autres termes, est-ce qu'une personne objectivement inclinée à 60 degrés par rapport à la gravité est capable de produire un angle de 60 degrés à partir de, et entre, son axe corporel et le stimulus à orienter pour indiquer la direction gravitaire ?

Dans une étude publiée en 2009 [**Ceyte H, Trousselard M, Barraud PA, & Cian C. Influence of perceived egocentric coordinates on the Subjective Visual Vertical. Neuroscience Letters 2009;462(1):85-8**], nous avions voulu vérifier l'hypothèse alternative selon laquelle l'augmentation de l'effet Aubert avec l'inclinaison corporelle résulterait de l'association 1) d'une surestimation visuelle de l'orientation égocentré et 2) d'une sous-estimation de l'espace Euclidien égocentré. Afin de la vérifier, nous avons réalisé, auprès de 11 participants, 3 tâches perceptives dans différentes inclinaisons corporelles (30, 60 et 90 degrés). Dans l'une d'entre elles, la perception visuelle géocentrée a été évaluée en demandant aux participants d'ajuster en roulis une baguette lumineuse à la direction gravitaire apparente. Cette tâche est plus connue sous le nom de Verticale Visuelle Subjective (SVV). Dans une deuxième tâche, la perception visuelle d'orientation égocentrée a été évaluée de la même manière que les études précédemment présentées (Z-axe). Enfin, dans une troisième tâche, d'estimation angulaire, il a été demandé aux participants d'orienter en roulis une baguette lumineuse jusqu'à obtention d'un angle de 30, 60 ou 90 degrés entre leur axe-Z et le stimulus visuel, i.e. la baguette (Egocentric angle).

Comme illustrés sur la figure 16, les résultats ont montré une influence linéaire significative de l'inclinaison du corps pour les 3 tâches. Parallèles et séparées d'un écart à l'ordonnée, toutes les estimations semblaient être décalées dans la direction de l'inclinaison corps. Plus le corps est incliné, plus le participant surestime son inclinaison corporelle réelle (Z-axis) et plus la verticale gravitaire (SVV) est perçue vers l'inclinaison corporelle. De plus, les déviations géocentrées étaient toujours supérieures à celles égocentrés.

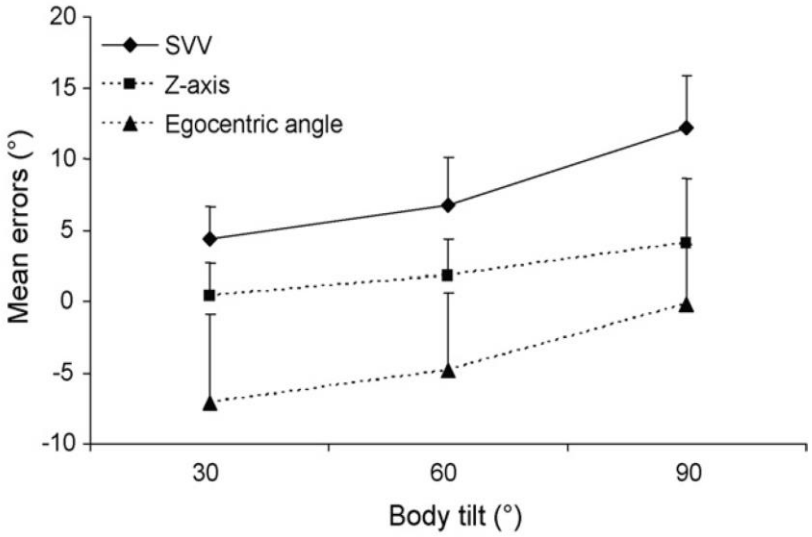


Figure 16 : Erreurs perceptives moyennes et écart-types (en degré) de la perception visuelle géocentrée (SVV), de l'axe Z (Z-axis) et de l'angle égocentrique (Egocentric angle) en fonction des inclinaisons corporelles (30, 60 et 90 degrés).

Par ailleurs, excepté pour l'inclinaison corporelle de 30 degrés, des corrélations significatives entre les 3 tâches ont été observées (voir table 1). D'une part, les participants sujets à l'effet Aubert le plus élevé sont ceux ayant le plus surestimé de l'orientation de leur axe Z. D'autre part, plus l'effet Aubert et la surestimation de l'axe Z perçu augmentent, moins les angles égocentrés produits sont surestimés.

Table 1 : Corrélations entre la verticale visuelle subjective (SVV), l'angle égocentrique et l'axe Z perçu en fonction de l'inclinaison du corps.

Body tilt	SVV/Egocentric angle	SVV/Z-axis	Egocentric angle/Z-axis
30°	−0.19	0.39	0.06
60°	−0.71*	0.64*	−0.57*
90°	−0.65*	0.76*	−0.68*

* $p < 0.05$

L'ensemble de ces résultats permet d'envisager une nouvelle interprétation de l'estimation géocentrée lorsque l'individu est incliné et une véritable valeur heuristique de nos perceptions égocentrées dans la déviation visuelle géocentrée, ce qui est en parfait accord avec les travaux précédemment exposés. L'effet Aubert serait le produit d'une surestimation de notre orientation visuelle égocentrée associée à une sous-estimation de notre espace Euclidien égocentré. Plus précisément, pour de faibles inclinaisons corporelles (30 degrés), l'effet Aubert est, avant tout, dû à la sous-estimation de l'espace Euclidien égocentré, alors que pour de forte inclinaison corporelle (jusqu'à 90 degrés), il est principalement dû à la surestimation de l'orientation visuelle égocentrée (voir illustration 3). Selon Appelle (1972), la diminution de la part de l'erreur due à la mauvaise perception égocentrée de l'espace Euclidien avec l'augmentation de l'inclinaison corporelle est due à une estimation plus précise des directions verticales et horizontales que celle des directions dites obliques.

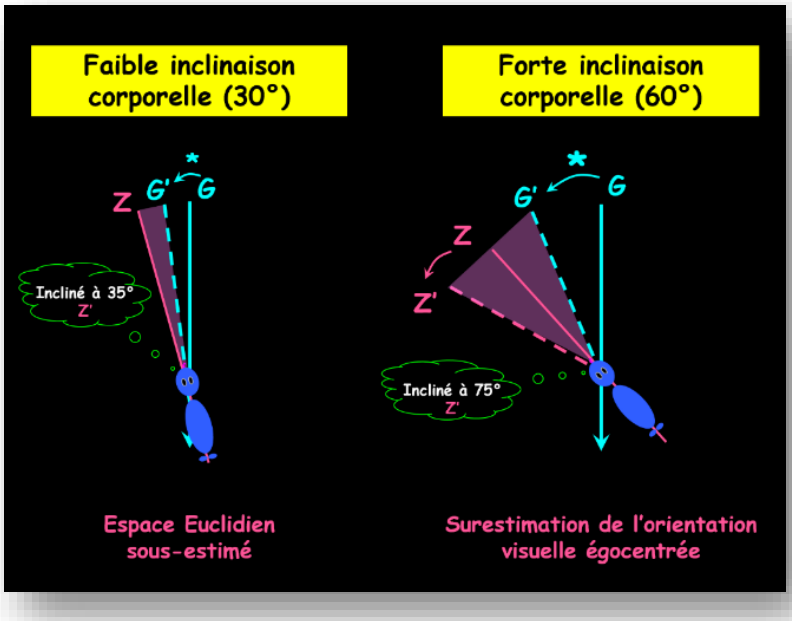


Illustration 3 : Scénarii de l'origine de l'effet Aubert (*) en fonction de l'amplitude de l'inclinaison corporelle. G : Verticale gravitaire ; G' : Verticale perçue ; Z : Orientation corporelle réelle ; Z' : Orientation égocentrée perçue ; surface rougeâtre : Espace Euclidien égocentré perçu.

Effet Aubert : un individu incliné, souhaitant orienter d'un objet à la verticale, aura tendance à ajuster l'objet vers lui, tout d'abord en raison de son incapacité à percevoir l'amplitude d'un petit angle, puis en raison de la surestimation de son inclinaison.

Pour conclure, nos résultats suggèrent que nos perceptions visuelles égocentrées (d'orientation et de l'espace Euclidien) sont impliquées dans notre perception visuelle géocentrée. Comme le supposaient certains auteurs sans jamais parvenir à le démontrer : "le référentiel égocentré a une importante valeur adaptative car les coordonnées égocentrées, toujours présentes voire immanentes, sont en quelque sorte tapies derrière les coordonnées exo-centrées" (Lackner & DiZio, 2005; Ohlmann, 1988).

Vers une modélisation exhaustive des perceptions spatiales ?

Cette filiation entre ces perceptions visuelles, pensée par Wade dès 1992, est présentée dans l'illustration 4. Ce modèle propose qu'en l'absence de cadre visuel structuré, les deux premières étapes correspondent à un codage de l'orientation de l'objet visuel en termes de coordonnées égocentrées. Le premier codage est réalisé au niveau rétino-centré, c'est-à-dire en coordonnées rétiniennes, qui ne permet pas de différencier l'inclinaison d'un objet visuel d'une inclinaison équivalente des méridiens rétiniens. Le second codage est réalisé au niveau céphalo-centré combinant les indices rétiniens et ceux extra-rétiniens, nommé dans le modèle de Wade codage égocentrique. Ici l'inclinaison d'un objet visuel ne peut être distinguée d'une inclinaison équivalente de la tête en sens inverse. Seule la prise en compte des indices graviceptifs de nature vestibulaire, renseignant sur l'orientation de la tête dans l'espace gravitaire terrestre, permet de répondre à cette ambiguïté.

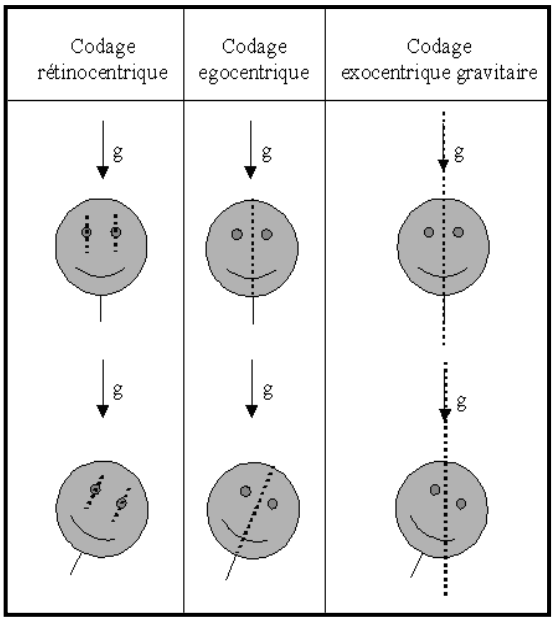


Illustration 4 : Modèle hiérarchique de l'orientation spatiale. La ligne pointillée représente l'axe du référentiel pris par l'observateur selon le niveau de codage. (D'après Wade, 1992).

Toutefois, à cette modélisation, il me semble important d'ajouter un niveau de codage intermédiaire entre celui « céphalo-centré » (nommé « codage égocentrique » par Wade) et celui « exocentrique gravitaire » (que je qualifierai de « géocentré »). Ce niveau intermédiaire pourrait être nommé « corps-centré », ou encore plus simplement « égocentré ». Il reprendrait le codage spatial réalisé au niveau de l'ensemble du corps, associant à tous les niveaux de codage précédents (« rétino- et céphalo-centré ») les indices proprio-cervicaux, qui renseignent l'alignement des segments axiaux, mais aussi ceux graviceptifs de nature somesthésique.

Perspectives de recherche

→ Influence d'un lestage gastrique sur la perception visuelle d'orientation égocentrée

Afin d'étayer cette proposition d'ajout d'un niveau de codage intermédiaire au modèle de Wade (1992) et ainsi de finir de vous convaincre quant à l'existence de cette filiation entre perception égocentrée et perception géocentrée, les travaux de Trousselard, Cian, Nougier, Pla, & Raphel (2003) et Trousselard, Barraud, Nougier, Raphel, & Cian (2004) ont montré que l'homogénéisation des indices cutanés de pression induit une augmentation de l'effet Aubert, alors que le lestage gastrique entraîne une diminution de cet effet. Les auteurs suggéraient à l'époque que l'augmentation de cette déviation visuelle géocentrée résulterait d'une altération de la perception visuelle de l'orientation égocentrée dans ce contexte de stimulation cutanée. Les résultats de l'étude publiée en 2007 [**Ceyte H, Cian C, Nougier V, Olivier I, Trousselard M. Role of gravity-based information on the orientation and localization of the perceived body midline. *Experimental Brain Research* 2007; 176:504-509**] étayent cette hypothèse, l'affinant même, en montrant une augmentation de la surestimation perceptive d'inclinaison de l'axe-Z lorsque les indices de pression étaient homogénéisés. Ces données vont dans le sens d'un parallélisme entre les déviations égo- et géocentrée, comme nous l'avons précédemment montré dans l'étude publiée en 2009 [**Ceyte H, Trousselard M, Barraud PA, & Cian C. Influence of perceived egocentric coordinates on the Subjective Visual Vertical. *Neuroscience Letters* 2009;462(1):85-8**]. Ainsi, les erreurs de transposition des coordonnées spatiales de l'objet visuel des référentiels égocentrés (rétino-, céphalo- et corps-centré) au référentiel géocentré contribueraient à l'apparition de l'effet Aubert.

Une étude intéressante serait d'étudier parallèlement l'effet des indices intéroceptifs dans les perceptions d'orientation égo- et géocentrée. Nous faisons l'hypothèse qu'un lestage gastrique aurait pour conséquence de réduire la surestimation perceptive d'inclinaison de l'axe-Z.

Conclusion

L'ensemble de ces travaux portant sur la problématique de l'élaboration de la perception spatiale égocentrée, nous avons permis de démontrer l'impérative nécessité (i) de respecter les appellations égocentrées en fonction de leur utilisation, (ii) de définir précisément l'origine des ajustements et (iii) de choisir le type d'ajustement correspondant à la dimension égocentrée que l'on souhaite évaluer. Cette rigueur me semble indispensable sans quoi d'inexorables erreurs d'interprétation dans l'activité perceptive de l'individu et, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, du comportement sous-jacent seront produites.

Nous avons pu également rendre compte de l'influence omniprésente de l'environnement dans chacune de nos perceptions spatiales notamment égocentrées et de sa singularité. Nos découvertes portent l'idée selon laquelle on ne peut analyser les perceptions de l'individu sans prendre en compte les forces qui s'appliquent sur lui. Sur le plan scientifique, l'analyse de l'activité humaine, qu'elle soit cognitive et/ou motrice, doit toujours être contextualisée sans quoi aucun transfert des connaissances ne sera possible ; sur le plan philosophique, cela sous-entend qu'on ne peut pas concevoir l'individu sans son environnement, ce qui reste encore trop souvent le cas dans les écrits.

Enfin, ces travaux ont pour la première fois mis à jour la relation fonctionnelle entre les perceptions égo- et géocentrées d'un même individu. Dès lors, il est tout à fait envisageable de concevoir que de nombreux troubles de la cognition spatiale et moteurs trouvent leur origine dans les perceptions erronées des espaces.

Recruté en octobre 2007 à l'Université Henri Poincaré de Nancy I, j'ai intégré l'UMR 7117 CNRS, laboratoire de Recherche en Histoire et Philosophie des Sciences - Archives H. Poincaré afin d'alimenter les thématiques du laboratoire en connaissances neuroscientifiques. A cette période, j'ai pu exposer mes travaux sur la perception des espaces au Collège de France, à l'occasion du centenaire de la naissance de Maurice Merleau-Ponty, en tant que conférencier-invité par les Professeurs Bernard Andrieu et Alain Berthoz [**Ceyte H, Cian C. Perception visuelle égocentrée : Origine de la perception visuelle de l'espace extra-corporel ? Le Corps en Acte, le 22 et 23 septembre 2008, Collège de France, Paris**].

Messages à retenir

- Contribution graviceptive différenciée dans l'élaboration perceptive de la localisation et de l'orientation égocentrée : nécessité de distinguer conceptuellement ces caractéristiques spatiales,
  - Participation des indices cutanés de pression dans la perception d'orientation égocentrée,
  - Participation des indices otolithiques dans la perception de la localisation égocentrée,
- Perception d'orientation égocentrée des segments axiaux dans la direction des stimulations proprio-cervicales,
- Additivité des contributions proprio-cervicales et graviceptives dans les perceptions égocentrées,
- Existence d'une chaîne proprioceptive parcourant l'ensemble du corps dont la stimulation provoque une déviation ipsilatérale de l'ensemble des coordonnées égocentrées,
- Impact des stimulations proprio-cervicales dans la perception d'orientation corporelle mais également dans les ajustements d'orientation corporelle.

- Impact de nos perceptions égocentrées dans la perception géocentrée,
- Incapacité à percevoir correctement la direction gravitaire en raison de mauvaises perceptions égocentrées,
- Une filiation des perceptions visuelles des orientations spatiales : rétino-, céphalo-, égo- et géocentrée ?

Perspectives de recherche

→ Influence du contexte visuel émotionnellement connoté sur la perception spatiale de l'environnement gravitaire

Une question qui m'anime depuis quelques temps concerne l'influence du contexte émotionnel sur notre perception spatiale. J'ai initié un projet de recherche sur cette question, en collaboration avec deux chercheurs d'Aix-Marseille Université Lionel Bringoux, Maître de Conférences - HDR et Gwenaelle Ceyte, jeune chercheure (UMR CNRS, Institut des Sciences du Mouvement Etienne Jules Marey), s'appuyant sur une littérature déjà riche. Selon Canon (1927), la réalisation de nos actions est modulée en permanence par le contexte émotionnel dans lequel elles se réalisent. Les émotions sont perçues comme des mécanismes de survie qui permettraient à l'Homme de mobiliser ses ressources afin de s'opposer, de combattre ou encore de fuir la situation présente, proposant ainsi les fondements de la théorie « FIGHT or FLIGHT ». Au-delà, dans un contexte émotionnel, Lang, Bradley, & Cuthbert (1997) ont proposé un modèle « de défense en cascade » à partir de l'évolution des réactions physiologiques (conductance électrodermale, rythme cardiaque et occurrence du réflexe de clignement des yeux) suggérant le passage d'un état attentionnel initial associé à une inhibition motrice vers une augmentation de la mobilisation de ressource pour permettre d'agir voire de réagir. Lang & Bradley (2013) ont proposé de lier ce dernier modèle aux comportements moteurs observés dans différents contextes émotionnels tels que ceux d'approche et d'évitement. De la même manière, la « théorie biphasique » (Lang et al., 1997; Lang, 1985) propose de concevoir que l'émotion est fondamentalement organisée autour de deux systèmes de motivation de base : le système appétitif et le système défensif ou aversif. Le système appétitif est activé dans un contexte plaisant, responsable d'un comportement d'approche, tandis que le système défensif l'est dans un contexte déplaisant, responsable d'un comportement d'évitement.

D'après la littérature, l'émotion peut être caractérisée suivant trois dimensions (Gil, 2009) : la valence désignant le caractère plaisant ou déplaisant d'une situation, l'éveil correspondant au degré d'activation qu'elle induit chez l'individu, et la dominance indiquant le sentiment de contrôle que l'individu perçoit

de la situation dans laquelle il se trouve. Selon Bradley, Codispoti, Cuthbert, & Lang (2001), le système de motivation activé dépend principalement de la valence et de l'éveil du contexte émotionnel. Le comportement moteur dans différents contextes émotionnels a fait l'objet de nombreuses études. La manipulation des caractéristiques émotionnelles du contexte visuel semble affecter significativement nos comportements posturo-locomoteurs. En effet, la littérature montre une augmentation du temps d'initiation du pas lorsque celui-ci est orienté vers des images déplaisantes par rapport à celui enregistré vers des images plaisantes (Gélat, Coudrat, & Le Pellec, 2011; Stins & Beek, 2011). Ce résultat émanerait d'un conflit émotionnel établi entre le comportement d'approche demandé par la tâche, se déplacer vers l'avant, faisant appel au système de motivation appétitif, et la valence négative du contexte visuel faisant appel au système de motivation défensif qui engendre naturellement un comportement d'évitement. Ce conflit émotionnel est également observable au cours des pas suivants. En effet, Naugle, Joyner, Hass, & Janelle (2010) montrent que la longueur des pas ainsi que leur vitesse d'exécution augmentent lorsque l'individu doit progresser vers un contexte visuel plaisant au fort niveau d'éveil, et inversement, la valeur de ces paramètres biomécaniques diminue lors de la réalisation de cette tâche locomotrice dans un contexte visuel déplaisant induisant le même niveau d'éveil.

Au niveau postural, Hillman, Rosengren, & Smith (2004) montrent uniquement des réactions posturales vers l'arrière chez les participants de sexe féminin lorsque celles-ci se trouvent face à un environnement visuel perçu comme déplaisant. Ces ajustements posturaux illustreraient des comportements d'évitement suggérant ainsi une suggestion émotionnelle au niveau postural plus forte des environnements déplaisants par rapport à ceux de valence opposée et ce uniquement chez les femmes. Dès lors, il semble que la plupart de nos comportements moteurs sont influencées par un contexte visuel connoté émotionnellement dans lequel se déroule l'action. Par ailleurs, de nombreuses études cliniques rapportent que les troubles posturo-locomoteurs de patients sont très souvent liés à des troubles de leur perception spatiale notamment de l'espace gravitaire, ce qui démontre, une fois de plus, que la production d'un comportement habile n'est possible que si l'individu perçoit correctement son environnement. Si le lien entre perception d'orientation spatiale et comportement

moteur, et celui entre contexte émotionnel et comportement moteur sont abondamment discutés dans la littérature, le lien entre contexte émotionnel et perception d'orientation de l'espace géocentré reste à étudier.

Ce projet de recherche a pour objectif d'analyser l'influence de contextes visuels connotés émotionnellement sur notre perception d'orientation gravitaire, composante fondamentale et structurant de nos ajustements posturo-locomoteurs. Deux études indépendantes seront proposées et pour chacune d'elles, les contextes visuels émotionnellement connotés seront issus d'une banque d'images dont la classification affective a été validée par les travaux de Lang & Brabley dans les années 1990 (les IAPS). Dans la première étude, nous chercherons à déterminer l'influence d'un contexte visuel émotionnellement connoté sur notre perception d'orientation géocentrée. Les participants seront assis et sanglé sur un siège solidaire à une plateforme horizontale dont l'inclinaison est contrôlée par un servo-mécanisme assisté par ordinateur. Initialement inclinée en tangage de façon aléatoire, ils devront réaligner, à une vitesse de rotation infraliminaire (non perceptible par les canaux semi-circulaires du système vestibulaire), leur inclinaison corporelle sur la direction gravitaire via l'utilisation d'une manette. Dans cette étude, nous pensons que la direction gravitaire sera perçue inclinée en avant de son orientation objective dans un contexte visuel plaisant, alors qu'elle sera perçue inclinée en arrière de son orientation objective dans un contexte visuel déplaisant. Dans la seconde étude, le participant assis et sanglé à un siège dont l'inclinaison en tangage, initialement alignée avec la direction gravitaire, sera progressivement modifiée, à une vitesse de rotation infraliminaire grâce à un servo-mécanisme assisté par ordinateur. Il sera demandé au participant d'indiquer lorsqu'il ne se percevra plus aligner avec la direction gravitaire (voir illustration 5).

Illustration 5 : Paradigme expérimental de l'étude 2

L'impact du caractère émotionnel du contexte visuel sur la perception d'inclinaison géocentrée sera évalué à partir de la mesure de l'amplitude de l'inclinaison corporelle du participant par rapport à la direction gravitaire lorsque celui-ci ne se percevra plus aligné avec cette dernière. Cette mesure nous permettra d'obtenir les seuils perceptifs de l'orientation gravitaire en fonction de la valence du contexte visuel et du chaque sens de déplacement du participant. Ainsi, l'amplitude et l'orientation du cône d'acceptation de la perception égocentrée en fonction du contexte émotionnel pourront êtré évaluées. Nous émettons l'hypothèse que la perception d'inclinaison corporelle géocentrée est fonction du sens de déplacements du participant. Si le participant est déplacé vers un contexte visuel perçu comme plaisant, sa perception de non-alignement corporel avec la direction gravitaire sera tardive, émanant de l'interaction émotionnelle congruente entre le déplacement passif du participant vers l'avant et l'activation du système de motivation appétitif menant une perception géocentrée de type « comportement d'approche ». Si le participant est déplacé vers un contexte visuel perçu comme déplaisant, sa perception de non-alignement corporel avec la direction gravitaire sera précoce, émanant de l'interaction émotionnelle non-congruente (un conflit émotionnel) entre le déplacement passif du participant vers l'avant et l'activation du système de motivation défensif menant une perception géocentrée de type « comportement d'évitement ». En revanche, si le participant est déplacé vers

l'arrière, i.e. éloigné passivement du contexte visuel émotionnellement connoté, sa perception de non-alignement corporel avec la direction gravitaire sera précoce face à un contexte visuel plaisant, émanant de l'interaction émotionnelle non-congruente entre le déplacement du participant vers l'arrière et l'activation du système de motivation appétitif menant une perception géocentrée de type « comportement d'approche ». Enfin si le contexte visuel est perçu comme déplaisant, sa perception de non-alignement corporel avec la direction gravitaire sera tardive, illustrant ainsi l'interaction émotionnelle congruente entre le déplacement passif du participant vers l'arrière et l'activation du système de motivation défensif menant une perception de type « comportement évitement ». On peut donc faire l'hypothèse d'une inclinaison vers l'arrière du cône d'acceptation des inclinaisons corporelles perçues comme alignées avec la direction gravitaire dans un contexte visuel déplaisant, i.e. répulsé par la scène visuelle alors qu'il serait incliné vers l'avant dans un contexte visuel plaisant, i.e. attiré par la scène visuelle.

❖ PERCEPTION SPATIALE OU UN PREALABLE AU COMPORTEMENT

Problématique « Discordances perceptives & Comportement moteur »

La compréhension des mécanismes perceptifs est un préalable à l'interprétation de l'ensemble des comportements, les plus évolués comme les plus élémentaires. Le mal des transports en est l'un des parfaits exemples. J'ai investi cette thématique de recherche quand j'étais membre du laboratoire Perception & Cognition des facteurs humains du Centre de Recherche du Service de Santé des Armées en collaboration avec le Département de Psychologie de l'Imperial College de Londres en 2008. Avec l'apparition de nouveaux modes de transport, tels que le train pendulaire, la voiture autonome, ... et de nouvelles technologies, telle que la réalité virtuelle, la fréquence d'apparition de ces troubles s'est drastiquement accrue, devenant aujourd'hui une véritable préoccupation de santé publique. L'étude des facteurs de susceptibilité à la cinétose, qu'ils soient liés à l'environnement ou à l'individu, constitue un véritable axe de recherche scientifique à l'intérêt grandissant, certains d'entre eux étant étudiés déjà depuis bien longtemps en raison de leur apport dans le dépistage précoce d'individus « sensibles », connaissance essentielle, par exemple, dans la sélection de personnels impliqués dans la manipulation de véhicules ou de navires (Kennedy, Lane, Berbaum, & Lilienthal, 1993). Aujourd'hui nos découvertes sur l'implication de ces facteurs dans l'apparition d'une cinétose doivent permettre d'améliorer le bien-être des usagers et des utilisateurs de technologies immersives dans leur quotidien.

La cinétose : une divergence cognitive

Le phénomène de mal des transports, connu depuis que l'homme se déplace, est extrêmement problématique pour le bien être des usagers des transports, et des utilisateurs de technologies immersives tels que les professionnels des mondes militaire, économique et de la santé, où elle a pris de plus en plus de place afin de limiter les coûts matériels pour la formation des personnels. L'appellation juste de cette pathologie est la cinétose et son niveau est positivement corrélé avec la réduction des performances cognitives de l'individu affecté (Gresty & Golding, 2009; Stanney,

Kingdon, Graeber, & Kennedy, 2002). Plusieurs théories explicatives tentent de rendre compte de l'origine ce phénomène. Certaines proposent que sa survenue soit due aux difficultés posturales de l'individu dans un contexte inhabituel (Stoffregen, 2011), d'autres qu'elle soit issue de difficultés d'interprétation d'indices sensoriels divergents en provenance de l'environnement. Quelle que soit la théorie choisie, il est communément accepté que le phénomène de cinétose correspond à un état d'inconfort en raison d'une divergence entre ce qui est perçu et ce qui est attendu par l'individu correspondant ainsi à une forme d'incapacité transitoire à se percevoir dans l'espace environnant. Originellement, cette pathologie survient lorsqu'un individu, se déplaçant dans l'espace physique, ne parvient plus à interpréter sa position en temps réel dans l'environnement. En situation immersive, l'origine du trouble perceptif provient de la relative passivité motrice de l'individu alors qu'il perçoit visuellement des déplacements. Dans ces deux contextes, l'individu peut ressentir transitoirement une sensation d'inconfort, une cinétose ou cybercinétose, qui se manifeste principalement par trois symptômes. Le plus commun et le plus contraignant est celui de la nausée. Il s'agit d'une activité gastro-intestinale inhabituelle, des sudations et une modification de l'afflux sanguin vers la peau visible par une pâleur (Yates, Catanzaro, Miller, & McCall, 2014). Elle peut conduire à des vomissements résultant d'un mécanisme de défense centrale (réflexe vomitif) à la situation de conflit sensoriel vécu. La production de neurotoxines induite conduit à l'activation de l'*area postrema,* localisé au niveau du tronc cérébral, responsable de ce réflexe afin d'expulser ces toxines. Un deuxième symptôme est celui de la désorientation spatiale. Les divergences d'interprétations sensorielles, ne permettant plus à l'individu de percevoir correctement son orientation corporelle relativement à l'environnement (Golding & Gresty, 2013), amènent l'individu à se percevoir rouler, s'incliner ou changer de direction. Le dernier symptôme est celui du vertige. L'individu se perçoit visuellement en mouvement, sans nul doute lié aux troubles oculomoteurs associés, ce qui le conduit à ressentir une forme d'instabilité posturale (Bisdorff, 2013; Ebenholtz, 1992).

Bien que nous ayons tous déjà connus cet état d'inconfort lors de nos déplacements réels ou simulés, il existe une susceptibilité à la cinétose extrêmement hétérogène entre les individus (Golding, 2006). Cette hétérogénéité dépend de différents facteurs intrinsèques et extrinsèques à l'individu. Ceux liés à l'individu sont qualifiés de facteurs humains. Parmi eux, la dépendance à la structuration visuelle de l'environnement parait centrale. En effet, dès 1975, Kennedy a montré que cette dépendance visuelle, i.e. l'importance que porte l'individu à l'environnement visuel dans lequel il se trouve pour s'orienter (Witkin & Goodenough, 1976, 1977, 1981; Witkin, Moore, Goodenough, & Cox, 1975), est positivement corrélée à la cinétose. Parmi les autres facteurs humains, le sexe semble discriminant, les femmes étant bien plus sensibles à la cinétose que les hommes (Shafer, Carbonara, & Korpi, 2017). D'autres études ont également montré qu'elles étaient généralement les plus dépendantes à la structuration visuelle de l'espace que leurs homologues masculins (Onyekuru, 2015). Il existerait une véritable interrelation entre les différents facteurs humains à la susceptibilité individuelle à la cinétose. Au-delà, l'apparition d'une cinétose et la sévérité de ses différents symptômes semblent également fortement dépendante de la situation vécue. Ces facteurs extrinsèques qualifiés d'environnementaux, incluent la chaleur ambiante, le confinement de l'espace, les odeurs, la luminosité et le contraste de la scène visuelle…

D'une manière générale, l'étude de l'ensemble de ces facteurs est particulièrement complexe en situation réelle et ce pour des raisons évidentes de maîtrise des stimulations environnementales qui s'abattent sur l'individu. Leur étude en laboratoire reste, encore actuellement, l'option la plus robuste, bien que le transfert des résultats obtenus vers la compréhension de la cinétose en situation réelle reste une opération complexe et souvent encore bien insatisfaisante. Deux situations de laboratoire existent : celles dites « en base fixe » où la surface-support reste totalement immobile pendant tout le temps de l'expérimentation, et celles dites « en base mobile » où la surface-support est source de stimulations du fait de ses mouvements.

- L'étude expérimentale de la cinétose en « base mobile »

Les études réalisées « en base mobile » imposent des stimulations de nature gravito-inertielle. Classiquement, l'individu, solidaire du support mis en mouvement ; ses déplacements sont perçus par ses systèmes vestibulaire et somatosensoriel. Habituellement, aucune stimulation visuelle n'est associée. Ce type de stimulation expérimentale provoque un état d'inconfort brutal. C'est exactement ce qui se produit dans les manèges ascensionnels, par exemple, où le corps est déplacé de manière non prévisible dans l'espace physique et les différentes stimulations perçues peuvent très aisément ne pas converger vers la même interprétation cognitive de la situation vécue (Dai, Sofroniou, Kunin, Raphan, & Cohen, 2010). Il existe de nombreux dispositifs expérimentaux « à base mobile ». Le plus connu, pour sa relative écologie, est le simulateur de bateau (motionship simulator). Un autre, très fréquemment utilisé, au fort pouvoir nauséogène puissant, est l'OVAR (Off Vertical Axis Rotation). Ici, on attache un participant sur un siège rotatif motorisé dans une salle totalement noire, puis on incline le siège d'environ 25 à 30 degrés par rapport à la verticale gravitaire. Le siège est alors mis en mouvement à une vitesse de rotation continue généralement choisie entre 30 et 120 degrés par seconde.

Effet du style perceptif et des conditions de luminosité

Bijveld, Bronstein, Golding, & Gresty, (2008) ont observé que certains participants montraient une meilleure tolérance à l'OVAR lorsqu'ils étaient testés dans une pièce éclairée comparativement à lorsqu'ils l'étaient dans l'obscurité, tandis que d'autres participants montraient des susceptibilités similaires dans les deux conditions de luminosité. D'après ces auteurs, cette hétérogénéité individuelle quant à l'utilisation des indices visuels pour résoudre la discordance sensorielle induite par l'OVAR serait liée à leur style perceptif (Kennedy, Dunlap, & Fowlkes, 1990). Plus précisément, les individus « dépendants » de la structuration visuelle de l'environnement (Witkin, Dyk, Fattuson, Goodenough, & Karp, 1962; Witkin & Goodenough, 1977) parviendraient à mieux

résoudre la situation vécue, voire ils feraient abstraction des autres stimulations inertielles, lorsque la vision de l'environnement est possible (Gresty, Waters, Bray, Bunday, & Golding, 2003). Cependant, dans leur étude, aucune mesure de la dépendance à la structuration visuelle n'a été faite. Par conséquent, l'objectif de notre étude publiée en 2011 [**Cian C, Olhmann T, Ceyte H, Golding JF, Gresty MA. Off Vertical Axis Rotation Motion Sickness and Field Dependence. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 2011;82(10):959-963**] était de reproduire l'expérience de Bijveld et al. (2008), en recherchant l'effet des styles cognitifs tels que ceux perceptifs (« dépendant » ou non à la structuration visuelle), et ceux dit égocentré et géocentré dans lesquels l'individu tend à percevoir les orientations de l'environnement, respectivement, par rapport à leur orientation corporelle ou à la direction de la force gravitaire, sur les susceptibilités individuelles à la cinétose induite par l'OVAR dans différentes conditions de luminosité.

Vingt-quatre participants ont subi un OVAR d'une inclinaison de 18 degrés à une vitesse de 72 degrés par seconde. Espacées de 5 jours, deux sessions expérimentales aux conditions de luminosité différente ont été testées : lumière et obscurité totale. Le participant devait verbaliser le niveau de son état d'inconfort toutes les minutes en utilisant une échelle de Likert composée de 6 échelons (Dichgans & Brandt, 1978) où la valeur 1 correspond à « aucun symptôme » et la valeur 6 à « la survenue de vomissements ». Tant que la valeur 4 n'était pas verbalisée, la rotation du participant se poursuivait et ce jusqu'à la fin du test soit pendant 20 minutes. L'évaluation de l'état d'inconfort des participants a continué chaque minute pendant 20 min après l'arrêt de l'OVAR. Avant et après les sessions expérimentales, la « dépendance » à la structuration visuelle et celle égocentrée ont été évaluées par l'utilisation du Rod and Frame Test (RFT) où le participant doit orienter à la direction gravitaire une baguette dans un environnement visuel où un cadre carré en périphérie est également visible. Lorsque le cadre est incliné, les erreurs d'ajustement de la baguette permettent d'évaluer la dépendance à la structuration visuelle du participant : si elles sont orientées vers l'inclinaison du cadre, les participants sont dits « dépendants visuels » et inversement. Les erreurs d'ajustement, lorsque la tête du participant était inclinée, permettait

d'évaluer la dépendance géocentrée / égocentrée de ceux précédemment qualifiés de « non dépendants visuels ». Si les erreurs sont orientées vers l'inclinaison de la tête, ces participants sont dits « dépendants égocentrés » sinon ils sont dits « dépendants géocentrés ».

Nos résultats ont montré que d'une manière générale les participants sont plus sensibles à l'OVAR en condition l'obscurité (11.1 ± 7.2 min) qu'en condition lumière (13.3 ± 6.8 min) et qu'il n'y a pas de différences significatives de retour à leur état initial entre les conditions, comme illustré sur la figure 17. Plus précisément, les participants « dépendants visuels » sont moins sensibles à l'OVAR en condition lumière qu'en condition obscurité. En revanche, ceux « dépendants égocentrés » le sont moins en condition obscurité. Dès lors, il semble crucial de prendre en compte les conditions de luminosité dans l'étude de la susceptibilité à la cinétose et, sans nul doute, dans la survenue des maux des transports observées dans la vie quotidienne. Toutefois, les prescriptions doivent être individualisées particulièrement en fonction du style cognitif de l'individu, i.e. à sa « dépendance » à la structuration visuelle de l'environnement ou à sa « dépendance » à l'orientation perçue de son propre corps.

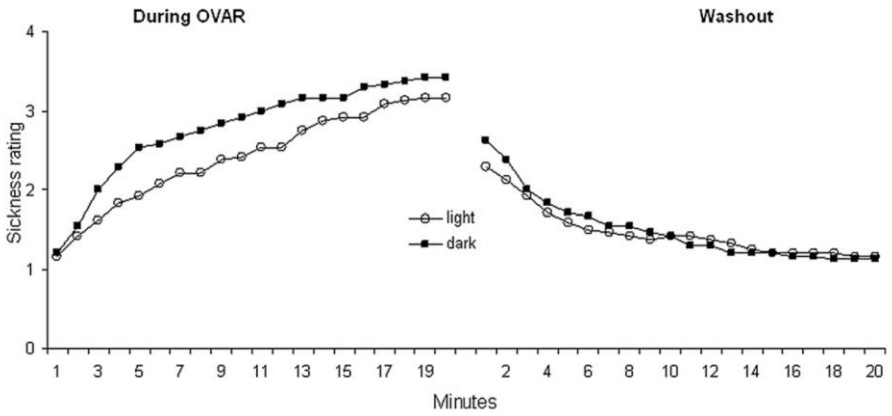


Figure 17 : Evolution de l'état d'inconfort pendant (During OVAR) et après (Washout) l'OVAR dans des conditions de lumière (light) et d'obscurité (dark) indépendamment du style cognitif des participants.

- L'étude expérimentale de la cinétose en « base fixe »

Lors de l'étude de la cinétose en « base fixe », l'état d'inconfort est induit visuellement (Visually Induced Motion Sickness : VIMS). Le participant est immergé dans un environnement virtuel grâce à l'utilisation d'écrans, comme dans un CAVE « Cube Automatic Virtual Environnement » (connu également sous l'appellation de Cube immersif 3D ou de voûte immersive), ou par le port d'un casque de réalité virtuelle. Dans un CAVE, l'ensemble du corps de l'individu est plongé dans la scène virtuelle alors que dans un casque de réalité virtuelle, l'immersion est localisée au niveau de la tête et pour que le corps soit intégré à la scène, le port de manettes ou d'une combinaison dont la position segmentaire dans l'espace est codée parallèlement, est nécessaire. Démocratisé au cours de ces dernières années, le casque de réalité virtuelle est devenu un véritable outil de nos activités quotidiennes personnelles (jeux-vidéos immersifs) mais aussi professionnelles comme celles commerciales, industrielles, ou encore formatrices en raison de la réduction des coûts environnants. Pourtant aujourd'hui, la croissance de cette technologie immersive est moins forte que celle initialement prévue et ce sans nul doute en raison de l'état d'inconfort induit lors de son utilisation : la cybercinétose (Rebenitsch & Owen, 2016). Cette dernière toucherait près de 45% des utilisateurs de casque de RV selon une étude d'Ubisoft. Encore négligé car sans doute mal compris, cet état d'inconfort restreindrait fortement l'accès à la réalité virtuelle à grand nombre d'entre nous limitant ainsi l'expansion du marché. En revanche, cette technologie portative, capable de simuler des environnements complexes, offre la possibilité d'étudier la cinétose induite visuellement dans un environnement contrôlé et personnalisé et au-delà les conséquences comportementales induites.

Impliquant les mêmes mécanismes que ceux à l'origine d'une cinétose, la cybercinétose résulte d'un trouble perceptif entre les mouvements visuellement suggérés par l'environnement virtuel et ceux réellement produits par l'individu. Cette discordance perceptive d'origine sensorielle favorise la survenue des principaux symptômes de la cinétose (les sensations de vertige, de

désorientation et de nausées) et parmi les facteurs humains influençant sa survenue, nous retrouvons ceux précédemment cités : la dépendance à la structuration visuelle de l'environnement et le sexe de l'individu. A ceux-là, la littérature propose d'ajouter le sentiment de présence et l'expérience aux jeux-vidéo. En effet, l'état d'inconfort induit par une cybercinétose est négativement corrélé avec le sentiment de présence de l'individu (Hecht & Reiner, 2007; Weech, Kenny, & Barnett-Cowan, 2019) et il l'est négativement avec son expérience aux jeux-vidéo. L'interrelation de ces facteurs (voir illustration 6) a été démontrée par différentes études montrant que l'expérience des jeux-vidéo semble améliorer le sentiment de présence lorsque le joueur a le contrôle sur son environnement (Gamito et al., 2010, 2008), que plus ce sentiment est important et plus la susceptibilité à la cybercinétose est réduite (De Leo, Diggs, Radici, & Mastaglio, 2014), que les femmes, jouant statistiquement moins aux jeux-vidéo que les hommes (ESA, 2016), sont moins sujettes au sentiment de présence (Felnhofer, Kothgassner, Beutl, Hlavacs, & Kryspin-Exner, 2012) et qu'elles montrent une susceptibilité à la cybercinétose plus importante que la gente masculine.

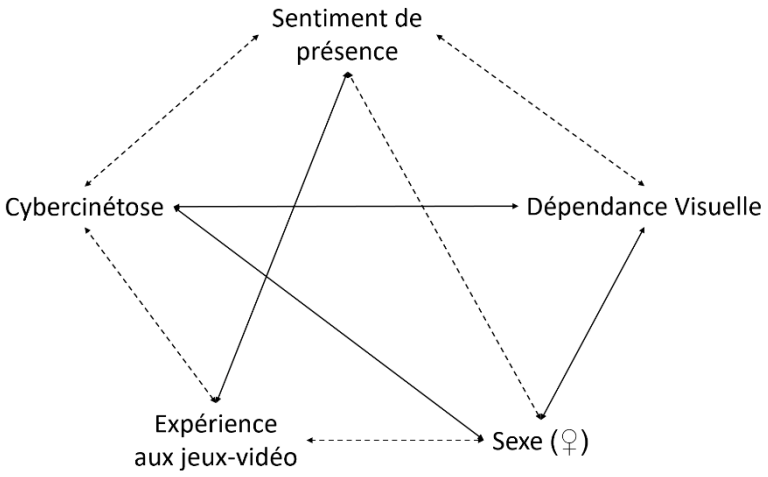


Illustration 6 : Facteurs humains influençant la survenue d'une cybercinétose. Les flèches en trait continu indiquent les corrélations positives entre les facteurs et en trait discontinu les corrélations négatives.

Au-delà de nos prédispositions personnelles, l'influence de l'environnement sur l'apparition cet état d'inconfort est également questionnée. Parmi les facteurs environnementaux, la perception des odeurs et particulièrement leur agréabilité, voire leur intensité, soumises à la subjectivité individuelle, pourraient en être un des facteurs prédictifs. L'étude de ce facteur olfactif dans la survenue d'une cinétose est grandement simplifiée par l'utilisation de la technologie immersive en laboratoire. Les travaux de Keshavarz, Stelzmann, Paillard, & Hecht (2015) sur cette problématique ont montré, d'une part, une corrélation positive entre la sensibilité olfactive des individus et leur niveau d'inconfort en réalité virtuelle et, d'autre part, une réduction de ce niveau d'inconfort lorsqu'une odeur agréable était perçue.

L'association odeur/couleur : un phénomène cross-modal

Par ailleurs, il est connu que les impressions olfactives peuvent inconsciemment modifier nos comportements, générer des émotions ou encore évoquer des souvenirs (Morrot, Brochet, & Dubourdieu, 2001). Comme nous l'avons déjà évoqué précédemment, en permanence et d'autant plus quand l'individu se trouve dans un contexte inhabituel, il met en relation différents indices sensoriels pour résoudre ces difficultés d'interprétation contextuelle : on parle de phénomène cross-modal. Dès lors, lorsqu'une odeur est difficilement reconnaissable, l'organisme va chercher à l'identifier via les autres indices sensoriels disponibles. Ceux de nature visuelle peuvent aider à cette reconnaissance et au-delà les évocations visuelles de l'odeur en question (Maric & Jacquot, 2013; Morrot et al., 2001). Grâce à cette complémentarité perceptive, la reconnaissance olfactive peut donc être visuellement facilitée (Gottfried & Dolan, 2003; Nehmé, Barbar, Maric, & Jacquot, 2016).

Parallèlement, certaines études montrent d'une part que l'intensité d'une odeur perçue est surévaluée quand elle est associée à une couleur considérée comme compatible (Nehmé et al., 2016) et d'autre part que la perception d'une odeur peut influencer le choix d'une couleur en

termes de clarté, de teinte et d'harmonie coloré (Maric & Jacquot, 2013). Ces associations odeur-couleur peuvent être issues d'un lien sémantique direct, établi à partir de l'omniprésence de leur couplage dans notre environnement quotidien et ce depuis l'enfance. Dès lors, l'expérience et la familiarité d'une odeur dans un contexte particulier a une importance cruciale dans sa détection et son interprétation (Dematte, Sanabria, & Spence, 2006). Toutefois, la constitution d'un lien sémantique odeur-couleur par apprentissage est également possible, on parle d'associations statistiques. Ici, il n'y a pas de lien sémantique direct mais la probabilité accrue de trouver une odeur et une couleur simultanément dans le même environnement. Dans ce cas, il peut y avoir la formation de liens spontanés entre une odeur et une couleur sans pour autant qu'on puisse comprendre aisément l'origine de cette association. D'un point de vue cortical, les associations odeur-couleur trouvent leur soubassement dans le partage de zones communes telle que le cortex orbitofrontal et l'hippocampe (Vedaei et al., 2013) et dans la constitution d'un réseau cortical par apprentissage. Connectées au thalamus et à l'hypothalamus, ces zones sont responsables de l'interprétation de l'agréabilité olfactive et visuelle (Gottfried & Dolan, 2003).

A partir de ces connaissances, la SAS MYRISSI, fondée en 2014, travaille sur le développement d'un traducteur sensoriel intelligent sur le lien émotions – couleurs – odeurs, a conçu des cartes colorées associant des couleurs spatialement organisées autour d'une couleur dominante (arrangements colorés) permettant d'évoquer de façon puissante des odeurs au niveau central chez l'individu sain contrairement à des photos d'élément connu pour leur odeur (voir illustration 7).

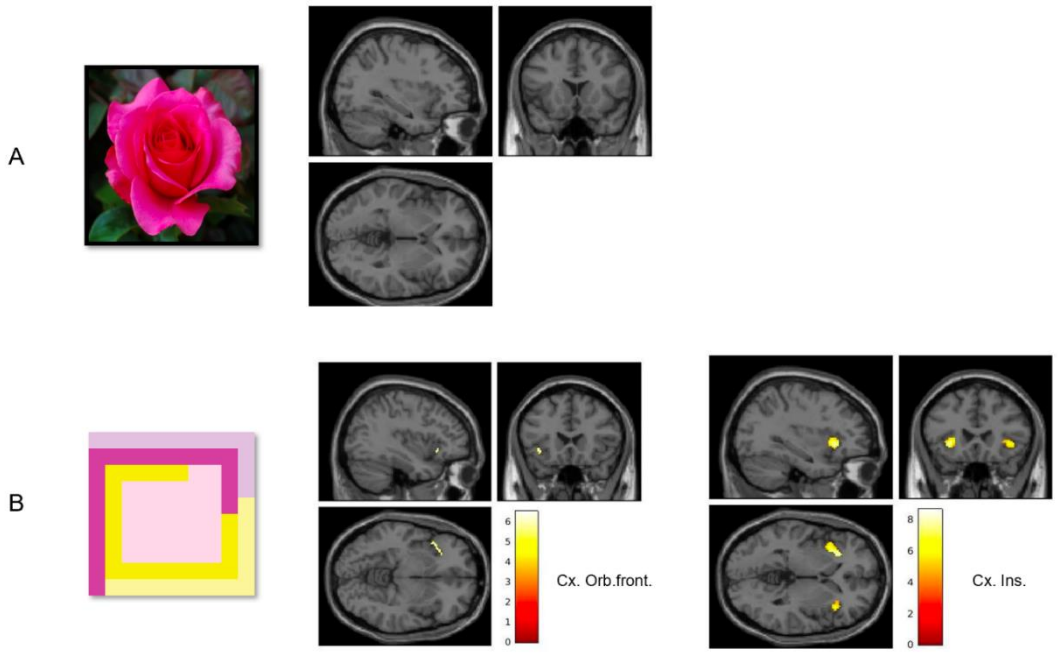


Illustration 7 : Activations du cortex orbitofrontal lors de la tâche d'imagination olfactive pendant la présentation d'une photo d'une rose (A) et d'un arrangement coloré de rose (B – Cx. Orb.front.). Activation du cortex insulaire lors de la tâche d'imagination olfactive pendant la présentation d'un arrangement coloré de rose (B – Cx. Orb. Insulaire.).

La validation de ces cartes a été réalisée par le laboratoire IADI UMR 947 de l'Université de Lorraine au cours d'expériences en IRMf chez 30 jeunes femmes en bonne santé (21,1 ± 1,9 ans), exemptes de pathologie neurologique. Elles avaient pour tâche de se concentrer sur l'odeur évoquée par des arrangements colorés présentées successivement face à elles. Pendant la présentation de ces arrangements, les résultats montrent des activations dans le cortex orbitofrontal gauche mais aussi de l'hippocampe bilatéralement, du cortex insulaire antérieur gauche et dans le cortex cingulaire antérieur gauche (voir illustration 8). En plus de ces activations, des activations très importantes ont été observées dans le cortex occipital et plus particulièrement dans l'aire visuelle secondaire et l'aire visuelle associative. Ces aires jouent un rôle dans le traitement complexe de l'information visuelle et l'intégration sensorielle et notamment la perception des couleurs. Ces activations cohérentes avec celles observées dans la littérature pendant des tâches d'olfaction directe suggèrent que les arrangements colorés conçus peuvent

suggérer efficacement des odeurs. De plus, ces activations, relatives à un arrangement coloré suggérant une odeur agréable, se situent dans l'hémisphère gauche, reflétant ainsi une réponse émotionnelle aux couleurs présentées et elles semblent cohérentes avec les résultats de précédentes études ayant montré que la perception d'odeurs agréables produit des activations dans le cortex obitofrontal gauche (McGlone, Österbauer, Dematte, & Spence, 2013).

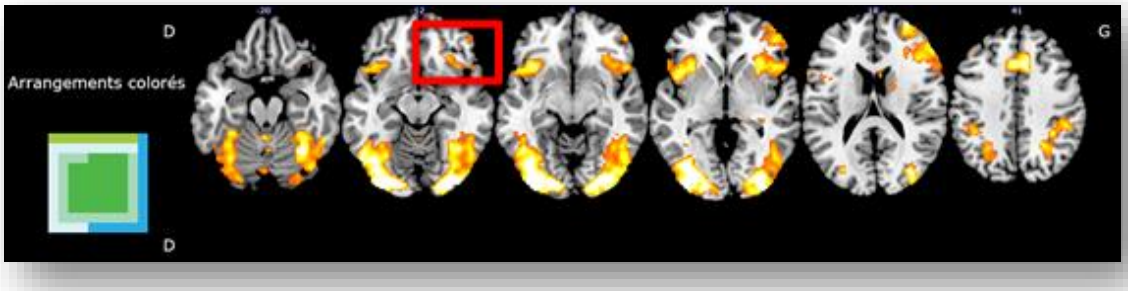


Illustration 8 : Activations du cortex orbitofrontal gauche, des deux hippocampes, du cortex insulaire antérieur gauche et dans le cortex cingulaire antérieur gauche lors de la présentation d'un arrangement coloré (à gauche de la figure).

Impact de la suggestivité olfactive induite par des arrangements colorés sur l'apparition d'une cybercinétose

Dès lors, l'association odeur-couleur via un phénomène cross-modal pourrait influencer l'apparition d'état d'inconfort dans des situations nauséogènes. Cette question a fait l'objet d'un travail de recherche très récent en collaboration avec Muriel Jacquot, Maître de Conférences de l'Université de Lorraine [**Schaeffer M, Fantin L, Vanini L, Jacquot M, Ceyte H. Peut-on moduler l'apparition d'un mal des transports via un arrangement coloré suggérant une odeur ? XVIIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive, les 28 et 31 Octobre 2019, ParisV. (Communication orale), article en rédaction**], dans lequel nous avons cherché à évaluer les effets de ces arrangements colorés, au fort pouvoir de suggestion d'agréabilité olfactive, sur une cinétose visuellement induite. Nous avions émis l'hypothèse qu'un

arrangement coloré suggérant une odeur agréable retarderait le temps d'apparition de la cybercinétose et diminuerait l'intensité de l'état d'inconfort pendant la stimulation nauséogène ainsi que les symptômes post-stimulation comparativement à un arrangement coloré suggérant une odeur désagréable.

En raison de la non-publication, à ce jour, du manuscrit relatant cette étude, j'ai intégré dans le développement de cette section des informations d'ordre méthodologique et statistique afin d'étayer mon argumentaire.

Parmi les 36 participants recrutés, 8 ont été sélectionnés (dont 6 femmes, 21.5 ± 1.7 ans) pour leur forte capacité à imaginer une odeur. Cette sélection a été faite sur la base de leur score respectif au Vividness of Olfactory Imagery Questionnaire (VOIQ) correspondant à une échelle en 5 échelons où la valeur 1 correspond à « odeur très vive » et la valeur 5 à une « odeur inexistante », le score moyen étant de 2.04 ± 0.54. Par la suite, ils ont réalisé quatre sessions en immersion virtuelle dans un environnement maritime aux caractéristiques nauséogènes : une session dite contrôle suivie de 3 sessions expérimentales, contrebalancées entre elles, où au centre de la scène visuelle était placé un arrangement coloré qu'ils ont préalablement et individuellement évalué comme suggérant soit une odeur agréable soit désagréable soit neutre (voir illustration 9). Cette évaluation d'agréabilité olfactive a été faite via l'échelle du Mannequin d'Auto-évaluation (Self-Assesment Manikin – SAM ; Gil, 2009) composée de 9 échelons où la valeur 0 correspond à « très désagréable » et la valeur 9 à « très agréable ». Cette même échelle a été utilisée pour évaluer l'intensité de l'odeur suggérée : la valeur 0 correspond à « très faible » et la valeur 9 à « très forte ». Pour chacune de ses sessions, les participants étaient assis confortablement et toutes les minutes, ils devaient verbaliser leur état d'inconfort via une échelle composée de 20 échelons (Fast Motion Sickness Scale) où la valeur 0 correspond à « aucun symptôme » et celle de 20 à un état « extrêmement inconfortable ». Tant que la valeur 16 n'était pas verbalisée par le participant, la simulation se poursuivait et ce jusqu'à la fin du test soit

pendant 14 minutes. Immédiatement après chaque session, les participants devaient remplir le questionnaire relatif au mal des simulateurs (Simulator Sickness Questionnaire – SSQ ; Kennedy et al., 1993) permettant d'évaluer 16 symptômes post-simulation à partir du choix de l'une des 4 cases qualifiant chaque symptôme de « aucun » à « sévère ». De plus, ils étaient examinés par l'expérimentateur à partir de l'échelle de Graybiel caractérisant 7 symptômes observables post-simulations chez le participant (nausées, pâleur, sudation, hypersalivation, somnolence, douleur, vertiges) dont l'intensité est évaluée à partir d'une échelle de 5 niveaux de valeurs différentes (Graybiel, Wood, Miller, & Cramer, 1968). Le score total de chacune de ces évaluations permettait de déterminer le niveau de l'état d'inconfort post-simulation global.

Illustration 9 : Environnement maritime virtuel aux caractéristiques nauséogènes au centre duquel peut être affiché un arrangement coloré suggérant une odeur agréable (A), neutre (B) ou désagréable (C).

Les résultats ne montrent aucun effet significatif de la session expérimentale sur le temps d'apparition de l'état d'inconfort [agréable : 13.13 ± 1.81 – désagréable : 12.25 ± 2.71 – neutre : 12.75 ± 2.38 ; $F(2,14)=1.76$; $p = 0.21$] et ni sur son niveau d'intensité maximale pendant la simulation [agréable : 10.25 ± 7.67 – désagréable : 12.25 ± 6.80 – neutre : 11.63 ± 6.91 ; $F(2,14) = 2.67$; $p = 0.10$]. En revanche, comme illustré sur la figure 18, ils montrent un effet principal du temps d'exposition à la simulation [$F(4,28) = 14.31$; $p < 0.001$], un effet principal de l'arrangement

coloré au pouvoir olfactif sur l'état d'inconfort ressenti pendant la simulation [F(2, 14) = 6.19 ; $p < 0.05$] et une absence d'effet d'interaction [F(8,56) = 1.72 ; $p = 0.11$]. Cela indique une diminution de l'intensité de l'état d'inconfort lors de la session agréable par rapport à la session désagréable (5.2 ± 3.45 vs. 7.64 ± 4.22 ; $p < 0.05$, respectivement agréable et désagréable).

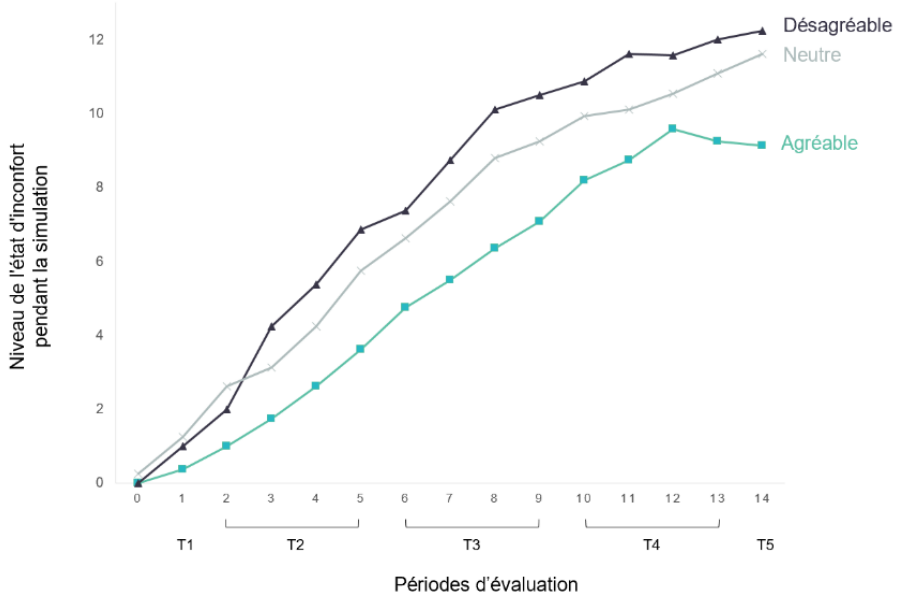


Figure 18 : Evolution du niveau moyen de l'état d'inconfort au cours de la simulation pour chaque session expérimentale.

De plus, comme illustré sur la figure 19, les scores moyens du niveau de l'état d'inconfort post-simulation, quels que soient l'évaluation [SSQ : F(2,14) = 5.81 ; $p < 0.05$ – Graybiel : F(2,14) = 7.67 ; $p < 0.05$], sont significativement inférieurs à l'issue de la session agréable à ceux obtenus à l'issue de la session désagréable (respectivement agréable et désagréable, SSQ : 58.91 ± 56.00 vs. 86.49 ± 51.81 ; $p < 0.05$ et Graybiel : 10.75 ± 10.01 vs. 19.38 ± 11.03 ; $p < 0.05$), et de la session neutre (SSQ : 83.21 ± 59.70 ; $p < 0.05$ – Graybiel : 16.75 ± 10.10 ; $p < 0.05$).

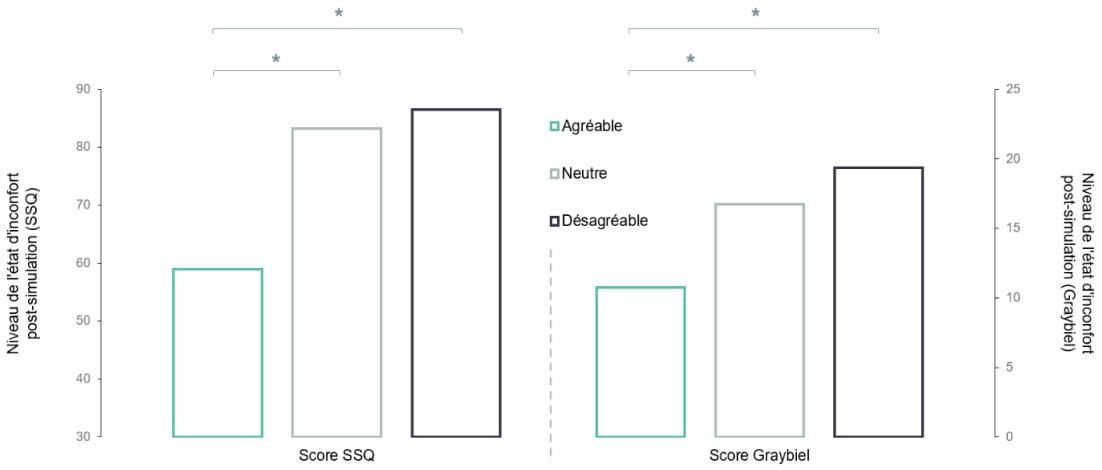


Figure 19 : Scores moyens du niveau de l'état d'inconfort post-simulation au SSQ et à l'échelle de Graybiel

Ce travail nous a permis de montrer une réduction du niveau de l'état d'inconfort visuellement induit et de la persistance des symptômes de cybercinétose dans un environnement visuel connoté olfactivement comme agréable par rapport à un environnement visuel suggérant une odeur désagréable voir sans connotation olfactive d'agréabilité.

Perspectives de recherche

→ Prise en compte des facteurs humains à la cybercinétose

Afin d'affiner ces découvertes, nous avons également distingué, dans ce travail, les participants sensibles à ce type de simulation nauséogène en réalité virtuelle de ceux qui le sont moins à partir du Motion Sickness Simulator Questionnary (MSSQ - Golding, 2006). Cependant, la prise en compte de ce facteur humain à partir de ce questionnaire ne semble pas suffisamment discriminante pour rendre de compte de cette susceptibilité à la cybercinétose. C'est pourquoi nous avons utilisé les résultats obtenus lors de la session contrôle pour regrouper notre participant en deux échantillons : sensible et peu sensible (voir figure 20). Bien que nos résultats préliminaires manquent de puissance statistique par manque d'effectif à ce jour, les tendances proposent une généralisation de l'effet de cette

association odeur-couleur perçue agréable sur la cybercinétose induite chez les individus capables d'imagination olfactive (voir figure 21). Ainsi, la première perspective directement en lien avec ce travail de recherche va être d'étoffer les inclusions en prenant en compte la susceptibilité à la cybercinétose de chaque participant mais leur style perceptif, leur sexe, leur expérience au jeux-vidéo et leur sentiment de présence. En effet, comme nous l'avons vu précédemment des différents facteurs humains pourraient être responsables de la variabilité de nos résultats dans des situations nauséogènes.

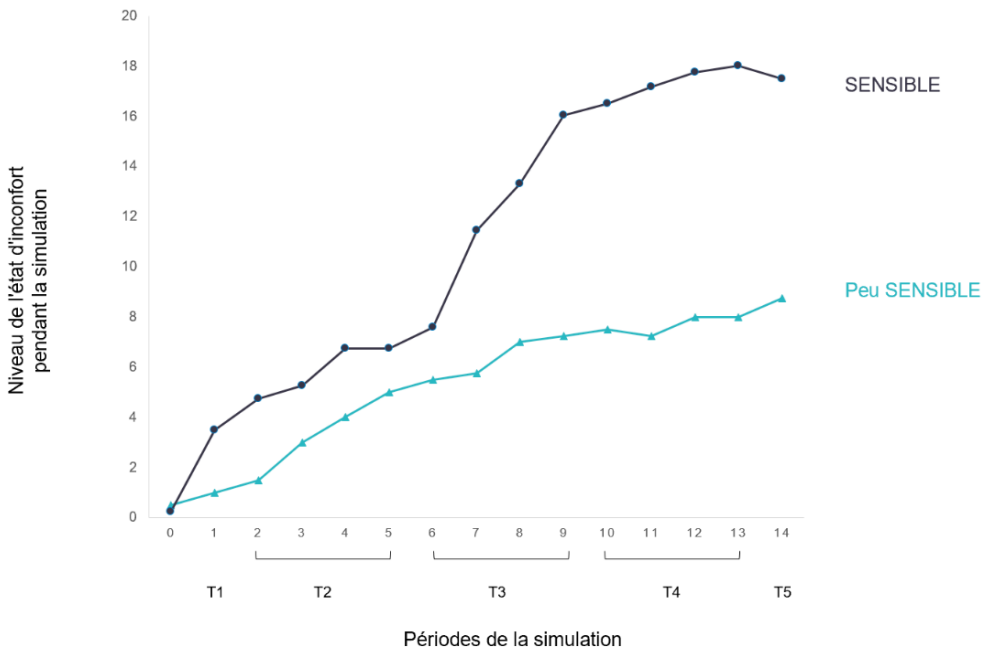


Figure 20 : Evolution du niveau moyen de l'état d'inconfort au cours de la simulation lors de la session Contrôle pour chaque groupe de sensibilité à la cybercinétose.

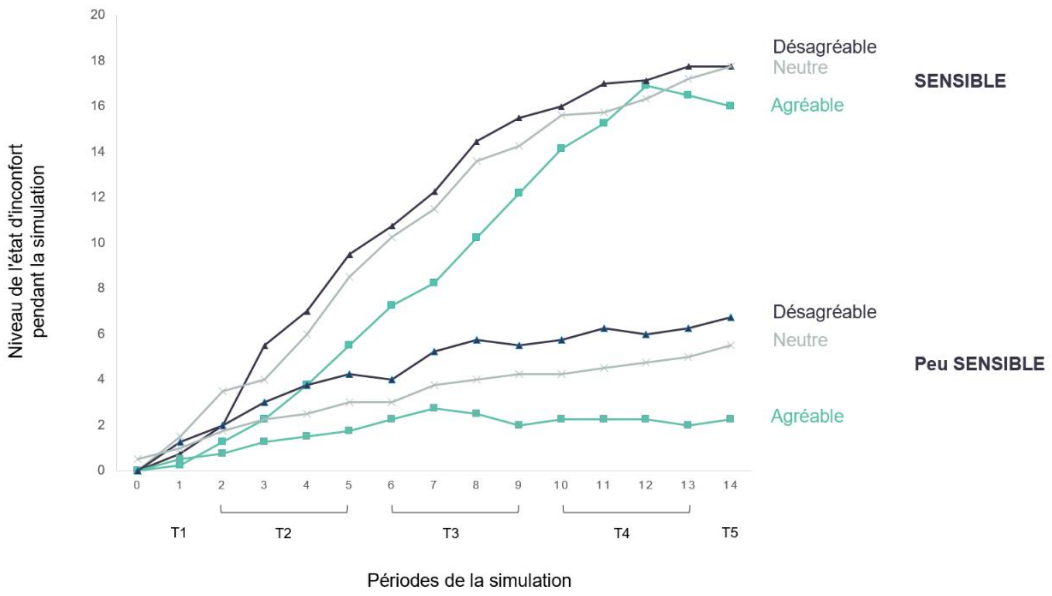


Figure 21 : Evolution du niveau moyen de l'état d'inconfort au cours de la simulation pour chaque session expérimentale en fonction de la sensibilité à la cybercinétose.

→ Inclusion des participants déclarés comme incapables d'imagination olfactive

Une autre perspective de recherche à cette problématique de l'impact du phénomène cross-modal visuo-olfactif sur la survenue d'une cybercinétose est l'universalité de cet impact c'est-à-dire également chez les individus évalués comme incapables d'imagination olfactive. Pour ce faire, non seulement nous comptons reproduire l'étude précédente en incluant ce type d'individus mais nous comptons également approfondir les travaux entrepris par l'équipe IADI UMR 947 via ma collaboration avec Gabriela Hossu sur les activations corticales induite par une imagination olfactive médiée par l'observation d'un arrangement coloré agréable. En effet, actuellement seuls des participants évalués comme capable d'imagination olfactive par le VOIQ ont été testés et si nous observons les mêmes activations corticales lors de la tâche d'imagination olfactive lors de la présentation des arrangements colorés chez les participants déclarés comme incapables d'imagination olfactive alors nous pourrons faire l'hypothèse de l'universalité des effets induit par le phénomène cross-modal visuo-olfactif.

→ Impact de l'agréabilité d'un arrangement coloré sur l'apparition d'une cinétose

Au-delà, dans la continuité de nos études sur les phénomènes cross-modaux influençant un état d'inconfort, j'ai le projet d'évaluer les effets du caractère agréable d'un environnement visuel sur la survenue d'une cybercinétose. Tout individu, en fonction de ses préférences, de son histoire et de son état fonctionnel, est susceptible à se retrouver dans un état d'inconfort dans son activité quotidienne et si on ajoute aux facteurs humains ceux environnementaux telles que ceux olfactifs, de confinement (souvent le cas dans les transports en commun), de chaleur… on peut se poser la question de l'impact de l'agréabilité de la colorimétrie des espaces ; j'en veux pour illustration l'évolution esthétique des revêtements intérieurs des moyens de transports collectifs parisiens comme présentée sur l'illustration 10. En effet, si nous arrivons à démontrer que l'agréabilité d'un environnement visuel participe à la modulation de l'état d'inconfort des utilisateurs de réalité virtuelle alors les perspectives d'application seraient illimitées afin d'améliorer le bien-être des utilisateurs des technologies immersives et voire au-delà des usagers des transports.

Illustration 10 : Intérieurs de rame de train du réseau Transilien (RER)

A partir de la méthodologie utilisée précédemment, je propose d'analyser l'effet de différentes agréabilités d'environnement visuel sur la survenue d'une cybercinétose et du niveau de chacun des principaux symptômes post-simulation. A la notion d'agréabilité sera associée à la notion d'harmonie colorimétrique correspondant à l'association et l'organisation spatiale de couleurs composant l'environnement visuel suivant sa teinte, i.e. ses couleurs (bleu, rouge, orange, vert, …), sa luminance, i.e. sa quantité de blanc et de noir, et sa saturation, i.e. sa quantité de gris (voir illustration 11).

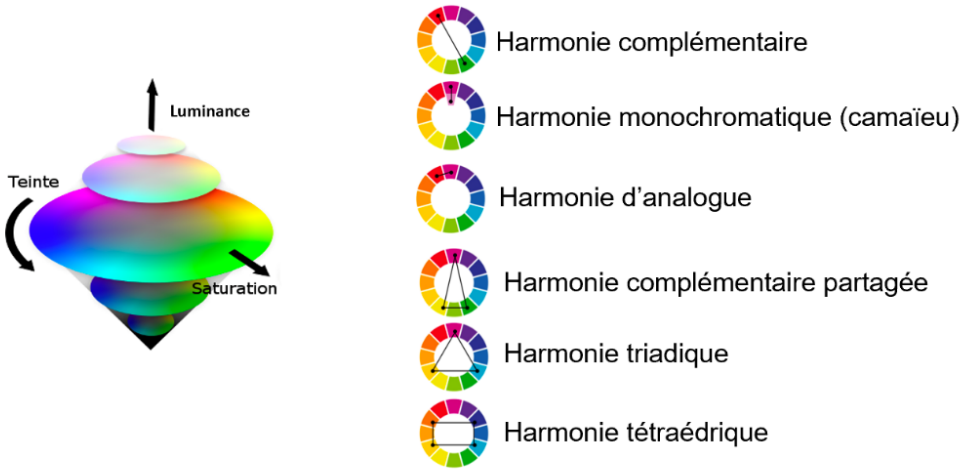


Illustration 11 : Les harmonies colorimétriques et ses dimensions : Teinte, luminance et saturation

En effet, dans un récent travail de recherche réalisé par Muriel Jacquot, l'harmonie des arrangements colorés impacterait sa valence émotionnelle. Autrement dit, la prédiction de l'agréabilité perçue pourrait être possible à partir de l'analyse de l'harmonie colorimétrique de l'environnement visuel (voir illustration 12). Bien évidemment, pour chaque individu inclus les facteurs humains précédemment exposés seront évalués préalablement afin de procéder à des analyses par co-variance et ainsi évaluer la pondération de chacun d'entre eux relativement.

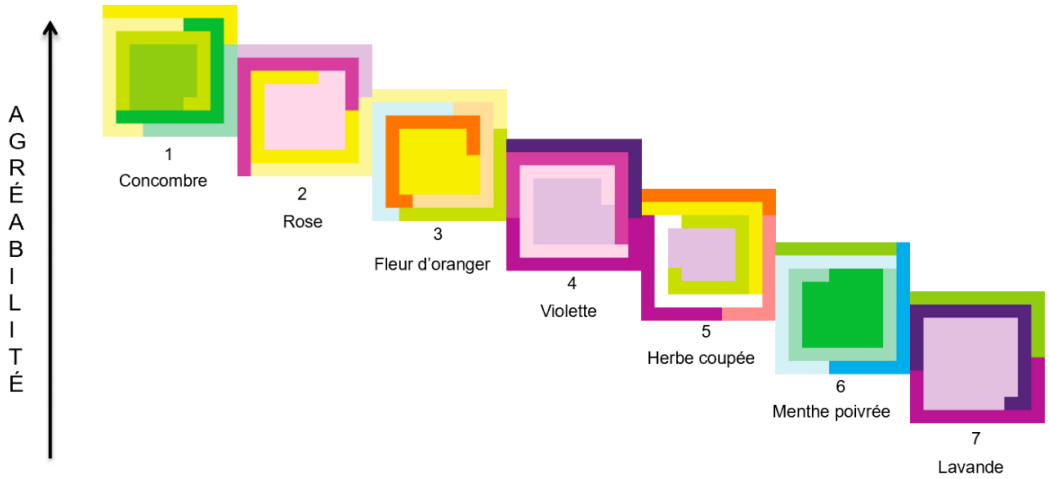


Illustration 12 : Evaluation comportementale sur 185 participants et via un modèle mathématique de l'agréabilité en fonction de l'harmonie colorimétrique

→ Développement d'une technologie innovante (IA) pour réduire les cybercinétoses et cinétoses

Aujourd'hui, tout le monde a entendu parler de réalité virtuelle voire de réalité augmentée bien que leur distinction soit souvent très mal comprise. L'expansion de ce marché a été fulgurant, l'International Data Corporation prévoyait des revenus mondiaux de plus de 162 milliards entre 2016 et 2020 avec un taux de croissance annuel de 181% lié au développement de ces technologies. Les analystes estiment qu'en 2022, 68% des dépenses de ce marché seront portées par les professionnels des secteurs de l'industrie, du tourisme, du commerce et de l'éducation. Dans le secteur de la Santé, ces dépenses devraient augmenter de +132%. Pourtant, la croissance actuellement est beaucoup moins forte que prévue. Plusieurs raisons expliquent cela : le prix des équipements, le poids de l'objet, l'état d'inconfort ressenti lors de leur utilisation. Dès lors, maîtriser les facteurs inducteurs de cybercinétose sera un véritable atout pour accompagner la croissance du marché et le développement de ces technologies innovantes.

Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'agréabilité olfactive de l'environnement voire son évocation via des arrangements colorés grâce au phénomène cross-modal visuo-olfactif pourraient participer à cet objectif cependant la maîtrise de l'environnement olfactif et notre capacité d'imagination olfactive sont choses complexes ; dès lors, l'utilisation du levier olfactif semble vaine. Dans l'hypothèse

que nous parvenions à observer un effet de l'harmonie colorimétrique des arrangements colorés sur l'état d'inconfort des utilisateurs de technologie immersive, mes collaborateurs (Gabriela Hossu, Ingénieure Recherche et Muriel Jacquot, Maître de Conférences – HDR, toutes deux de l'Université de Lorraine) et moi-même serions en mesure de développer la première technologie innovante capable de (1) prédire le caractère nauséogène des environnements visuels et (2) générer en temps réel des harmonies colorées adaptées au contexte et à l'individu afin de réduire l'inconfort dans les casques de réalité virtuelle, augmentant ainsi leurs durées d'utilisation.

Ce projet sera constitué de deux étapes principales. La 1ère consistera à établir un modèle de prédiction de l'harmonie colorimétrique des arrangements colorés à partir de l'organisation spatiale des couleurs suivant les 3 dimensions (teinte, luminance et saturation) dont nous connaissons l'agréabilité (la valence émotionnelle) grâce à nos travaux expérimentaux en IRMf et en stimulation nauséogène. De plus, ce modèle devra intégrer l'évaluation des facteurs humains connus pour influencer leur sensibilité à la cybercinétose tels que le sentiment de présence en réalité virtuelle de l'individu, son style perceptif, son expérience aux jeux-vidéo et son sexe. La 2nde étape consistera à apprendre à cette technologie les harmonies colorées à valence émotionnelle agréable en fonction des spécificités de l'individu afin d'appliquer l'harmonie colorimétrique optimale à l'environnement visuel dans lequel l'individu se trouve pour réduire l'état d'inconfort à venir. Ces deux étapes seront soumises à deux formes de validation, une de nature neuro-fonctionnelle (via une étude en IRMf) et une autre de nature expérimento-comportementale. Plus précisément, pour un même individu, nous vérifierons par imagerie que ce sont bien les mêmes voies centrales (l'insula ; le circuit limbique dont l'amygdale) qui sont activées lors de la présentation d'un environnement visuel préalablement jugé comme agréable que lorsqu'une harmonie colorée, proposée la technologie développée, y est appliquée. De plus, nous évaluerons le bénéfice induit par cette harmonie colorimétrique sur le niveau de cybercinétose de chaque individu en l'appliquant à un environnement visuel au pouvoir nauséogène connu préalablement.

La réalisation de ce projet en condition de laboratoire via l'utilisation d'outil immersif afin de générer artificiellement une cybercinétose n'est en aucun cas une limite ici. En effet, comme nous l'avons exposé précédemment, aujourd'hui les casques de réalité virtuelle font intégralement partie de notre

quotidien, et il est l'origine de la grande majorité des cybercinétoses. Dès lors, si notre hypothèse de travail est confirmée, l'application d'arrangement coloré harmonique pour l'utilisateur sous forme de filtre étendu à l'ensemble de l'environnement virtuel permettrait de réduire leur état d'inconfort et ainsi augmenter la durée d'utilisation de ses outils immersifs. Plus largement, être capable d'évaluer le pouvoir nauséogène d'un environnement visuel pour chaque individu et proposer des harmonies colorimétriques permettant d'en réduire sa nocivité trouvent de très nombreuses applications dans foule de secteurs susceptibles d'induire l'apparition de cinétose ou de cybercinétose, celui du jeu vidéo, mais aussi de la santé, du transport, de l'industrie, du tourisme… A terme, cette technologie pourrait aussi se retrouver dans nos déplacements de tous les jours via l'utilisation d'accessoires du futur tels que des lunettes basées sur la technologie de la réalité augmentée.

La réalisation de ces perspectives fera l'objet d'une proposition de projet doctoral que je souhaite porter avec Gabriela Hossu en collaboration avec Muriel Jacquot. Ce travail est actuellement amorcé notamment par l'intermédiaire de réunions d'échanges, préparatrices à l'établissement de projets communs où nous avons pu faire converger nos résultats respectifs dans la construction de cette problématique de recherche et par le recrutement d'un étudiant en Master 2, co-dirigé par Gabriela Hossu et moi-même, qui a participé au cours de son Master à la mise en évidence de l'impact de la suggestivité olfactive induite par des arrangements colorés sur l'apparition d'une cybercinétose.

Effet d'un ancrage visuel sur la survenue d'une cybercinétose

Lors de la survenue d'une cinétose, différents stratagèmes sont spontanément proposés à ceux affectés : le positionnement de la personne affectée à l'avant du véhicule, la centration et le contrôle de sa respiration comme méthode de relaxation, l'écoute de musiques plaisantes… Toutefois, les « recettes » pour réduire ce type d'état d'inconfort ou au mieux stabiliser son niveau sont souvent vouées à l'échec. Une piste, qui semble pertinente, serait d'utiliser des éléments directement accessibles dans l'environnement visuel. Cela rappelle l'une des propositions faites classiquement dont personne ne connait véritablement la validité mais qui est spontanément

adoptée par la plupart des personnes affectées : limiter les mouvements de tête et rechercher, loin devant eux, un point fixe dans l'horizon (Turner & Kendrick, 2003). Cette intuition s'avère efficace d'après certains résultats expérimentaux montrant un retard du temps d'apparition de la cinétose et une diminution de son intensité lorsque les individus fixent le point central d'un flux radial auquel il est soumis par rapport à la fixation de cibles excentrées (Diels, Ukai, & Howarth, 2007). Cependant, ce type de scène visuelle reste très expérimentale et très éloignée des stimulations visuelles d'un environnement écologique. Au cours d'un travail de recherche très récent [**Vanini L, Schaeffer M, Fantin L, Ceyte H. Effet d'un ancrage visuel fixe sur une cinétose maritime visuellement induite 2019**], dont les données méritent d'être encore complétées pour gagner de la puissance statistique, nous avons évalué les effets d'un ancrage visuel centré sur la survenue d'une cybercinétose lors de la simulation virtuelle d'un environnement maritime. Nous avions émis l'hypothèse que la fixation d'un ancrage visuel par les participants conduit à un retard du temps de survenue de la cybercinétose induite par ce type de simulation et une réduction de son niveau d'intensité et de ses symptômes post-simulation.

En raison de la non-publication, à ce jour, du manuscrit relatant cette étude, j'ai intégré dans le développement de cette section des informations d'ordre méthodologique et statistique descriptives (faible effectif) afin d'étayer mon argumentaire.

Onze participants (dont 7 femmes, 21.4 ± 1.3 ans), en position assise, équipés d'un casque de réalité virtuelle, étaient immergés dans un environnement maritime aux caractéristiques nauséogènes. Toutes les minutes, ils devaient verbaliser leur état d'inconfort via la Fast Motion Sickness Scale (précédemment décrite). Tant que la valeur 16 n'était pas verbalisée, la stimulation se poursuivait jusqu'à la fin de l'expérimentation soit 14 minutes. Chacun d'eux a réalisé deux sessions expérimentales, contrebalancées, l'une avec un ancrage visuel et une autre sans ancrage visuel. L'ancrage visuel correspondait à un carré de couleur gris (RVB : 125-125-125, de valence

émotionnelle neutre) couvrant 17% champ visuel, centré dans l'environnement maritime et il était asservi aux mouvements de la tête du participant. Immédiatement après chaque session, les participants remplissaient le SSQ (précédemment décrit).

Comme illustré sur la figure 22A, nos résultats montrent que le niveau moyen de l'intensité maximale de l'état d'inconfort pendant la simulation est moins élevé lors de la présence de l'ancrage visuel (8.00 ± 6.78) par rapport à celui obtenu sans ancrage visuel (11.18 ± 4.35), tout comme le score moyen au SSQ à l'issue de la simulation (60.86 ± 62.94 vs. 77.86 ± 52,09, respectivement avec et sans ancrage ; voir figure 22B). La date moyenne du niveau maximal de l'état d'inconfort semble retardée lors de la présence de l'ancrage visuel (11.00 ± 4.12 min vs 9.73 ± 2.83 min, respectivement avec et sans ancrage ; voir figure 22C). En revanche, la date d'occurrence moyenne de la cybercinétose ne semble pas différent entre les deux sessions (13.00 ± 2.32 vs. 12.36 ± 2,94, respectivement avec et sans ancrage ; voir figure 22D).

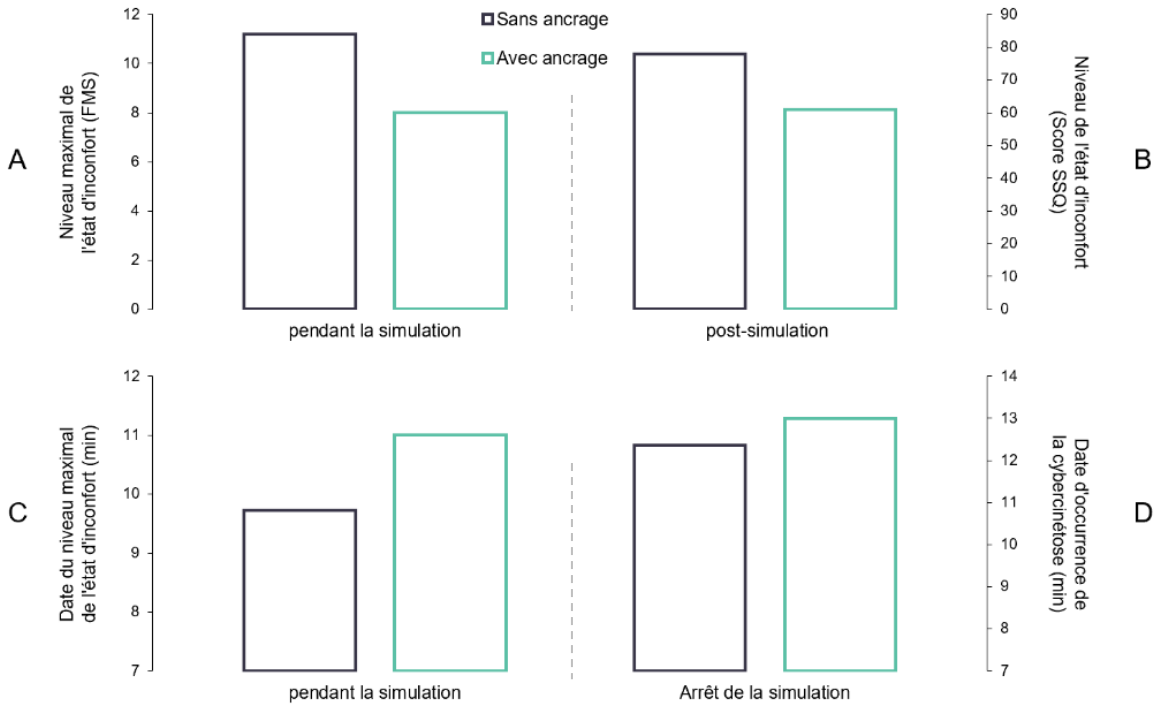


Figure 22 : A – Niveaux moyens de l'intensité maximale de l'état d'inconfort pendant la simulation ; B – Scores moyens du niveau de l'état d'inconfort post-simulation au SSQ ; C – Temps moyens de l'intensité maximale de l'état d'inconfort pendant la simulation (en min) ; D – Temps moyens d'apparition de l'état d'inconfort (en min)

La présence d'un ancrage visuel centré dans l'environnement maritime virtuel diminuerait le niveau et la date d'occurrence de l'intensité maximale de l'état d'inconfort de l'individu sans moduler le temps d'apparition de la cybercinétose. Le développement de ce type d'ancrage, centré par rapport à l'individu, dans les jeux-vidéo immersifs, par exemple, participerait à réduire l'état d'inconfort des adeptes de ces e-jeux, vecteur de nombreuses situations nauséogènes notamment quand ils sont réalisés en vue « première personne ».

Perspectives de recherche

→ Prise en compte des facteurs humains à la cybercinétose

Afin d'approfondir ces résultats, au-delà de la poursuite des inclusions, nous comptons distinguer les participants en fonction de leur sensibilité à ce type de simulation nauséogène. Et comme pour le projet précédent leur style perceptif, leur sexe, leur expérience au jeux-vidéo et leur sentiment de présence seront également relevés afin de s'assurer que ce stratagème fonctionne bien pour chacun des individus ou si ce n'est pas le cas déceler ceux pour lesquels il est efficace.

- Conséquences cognitives et comportementales d'une cinétose

Une question inhérente à cette problématique concerne les conséquences d'une cinétose chez l'Homme au-delà des trois symptômes : nausée, désorientation spatiale et vertige. En effet, la législation française actuelle impose aux conducteurs de véhicule déplaçant des personnes et même des biens ou autres denrées sur de long trajet un temps de récupération. Au-delà, le code de la route préconise à tout conducteur un temps de repos toutes les deux heures de conduite continue. Une part de cet état de fatigue résulte sans nul doute de l'abondance des stimulations sensorielles liés à aux déplacements. Toutefois, à ce stade ce qui me questionne concerne les conséquences cognitives et comportementales de ces stimulations lorsque celles-ci sont de

nature nauséogène. Est-ce qu'un état d'inconfort dû à une cinétose ou une cybercinétose peut être à l'origine d'un bouleversement dans la relation que l'individu à avec son environnement ? Dès lors si de tels effets sont objectivés, alors il sera fait la preuve d'une relation circulaire, intime chez l'Homme entre ses comportements moteurs et ses difficultés perceptives à comprendre sa situation vis-à-vis de son environnement.

Effet d'une situation nauséogène virtuelle sur le style perceptif

Au cours d'un travail très récent [**Fantin, Schaeffer, Vanini, Ceyte. Effet d'une situation nauséogène visuellement induite sur la dépendance visuelle. XVIIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive, les 28 et 31 Octobre 2019, ParisV. (Communication affichée), article en rédaction**], je me suis intéressé spécifiquement à l'effet d'une cybercinétose sur le style perceptif des individus, i.e. la manière dont il utilise les indices visuels spécifiant les caractéristiques statiques et dynamiques de l'environnement pour s'orienter et interagir efficacement avec lui. Classiquement, on qualifie de « dépendants visuels » les individus qui privilégient ces indices sensoriels aux autres disponibles, et « d'indépendants visuels » les autres individus (Barrett & Thornton, 1968). Mahboobin, Loughlin, Redfern, & Sparto (2005) ont montré une diminution de la pondération des indices visuels dans le contrôle postural lorsque ceux-ci sont perturbés par des scènes visuelles en mouvement aléatoire et persistant. L'objectif de cette étude était de déterminer l'effet d'une stimulation visuelle aléatoire, tel qu'un contexte virtuel nauséogène, sur la dépendance aux indices visuels statiques et dynamiques connus pour participer au contrôle postural. Une diminution de la dépendance visuelle était attendue à la suite de ce type de stimulation.

> En raison de la non-publication, à ce jour, du manuscrit relatant cette étude, j'ai intégré dans le développement de cette section des informations d'ordre méthodologique et statistique descriptives (faible effectif) afin d'étayer mon argumentaire.

Onze participants (21.2 ± 1.2 ans) en bonne santé ont été inclus par évaluation de la dépendance visuelle dans la perception géocentrée : 4 hommes et 7 femmes (21.2 ± 1.2 ans) dépendants aux indices visuels statiques et 4 hommes et 7 femmes (21.5 ± 1.4 ans) dépendants aux indices visuels dynamiques. L'évaluation de leur style perceptif pour chaque nature de l'indice visuel a été possible via la réalisation du Rod and Frame Test (RFT) renseignant sur la nature statique de l'indice visuel : Le participant avait pour consigne de replacer à la verticale gravitaire une baguette initialement inclinée (± 40 degrés) dans un cadre incliné à 28 degrés. Sa nature dynamique a été évaluée via la réalisation du Rod and Disc Test (RDT) par le participant : il devait là encore replacer à la verticale gravitaire une baguette initialement inclinée (± 40 degrés) mais au milieu de points se déplaçant suivant une trajectoire circulaire dans le plan fronto-parallèle à la vitesse 30 degrés par seconde. A l'issue de ces tests, 2 groupes ont été constitués pour chacune de ces évaluations en fonction des erreurs angulaires : ceux dépendants visuels (DV) et ceux indépendants (IDV). Pour le RFT, 3 hommes et 2 femmes ont été catégorisés comme dépendants visuels (RFT-DV) et 1 homme et 5 femmes comme indépendants visuels (RFT-IDV). Pour le RDT, 1 homme et 5 femmes ont été catégorisés comme dépendants visuels (RDT-DV) et 3 hommes et 2 femmes comme indépendants visuels (RDT-IDV).

A l'issue de ces évaluations, tous les participants, en position assise, la tête et le corps parallèles à la verticale gravitaire, équipés d'un casque de réalité virtuelle ont vécu une simulation virtuelle d'un environnement maritime aux caractéristiques nauséogène. Chaque minute, ils devaient verbaliser le niveau de leur état d'inconfort via la Fast Motion Sickness Scale. Tant que la valeur 16 n'était pas verbalisée, la simulation se poursuivait jusqu'à la fin de la simulation soit pendant 14 minutes. Immédiatement après l'arrêt de la simulation et leur évaluation de leurs symptômes post-simulation (SSQ), leur dépendance à la structuration visuelle statique ou dynamique était ré-évaluée.

Les résultats montrent que le caractère nauséogène de la simulation virtuelle ne semble pas différent entre les groupes et ce pour chacune des évaluations (respectivement moyenne ± écart-type : le niveau moyen de l'intensité maximale de l'état d'inconfort pendant la simulation, RFT-DV : 9.6 ± 7.6 vs. RFT-IDV : 11.8 ± 2.9; RDT-DV : 10.8 ± 5.9 vs. RDT-IDV : 8 ± 3.4 - le temps d'apparition de la cinétose, RFT-DV : 11 ± 2.6 min vs. RFT-IDV : 10 ± 3.5 min ; RDT-DV : 10.8 ± 2.9 min vs. RDT-IDV : 9.8 ± 3.1 min - le score de SSQ, RFT-DV : 42.6 ± 24 vs. RFT-IDV : 95.4 ± 55.4 ; RDT-DV : 85.4 ± 65 vs. RDT-IDV : 67.3 ± 60.2). Concernant les résultats du RFT, une très faible évolution des erreurs moyennes a été enregistrée suite à la simulation virtuelle nauséogène et ce pour les deux groupes (RFT-DV avant : 4.4 ± 1.9 degrés vs. après : 3.4 ± 1.3 degrés ; RFT-IDV avant : 1.7 ± 0.6 degrés vs. après : 2.22 ± 0.75 degrés ; voir figure 23A). En revanche, ceux du RDT ont montré une diminution des erreurs moyennes uniquement pour le groupe RDT-DV (avant : 8 ± 2.2 degrés vs. après : 6.4 ± 1.8 degrés ; RDT-IDV avant : 1.3 ± 1.3 degrés vs. après : 2.6 ± 3.7 degrés ; voir figure 23B).

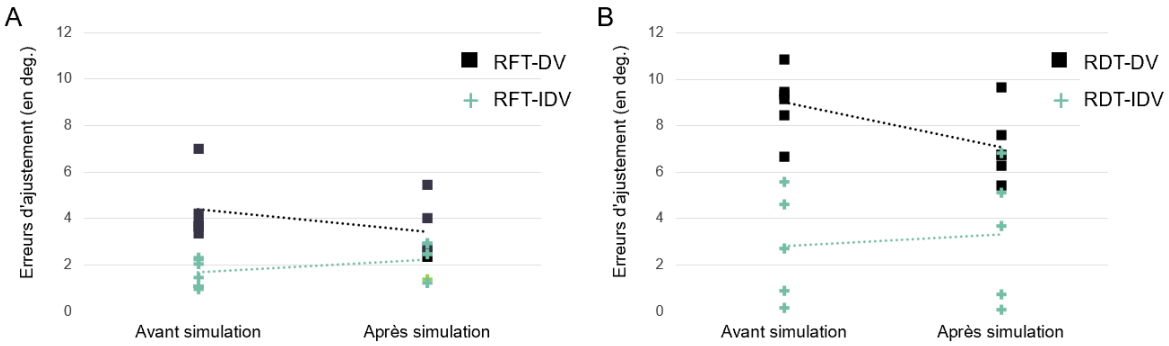


Figure 23 : Erreurs d'ajustement des groupes Dépendants (DV) et Indépendants (IDV) avant et après simulation nauséogène pour le RFT (A) et le RDT (B). Les courbes représentent les évolutions moyennes de chaque groupe.

Ces résultats préliminaires suggèrent qu'une stimulation visuelle nauséogène diminue la contribution des indices visuels, notamment dynamiques, dans la perception de la direction gravitaire chez les individus les plus dépendants. Ce résultat pourrait s'expliquer par le caractère

dynamique de la situation, son ambiguïté sensorielle (Pavlou et al., 2011) et sa nocivité. Il existerait une forme de plasticité de la pondération sensorielle en fonction du contexte visuel vécu pouvant impacter spécifiquement le niveau de dépendance aux indices visuels discordants, à l'origine de l'état d'inconfort de l'individu. Cette plasticité, induite par ce type de stimulation, laisse entrevoir de réelles pistes thérapeutiques pour les plus vulnérables de ces individus, souvent sujets aux risques de chute.

Perspectives de recherche

→ Poursuite des inclusions de participants

Afin d'asseoir nos découvertes, il conviendra de poursuivre les inclusions.

→ Effet d'une situation nauséogène virtuelle sur le comportement postural

Ces résultats préliminaires laissent penser que l'état d'inconfort induit par les situations nauséogènes puisse être à l'origine de modifications comportementales telles de véritables perturbations posturales comme semblent le suggérer les résultats de (Mahboobin et al., 2005). J'ai pour objectif d'évaluer le contrôle postural à partir de variables linéaires telles que la longueur totale de déplacement du centre de pression, la surface d'oscillation ou encore la vitesse moyenne de déplacement du centre de pression et de variables non linéaires telle que la sample entropie qui permettra de rendre compte du niveau cognitif de ce contrôle. Au-delà, ce type d'étude permettra d'informer les usagers des conséquences de leur état et de proposer de délais de récupération minimum pour certains professionnels soumis à des stimulations nauséogènes dans leur activité quotidienne.

Parallèlement à l'étude des facteurs influençant l'apparition de cinétose via l'outil immersif, la problématique relative à l'impact de cette technologie (immersive) sur la réalisation d'une tâche, et notamment sur sa performance, est réelle. En effet, aujourd'hui de plus en plus souvent utilisés pour diagnostiquer le comportement chez l'Homme, une connaissance réduite des facteurs humains inhérents à l'utilisation de casques de réalité virtuelle peut conduire à de véritables erreurs d'interprétations. Dans le monde de la clinique, un diagnotic erroné peut avoir de lourdes conséquences sur la prise en charge thérapeutique du patient. Dans un travail en cours de soumission [**Maneuvrier A, Ceyte H, Renaud P, Morello R, Decker LM. Men perform better on a virtual reality neuropsychological test: A paper-and-pencil vs. virtual reality analysis. (submited to Computers in Human Behavior)**], réalisé en collaboration avec Leslie Decker, Maitre de Conférences de l'Université de Caen-Normandie, nous avons comparé les performances au « Winsconsin Card Sorting Test » lorsque celui-ci est réalisé via un casque de réalité virtuelle et via la méthode classique « papier-crayon ». La performance cognitive obtenue avec l'outil immersif a été analysée en prenant en compte la cybercinétose induite, le sentiment de présence, la dépendance à la structuration visuelle de l'environnement, le sexe et l'expérience aux jeux-vidéo, tous considérés à fort impact sur la performance virtuelle. Bien que ce travail et nos découvertes ne soient pas plus exposés dans ce document en raison de son questionnement en périphérie de la problématique présentée ici, les craintes de la généralisation de la réalité virtuelle sans précaution, comme précédemment exposées, sont clairement objectivées.

- En bref…

THEMATIQUE Cybercinétose: facteurs environnementaux modulateurs & conséquences cognitves et comportementales	
COLLABORATRICES	**PARTENAIRE START-UP**
MCU-HDR Muriel Jacquot	SAS Myrissis
Ing. Rech. Gabriela Hossu	IADI UMR 947 de l'Université de Lorraine
PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES	
• Schaeffer M, Fantin L, Vanini L, Jacquot M, Ceyte H. Peut-on moduler l'apparition d'un mal des transports via un arrangement coloré suggérant une odeur ? XVIIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive, les 28 et 31 Octobre 2019, ParisV. (Communication orale) • Fantin L, Schaeffer M, Vanini L, Ceyte H. Effet d'une situation nauséogène visuellement induite sur la dépendance visuelle. XVIIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive, les 28 et 31 Octobre 2019, ParisV. (Communication affichée)	
ETUDIANTS ENCADRÉS	
• Schaeffer M. (Master 1 et 2) Peut-on moduler l'apparition d'une cinétose visuellement induite via un arrangement coloré suggérant une odeur ? (soutenu - communication orale à l'ACAPS 2019 – article en rédaction) ➔ Etudiant en 1er auteur et présentation orale en congrès de ce travail • Fantin L. Effet d'une stimulation nauséogène sur la Dépendance visuelle. (soutenu - communication affichée à l'ACAPS 2019 – article en rédaction) ➔ Etudiant en 1er auteur et présentation affichée en congrès de ce travail • Vanini L. Effet d'une structuration visuelle fixe sur l'apparition d'une cinétose induite par un environnement virtuel. (soutenu) • Alem A. Cinétose en base mobile. (soutenu)	

Messages à retenir

- Individu dépendant visuel : moins sensible à la cinétose dans un environnement visuel que dans l'obscurité,
- Individu centré sur son corps : moins sensible à la cinétose dans l'obcurité,
- Nécessité de prise en compte du style cognitif de l'individu dans l'analyse de sa susceptibilité à la cinétose : personnalisation des prescriptions.

- Evocations olfactives agréables via l'observation d'arrangements colorés réduisant une cybercinétose,
- Accentuation de ce phénomène d'influence crossmodal sur une cyberceinétose chez l'individu sensible aux situations nauséogènes,
- Réduction d'une cybercinétose grâce à la présence d'un ancrage visuel.

- Réduction de la dépendance visuelle aux indices environnementaux dynamiques consécutive à une exposition visuelle nauséogène.

Problématique « Troubles perceptifs & Comportement »

Au-delà de situations perceptives discordantes, parfois nous ne sommes pas dotés des « équipements » nécessaires, ou bien nous ne le sommes plus, pour percevoir correctement la véracité d'une situation. Dès lors, les conséquences des comportements moteurs que nous engageons dans notre environnement proche et lointain peuvent s'avérer problématiques et rendre compte d'une forme « d'inadaptation », voire d'inadaptabilité à celui-ci. Dès lors, soit nous sommes capables d'accéder à une perception « juste » de la situation, par des processus d'apprentissage, de réadaptation ou encore à la suite d'un traitement chirurgical, en vue d'interagir efficacement avec l'environnement, soit nous devons nous outiller pour y parvenir. A partir de mes connaissances sur les perceptions spatiales et leur élaboration sensorielle, j'ai investi une démarche translationnelle vers différents modèles de pathologie, facilitée par mon rattachement en 2013 à l'Equipe d'Accueil 3450 DevAH (« Développement, Adaptation, Handicap ») spécialisée dans l'étude posturo-locomotrice et notamment de ses mécanismes développementaux et d'adaptation consécutifs à des déficiences périphériques et centrales.

Le syndrome spatial unilatéral : un trouble de la perception spatiale

Le premier modèle pathologique, que j'ai entrepris d'étudier, est celui du syndrome de négligence spatiale unilatérale (NSU). J'avais, très rapidement au cours de mes travaux en recherche précédents, envisagé le transfert de ces découvertes vers le monde de la recherche clinique notamment celui sur les troubles de la cognition spatiale. Cette approche translationnelle a été rendue possible grâce à ma rencontre avec Jean-Marie Beis, Médecin-HDR de l'Institut Régional de Médecine Physique et de Réadaptation (IRR) avec qui j'ai encadré un stage de M2 et projète d'encadrer une thèse de médecine.

Fréquemment observé à la suite d'un accident vasculaire cérébral localisé au niveau de l'hémisphère droit, le syndrome de négligence spatiale unilatérale (NSU) correspond à un trouble singulier de l'utilisation et de la conscience de l'espace. De nombreux territoires corticaux sont atteints : le cortex pariétal postérieur (Vallar & Perani, 1986), la jonction temporo-pariétale médiane (Mort et al., 2003; Vallar, Antonucci, Guariglia, & Pizzamiglio, 1993) et le cortex temporal supérieur (Karnath, Ferber, & Himmelbach, 2001; Karnath, Berger, Küker, & Rorden, 2004). Connues pour être des zones de convergence et d'intégration multisensorielle, ces territoires sont impliqués à la fois dans l'orientation de l'attention (Corbetta & Shulman, 2002, 2011; Kristjánsson, Vuilleumier, Schwartz, Macaluso, & Driver, 2007; Ruff, Kristjánsson, & Driver, 2007) et dans les différentes formes de représentation de l'espace (Andersen, Snyder, Bradley, & Xing, 1997; Colby, 1998; Pouget & Driver, 2000). Ainsi, des lésions de ces territoires peuvent être à l'origine de troubles sévères attentionnels et spatiaux chez le patient atteint de NSU, tels que la perte de reconnaissance, d'orientation et de réaction appropriée à des stimuli localisés dans l'hémichamp controlésionnel (Danckert & Ferber, 2006; Driver & Mattingley, 1998). L'origine de ces troubles ne peut donc pas être attribuée à un disfonctionnement des fonctions de capture ou/et de transmission de l'information sensorielle au niveau cortical.

Les symptômes de la NSU, souvent associés à une hémiplégie controlésionnelle et à une anosognosie, ont été largement décrits dans la littérature, tant sur le versant comportemental (K. M. Heilman, Bowers, Coslett, Whelan, & Watson, 1985; Mattingley, Bradshaw, & Phillips, 1992) que sur le versant représentationnel des espaces (Bisiach & Luzzatti, 1978). Observés dans les espaces corporel, péricorporel et extracorporel, ils renseignent clairement sur les fonctions égocentrées des réseaux cérébraux atteints. En effet, l'évaluation visuelle (Karnath, 1994) et haptique (Chokron & Imbert, 1995; Kenneth M. Heilman, Bowers, & Watson, 1983; Richard, Honoré, Bernati, & Rousseaux, 2004; Saj et al., 2006) du « droit devant soi » chez les patients atteints de NSU gauche montre une déviation vers la droite de l'ensemble du système de coordonnées égocentrées (Karnath, Dick, & Konczak, 1997) qui se manifeste spontanément par

un déficit d'exploration de l'espace controlésionnel à l'origine de nombreuses incapacités et handicaps durables dans la vie quotidienne (Frassinetti, Angeli, Meneghello, Avanzi, & Làdavas, 2002; Wiart et al., 1997).

- Variété de traitements thérapeutiques

Les traitements classiques visent essentiellement à améliorer l'exploration visuelle de l'espace négligé et l'utilisation de stratégies de recherche visuelle compensatoire par des mouvements de saccades oculaires (Antonucci et al., 1995; Kerkhoff, 1998). De nombreuses propositions thérapeutiques sont mises en œuvre (pour une revue voir Luauté, Halligan, Rode, Rossetti, & Boisson, 2006) : certaines renforcent la sollicitation attentionnelle du patient (Robertson, Tegnér, Tham, Lo, & Nimmo-smith, 1995; Wilson, Manly, Coyle, & Robertson, 2000), d'autres utilisent différentes formes de manipulation sensorielle (Beis, André, Barre, & Paysant, 2001; Frassinetti et al., 2002; Kalra, Perez, Gupta, & Wittink, 1997; Karnath, 1996; Karnath, Christ, & Hartje, 1993; Pizzamiglio, Frasca, Guariglia, Incoccia, & Antonucci, 1990; Robertson, Hogg, & McMillan, 1998; Robertson, North, & Geggie, 1992; Rode & Perenin, 1994; Rossetti et al., 1998; Rubens, 1985; Samuel et al., 2000; Giuseppe Vallar, Guariglia, Magnotti, & Pizzamiglio, 1995; Wiart et al., 1997; Wilson et al., 2000). Ces protocoles thérapeutiques ont le même objectif : favoriser l'émergence et la persistance d'un comportement moteur approprié au contexte environnemental. Ils peuvent être catégorisés en deux types d'approche (Luauté et al., 2006) : l'approche « Top-Down » basée sur la prise de conscience par le patient lui-même de son déficit, correspondant à des tâches de repérage visuel, d'entraînement à l'examen visuel, ... qui agissent directement sur la représentation cognitive du patient, et l'approche « Bottom-Up » basée sur des manipulations sensorielles, correspondant à des tâches d'adaptation prismatique ou des stimulations sensorielles passives qui agissent directement sur la représentation sensorielle ou sensorimotrice). Quelle que soit l'approche choisie, peu de ces protocoles parviennent à montrer

un effet bénéfique persistant, et moins encore montrent une amélioration comportementale dans les activités quotidiennes du patient (Frassinetti et al., 2002; Kalra et al., 1997; Samuel et al., 2000; Wiart et al., 1997).

Parmi la dernière approche, les interventions par manipulation sensorielle semblent très attrayantes en raison de la faible exigence de coopération attendue de la part du patient relativement à l'approche « Top-Down », ce qui constitue un avantage thérapeutique important, en particulier lors des premières phases de la réadaptation (Johannsen, Ackermann, & Karnath, 2003). L'une d'entre elles correspond à un court protocole d'adaptation prismatique où le patient, équipé de lunettes aux verres déviant le champ visuel négligé vers la droite, doit réaliser de multiples mouvements rapides de pointage vers des cibles visuelles présentées face à lui (Frassinetti et al., 2002; Jacquin et al., 1998; Pisella, Rode, Farne, Tilikete, & Rossetti, 2006; Rossetti et al., 1998). A la suite de ce protocole d'adaptation visuo-motrice, les résultats aux tests cliniques et l'évaluation perceptive de la référence égocentrée montrent une nette diminution des symptômes de NSU (Danckert & Ferber, 2006; Redding & Wallace, 2006; Gilles Rode, Klos, Courtois-Jacquin, Rossetti, & Pisella, 2006; Saevarsson, Kristjánsson, Hildebrandt, & Halsband, 2009; Serino, Angeli, Frassinetti, & Làdavas, 2006). Selon Rossetti et al. (1998), cet « after-effect » perdurerait au moins 96 heures et influencerait également la réalisation d'activités quotidiennes telles que la conduite en fauteuil roulant (Jacquin-Courtois, Rode, Pisella, Boisson, & Rossetti, 2008; Pisella et al., 2006). Toutefois, cette adaptation comportementale nécessite la prise de conscience de la part du patient de l'écart existant entre la localisation visée par son bras et la localisation de la cible visuelle à atteindre. Un coût attentionnel important serait, dès lors, nécessaire chez le patient, ce qui limiteraient grandement la persistance de cet « after-effect » (Saevarsson et al., 2009).

Les stimulations proprio-cervicales par vibrations mécaniques unilatérales, quant à elles, au-delà de son absence d'invasivité et de sa simplicité d'utilisation, ont l'avantage d'induire d'étonnants et prometteurs résultats (H. -O. Karnath et al., 1993; Leplaideur et al., 2016; Saevarsson, Kristjánsson, & Halsband, 2010) indépendamment de l'implication attentionnelle du patient (Ceyte, Cian, Nougier, Olivier, & Roux, 2006; Guinet & Michel, 2013; Leplaideur et al., 2016), ce qui est un avantage certain pour la réhabilitation de ce type de troubles. Comme nous l'avons vu dans un chapitre précédent, les effets observés sont la conséquence d'une illusion kinesthésique de nature proprioceptive sur l'ensemble du système de coordonnées égocentrées : l'interprétation, au niveau central, du message fusorial, artificiellement généré, induirait une déviation systématique du « droit-devant-soi » vers le côté vibré (Ceyte et al., 2006; Jeannerod & Biguer, 1987; Karnath, Fetter, & Dichgans, 1996; Karnath, Reich, Rorden, Fetter, & Driver, 2002).

Méthodes de stimulations sensorielles combinées intégrant la stimulation proprio-cervicale

Par ailleurs, de nombreuses études montrent que la combinaison de différentes méthodes thérapeutiques induit les bénéfices thérapeutiques plus probants lorsque les effets individuels de celles-ci sont convergents (Kerkhoff, 2003; Luauté et al., 2006). La stimulation proprio-cervicale est, dès lors, un fabuleux candidat pour ce type de thérapeutique combinée (Karnath et al., 1993; Saevarsson et al., 2010). Schindler, Kerkhoff, Karnath, Keller, & Goldenberg (2002) l'ont associé à un entraînement d'exploration visuelle chez le patient atteint de NSU et ont montré une réduction durable de ses symptômes associés à une amélioration concomitante de ses activités quotidiennes. Cependant, dans leur étude, l'amélioration de ces activités était déclarative, i.e. mesurée uniquement à partir d'un questionnaire.

Dans un travail expérimental en attente de publication, en raison d'une démarche actuelle de dépôt de brevet [**Ceyte H, Caudron S, Beis J-M. Perceptual effects of protocol combining left neck-muscles vibration and voluntary visuomotor task: an intermodal updating? Article rédigé**

en attente de soumission pour cause de démarche BREVET], nous avons cherché à comparer les effets de différents protocoles d'intervention intégrant les stimulations proprio-cervicales sur la perception du « droit-devant-soi ». En effet, une analyse fine de la littérature utilisant ce type de stimulation laisse transparaître des contradictions importantes quant aux conditions d'utilisation de l'outil vibratoire. Biguer et al. (1988) suggèrent des déviations égocentrées plus importantes de la stimulation proprio-cervicale lorsque celle-ci est réalisée dans l'obscurité totale ; précisons qu'aucune activité, qu'elle soit motrice ou cognitive, n'a été demandé pendant ce temps de stimulations. Au-delà, l'utilisation de cette technique passivo-réparatrice en rééducation est pratiquée en pleine lumière et les patients, en position assise statique, sont autorisés à garder leurs yeux ouverts pendant la stimulation et parfois à échanger verbalement avec leur thérapeute (Johannsen et al., 2003). Enfin, comme nous l'avons exposé précédemment, certains auteurs défendent l'idée que l'association de ces stimulations proprio-cervicales à d'autres formes de stimulations induirait une optimisation des effets chez le patient atteint de NSU.

En raison de la non-publication, à ce jour, du manuscrit relatant cette étude, j'ai intégré dans le développement de cette section des informations d'ordre méthodologique et statistique afin d'étayer mon argumentaire.

Le choix de réaliser cette étude chez l'individu sain s'explique pour deux raisons essentielles : les difficultés d'accès et de recrutement de patients atteints de NSU et le fait que si les effets sont avérés chez l'individu sain, il y a de très fortes probabilités pour qu'ils soient augmentés chez le patient atteint de NSU comme cela est montré dans la littérature.

Afin de résoudre ces ambiguïtés voire ces contradictions issues de la littérature, 87 participants en bonne santé (dont 39 femmes ; 21.4 ± 2.2 ans) ont suivi pendant 15 minutes un protocole de stimulations. Les participants, en position assise, équipés d'un vibrateur mécanique au niveau du faisceau supérieur de chaque trapèze, avaient leur tête placée sur une mentonnière. Chacun d'entre eux a été réparti dans l'un des quatre groupes expérimentaux dont 3 d'entre eux étaient soumis à des stimulations vibratoires du trapèze gauche, à une amplitude de 300 µm et à une

fréquence de 100 Hz. Parmi ces 3 groupes, un groupe gardait les yeux fermés (n = 21 ; NV), un autre avait les yeux ouverts (n = 22 ; NV+V) et le 3ème devait, les yeux ouverts, pointer le plus rapidement possible, vers la cible allumée droit devant eux ou localisée à 10 ou 20 degrés à droite ou à gauche de leur « droit-devant-soi » (n = 24 ; NV+P). Le dernier groupe, dit contrôle (n = 20 ; P), devait réaliser les mêmes pointages que le groupe NV+P pendant les 15 minutes sans être proprioceptivement stimulé au niveau cervical. Les deux groupes NV+P et P ont réalisé 5 blocs de 50 pointages pendant le protocole d'intervention. Pour le groupe NV+P, la stimulation débutait 30 secondes avant l'allumage de la 1ère cible visuelle et perdurait le temps de la réalisation complète du bloc, soit environ pendant 2 minutes. Immédiatement après le dernier essai du bloc, la stimulation cessait pendant 30 secondes, puis reprenait comme précédemment. Le même schéma de stimulations proprio-cervicales a été appliqué pour les groupes NV et NV+V ; le même schéma temporel dans le déroulé des blocs de pointage a été appliqué pour le groupe P. Enfin, avant le protocole (pré), immédiatement après (post0) et 30 minutes après (post30), tous les participants ont réalisé un test de « droit-devant-soi », composé de 20 pointages, les plus rapides possible, les yeux fermés.

Les résultats montrent qu'avant le protocole (pré), le « droit-devant-soi » médian des participants n'était pas significativement différent [$H(3,N = 87) = 2.38$; $p = 0.50$] entre le groupe NV (M = 3.45 degrés ; IQR = 3.85), le groupe NV+V (M = 2.88 degrés ; IQR = 5.10), le groupe NV+P (M = 3.63 degrés ; IQR = 2.50) et le groupe P (M = 2.53 degrés; IQR = 4.50). Quel que soit le groupe d'appartenance, le « droit-devant-soi » médian est modifié de manière significative par le protocole d'intervention [χ^2 (N = 87, dl = 2) = 7.27 ; $p = 0.026$]. A pré, il est orienté vers la droite (M_{Pre} = 3.30 degrés ; IQR_{Pre} = 4.10), puis il a tendance à être légèrement dévié à gauche à post0 (M_{Post0} = 2.45 degrés ; IQR_{Post0} = 4.40 ; z = 2.25 ; $p = 0.024$) et à post30 (M_{Post30} = 2.50 degrés ; IQR_{Post30} = 4.85 ; z = 2.49 ; $p = 0.013$). Cependant, comme illustré sur la figure 24, seul le protocole NV+P a réellement contribué à ces résultats avec un effet significatif de la date du test sur le « droit-devant-soi » médian [χ^2 (N = 24, dl = 2) = 24.25 ; $p<0.001$]. Plus précisément, le « droit-

devant-soi » est significativement dévié à gauche à post0 (M = 1.43 degrés ; IQR = 2.13 ; z = 3.96 ; p<0.001) et à post30 (M = 2.00 degrés ; IQR = 2.83 ; z = 3.64 ; p < 0.001) par rapport à pré (M = 3.63 degrés ; IQR = 2.50). La différence entre le « droit-devant-soi » médian à post0 et à post30 n'a pas atteint le niveau de signification (z = 1,90 ; p = 0.057). À l'inverse, les trois autres protocoles n'influencent pas de manière significative le « droit-devant-soi » médian : respectivement pour le groupe NV [χ^2 (N = 21, dl = 2) = 2.57 ; p = 0.28], le groupe NV-V [χ^2 (N = 22, dl = 2) = 0.71 ; p = 0.70] et le groupe P [χ^2 (N = 20, dl = 2) = 0.70 ; p = 0.70].

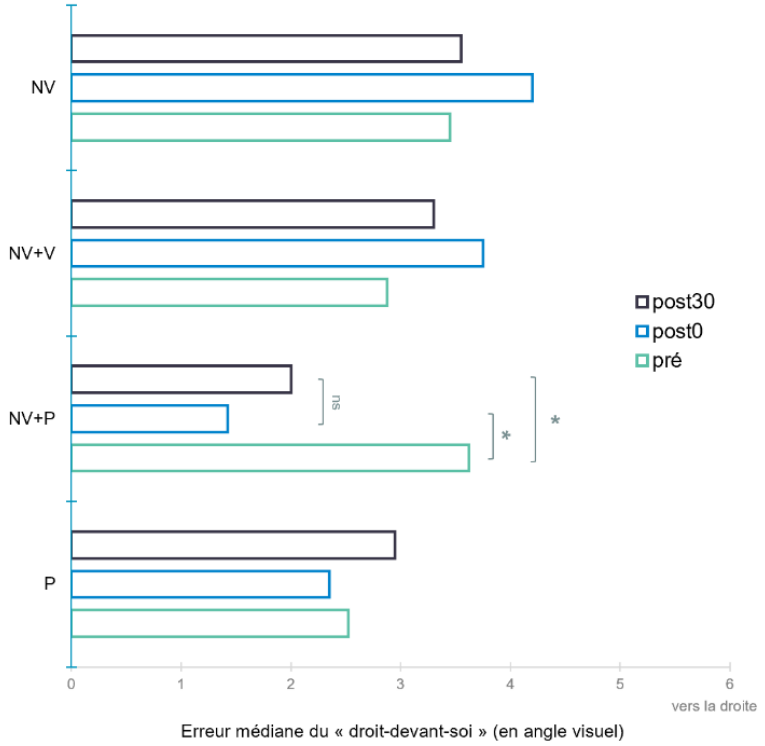


Figure 24 : Erreurs médianes du "droit-devant-soi" pour chaque groupe avant le protocole de stimulations (pré), immédiatement après (post0) et 30 minutes après (post30). * : p <0,001 ; ns : p > 0,05

Ces résultats, très prometteurs, confirment l'intérêt des protocoles d'intervention combinés par rapport aux protocoles d'intervention mono-structuraux, i.e. basés sur une seule forme de stimulation, sans que ceux-ci puissent être attribués au seul effet d'exercice de mouvement de bras. De plus, les déviations obtenues nous semblent d'excellentes augures dans l'optique de

l'utilisation de l'outil vibratoire chez le patient atteint de NSU dans son parcours de soin. En d'autres termes, le transfert de ces résultats vers le domaine de la réhabilitation de la NSU devrait permettre d'envisager l'intégration de cette méthode passivo-réparatrice totalement non-invasive dans la prise en charge thérapeutique classique de ces patients du fait de sa discrétion et de l'optimisation des effets qu'elle induit.

→ Alternative de durée de stimulations proprio-cervicales

Avant de transférer ce protocole de stimulation au niveau clinique, nous avons voulu tester, dans un travail de recherche très récent [**Favennec A, Caudron S, Ceyte H. Effets d'une stimulation vibratoire discontinue des muscles de la nuque sur la perception du droit devant soi. Données intégrées dans l'article en attente de soumission pour cause de démarche BREVET**], différentes durées de stimulations proprio-cervicales dans le protocole combiné précédemment testé. En raison des propriétés dynamiques des fibres afférentes Ia, on a émis l'hypothèse qu'une durée de stimulations proprio-cervicales plus courte entrainerait une déviation égocentrée de magnitude et de persistance au moins équivalentes à celle obtenue grâce aux stimulations précédemment effectuées.

Deux groupes de 9 participants ont réalisés cette étude : un groupe appelé Continue (dont 3 femmes ; 20,4 ± 1,4 ans) et un groupe appelé Pulse (dont 4 femmes ; 21,7 ± 1.9 ans). Les contraintes posturales étaient identiques à celle de l'étude précédente. Le groupe Continue réalisait le même protocole que le groupe NV+P de l'étude précédente, i.e. avec des périodes de stimulations de 2 minutes entrelacées de pause de 1 minute, et le groupe Pulse réalisait le même type de protocole mais avec des stimulations proprio-cervicales d'une durée de 9 secondes entrelacées de pauses de 6 secondes. Le même nombre de pointages était réalisé par les deux groupes. L'évaluation du « droit-devant-soi » a été effectuée avant le protocole (pré), immédiatement après (post0) et 30 minutes après (post30). Les résultats concernant les « post-effects » (la différence entre les erreurs perceptives au temps post et celles au temps pré) ne

montrent aucune différence significative entre les protocoles à post0 et à post30 (voir figure 25). Cela indique ainsi qu'un protocole combinant des stimulations proprio-cervicales très courtes et des mouvements volontaires simples est aussi efficace que le protocole initialement proposé. Dès lors, il pourrait être une alternative sérieuse pour l'application de notre proposition thérapeutique chez le patient atteint de NSU déclarant un inconfort face à ce type de stimulations.

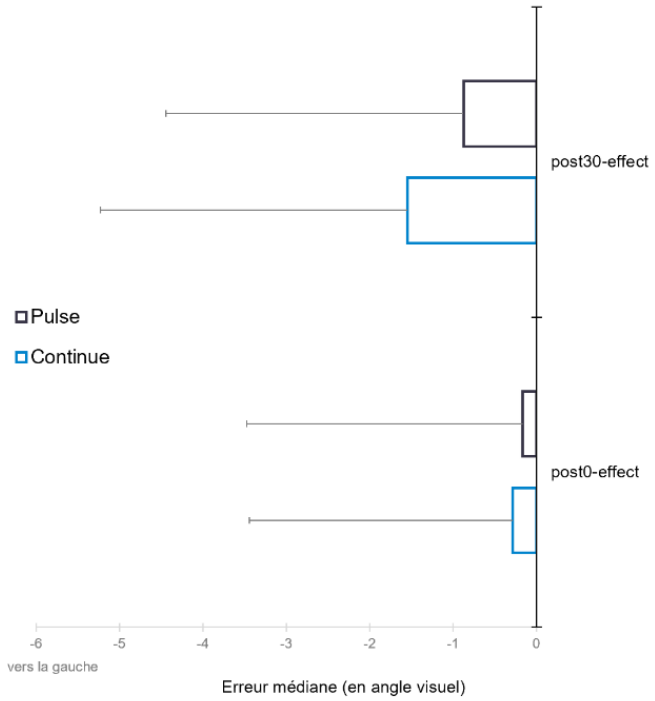


Figure 25 : Effet moyen de la stimulation proprio-cervicale sur le "droit-devant-soi" pour les groupes Continue et Pulse immédiatement après le protocole (post0-effect) et 30 minutes après (post30-effect).

Améliorations durables de la négligence spatiale gauche à la suite d'un protocole associant vibration proprio-cervicales et mouvements volontaires des bras

Dès lors, l'application de notre protocole combinant stimulations proprio-cervicales et mouvements simples du quotidien chez le patient atteint de NSU gauche s'est imposé à nous. Dans une étude publiée en 2018 [**Ceyte H, Beis J-M, Simon M, Rémy A, Anxionnat R, Paysan J, Caudron, S. Lasting improvements in left spatial neglect following a protocol combining neck-**

muscle vibration and voluntary arm movements: a case-study. *Disability and Rehabilitation* 2018 ; 22:1-9], nous avons cherché à évaluer les effets de ce protocole combiné et leurs persistances sur les performances cliniques, perceptive égocentrée et locomotrice d'un patient. Celui-ci ne se déplaçant uniquement qu'en fauteuil roulant, sa conduite a alors été considérée comme un marqueur de son autonomie. Outre les effets attendus d'une déviation à gauche de son « droit devant soi » à la suite du protocole combiné et d'une généralisation de ce « post-effect » sur sa performance de conduite en fauteuil, l'hypothèse de la persistance de ces améliorations a été envisagée sur le principe d'une plasticité cérébrale, phénomène largement proposée pour expliquer les persistances des effets obtenus lors de protocole manipulant les indices sensoriels chez ces patients.

Pendant 15 minutes, le patient avait pour tâche d'effectuer des mouvements de pointage vers la cible allumée face à lui, comme nous l'avons présenté dans les études précédentes. De plus, une diode était placée sur son index « pointeur » afin qu'il puisse voir le trajet moteur de son doigt. Pendant ces pointages, seul le vibrateur gauche était activé. Avant le protocole (pre), immédiatement après (post0), 1 heure après (post1h) et 24 heures après (post24h), le patient a réalisé deux tests d'évaluation clinique de la NSU (le test de barrage d'Albert et celui du dessin de la marguerite), un test de pointage « droit-devant-soi » les yeux fermés (sauf à 24h en raison d'indisponibilité du matériel) et un test de navigation spatiale en fauteuil roulant en environnement habituel.

Les résultats ont montré une amélioration des scores aux deux tests cliniques (voir figure 26), une réduction de la déviation droite du « droit-devant-soi » (voir figure 27) et une amélioration de sa conduite en fauteuil (voir figure 28). Les performances graphiques et de navigation spatiale sont maintenue à ce niveau moins pendant 24 heures.

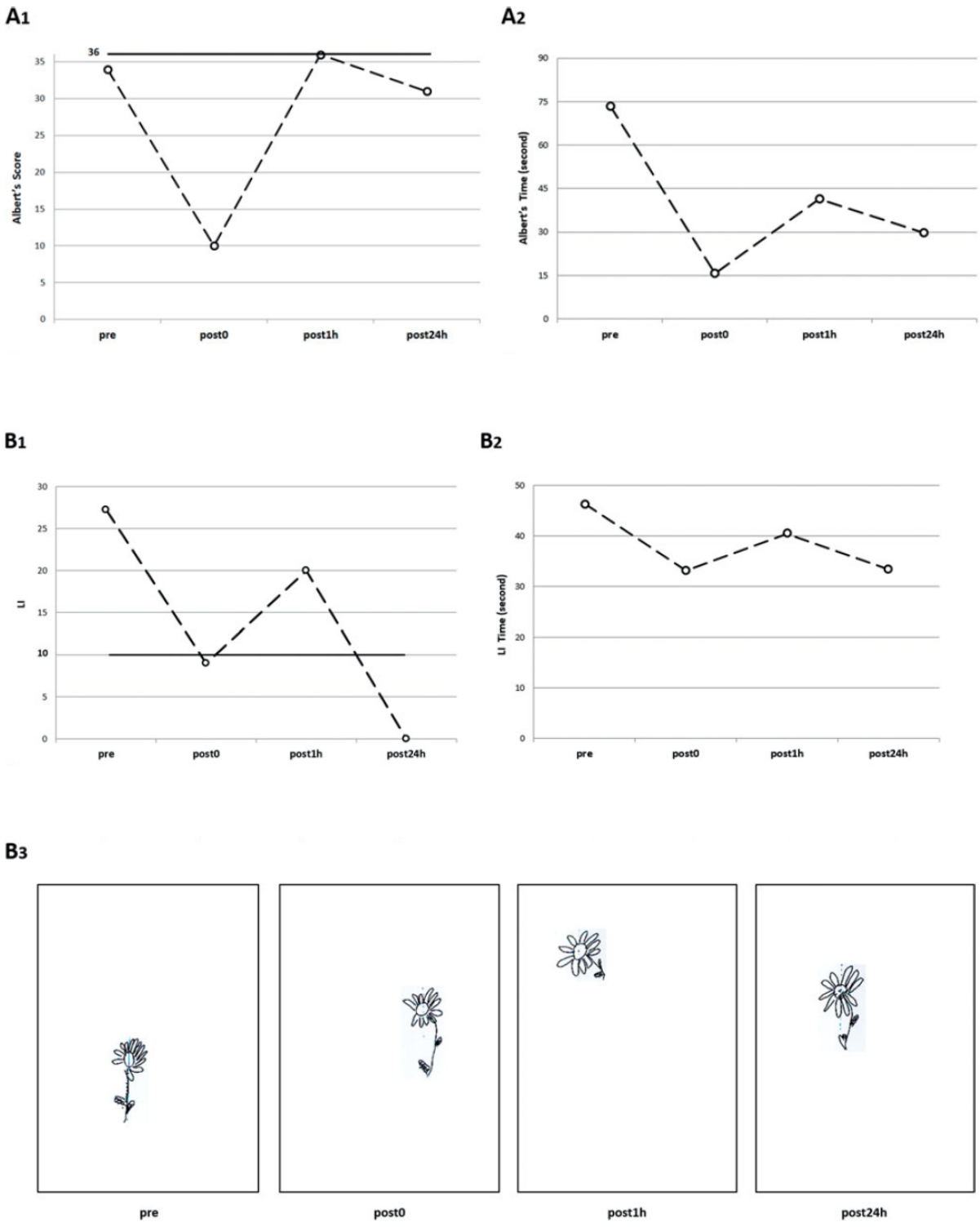


Figure 26 : Panel A1 : Score au test d'Albert avant le protocole combiné (pre), immédiatement après (post0), 1 heure plus tard (post1h) et 24 heures plus tard (post24h). Le score 36 indique l'absence de négligence (ligne noire continue). Panel A2 : Temps (en seconde) de performance pour le test d'Albert à chaque date d'évaluation.

Panel B1 : Indice de latéralité (LI) à chaque date d'évaluation. Un LI ≤ 10 est pathologique (au-dessus de la ligne noire). Panel B2 : Temps d'exécution (en seconde) du test de la marguerite à chaque date d'évaluation. Panel B3 : Dessin de la marguerite à chaque date d'évaluation.

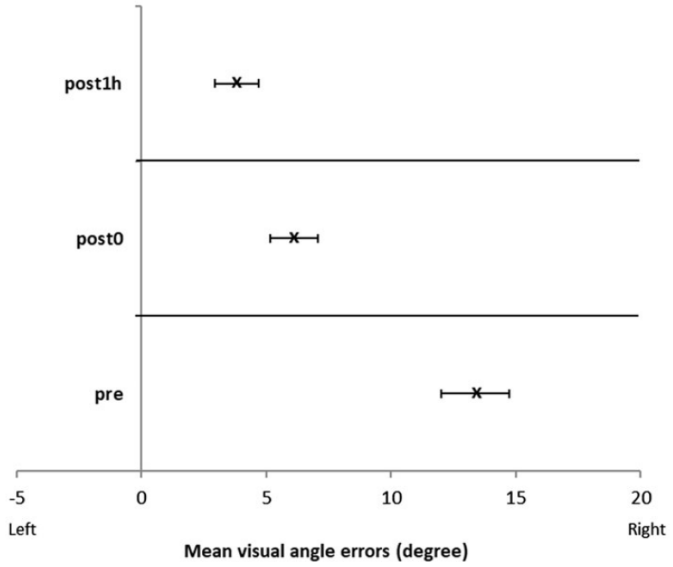


Figure 27 : Erreurs angulaires visuelles moyennes et écarts-types (en degré) lors du test du « droit-devant-soi » avant le protocole combiné (pré), immédiatement après (post0) et 1 heure après (post1h).

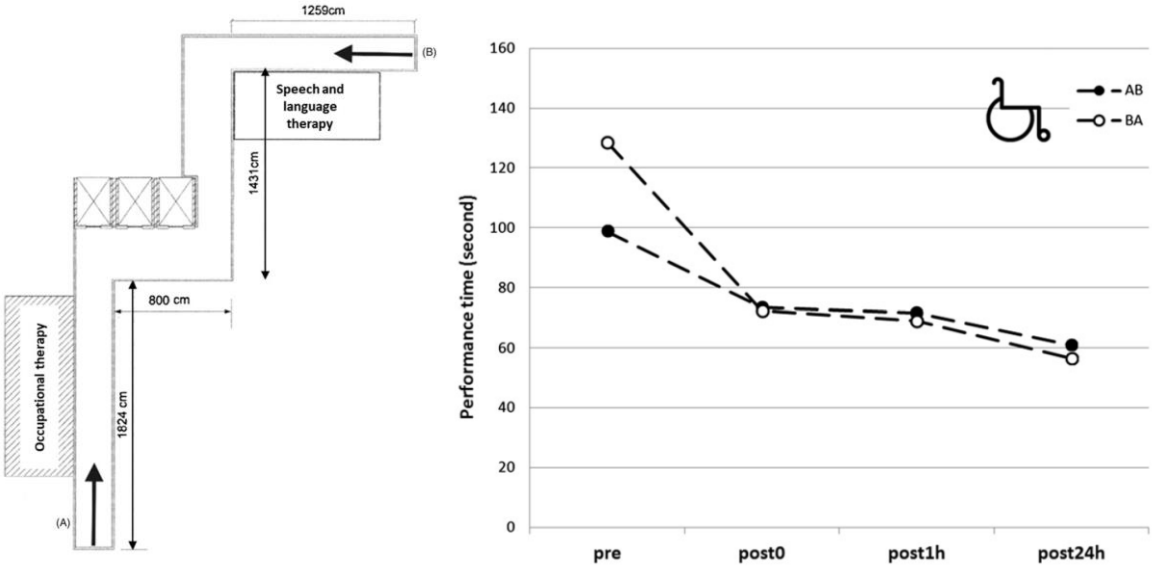


Figure 28 : Temps de performance (en seconde) au test de navigation en fauteuil roulant du service d'ergothérapie au service d'orthophonie (AB, ligne continue) et dans la direction opposée (BA, ligne pointillée) avant le protocole combiné (pre), immédiatement après (post0), 1 heure plus tard (post1h) et 24 heures plus tard (post24h).

L'ensemble de ces résultats renforce l'intérêt de protocoles combinés dans la prise en charge de patients atteints de troubles de la cognition spatiale. De plus, il assoit la puissance interventionnelle des stimulations proprio-cervicales qui permettent de laisser le patient totalement opérationnel à ses activités quotidiennes, qui à leur tour participent à sa réhabilitation en optimisant les effets induits par ses stimulations.

- En bref…

THÉMATIQUE DE RECHERCHE Réhabilitation perceptive et locomotrice persistante du patient atteint de NSU gauche : effet d'un protocole combiné intégrant les stimulations proprio-cervicales	
COLLABORATEURS MD-HDR Jean Marie Beis, MCU Sébastien Caudron	**STRUCTURE** l'Institut Régional de Médecine Physique et de Réadaptation (IRR) au centre de Lay-Saint-Christophe
CONTRATS / FINANCEMENTS OBTENUS APPEL A PROJETS de l'UNIVERSITE-CNRS-REGION 2015- 2017, 24 k€ sur 3 ans (3k€ en Fonctionnement et 21 k€ en Investissement)	
PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES • Ceyte H, Beis J-M, Simon M, Rémy A, Anxionnat R, Paysan J, Caudron, S. Lasting improvements in left spatial neglect following a protocol combining neck-muscle vibration and voluntary arm movements: a case-study. Disabil Rehabil. 2018 Jan 22:1-9. • Ceyte H, Caudron S, Beis J-M. Perceptual effects of protocol combining left neck-muscles vibration and voluntary visuomotor task: an intermodal updating? *en attente de soumission* • Ceyte H, Caudron S, Beis J-M. Optimisation des effets d'un protocole de stimulation par vibration mécanique du trapezius gauche: l'apport d'une tâche sensori-motrice associée. XVIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive, les 29 et 31 Octobre 2017, Dijon. *Communication orale dont le résumé a été publié dans les actes de congrès* • Badin M, Vidalie N, Beis J-M, Pelé G, Paysant J, Ceyte H. Combining left neck muscle vibration to voluntary arm movements: to new perspectives in the therapeutic care in neglect. 32ème édition du congrès de la Société Française de Médecine Physique et de Réadaptation (SOFMER), les 05-07 Octobre 2017, Nancy *Communication affichée dont le résumé a été publié dans les actes de congrès* ➔ Publication de ce travail dans la revue Annals of Physical and Rehabilitation Medicine; 60(sup), e5, 2017. • Beis J-M, Caudron S, Remy A, Ceyte H. Place de la stimulation vibratoire dans la réhabilitation du comportement de négligence chez le cérébro-lésé : A propos d'un cas. 1er Congrès Posture Equilibre Mouvement (PEM), les 07-10 Décembre 2016, Nancy. *Communication affichée dont le résumé a été publié dans les actes de congrès* ➔ Publication de ce travail dans la revue Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology; 46(4), 244-245, 2016.	

ETUDIANTS ENCADRÉS

- Millot S. Effet d'un protocole combinant stimulation proprioceptive au niveau cervical et stimulation transcrânienne à courant continu (tDCS)sur les troubles perceptifs de l'espace et sur les troubles locomoteurs chez des patients atteints d'héminégligence. (*Thèse de Médecine en cours*)
- Favennec A. Effets d'une stimulation vibratoire discontinue des muscles de la nuque sur la perception du droit devant soi. *Mémoire de Master STAPS 1ère année soutenu en 2019*
- Sebald P-A. Stimulations cervicales et modifications perceptivo-locomotrices. *Mémoire de Master STAPS 1ère année soutenu en 2019*
- Badin M, Vidalie N. Améliorations perceptives suite à un protocole de stimulations proprioceptives au niveau cervicale chez le patient atteint de NSU. *Mémoires S.I.R. soutenu en 2017*
  - ➔ Publication de ce travail dans la revue Annals of Physical and Rehabilitation Medicine; 60(sup), e5, 2017.
  - ➔ Participation des étudiants que j'ai suivis (Badin M, Vidalie N) au concours jeune-chercheur du congrès SOFMER 2017; la présentation orale de leur travail a été primée à cette occasion.
- Simon M. Effet de stimulations proprioceptives au niveau cervical sur les troubles perceptifs du « droit devant soi » et des habiletés sous-jacentes comme la conduite en fauteuil roulant chez des patients atteints d'héminégligence. *Mémoire de Master STAPS soutenu en 2016*
  - ➔ 1 papier où l'étudiante est 3ème auteur : Ceyte H, Beis J-M, Simon M, Rémy A, Anxionnat R, Paysan J, Caudron, S. Lasting improvements in left spatial neglect following a protocol combining neck-muscle vibration and voluntary arm movements: a case-study. Disabil Rehabil. 2018 Jan 22:1-9. doi: 10.1080/09638288.2018.1430178.

Messages à retenir

- Déviation ipsilatérale au site stimulé accentuée lors d'un protocole combinant vibrations proprio-cervicales et mouvement volontaire dans l'espace proche,
- Absence de différence d'effet de la durée de vibrations proprio-cervicales (pulse vs. continu) lors de protocoles combinés de même nature et de même durée,
- Transfert et persistance (jusqu'à au moins 24h) des effets perceptifs induits par le protocole combiné aux tests cliniques et à l'habileté de conduite en fauteuil roulant chez le patient atteint de NSU gauche,

Perspectives de recherche

→ Effet d'une stimulation proprio-cervicale unilatérale sur la perception visuelle égocentrée et ses conséquences locomotrices

Comme le suggèrent les résultats de notre étude publiée en 2018 [**Ceyte H, Beis J-M, Simon M, Rémy A, Anxionnat R, Paysan J, Caudron, S. Lasting improvements in left spatial neglect following a protocol combining neck-muscle vibration and voluntary arm movements: a case-study. *Disability and Rehabilitation* 2018 ; 22:1-9**], un protocole de 15 minutes combinant stimulations proprio-cervicales et mouvements volontaires dans l'espace pér-corporel induit non seulement une déviation du droit-devant-soi apparent du côté de la stimulation mais également un comportement locomoteur dévié vers ce même côté. En l'état de mes connaissances, il n'existe pas à ce jour de données relatives aux adaptations de la commande nerveuse sous-jacentes à ce comportement. A cet égard, l'analyse des modulations des synergies musculaires pourrait rendre compte de ces adaptations de la commande centrale (Bizzi & Cheung, 2013). Dans une étude en cours de lancement, en collaboration avec Julien Frère de l'Université de Lorraine, nous cherchons à déterminer les conséquences d'un tel protocole combiné chez l'individu exempt de toute pathologie au niveau de sa déambulation locomotrice, aussi bien du point de vue comportemental que neurophysiologique, en contrôlant parallèlement l'évolution de sa perception visuelle égocentrée.

→ Persistances des effets thérapeutiques de protocoles combinés : Projet HEMI-OR

Parmi les différents déficits fréquemment associés au syndrome de négligence spatiale unilatérale, l'incapacité posturale (Pérennou, Amblard, Laassel, & Pélissier, 1997; Rode, Tilikete, & Boisson, 1997; Tilikete et al., 2001) est un des troubles au quotidien les plus invalidants. Certaines études suggèrent que cette incapacité ne résulterait pas d'une déficience sensori-motrice mais plutôt d'un trouble de la cognition spatiale. En effet, l'évaluation des verticales visuelles et posturales subjectives chez ces patients atteints de NSU, où il leur est demandé d'estimer la direction de la verticale gravitaire à l'aide de l'orientation d'une baguette visuelle ou de son propre corps, a montré une déviation contro-

lésionnelle de ces verticales. Dès lors, nous pouvons raisonnablement penser que ces patients pourraient chercher à aligner inconsciemment leur posture érigée parallèlement à une verticale subjective qui est objectivement inclinée (Pérennou, Amblard, Leblond, & Pélissier, 1998; Pérennou et al., 2002). Cette altération perceptive géocentrée pourrait avoir pour origine une mauvaise perception de l'espace égocentré, comme le propose le modèle de filiation des perceptions spatiales (Ceyte, Cian, Trousselard, & Barraud, 2009; Wade, 1992) que nous avons présenté précédemment. En effet, Barra et al. (2008) montrent que l'orientation de l'axe longitudinal du corps de ces patients est, elle aussi, perçue orientée du côté opposé à la lésion.

Aujourd'hui, nombreuses sont les études montrant les bienfaits de protocoles des stimulations sensorielles sur les comportements perceptivo-moteurs chez le patient atteint de NSU, modifiant le niveau d'activation des aires cérébrales d'intégration multi sensorielles (Bottini et al., 2001; Karnath et al., 1994; Rode, Pisella, Rossetti, Farnè, & Boisson, 2003; Rossetti et al., 1998; Schindler & Kerkhoff, 2004; Tilikete et al., 2001; Vallar, Guariglia, & Rusconi, 1997). Au cours de précédents travaux (Ceyte et al., 2006), nous avons démontré les avantages de stimulations proprio-cervicales unilatérales sur la perception d'orientation égocentrée, composante essentielle à un contrôle postural en équilibre. Leplaideur et al. (2016) ont montré, à la suite de ces stimulations chez le patient atteint de NSU, une diminution de l'asymétrie de leurs appuis. Ce dernier résultat questionne sur l'effet de telles stimulations proprio-cervicales sur la réhabilitation de l'habileté posturale chez ces patients grâce à son effet sur leur perception d'orientation égocentrée. Toutefois, comme nous l'avons indiqué précédemment, la littérature scientifique suggère une optimisation des effets de protocole thérapeutique combinant différentes natures de stimulations sensorielles. Dans une optique de réhabilitation de l'habileté posturo-locomotrice de patients atteints de NSU, les lunettes prismatiques, déviant le champ visuel latéralement et bien que souvent utilisées en centre de rééducation, ne me semblent pas un outil pertinent pour cette habileté motrice. En revanche, le choix de stimulations vestibulaires otolithiques ou encore optocinétiques en roulis me semble tout à fait judicieux au regard de la déviation perceptive présente chez ces patients et des effets induits au niveau postural. Mais d'après mon état de connaissance de la littérature, aucune étude ne s'est intéressée à l'évaluation des

effets d'un protocole combinant différentes natures de stimulations au niveau de la composante d'orientation égocentrée et au niveau postural chez ces patients.

L'objectif de ce projet sera donc d'étudier et de comparer les effets thérapeutiques de deux protocoles répété 3 fois par semaine 1) sur la perception d'orientation égo- et géocentrée et sur les capacités posturo-locomotrices de patients atteints de NSU sur les troubles cliniques, perceptifs et posturo-locomoteurs et 2) la persistance des effets immédiatement après, après une heure, à un jour et à une semaine. Les protocoles en question seront 1) celui que nous avons développé, associant stimulations proprio-cervicales unilatérales gauche et mouvements volontaires, et 2) un protocole thérapeutique combinant le protocole précédent à des stimulations vestibulaires.

Ce projet, correspondant à une étude prospective, ciblera les déficits cliniques, les troubles perceptifs d'orientation spatiale et ceux posturaux. L'originalité de ce projet sera d'associer l'analyse de la sortie motrice, l'équilibre posturale, à son origine cognitive via la mesure de perceptions spatiales. Concrètement, il comportera différentes formes d'évaluations et chaque évaluation comprendra différents tests :

- Une évaluation neuropsychologique, où le participant réalisera divers tests cliniques tels que celui de Gainotti et un test de négligence corporelle.

- Des évaluations perceptives, telles que celles de l'orientation égocentrée, c'est-à-dire de sa propre orientation, et de l'orientation géocentrée via le test de la Verticale Visuelle Subjective et le test de la Verticale Posturale Subjective (Body Adjustment Test).

- Des évaluations comportementales, posturo-locomotrices, composées de différents tests tels que posture dynamique, statique,

Toutes ces évaluations seront réalisées avant et immédiatement après, +1heure, et +1jour, +1semaine le protocole testé. Au cours de ces protocoles, le patient restera assis sur son fauteuil et aura les yeux ouvert ou fermés (à déterminer) et la stimulation sensorielle sera continue pendant au moins vingt minutes.

Ce projet fera l'objet d'une proposition de thèse d'Université, réalisée en collaboration Jean-Marie Beis, Médecin-chef – HDR de l'IRR Lay-Saint-Christophe, visant à fournir de nouvelles pistes thérapeutiques dans le traitement de patients atteints de NSU à partir de la propriété plastique des réseaux nerveux impliqués dans l'élaboration cognitive des perceptions des espaces corporels et gravitaire.

→ Corrélats neuronaux des effets de protocoles combinés : Projet HEMIMAGE

Comme le suggère nos résultats et ceux de Jeannerod & Biguer (1989), « la représentation de l'espace serait sous la dépendance de l'activité d'un ensemble distribué de structures nerveuses où convergent de multiples afférences sensorielles ». Cette représentation interne pourrait être multiple (soit centrée par rapport un objet de notre environnement soit ou centrée rapport à son propre corps) et elle dépendrait de l'intégration de divers indices sensoriels – visuels, somatosensoriels/proprioceptifs, vestibulaires au niveau cortical (Bottini et al., 2001). Ainsi l'interaction de l'individu avec son environnement que ce soit lors de coordinations visuo-motrices (Jeannerod & Biguer, 1987) ou lors de coordinations posturo-locomotrices (Jean Massion, 1994) reposerait sur une perception fine de sa référence égocentrée. Dès lors, les déviations de cette référence chez le patient atteint de NSU pourraient être à l'origine de ses troubles posturo-locomoteurs et visuo-moteurs. Nos résultats suggèrent que (1) la manipulation artificielle des indices sensoriels impliqués dans l'élaboration perceptive de la référence égocentrée permettrait de réduire l'ensemble des troubles de la cognition spatiale et que (2) ces effets positifs pourraient perdurer plus ou moins longtemps en fonction du niveau d'activation des aires d'intégration multi-sensorielle et par conséquent des effets potentiels de la neuro-plasticité. La question qui reste en suspens est celle qui concerne les fondements neurologiques de cette plasticité corticale. Une analyse fine par imagerie fonctionnelle de l'activité des régions atteintes chez ces patients (le cortex pariétal postérieur, la jonction temporo-pariétale médiane et le cortex temporal supérieur) et celles connexes permettrait de mieux comprendre le mécanisme de neuro-plasticité de ces zones de convergence et d'intégration multisensorielle chez le cérébro-lésé et au-delà la distribution et la coordination des territoires corticaux impliqués dans l'élaboration des perceptions spatiales.

Perspectives de développement

→ Projet de valorisation : SMART PROPRIO PATCH (*confidentiel*)

Les AVC et les handicaps associés : un contexte d'ordre mondial

D'après le dernier rapport conjoint de l'Organisation Mondiale de la Santé, de la Banque Mondiale et d'autres organisations comme Handicap International, le nombre de personnes handicapées à travers le monde est estimé à un milliard… et il semble que le phénomène est en augmentation. Toujours d'après ce rapport, près de 15% de la population mondiale, soit environ 150 millions d'individus, souffriraient de handicaps sévères. Les fortes limitations dans les possibilités d'interaction de ces individus avec leur environnement, qu'elles soient de nature psychologique, intellectuelle, sociale et/ou physique, sont à l'origine de réelles inégalités de moyens entre les individus. Parmi ces différents types de handicap, près des 80% sont dits non-visibles, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas perçus malgré leurs impacts significatifs sur la qualité de vie des individus. Le caractère invisible du handicap peut conduire ces individus à des limitations durables dans leurs possibilités d'interaction sans que pour autant leur entourage puisse s'en rendre compte. De plus, la difficulté à déceler ces handicaps non-visibles est fréquemment accentuée par l'absence de prise de conscience de la part du patient lui-même de son propre handicap : on parle d'anosognosie. L'anosognosie se rencontre dans de nombreux troubles neurologiques notamment ceux rencontrés à la suite d'un accident vasculaire cérébral (AVC). Elle est souvent immédiate et brutale, et la prise en charge de ces patients anosognosiques en est d'autant plus difficile et complexe.

Première cause de handicap acquis chez l'adulte, plus de 100 000 AVC sont comptabilisés en France par an. Parmi les survivants, 75% conservent des séquelles et pour ceux dont l'hémisphère droit est touché, 85% des patients sont atteints du syndrome de Négligence Spatiale Unilatérale (NSU). Les troubles sévères de l'attention et de la conscience des espaces consécutifs à ce syndrome impactent directement la capacité d'interaction des patients avec leur environnement. Ce sont de véritables facteurs prédictifs de mauvais pronostic de récupération fonctionnelle après un AVC et annonciateurs

d'un difficile retour de ces patients à leur vie quotidienne. La question de leur réhabilitation, de leur réadaptation et de leur rééducation fonctionnelle est une véritable problématique de santé publique.

Des stimulations proprio-cervicales : la conception d'un outil innovant pour une perspective thérapeutique prometteuse

Tous les traitements de ce trouble de la cognition spatiale poursuivent le même objectif : favoriser l'émergence et la persistance d'un comportement moteur approprié au contexte de vie du patient. Mais peu parviennent à montrer un effet qui perdure dans le temps, et rares sont celles qui montrent une amélioration comportementale dans les activités quotidiennes du patient atteint de NSU. Comme nous l'avons vu, parmi la diversité des outils thérapeutiques, la stimulation proprio-cervicale par vibration mécanique unilatérale montre d'étonnants et prometteurs résultats chez le patient atteint de NSU. L'avantage de ce type de stimulation, au-delà de son absence d'invasivité et de sa simplicité d'utilisation, réside dans le caractère non-attentionnel des modifications perceptives et comportementales induites. En d'autres termes, l'effet de la stimulation proprioceptive par vibration serait indépendant de l'implication du participant.

A notre connaissance, aucun outil, encore moins à visée clinique, n'existe sur le marché pour modifier le schéma corporel du patient et ainsi faciliter la réduction de ses troubles de la cognition spatiale. Actuellement, seuls des percuteurs mécaniques à main ou des vibrateurs, dont la stimulation est induite par la percussion d'un moteur désaxé sur les parois internes du cylindre le contenant, sont commercialisés pour une utilisation en kinésithérapie (Techno-concept ®, VibraSens). Cependant, le détournement de son usage premier est délicat, … … …

Pour des raisons de confidentialité, je ne développerai pas ici l'exposé du projet de conception de l'outil envisagé à visée thérapeutique. En effet, mes collaborateurs, Sébastien Caudron, Maître de Conférences de l'Université de Lorraine, Pierre Alain Barraud, Ingénieur Recherche de Grenoble-Alpes Université, et moi-même sommes actuellement en discussion avec la SATT SAYENS GrandEst afin de déposer un Brevet.

Des maladies dégénératives de la colonne vertébrale

La problématique posturale, et au-delà celle posturo-locomotrice chez la personne atteinte de troubles de la cognition spatiale est centrale dans les préoccupations des thérapeutes et des chercheurs travaillant sur l'étude du comportement humain du fait de leurs potentielles conséquences sur leur autonomie et donc sur leur qualité de vie. Les analyses comportementales (posture, marche…), cognitives (perceptives, attentionnelles…) et physiologiques (sensorielles, …) doivent être perçues comme complémentaires à la compréhension la plus juste des mécanismes sous-jacents à la performance posturale, et pas uniquement chez ces patients. J'aime dire que nous avons des connaissances poussées dans de nombreux domaines, comme ceux de l'informatique, des nanotechnologies… et pourtant la manière dont l'homme tient debout et conserve son équilibre reste encore très largement mal compris, et reste un véritable sujet de discordes scientifiques quant à l'interprétation des stratégies employées pour y parvenir.

Afin de proposer de nouveaux éclairages dans cette problématique, j'ai pour objectif d'intégrer mes connaissances dans le domaine des perceptions spatiales et des contributions sensorielles. En effet, bien qu'il paraisse évident que pour tenir debout dans un espace gravitaire terrestre l'individu ait besoin d'une représentation juste de la direction gravitaire et de son orientation posturale relativement à elle, ces éléments perceptifs, représentationnels sont encore trop souvent négligés, voire absents, dans de nombreux travaux tentant d'interpréter des comportements posturaux observés. Par ailleurs, comme nous l'avons vu précédemment, l'élaboration de ces perceptions spatiales nécessitent la contribution de grand nombre de nos modalités sensorielles qu'elles soient de nature graviceptive voire proprioceptive… et la connaissance de leur intégrité semble un élément essentiel à la compréhension des performances, voire stratégies, posturales employées par le patient quelle que soit son atteinte. L'étude qui suit traite spécifiquement de ce point.

- Une contribution visuo-proprioceptive évolutive à la performance posturale

La contribution sensorielle au contrôle postural a été largement étudiée dans la littérature et à partir de divers paradigmes expérimentaux. De nombreux auteurs ont montré qu'une stimulation optocinétique, i.e. la perception de mouvement d'une scène visuelle, induit une augmentation des oscillations posturales (Thurrell & Bronstein, 2002; Wolsley, Sakellari, & Bronstein, 1996). Par ailleurs, comme nous l'avons vu précédemment, le rôle de la proprioception cervicale à la performance posturale est aujourd'hui bien connu, notamment par sa contribution dans la perception d'orientation posturale de l'individu (Biguer et al., 1988; Ceyte et al., 2006; Taylor & McCloskey, 1991) qui est à l'origine des ajustements posturaux observés (Bove, Courtine, & Schieppati, 2002; Bove, Diverio, Pozzo, & Schieppati, 2001; Roll & Roll, 1988). D'un point de vue clinique, les traumatismes cervicaux sévères, tel que « le coup du lapin », sont connus pour avoir d'importantes répercussions au niveau postural (Treleaven, Jull, & Sterling, 2003). En revanche, celles dues aux maladies dégénératives de la colonne cervicale, bien qu'aujourd'hui assez fréquentes, sont très peu documentées dans la littérature scientifique. Les quelques études, traitant de cette question à la suite d'une intervention chirurgicale au niveau vertébral, réalisent leurs analyses dans des contextes posturaux perturbateurs bien trop éloignés des conditions quotidiennes rencontrées par les patients, empêchant tout transfert de leurs résultats à leur vie réelle (Karlberg, Persson, & Magnusson, 1995; Karlberg et al., 1995; Vitte, Lazennec, Pharaboz, Semont, & Freyss, 1992).

Il existe deux types différents de maladies dégénératives de la colonne vertébrale, les hernies discales et les spondyloses. Une hernie discale se manifeste habituellement de manière aiguë, alors que la spondylose est une maladie chronique caractérisée par des modifications dégénératives des disques et des barres ostéophytes liées à l'âge qui peuvent rétrécir le canal cervical ou les foramens. Les conséquences de ces deux maladies sur le contrôle postural, à notre connaissance, n'ont jamais été analysées. Dans une étude publiée en 2013 [**Freppel, Bisdorff,**

Colnat-Coulbois, Ceyte, Gauchard, Auque, Perrin. Visuo-proprioceptive interactions in degenerative cervical spine diseases requiring surgery. *Neurosciences* 2013; 255:226-232], nous avons évalué l'évolution des interactions visuo-proprioceptives dans la performance posturale de patients atteints de hernie discale et de spondylose au niveau cervical à la suite d'un traitement chirurgical. Dix-sept patients (dont 10 femmes) atteints d'une maladie dégénérative de la colonne cervicale ont été recrutés. Ils ont été répartis en fonction de la nature de leur pathologie : un groupe Hernie discale (n=8) et un groupe Spondylose (n=9). Tous les patients, en posture debout, ont réalisé un test posturographique statique. Quatre conditions expérimentales ont été réalisées : les yeux fermés, les yeux ouverts avec ou sans stimulation optocinétique, i.e. rotation en roulis d'une scène visuelle présentée face à eux (voir illustration 13). Deux conditions de stimulations optocinétiques ont été testées, une dans le sens horaire et une autre dans le sens anti-horaire. Ce test a été reproduit 6 semaines après l'intervention chirurgicale.

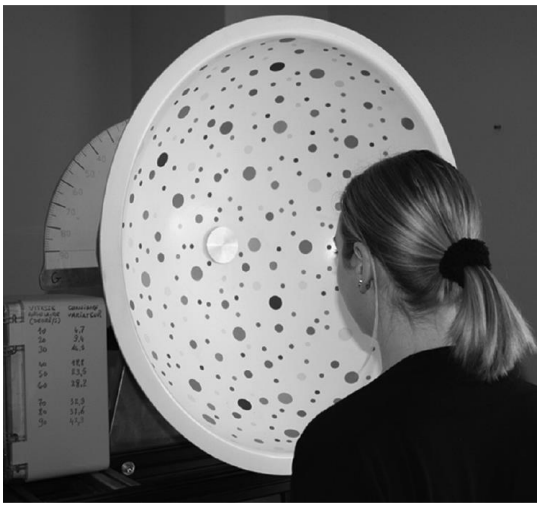


Illustration 13 : Dispositif expérimental permettant l'exposition à des stimulations optocinétiques

Au cours des passations, aucun patient n'a signalé de vertige ou de problème d'équilibre. Nos résultats montrent qu'avant la chirurgie, la contribution des indices visuels statiques à la performance posturale du groupe Hernie discale est significativement moins importante que celle à la performance du groupe Spondylose. Après la chirurgie, cette contribution n'évolue que pour le groupe Spondylose dans le sens d'une diminution tendancielle (voir figure 29). Concernant la contribution des indices visuels dynamiques à la performance posturale avant le traitement chirurgical, celle-ci n'est pas significativement différente entre les deux groupes, et à la suite de la chirurgie, elle tend à diminuer pour chacun d'eux (voir figure 30).

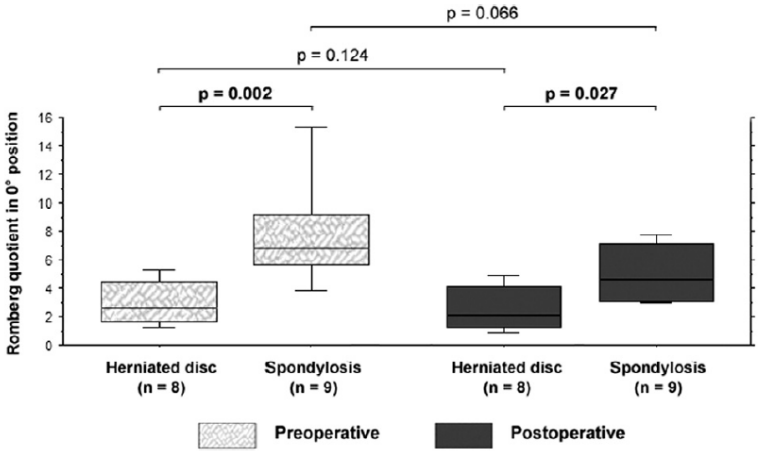


Figure 29 : Quotient de Romberg médian (rapport entre la surface médiane d'oscillation du centre de pression réalisée les yeux fermés par rapport à celle réalisée les yeux ouverts face au dispositif sans stimulation optocinétique) des groupes Hernie discale et Spondylose pré- (gris clair) et post-opératoire (gris foncé).

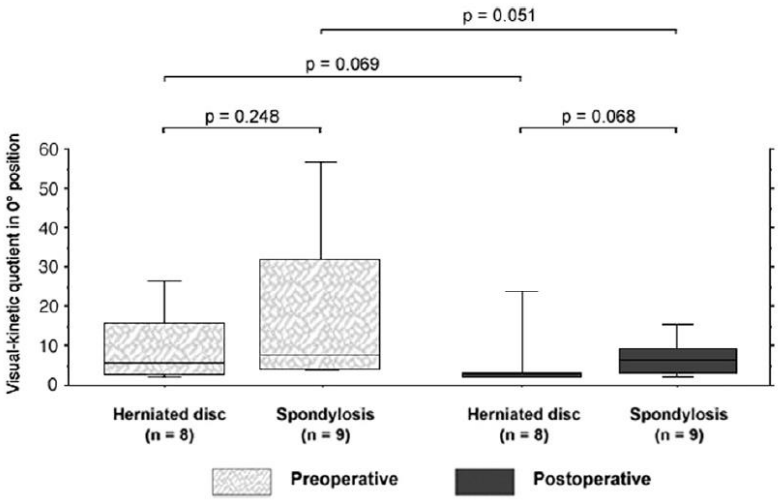


Figure 30 : Quotient visuo-cinétique médian (rapport entre la surface moyenne d'oscillation du centre de pression réalisée lors des stimulations optocinétique par rapport à celle réalisée les yeux ouverts face au dispositif sans stimulation optocinétique) des groupes Hernie discale et Spondylose pré- (gris clair) et post-opératoire (gris foncé).

En fonction du type de maladie dégénérative de la colonne cervicale, la contribution des indices visuels se distingue avant le traitement chirurgical ; elle serait plus importante chez les patients atteints de spondylose. Après intervention, cette contribution semble réduire, principalement chez ces patients suggérant une réhabilitation de la contribution des indices proprio-cervicaux dans la performance posturale de ces patients.

- En bref…

PROJET Atteinte de la colonne cervicale: contribution visuo-proprioceptive au contrôle posturale	
COLLABORATEURS PU-PH Sophie Colnat-Coulbois PU-PH Alexandre Bisdorff	**STRUCTURE** Service de Neurologie du CHRU Nancy central
PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES • Freppel S, Bisdorff A, Colnat-Coulbois S, Ceyte H, Gauchard GC, Auque J, Perrin PhP. Visuo-proprioceptive interactions in degenerative cervical spine diseases requiring surgery. Neurosciences 2013;255:226-232	

- Freppel S, Bisdorff A, Colnat-Coulbois S, Ceyte H, Gauchard GC, Auque J, Perrin PhP. Visuo-proprioceptive interactions in cervical pathologies necessitating an indication for surgery. 7ème reunion de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD), le 23 Septembre 2011, Nancy. (Communication orale)

ETUDIANT ENCADRÉ

- Freppel S → encadrement de la thématique de la perception spatiale

Publication en 1er auteur de cet doctorant-médecin que j'ai totalement supervisé sur ce travail expérimental. Je n'ai pas pu être dernier auteur de ce travil malgrè mon rôle majeur de ce travail tant au plus de la conception expérimentale, de l'analyse des données de la rédaction du manuscrit en raison de la direction tripartite instaurée entre Me Colnat-Coulbois, M Bisdorff et M Perrin.

L'implanté cochléaire au statut vestibulaire normo-réflexif

Un autre modèle clinique pour lequel les connaissances en perception spatiale nous ont permis de mieux comprendre les difficultés et les plaintes de patient est celui de l'implanté cochléaire. Cette pathologie est un véritable problème de santé publique, aux conséquences lourdement pénalisantes pour la communication interpersonnelle, les interactions psychosociales et la qualité de vie (Kotby, Tawfik, Aziz, & Taha, 2008; Mason & Mason, 2007). La procédure d'implantation cochléaire, aujourd'hui assez courante, consiste en l'insertion d'un réseau multi-électrodes dans la cochlée afin de restaurer la capacité auditive et l'intelligibilité de la parole (Rumeau et al., 2015). Cette intervention chirurgicale nécessite une infraction labyrinthique qui peut provoquer des troubles vestibulaires. Tien & Linthicum (2002) ont rapporté des preuves histologiques de lésions de l'appareil vestibulaire (fibrose, hydrops avec distorsion de la membrane sacculaire) dans plus de 50% des cas. Parmi les dossiers cliniques présentant ce type de lésions post-opératoires, près d'un tiers d'entre eux indiquent divers troubles posturaux chez le patient (Tien & Linthicum, 2002), tels que des troubles de l'équilibre et des informations laissant penser à une atteinte de leur perception spatiale, sans renseigner le statut vestibulaire du patient (Buchman, Joy, Hodges, Telischi, & Balkany, 2004; Enticott, Tari, Koh, Dowell, & O'Leary, 2006; Melvin, Della Santina, Carey, & Migliaccio, 2009; Ogawa et al., 2010; Parietti-Winkler, Lion, Montaut-Verient, Grosjean, & Gauchard, 2015).

Pour le patient au statut vestibulaire normo-réflexif, il existe peu d'informations sur l'impact d'une implantation cochléaire sur l'évolution de leur statut et sur leurs potentiels troubles du comportement postural. Ce type de patient est considéré comme « à risque » du fait de la potentielle asymétrie vestibulaire provoquée par cette intervention chirurgicale (Buchman et al., 2004). Buchman et al. (2004) et Kluenter, Lang-Roth, & Guntinas-Lichius (2009) ont montré au moins un mois après l'opération, aucune évolution du statut vestibulaire mais des résultats divergents par rapport au contrôle de l'équilibre dans un contexte difficile. Au niveau postural, la littérature renseigne des résultats contradictoires en contexte d'équilibre précaire. En effet, Kluenter et al. (2009) ont constaté une augmentation des oscillations posturales lorsque le patient, les yeux fermés, est placé sur une surface d'appui malléable, telle qu'une mousse ; tandis que Buchman et al. (2004) n'indiquent aucune évolution de son score d'équilibre, au test d'organisation sensoriel, lorsque celui-ci est placé, les yeux fermés, sur une surface d'appui dont l'inclinaison est asservie à ses oscillations posturales antéro-postérieures. Toutefois, ces mesures, qualifiées de posturales statiques ou encore linéaires, ne fournissent aucune information sur la réalisation de la performance posturale, alors qu'une analyse des caractéristiques dynamiques, qualifiées aussi de non-linéaires, des oscillations posturales permettrait d'avoir accès à des informations sur la qualité de ce contrôle et plus particulièrement sur la nature de ce contrôle : soit automatisé, soit intentionnel. Dans le cas d'un contrôle intentionnel de la posture, on observe une augmentation de la régularité du déplacement du centre de pression et inversement dans le cas d'un contrôle automatisé de la posture (Costa, Goldberger, & Peng, 2002; Golberger, 1996; Riley, Balasubramaniam, & Turvey, 1999). Cette réduction de complexité dans le signal posturographique refléterait une incapacité du système postural à s'adapter à un environnement changeant (Vaillancourt & Newell, 2002). À ma connaissance, il n'existe pas de travaux dans la littérature renseignant sur l'évolution de la qualité du contrôle postural après implantation cochléaire.

Par ailleurs, peu d'études ont étudié les troubles de la perception spatiale à la suite à de cette intervention chirurgicale. Elaborée à partir des indices graviceptifs, notamment sacculaires, la perception juste de la direction gravitaire est une condition indispensable à un contrôle postural efficient (Riccio, Martin, & Stoffregen, 1992). Cette évaluation géocentrée s'avère donc indispensable pour maîtriser le versant cognitif du contrôle postural. Le Nobel, Hwang, Wu, Cushing, & Lin (2016) et Ogawa et al. (2010) ne montrent aucune déviation pré-opératoire de cette perception, ainsi qu'aucune évolution de celle-ci immédiatement après l'implantation cochléaire et à un mois. Cependant, les informations, concernant le statut vestibulaire des patients étudiés, étaient, une fois encore, manquantes ce qui pourrait expliquer la grande variabilité de leurs résultats, et possiblement l'absence d'altération perceptive.

Une altération transitoire de la perception géocentrée induite par l'implantation cochléaire

Dans une étude en cours de soumission [**Fabre-Adinolfi D, Ceyte H, Hoffman C, Frere J, Parietti-Winkler C. Short-terms postural behavior and geocentric perception disorders induced by cochlear implantation in the normo-reflexic patient. 2019 ; submitted to *Gait & Posture***], nous avions pour objectif d'étudier l'évolution du contrôle de l'équilibre et de la perception géocentrée chez le patient au statut vestibulaire normo-réflexif à la suite d'une implantation cochléaire. Nous avons évalué le contrôle de l'équilibre au moyen d'une posturographie dynamique informatisée et la perception géocentrée grâce au test de la verticale visuelle subjective (SVV) avant le traitement chirurgical, immédiatement après et avant l'activation de l'implant (J + 45). Comme suggéré par Buchmann et al. (2004), nous considérons le patient normo-réflexif comme un patient « à risque », dès lors, nous avons émis l'hypothèse d'une altération de la verticale visuelle subjective après chirurgie. Nous avons également émis l'hypothèse du maintien du niveau de performance posturale de ce patient à partir des variables posturales statiques (longueur et surface d'oscillation du centre de pression), mais nous nous interrogeons sur les conséquences d'une altération perceptive géocentrée sur la complexité du signal postural, objectivable par la

mesure de l'entropie du déplacement du centre de pression, dans un contexte postural considéré comme difficile.

En raison de la soumision récente de cette étude et donc de sa non-publication à ce jour, j'ai intégré dans le développement de cette section des informations d'ordre méthodologique et statistique afin d'étayer mon argumentaire.

Vingt patients présentant une perte auditive profonde (41 ± 35 ans) ont été initialement recrutés. Cependant, seuls cinq patients (48 -± 14 ans) présentaient un statut vestibulaire normo-réflexif de la fonction canalaire du vestibule et un réflexe vestibulo-spinal normal, constituant ainsi le groupe Implanté. Parmi eux, deux patients ont été implantés du côté droit et les autres du côté gauche. De plus, 5 participants en bonne santé (57 ± 6 ans) ont également été inclus constituant ainsi le groupe Témoin. Tous les participants ont réalisé un test d'évaluation posturale où il leur était demandé de rester debout, aussi stable que possible, et de garder les bras le long du corps. Deux conditions expérimentales, où le participant avait les yeux fermés, ont été testés. Dans la première d'entre elles, la surface d'appui était fixe. Dans la seconde, elle s'inclinait en tangage suivant les oscillations antéro-postérieures du participant. De plus, chaque participant a réalisé un test d'évaluation visuelle de leur perception géocentrée. Assis sur une chaise, dans une pièce totalement obscure, il devait orienter, en roulis via une manette, une baguette lumineuse, présentée face eux, à la verticale gravitaire. Ces deux tests ont été réalisés 3 jours avant la chirurgie (AS), trois jours après (AS3) et quarante-cinq jours après (AS45), i.e. avant l'activation de l'implant. Les dates de passation du groupe Témoin ont été jumelées à celles du groupe Implanté.

Avant de présenter les résultats, notons que le groupe Implanté est tombé plusieurs fois dans la condition de support mobile. Les tests χ^2 ont confirmé que le nombre de chutes n'était pas lié aux dates de visite [AS = 3 ; AS3 = 3 ; AS45 = 2 ; χ^2 (2, N = 5) = 0.30, p= 0.85, ΦCramer = 0.08]. Le groupe Témoin n'a jamais chuté au cours de ces tests. A AS, Les résultats ne montrent aucune différence significative entre les groupes au niveau des variables posturographique statiques et dynamiques

(*ps* > 0.05). La comparaison de ces variables entre les différentes visites ne montre qu'une diminution de la surface d'oscillation pour le groupe Implanté (petit effet : d = -0.36, 95% CL -0.66 - -0.07 , 91% de chance pour être vrai) ainsi qu'une diminution de la longueur de déplacement du centre de pression et de sa surface d'oscillation pour le groupe Témoin (effet modéré : d = -0.90, 95% CL -1.62 - -0.17, 97% de chance d'être vrai; d = -0.71 , 95% CL -1.20 - -0.22, 98% de chances d'être vrais, respectivement), seulement dans la condition de support mobile et seulement entre AS et AS45.

Concernant l'évaluation de la perception visuelle géocentrée à AS, la magnitude des erreurs et leur orientation ne semblent pas différentes entre les groupes (respectivement pour la magnitude et l'orientation des erreurs : petit effet : d = -0.52, 90% CL -1.52 – 0.48, probabilité incertaine d'être vraie - effet trivial : d = -0.17, 90% CL -1.18 – 0.83, probabilité incertaine d'être vraie). Pour le groupe Implanté, à AS3, les résultats montrent une augmentation de la magnitude des erreurs (effet important : d = 5.10, 95% CL 1.86 – 8.34, avec 99% de chances d'être vraies, voir figure 31A) ; et elles sont orientées vers le côté sain (effet important : d = -3.98, 95% de CL -5.54 - -2.41, 100% de probabilité d'être fidèle, voir figure 31B). À AS45, leurs magnitudes atteignent à nouveau celles obtenues à AS (petit effet : d = 0.43, 95% CL -2.03 – 2.88, probabilité peu claire d'être vraie) ; et leur orientation est proche de celle obtenues à BS (petit effet : d = -0.37, 95% CL -2.55 – 1.81, probabilité incertaine d'être vraie). Pour le groupe Témoin, la magnitude des erreurs, illustrée sur la figure 31A, est similaire entre AS et AS3 (petit effet : d = -0.57, 95% CL -1.39 – 0.25, probabilité incertaine d'être vrai) et entre AS et AS45 (petit effet : d = -0.59, 95% CL -1.28 – 0.11, probabilité peu claire d'être vraie). L'orientation de leurs erreurs, illustrée sur la figure 31B, est proche entre AS et AS3 (petit effet : d = -0.20, 95% CL -0.85 – 0.45, probabilité incertaine pour être vrai) et entre AS et AS45 (effet trivial : d = -0.09, 95% CL -0.81 – 0.62, probabilité incertaine d'être vraie).

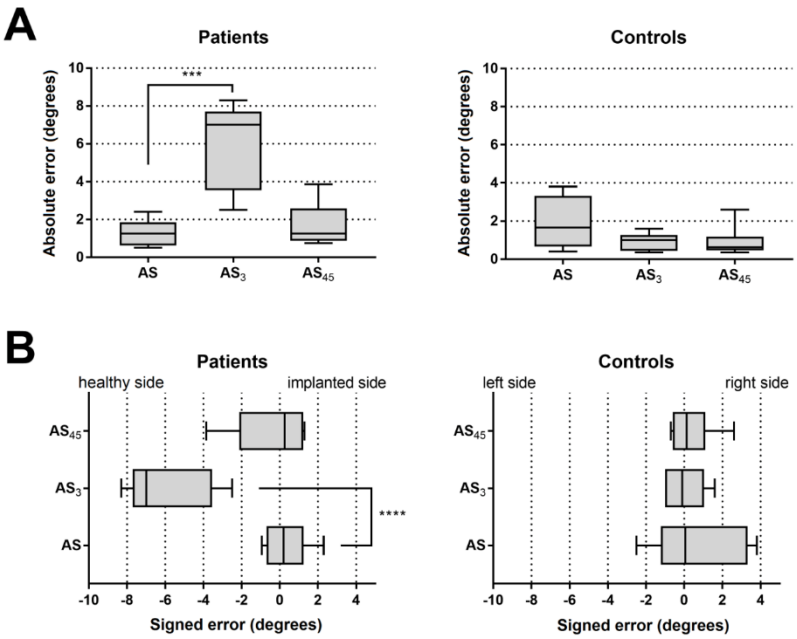


Figure 31 : Médianes et intervalles interquartiles (IQR) des erreurs absolues (A) et signées (B) de la verticale visuelle subjective chez les patients implantés et les participants témoins (controls), respectivement. *** : Effet important avec une forte probabilité (> 95%) d'être vraie ; **** : Effet important avec une très forte probabilité (> 99,5%) d'être vraie.

Avant l'intervention chirurgicale, les patients au statut vestibulaire normo-réflexif, candidats à l'implantation cochléaire, montrent des difficultés à contrôler leur équilibre, qui deviennent critiques dès que les conditions environnementales se complexifient, sans manifester de troubles de leur perception géocentrée. La chirurgie ne semble pas induire de modification de leur comportement postural dans notre étude, possiblement à cause des difficultés expérimentales imposées. En revanche, elle semble induire une altération immédiate de leur perception géocentrée avec une déviation orientée vers leur oreille saine, qui s'estompe naturellement avant l'activation de l'implant. Ces effets, avant activation de l'implantation cochléaire, seraient consécutives aux lésions vestibulaires provoquées par le placement des électrodes (Tien & Linthicum, 2002). Nos découvertes permettent de suggérer que c'est cette altération perceptive qui serait à l'origine des sensations de malaise et des difficultés d'équilibre perçues et indiquées par les patients lors de leur entretiens cliniques post-opératoire. Par conséquent, un traitement thérapeutique spécifique visant à aider la réhabilitation de leur perception spatiale pourrait être

proposé à ces patients afin de réduire les troubles posturaux perçus. Au-delà, des investigations complémentaires sont nécessaires pour déterminer les conséquences posturales, comportementales et perceptives, de l'implantation cochléaire chez les patients au statut vestibulaire différent.

- En bref…

PROJET Implantation cochléaire : conséquences posturales et perceptives	
COLLABORATEURS PU-PH Cécile Parietti-Winkler MCU Julien Frère	**STRUCTURE** Service d'otoneurologie du CHRU Nancy central
CONTRATS / FINANCEMENTS OBTENUS Société Neurelec S.A.S et un P.H.R.C.	
PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES • Fabre-Adinolfi D, Ceyte H, Hoffman C, Frere F, Parietti-Winkler C. Short-terms postural behavior and geocentric perception disorders induced by cochlear implantation in the normo-reflexic patient. 2019; soumis à Gait & Posture • Parietti-Winkler C, Fabre-Adinolfi D, Seigle B, Frère J, Ceyte H. Troubles vestibulaire post implantation: Comment les évaluer ? Comment les traiter ? 52ième Symposium de la société Internationale d'Otoneurologie (SIO), les 24-26 Mai 2018, Toulouse. *Communication orale dont le résumé a été publié dans les actes de congrès* • Fabre-Adinolfi D, Frère J, Hoffmann C, Gauchard G, Ceyte H, Parietti-Winkler C. Effects of unilateral cochlear implantation on balance control and the perception of the environment in adult patients with profound hearing loss. Congrès international de l'International Federation of Oto-Rhinolaryngological Societies (IFOS: World ENT Congress), les 24-28 Juin 2017, Paris. *Communication affichée dont le résumé a été publié dans les actes de congrès* • Fabre-Adinolfi D, Ceyte H, Hoffmann C, Frère J, Parietti-Winkler C. Effects of cochlear implantation surgery on balance control and geocentric perception. *(article soumis Gait & Posture)*	
ETUDIANT ENCADRÉ • Fabre-Adinolfi D → encadrement de la thématique de la perception spatiale Publication en 1er auteur de cet doctorant en cours, papier en soumission. J'ai conçu le protocole expérimental et rédigé le manuscrit, mais je ne suis pas dernier auteur de ce travail malgrè mon rôle majeur en raison de la direction de Me Parietty-Winckler et de son rôle dans la recherche des moyens financiers à ce projet.	

Messages à retenir

- Faible réduction, voire absence d'évolution de la contribution visuelle dans le contrôle postural consécutive à un traitement chirurgical, chez le patient atteint de hernie cervicale ou de spondylose au même niveau anatomique,
- Possible réhabilitation de la contribution des indices proprio-cervicaux dans la performance posturale de ces patients.

- Avant implantation cochléaire chez le patient au statut vestibulaire normo-réflexif : (1) difficultés à contrôler leur équilibre et (2) absence de troubles de perception spatiale,
- Après cette chirurgie : (1) pas d'évolution de la performance posturale et (2) altération transitoire de la perception géocentrée responsable des sensations de malaise et des difficultés d'équilibre perçues par le patient.

❖ INTERDEPENDANCE ACTIVITES COGNITIVES ET MOBILITE CORPORELLE

Comme j'ai pu l'écrire précédemment, parmi les thématiques historiques de l'EA 3450 DevAH, l'évaluation du contrôle postural est au cœur de la plupart de projets de recherche. Dans le premier temps de mon intégration, j'ai cherché à proposer des paradigmes expérimentaux complémentaires aux analyses posturographiques réalisées habituellement dans ce laboratoire. Ainsi le style perceptif de l'individu, i.e. son degré de dépendance à la structuration visuelle de l'environnement, et son style cognitif, i.e. sa manière de se référer dans l'environnement, sont évalués dans les projets de recherche que je porte ou auxquels je participe. L'apport de certaines de ces évaluations perceptivo-cognitives à la compréhension de la performance posturale ont d'ailleurs fait l'objet d'une publication scientifiques avec des collaborateurs européens [Maire R, Mallinson A, Ceyte H, Caudron S, Van Nechel C, Bisdorff A, Magnusson M, Petersen H, Kingma H, Perrin Ph P. Discussion about Visual Dependence in Balance Control: European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders. *Journal International Advanced Otology* 2017;13(3):404-406].

Dans un deuxième temps, mon implication dans le domaine posturo-locomoteur m'a amené à me questionner et prendre position sur l'analyse de l'habileté posturale et notamment sur l'interprétation des variables enregistrées. Aujourd'hui, je défends une conception théorique où l'analyse de la performance posturo-locomotrice ne peut se faire qu'en prenant, systématiquement, en compte les caractéristiques de l'individu, e.g. son histoire sportive voire néonatologique par exemple, mais également le contexte cognitif dans lequel se réalise le contrôle postural. De la même manière, je défends l'idée que pour mesurer précisément une performance cognitive chez un individu, son agencement postural est un élément essentiel à prendre en compte. L'intime relation entre activités motrices et activités cognitives fait aujourd'hui entièrement partie de mes thématiques de recherche. J'ai, tout d'abord, entrepris ce travail d'un point de vue fondamental, à partir de travaux expérimentaux chez les tout-venants et chez l'expert postural, mais également d'un point de vue clinique via une approche translationnelle chez l'enfant vulnérable, notamment celui né prématurément.

Problématique « Influences des contraintes environnementales et internes sur l'exécution de tâches réalisées simultanément »

Parfois, il arrive que l'activité motrice, telle que la locomotion, cesse lorsque nos pensées ou nos discussions en cours deviennent trop sollicitantes. Ce fait pourrait amener à penser que nos ressources attentionnelles sont limitées et lorsque les tâches que nous réalisons en même temps dépassent un certain seuil nous devons en cesser une pour réaliser l'autre efficacement. Par ailleurs, cela indique que le contrôle postural à un coût attentionnel, en dépit de son automaticité acquise. La contribution des processus cognitifs à la régulation posturale est généralement étudiée à l'aide du paradigme de double-tâche, qui combine classiquement une tâche posturale avec une tâche cognitive. L'hypothèse de ce paradigme stipule que si deux tâches partagent les mêmes ressources attentionnelles, la difficulté croissante de l'une d'elles détériorera la performance de l'autre tâche (Kahneman, 1973). Ainsi, l'accomplissement d'une tâche cognitive serait rendu possible par les mêmes ressources attentionnelles que celles nécessaires à notre efficacité posturale, nous rendant ainsi vulnérable aux événements environnementaux déstabilisateurs (Kerr, Condon, & McDonald, 1985). Néanmoins, bien que plusieurs travaux aient étudiés les effets d'une tâche cognitive sur le contrôle postural, les résultats restent très disparates dans la littérature, montrant parfois une dégradation de la performance posturale, d'autres une amélioration (Barra, Bray, Sahni, Golding, & Gresty, 2006; John F. Stins & Beek, 2012; Teasdale, Bard, Larue, & Fleury, 1993). De plus, certaines études portant sur les effets de l'augmentation de la difficulté d'une tâche cognitive sur le contrôle postural sont également contradictoires (Chong et al., 2010; Maylor, Allison, & Wing, 2001; Pellecchia, 2003). Ces divergences semblent dépendre de la difficulté de la tâche posturale et de celle cognitive (Jamet, Deviterne, Gauchard, Vançon, & Perrin, 2007; Teel, Register-Mihalik, Troy Blackburn, & Guskiewicz, 2013).

Afin d'essayer de comprendre la relation fonctionnelle entre ces deux types tâches, nous pouvons essayer de concevoir leur relation autrement qu'à partir du simple postulat, un peu réducteur, d'un partage de ressources attentionnelles. Dans cette ligne de pensée, Stoffregen, Hove, Bardy, Riley, & Bonnet (2007) suggèrent une distinction entre les tâches cognitives. Parmi celles-ci, qu'ils qualifient de supraposturales, certaines d'entre elles nécessitent un ancrage, un contact avec l'environnement. Ce contact qui peut être de nature visuelle, possible par l'activité oculomotrice effectuée dans l'environnement par exemple, faciliterait l'exécution de la tâche posturale en raison de la fixation du regard dans l'environnement. Ces tâches supraposturales sont dites à focalisation externe. Les autres tâches supraposturales, telle qu'une tâche de calcul mental ou de mémorisation, ne nécessitent aucun contact visuel avec l'environnement, elles sont dites à focalisation interne. Cette absence de contact avec l'environnement induirait une augmentation des oscillations corporelles par rapport à celles dites à focalisation externe. De plus, ces auteurs suggèrent qu'un changement de difficulté de la tâche supraposturale n'affecte l'exécution de la tâche posturale que dans le cas de tâches supraposturales à focalisation externe. Autrement dit, la réduction du contact avec l'environnement nécessaire à la réalisation de ce tâches supraposturales conduirait à une augmentation des oscillations corporelles de l'individu. Ce contact étant absent dans celles à focalisation interne, l'augmentation de leur difficulté n'aurait dès lors aucune conséquence posturale puisque la relation avec l'environnement reste la même.

Au-delà de ce bouleversement conceptuel, l'existence même de la « quiet stance » (position calme), classiquement utilisée dans les études comme la situation de référence, est discutable. En effet, un individu, quel que soit sa posture, est toujours engagé dans une activité supraposturale (Stoffregen et al., 2007). Parfois, il est très difficile pour un observateur extérieur de savoir dans quel type d'activité supraposturale il est engagé situation de référence (« quiet stance ») : est-il en train de scruter l'environnement ou bien est-il en train de se remémorer sa journée, par exemple ? Seule l'analyse de son activité oculomotrice permettrait de répondre à cette question.

C'est pourquoi d'un point de vue expérimental, il est important d'imposer la tâche supraposturale lors des évaluations posturales.

Les effets de contraintes environnementales sur la performance posturale lors de la réalisation d'une tâche supraposturale à focalisation interne

Dans une étude publiée en 2014 [**Ceyte H, Lion A, Caudron S, Kriem B, Perrin P P, Gauchard GC. Does calculating impair postural stabilization allowed by visual cues ? *Experimental Brain Research* 2014;232(7):2221-8**], nous avons étudié l'influence de la disponibilité des indices visuels sur la performance posturale lors de la réalisation de tâches de calcul mental. Nous avons fait l'hypothèse d'une augmentation des oscillations corporelles lorsqu'une tâche de calcul est exécutée. Cependant, aucun effet de la difficulté de cette tâche supraposturale à focalisation interne n'était attendue sur la performance posturale et ce quel que soit le contexte visuel. Nous nous attendions à une plus grande performance posturale quand les indices visuels étaient présents et ce quel que soit la difficulté de la tâche de calcul.

Soixante et onze participants (dont 36 femmes, 24.1 ± 2.5 ans) se sont portés volontaires pour réaliser cette étude. Ils ont tous effectué un test d'organisation sensorielle au cours duquel ils devaient maintenir leur équilibre debout statique pendant 30 secondes, sans bouger les pieds. Trois conditions visuelles ont été testées : les yeux ouverts face à une scène visuelle fixe (V), les yeux fermés (NV) et les yeux ouverts face à une scène visuelle mouvante (MV), asservi aux oscillations posturales antéro-postérieures du participant. Chacune de ces conditions visuelles ont été réalisées dans deux conditions d'appui : surface d'appui fixe et mobile, asservi aux oscillations posturales antéro-postérieures du participant. Ces évaluations ont été effectuées avec et sans tâche de calcul mental consistant à compter à rebours par 3 ou par 13. La performance posturale est exprimée en score d'équilibre calculée à partir de l'amplitude des oscillations posturales antéro-postérieures : plus faibles sont ces amplitudes, plus haut est ce score.

Quelle que soit la condition de support, nos résultats montrent que l'ajout d'une tâche de calcul mental induit une diminution du score d'équilibre uniquement quand les indices visuels sont disponibles, i.e. en conditions visuelles V et MV (voir figure 32). De plus, aucun effet de la difficulté de la tâche de calcul n'est observé sur la performance posturale, et ce quel que soit les conditions visuelles et de support. Enfin, lorsque les indices visuels sont disponibles mais non systèmatiquement fiables (MV), la performance posturale est non significativement différente de celle obtenue dans un contexte où ces indices sont absents.

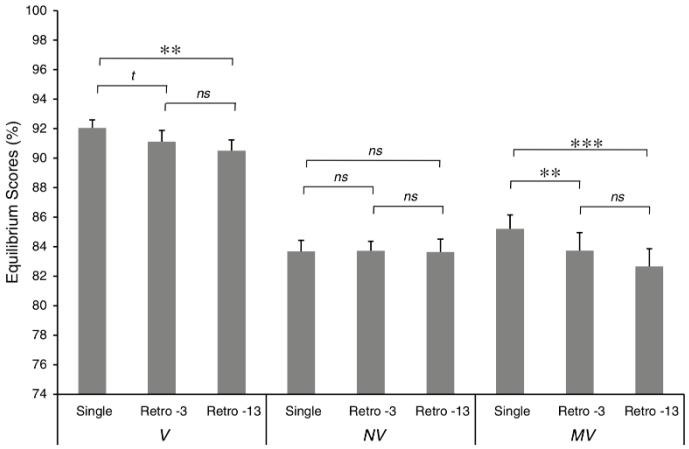


Figure 32 : Moyenne des scores d'équilibre (%) et des erreurs types en conditions de vision (V), de non-vision (NV) et de scène visuelle mouvante (MV) et pour les 3 tâches de calcul (sans, rétro-3 et rétro-13) quelque soit la condition de support [condition visuelle × tâche de calcul, $F(4,180) = 2.93$, $p<0,05$]. ns : non significative, t : 0,05<p<0,1, * : $p<0,05$, ** : $p<0,01$, *** : $p<0,001$)

Nos résultats posent la question du rôle des indices visuels dans la performance posturale lors d'une tâche supraposturale à focalisation interne. La similitude des performances posturales en l'absence d'indices visuels et en leur présence mais de qualité non fiable, suggère que leur disponibilité n'est pas suffisante pour maintenir le niveau de performance obtenu quand ils sont fiables. Ces résultats soulèvent, alors, la question de leur pondération dans l'exécution de la tâche posturale en contexte sensoriel discordant. Il semble que leur non-fiabilité conduise le système à ne plus les prendre en compte corroborant ainsi les résultats de Bernier, Burle, Vidal, Hasbroucq,

& Blouin (2009) mais également nos résultats, présentés dans la section « Conséquences cognitives et comportementales d'une cinétose » portant sur l'évolution du style perceptif suite à une stimulation visuelle aléatoire. Au-delà, lorsque ces indices visuels sont fiables et qu'une tâche supraposturale à focalisation interne est ajoutée, la diminution de la performance posturale indique qu'eux aussi, à un degré moindre, ne sont pas suffisant pour maintenir la performance posturale obtenue sans tâche cognitive associée. Cela pose concrètement ici la question du rôle de l'activité visuelle lors de la réalisation de la tâche posturale avec et sans tâche de calcul associée. Sans l'ajout d'une tâche de calcul, l'activité visuelle se résume à la fixation de la scène présente face au participant, facilitant ainsi sa performance posturale. En revanche, d'après Meyer, Gauchard, Deviterne, & Perrin (2007), l'exécution d'une tâche cognitive modifie la stabilisation du regard. Dès lors, cette mobilité oculaire provoquerait une augmentation de nos oscillations corporelles lors de l'exécution de la tâche de calcul. Ainsi, contrairement à ce que l'on pourrait penser, la disponibilité d'indices visuels fiables ne suffit pas pour prédire le niveau de performance posturale (Remaud, Boyas, Caron, & Bilodeau, 2012) ; la connaissance du type de tâche supraposturale associée est indispensable pour affiner ces prédictions. On pourrait très bien penser que lors de la réalisation d'une tâche supraposturale à focalisation interne, l'activité visuelle acquérait une fonction supplémentaire à celle stabilisatrice (de l'équilibre postural). En effet, en accord avec nos résultats, nous pensons que leurs fonctions vont dépendre des exigences de chacune des 2 tâches : (a) permettre d'assurer le maintien postural et (b) faciliter la réalisation de la tâche supraposturale. En effet, l'augmentation des oscillations corporelles, classiquement interprétée, à tort, comme étant le reflet d'une instabilité posturale, serait due à l'utilisation de l'activité visuelle à des fins d'augmenter, de manière non-consciente, le niveau d'éveil de l'organisme (Duncan, Smith, Clarke, Eyre, & Wright, 2016; Lambourne & Tomporowski, 2010) par la production de mouvements corporels auto-générés, facilitant ainsi la résolution de la tâche supraposturale. Ainsi, une augmentation des mouvements corporels aurait un rôle causal dans l'activité cognitive (Goodrich, 2010), et l'augmentation des oscillations, interprétée à tort comme

une perte d'équilibre, serait alors l'expression d'une stratégie comportementale inconsciente de l'individu pour assurer la réalisation de la tâche supraposturale à focalisation interne (Stins & Beek, 2012). Plusieurs auteurs ont déjà avancé l'idée que les oscillations corporelles puissent être modulées de manière stratégique pour faciliter l'exécution d'une tâche supraposturale (Stoffregen et al., 2007; Stoffregen, Smart, Bardy, & Pagulayan, 1999). Ce n'est pas une idée récente. Nietzsche a écrit « All truly great thoughts are conceived while walking » ce qui pourrait être traduit comme « les seules pensées valables sont celles qui viennent en marchant ». Au IVe siècle av. J.-C., Aristote avait déjà constaté les effets stimulants du mouvement sur l'esprit lors d'enseignement en marchant. Dans notre étude, la mise en mouvement du corps était fortement limitée du fait de la contrainte posturale imposée au participant : pieds fixes au sol, sans mouvement segmentaire. Dès lors, dans notre expérience, la facilitation de l'activité cognitive ne pourrait être possible que par la mobilité oculaire. Toutefois, une étude mesurant cette mobilité serait nécessaire afin de vérifier cette fonction de l'activité oculomotrice pendant la réalisation de tâche supraposturale à focalisation interne.

Les effets de contraintes internes sur les stratégies posturales de l'expert postural

Comme nous venons de l'aborder, les contraintes environnementales dans lesquelles se déroulent la tâche supraposturale influenceraient également et de façon directe le contrôle postural de l'individu. L'application de ce cadre conceptuel dans le domaine du sport permettrait de proposer de nouvelles interprétations des comportementaux posturaux adoptés par les pratiquants. Dans les arts martiaux, par exemple, le contrôle de l'équilibre est un élément clé de la performance (Filingeri, Bianco, Zangla, Paoli, & Palma, 2012; Pons Van Dijk, Lenssen, Leffers, Kingma, & Lodder, 2013; Zago et al., 2015) et dans le contexte fédéral de ces disciplines, leur pratique se fait dans un environnement sécuritaire très spécifique, sur tapis, par exemple. Par ailleurs, la plupart des études sur ces sports cible l'analyse posturale du pratiquant au cours d'un geste spécifique (Cesari

& Bertucco, 2008; Del Percio et al., 2009, 2007; Juras et al., 2013; Perrot, Moes, Deviterne, & Perrin, 1998; Pop, Czamy, Glista, & Skrzypiec, 2013; Vando et al., 2013) et non la manière dont le pratiquant gère son équilibre postural spontanément. D'après nos découvertes précédentes et nos propositions explicatives, la gestion du contrôle postural pourrait être liée au but de la tâche suprapostural associée, ce qui, appliqué ici, signifie que les stratégies posturales adoptées par le pratiquant serait influencée par l'objectif sportif visé. Dès lors, on peut tout à fait concevoir que, pour une même discipline, des pratiques différentes de celle-ci, aux logiques internes bien distinctes, induisent des stratégies posturales différentes. Si nous prenons l'exemple du karaté, qui consiste en des séquences répétées de frappes d'attaque et de défense interrompues, il nécessite des capacités motrices et fonctionnelles élevées impliquant vitesse, force, coordination (Blažević, Katić, & Popović, 2006) et équilibre (Cesari & Bertucco, 2008; Perrot et al., 1998). Son enseignement comporte trois domaines d'étude initialement complémentaires : le Kihon qui est une pratique codifiée qui consiste à répéter individuellement des techniques, positions et déplacements ; le Kata qui consiste à réaliser une séquence codifiée et structurée de techniques offensives et défensives simulant un combat virtuel, où la fixation du corps dans l'espace, autrement dit le maintien de postures corporelles entre deux séquences dynamiques de techniques ; le Kumité qui correspond à un combat entre deux adversaires, limité dans le temps, avec une cotation des coups portés (Filingeri et al., 2012). La pratique compétitive de haut niveau dans ce sport nécessite une spécialisation des karatékas vers l'un de ces domaines, ce qui pourrait conduire le pratiquant à une spécialisation à long terme de son contrôle postural. Les logiques internes propres à chacun de ces domaines, assimilables à des véritables contraintes internes, spécifient non seulement la motricité suprapostural des pratiquants mais également l'acquisition des stratégies posturales répondant spécifiquement aux exigences des domaines. Dès lors, cette spécialisation pourrait amener à une utilisation différenciée des indices sensoriels pour un contrôle postural efficient. En effet, la capacité à sélectionner les informations les plus fiables est un point clé de l'organisation posturale au karaté (Filingeri et al., 2012). Cependant, à notre

connaissance, aucune étude ne s'est intéressée à ces questions, notamment entre les domaines de cette discipline.

Dans une étude publiée en 2017 [**Gauchard GC, Lion A, Bento L, Perrin Ph P, Ceyte H. Postural control in high-level kata and kumite karatekas. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité* 2018,100:21-26**], notre objectif était d'analyser les contributions visuelles et tactiles à la station érigée orthostatique, dans un premier temps, entre des karatékas experts et des individus sédentaires, et dans un deuxième temps, entre des karatékas spécialisés en Kata et d'autres en Kumité. Nous avons, tout d'abord, émis l'hypothèse d'une dégradation de la performance posturale chez les participants sédentaires lors de l'appauvrissement du contexte sensoriel. Ensuite, nous nous attendions à observer des stratégies posturales différentes entre les pratiquants de Kata et ceux de Kumité, et ce quel que soit le contexte sensoriel. Vingt-trois karatékas de haut niveau (11 spécialistes de Kata et 12 de Kumité) ainsi que 24 participants sédentaires ont dû maintenir leur posture debout pendant environ 30 secondes sur une plateforme de force. Quatre contextes sensoriels ont été testés combinant la disponibilité des informations visuelles (yeux ouverts et yeux fermés) et la fiabilité des informations tactiles (sol dur et sol mou).

Les premiers résultats montrent des oscillations posturales de plus faible amplitude et de moins grande surface d'oscillation chez le karatéka par rapport à celles acquises chez le participant sédentaire, en particulier en absence de vision et sur un sol mou (voir figure 33). La pratique du karaté optimiserait l'utilisation des indices tactiles tout en diminuant la contribution de ceux visuels dans le contrôle postural orthostatique.

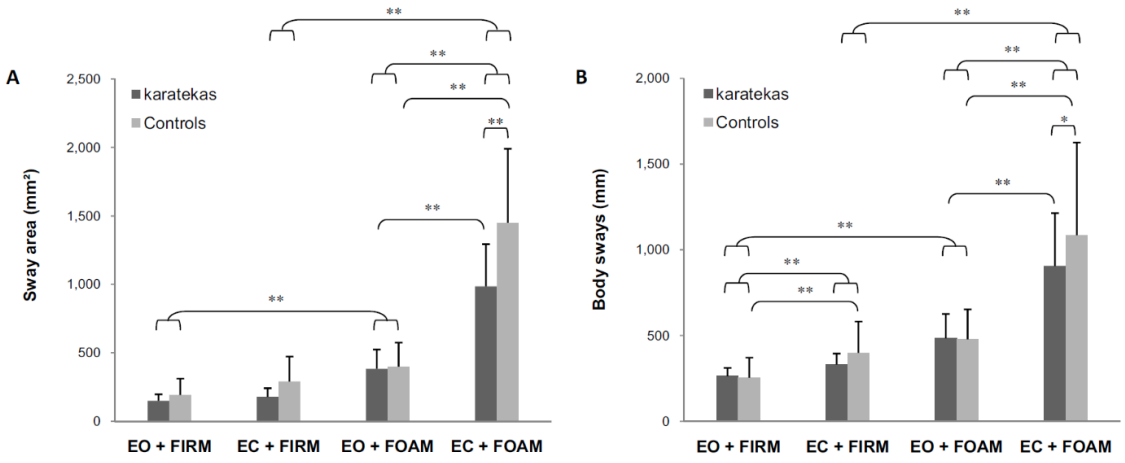


Figure 33 : Valeurs moyennes et écarts standards de la surface (A) et de l'amplitude des oscillations corporelles (B) les yeux ouverts (EO) ou les yeux fermés (EC) sur des supports fermes (FIRM) et mou (FOAM) chez des karatékas et des tout-venants (contrôles). Comparaisons post-hoc : * = p<0,05, ** = p<0,001

Par ailleurs, le spécialiste en Kata tend à avoir des oscillations posturales plus faibles en amplitudes dans des surfaces d'oscillation plus réduites que celles obtenues chez le spécialiste en Kumité (voir table 2).

Table 2 : Valeurs moyennes (Mean) et erreurs standards (SE) de la surface et de l'amplitude d'oscillation chez les spécialistes en kata et en kumité dans les conditions yeux ouverts (EO) et fermées (EC) sur des supports fermes (FIRM) et mou (FOAM).

Parameters	Conditions	Kata (n = 11)	Kumite (n = 12)
		Mean (SE)	Mean (SE)
Sway area (mm^2)	EO + FIRM	135 (11)	176 (14)
	EC + FIRM	139 (14)	200 (20)
	EO + FOAM	351 (26)	413 (51)
	EC + FOAM	898 (79)	1064 (97)
Body sways (mm)	EO + FIRM	224 (16)	300 (19)
	EC + FIRM	287 (23)	371 (27)
	EO + FOAM	439 (19)	526 (38)
	EC + FOAM	860 (61)	945 (64)

Ces résultats, extrêmement intéressants, pourraient être interprétés via une conception « classique » de ces indicateurs comme une performance posturale inférieure des spécialistes en Kumité par rapport à celle de ceux en Kata. Cependant, cette lecture ne me semble pas pertinente au regard de ces populations (tous karatékas : experts posturaux), qui ne sont à aucun moment en difficulté posturale au cours de ces évaluations, et de leur vécu. Ces indicateurs doivent être perçus comme des éléments exprimant une manière « d'être au sol », rendant compte, ici, de stratégies cinétiques d'équilibration spécifiques à chacun de ces domaines de pratique du karaté : la pratique du Kata optimisant la fixation du corps dans l'espace, l'équilibre statique, alors que celle du Kumité optimiserait l'art du déplacement, l'équilibre dynamique. Par ailleurs, les valeurs de ces indicateurs suggèrent des modes de coordination entre les articulations de la cheville et des hanches distincts pour chacun de ces domaines, où pour le spécialiste en Kata un mode de coordination en phase semble être adopté, alors que pour celui en Kumité ce serait un mode en anti-phase. Toutefois, une étude cinématique de ces articulations chez ces experts posturaux est nécessaire pour vérifier l'existence de telles stratégies posturales spécifiques à la pratique de haut niveau de chacun de ces domaines. Cette confirmation cinématique assoirait l'idée que les contraintes internes à l'activité sportive influencent la gestion posturale des pratiquants même dans l'exécution de tâches posturales les plus simples comme celles rencontrées au quotidien.

Les effets d'une fatigue cognitive sur le niveau de performance posturale

Un autre argument expérimental qui pourrait permettre de vous convaincre quant à l'existence d'une relation circulaire entre cognition et comportement moteur s'appuie sur les résultats d'une étude que j'ai réalisé en collaboration avec Thierry Paillard, Frédérick Noé & Betty Hachard, respectivement Professeur, Maître de Conférences et Docteur de l'Université de Pau & des Pays d'Adour. Dans cette étude, contrairement à celles présentées précédemment, on a analysé l'évolution du contrôle de l'équilibre à la suite d'une réduction de ressources cognitives, et

particulièrement attentionnelles. Contrairement aux résultats de Deschamps, Magnard, & Cornu (2013), nous montrons qu'une fatigue cognitive, qualifiée aussi de mentale, quelle qu'elle soit, dégrade significativement notre capacité à maintenir une posture bipédique la plus immobile possible et ce, dans différents contextes de stabilité [**Hachard B, Noe F, Ceyte H, Trajin B, Paillard T. Balance control is impaired by mental fatigue due to the fulfilment of a continuous cognitive task or by the watching of a documentary. *Experimental Brain Research* 2020, doi : 10.1007/s00221-020-05758-2 (sous press)**].

En raison de la non-parution de cette étude à ce jour, j'ai intégré dans le développement de cette section des informations d'ordre méthodologique et statistique afin d'étayer mon argumentaire.

Précisément, nous avons demandé à 20 participants (dont 7 femmes, 21.8 ± 1.7 ans) de rester debout sur une plate-forme de forces en limitant le plus possible leurs balancements pendant 1 minute. Ils ont dû réaliser cette tâche dans 3 contextes de stabilité : les yeux ouverts ou fermés sur un support stable ou alors les yeux ouverts sur un support instable. Ces évaluations ont été réalisées avant et après fatigue cognitive induite soit par le visionnage d'un documentaire animalier de 90 minutes ou la réalisation d'un test de vigilance prolongée (AX-Continuous Performance Test – AX-CPT) de même durée, conçu et reconnu pour solliciter fortement l'attention soutenue (Marcora, Staiano, & Manning, 2009; Pageaux, Marcora, & Lepers, 2013). Chaque participant a réalisé ces deux sessions de fatigue, en position assise, et ce après un temps de récupération d'une semaine entre elles. Immédiatement après chacune d'elle, nous avons quantifié la charge de travail subjective pour chaque participant via le NASA-Task Load indeX. Ce questionnaire est conçu autour de 7 dimensions (Exigence mentale, Exigence physique, Exigence temporelle, Performance, Effort, Niveau de frustration) permettant, grâce à une pondération de chaque dimension, de calculer un score global de charge cognitive. De plus, nous avons objectivé l'évolution de la fatigue induite par l'AX-CPT en divisant le test en 10 blocs de 9 minutes afin de

calculer le pourcentage de bonnes réponses (CR) et leur temps de réponse médian (TCR) dans chacun de ces blocs. Enfin, l'analyse posturographique a été réalisée (1) à partir de variables linéaires, telles que la vitesse de déplacement médio-latéral et antéro-postérieur du centre de pression et sa surface d'oscillation, permettant de quantifier leurs oscillations posturales et (2) à partir d'une variable non linéaire, la sample entropie permettant d'évaluer l'implication des ressources cognitives dans le contrôle postural et ainsi de déterminer les mécanismes de régulation posturale impliqués. En effet, il est connu que plus un système est chaotique, désordonné, irrégulier, plus il est entropique ; spontanément un système isolé évolue vers un état entropique. Compte tenu de sa diversité articulaire et de la complexité du contrôle de ses possibles configurations segmentaires, l'Homme n'échappe pas à cette loi physique. Concrètement, plus l'individu cherche à contrôler son équilibre de manière volontaire, plus la régularité du déplacement de son centre de pression est importante, plus la valeur de l'entropie est faible. A l'inverse, plus cette valeur est importante, plus le signal est irrégulier, plus le contrôle postural adopté est géré par des processus automatisés (Donker, Ledebt, Roerdink, Savelsbergh, & Beek, 2008; Donker, Roerdink, Greven, & Beek, 2007; Lobo da Costa, Verbecque, Hallemans, & Vieira, 2019; Roerdink et al., 2006; Roerdink, Hlavackova, & Vuillerme, 2011a; Stins, Michielsen, Roerdink, & Beek, 2009).

Les résultats montrent, tout d'abord, que la charge cognitive perçue lors de la réalisation de l'AX-CPT était plus significativement plus importante que celle induite par le visionnage du documentaire (V = 0, $p<0.01$, voir table 3). Par ailleurs, ils indiquent une dégradation de la performance attentionnelle entre les blocs lors de la réalisation de l'AX-CPT (voir table 4).

Table 3 : Scores médians (IQR) au NASA-TLX consécutifs au visionnage du documentaire animalier (Control) et à la réalisation d'un test de vigilance prolongée [AX-CPT (MF)] pour les dimensions Exigence mentale (MD), Exigence physique (PD), Exigence temporelle (TD), Performance (PERF), Effort (EFFORT), Niveau de frustration (FL) et le Score global (GS). * : *p*<0,05 entre les conditions Contrôle et MF.

Dimension	Control	MF
MD	13.8 (32.2)	71.3 (33.3)*
PD	2.9 (6.0)	21.8 (60.9)*
TD	6.3 (12.1)	51.1 (52.9)*
PERF	87.9 (27.2)	63.2 (23.6)
EFFORT	14.9 (18.4)	72.4 (27.9)*
FL	4.6 (6.9)	25.9 (41.6)*
GS	30.5 (14.0)	58.6 (13.3)*

Table 4 : Pourcentage (CR) et temps médians des réponses correctes [TCR (IQR)] dans l'AX-CPT.

Block	CR (%)	TCR (ms)
1	96.7 (2.2)	372.6 (81.8)
2	96.7 (5.0)	373.7 (77.3)
3	95.6 (5.0)	367.5 (67.4)
4	95.6 (2.8)	365.0 (69.1)
5	96.7 (3.3)	357.8 (84.5)
6	94.4 (4.4)	368.9 (74.8)
7	95.6 (5.0)	356.1 (64.7)
8	94.4 (2.8)	362,59 (67.1)
9	94.4 (5.0)	374.2 (79.4)
10	94.4 (3.3)	386.3 (88.3)

Au niveau postural, nos résultats montrent que les 2 sessions de fatigue affectent significativement les mécanismes de régulation posturale : celle induite par le visionnage du documentaire réduisant significativement les valeurs de la sample entropie uniquement dans les contextes de stabilité les plus difficiles ; celle induite par l'AX-CPT les réduisant dans tous les contextes de stabilité (voir figure 34).

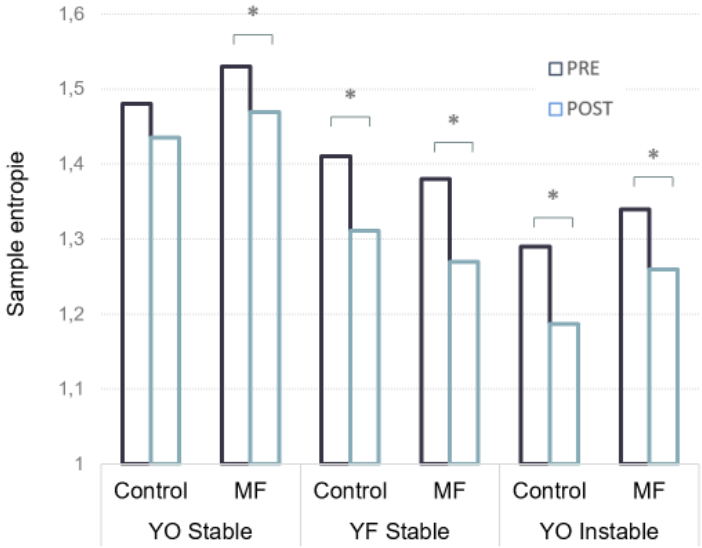


Figure 34 : Sample entropie médiane avant (PRE) et après (POST) visionnage du documentaire (Control) ou réalisation de l'AX-CPT (MF) et ce dans les différents contextes de stabilité posturale. * : $p<0.05$

L'évolution de cette variable indique clairement que le contrôle de l'équilibre est devenu moins automatique, plus stéréotypé, ce qui suggère une augmentation de la participation des ressources attentionnelles (Roerdink, Hlavackova, & Vuillerme, 2011b). Ces résultats sont, sans nul doute, dûs à la consigne générale de notre tâche posturale qui a contraint les participants à se concentrer sur leur équilibre, afin de maîtriser autant que possible leurs oscillations posturales, leur imposant ainsi un focus interne (Bonnet, 2016 ; Lajoie, Teasdale, Bard, & Fleury, 1993). Par conséquent, les états de fatigue induits ont diminué significativement la capacité des participants à maintenir leur niveau initial de performance posturale, probablement en raison d'une altération du fonctionnement de structures corticales impliquées dans les processus attentionnels, tels que le cortex cingulaire antérieur et les zones préfrontales (Boksem & Tops, 2008 ; Pires et al., 2018). Des études complémentaires, notamment en imagerie cérébrale, restent cependant nécessaires pour valider cette hypothèse.

Messages à retenir

- Dégradation de la performance posturale pendant la réalisation d'une tâche supraposturale à focalisation interne lors de la présence d'un contact visuel avec l'environnement,
- Absence d'effet de l'augmentation de la difficulté de la tâche supraposturale à focalisation interne quelle que soit la disponibilité des indices visuels,
- Présence d'indices visuels non pertinents vs. Absence d'indice visuel : performance posturale comparable,
- Double fonction de l'organe visuel lors d'une évaluation posturale statique associée à la réalisation d'une tâche supraposturale à focalisation interne : (1) aide à l'équilibre postural et (2) aide à l'activation des processus énergétiques nécessaires à la résolution cognitive.

- Influence d'une activité motrice réalisée fréquemment sur le contrôle postural bipédique.

- Influence de la charge cognitives d'une tâche réalisée précédemment sur les mécanismes de régulation posturale subséquents.

Conclusion

Au quotidien, l'individu en bonne santé exécute au minimum deux tâches en même temps dont l'une est inexorablement posturale et l'autre peut être qualifiée de supraposturale. Celles-ci ne doivent plus être comprises spontanément comme des tâches en concurrence mais bien pouvant faire parties d'un tout fonctionnellement structuré. La quantité de nos oscillations corporelles serait intimement liée au type d'activité cognitive que nous sommes en train de réaliser (Haddad, Rietdyk, Claxton, & Huber, 2013) et aux contraintes qui composent le système « individu, environnement et tâche à réaliser ». En effet, lorsque nous discriminons l'environnement à la recherche d'indices visuels, nos oscillations corporelles diminueraient afin de nous offrir un support stable pour la perception visuelle (Stoffregen, Pagulayan, Bardy, & Hettinger, 2000; Stoffregen et al., 1999). En revanche, lorsque nous réfléchissons, ou quand nous nous remémorons un évènement, l'augmentation de la quantité de nos oscillations corporelles exprimerait une participation spontanée, non-consciente, de l'ensemble du corps ou des éléments corporels non contraints en vue d'augmenter le niveau d'éveil de notre organisme. La performance posturale dépendrait donc de la nature et de la fiabilité des contacts sensoriels

établis avec l'environnement, du type de tâche supraposturale à réaliser et aussi des caractéristiques propres à l'individu réalisant cette tâche (expertise, âge, intégrité cognitive et motrice…). Dès lors, la réalisation d'une tâche supra-posturale pourrait être facilitée par la stabilisation ou la mise en mouvement de notre corps à chaque fois que cela est possible en fonction de ces contraintes (Riccio & Stoffregen, 1988).

C'est à partir de ce soubassement théorique que mes travaux dans cette thématique s'articulent et que j'ai entrepris l'analyse des performances cognitivo-posturo-locomotrices de différentes populations vulnérables que ce soit l'enfant né prématurément ou encore la personne vieillissante atteinte de déficience visuelle.

Perspectives de recherche

→ Effet de la déficience visuelle sur le contrôle postural de personnes âgées de plus de 65 ans lors de la réalisation de tâche cognitive

Réalisé avec la collaboration de Cécile Aubert, ergothérapeute et formatrice de l'Institut de Formation en Ergothérapie, de Fabien Vérité, Maître de Conférences de l'Université de Paris (Paris VI), de Gwenaelle Ceyte, jeune chercheure d'Aix-Marseille Université et le concours de thérapeutes de l'Office d'Hygiène Sociale, ce projet vise à étudier le comportement postural de la personne âgée de plus de 65 ans atteinte de déficience visuelle dans différentes situations de sollicitations attentionnelles. Un des problèmes majeurs rencontrés par cette population est le risque de chute. D'après la Haute Autorité de Santé, environ 9 000 décès de personnes âgées de plus de 65 ans sont associés, chaque année en France, à une perte d'équilibre. Bien qu'aucun lien de causalité directe ne puisse être formulé, la mortalité associée à ces chutes augmente rapidement avec l'avancée en âge. Plus directement, la chute est responsable de fracture, très souvent de l'extrémité supérieure du fémur, en raison de pathologies fragilisant l'os, altérant la vision, l'équilibre ou de polypathologie chronique. Parmi les facteurs intrinsèques au risque de chute fréquemment retrouvés chez la personne âgée, l'altération de ses capacités sensorielles semble centrale, tout particulièrement les troubles de la modalité visuelle. Paradoxalement, l'entrée visuelle avec l'âge est de moins en moins efficiente, et pourtant elle reste

préférentiellement utilisée par cette population. L'atteinte visuelle favorise l'augmentation du taux de risques de chute et celui-ci est fonction de la nature de l'atteinte. En effet, Patino et al. (2010) montrent que comparativement à des personnes en bonne santé du même âge, une altération de la vision centrale élève le risque de chute à un facteur égal à 2,4 alors qu'une altération de la vision périphérique l'élève à un facteur de 1,5. Parmi les atteintes de la vision centrale, la dégénérescence maculaire liée à l'âge (la DMLA), principale cause de malvoyance bilatérale et progressive chez la personne âgée de plus 50 ans, élève ce facteur de risque de chute à 3 (Soubrane, Zlateva, Xu, Buggage, & Kosa, 2008).

Au-delà, l'impact psychologique de la chute, amenant très souvent à une perte de confiance en soi et d'angoisse, reste majeur. Avant même la première chute, la peur de chuter est omniprésente chez de nombreuses personnes âgées. Celle-ci est accentuée chez celles qui présentent des troubles posturo-locomoteurs accompagnés ou non de sensation d'instabilité. Pour celles ayant subi une chute, la station prolongée au sol semble être un indicateur de gravité et les conséquences se caractérisent très souvent par une réduction spontanée de leur activité motrice. Différentes formes possibles de sédentarité peuvent même amener la personne âgée « chuteuse » à un confinement à son domicile, voire à un réel isolement social participant à la diminution de ses capacités fonctionnelles et à une augmentation de ses troubles posturo-locomoteurs, en partie due à la fonte musculaire de ses membres inférieurs. Ainsi, le risque de nouvelle chute est augmenté par vingt, ce qui nous permet de mieux apprécier le taux d'hospitalisation long séjour de cette population après une chute ; en effet près de 40 % des personnes âgées hospitalisées après une chute ne peuvent pas retourner à domicile et doivent être accueillies en établissement. En France, le coût de ces personnes s'élève à près de 2 milliards d'euros par an.

Ce projet scientifique sera constitué de deux étapes : la première correspondant à la détermination de la nature des troubles posturaux chez cette population et à la mise en évidence du type de gestion posturale adopté ; la seconde correspondant à la proposition d'une thérapeutique innovante basée sur l'activation d'une repondération sensorielle, plus précisément d'un abaissement du poids de l'entrée visuelle en faveur des autres modalités sensorielles disponibles. Bien évidemment, cette proposition

thérapeutique doit être perçue en complémentarité de celles déjà existantes optimisant la prise en compte des modalités sensorielles proprioceptives et vestibulaires.

Etude de la nature des troubles posturaux chez la personne âgée déficiente visuelle

A l'issue d'un examen ophtalmique, le recrutement des participants sera axé sur deux populations âgées de plus 65 ans : un groupe de personnes dont l'acuité visuelle avec correction est supérieure à 6/10ème, et un groupe de personnes dont l'acuité visuelle avec correction n'excèdera pas les 3/10ème, correspondant à la catégorie de la malvoyance d'après l'OMS. Tous les participants devront être exempts de troubles sensoriels autres que ceux étudiés, de troubles neurologiques et de troubles de l'appareil locomoteur non corrigés. Les inclusions se font actuellement avec l'approbation du Centre de Rééducation de Florentin et prochainement avec celui du Centre d'Éducation pour Déficients Visuels de Nancy, le centre Santifontaine. Au cours de cette étape, les versants perceptifs d'orientation spatiale et le comportement d'équilibration seront analysés. Plus spécifiquement, nous allons chercher à évaluer dans ces deux populations 1) leur perception gravitaire via le test de la Verticale Visuelle Subjective, 2) leur dépendance aux informations visuelles statiques et dynamiques de l'environnement pour déterminer l'orientation géocentrée et 3) leur performance posturale lors de la réalisation de tâche de discrimination visuelle. L'analyse posturographique sera réalisée à partir de variables linéaires, telles que la longueur du déplacement du centre de pression, sa surface d'oscillation et leur fréquence moyenne, permettant de quantifier leurs oscillations posturales et à partir de variables non linéaires, telle que la sample entropie permettant d'évaluer l'évolution de leur contrôle postural au cours du temps afin de déterminer l'implication de leurs ressources cognitives dans ce contrôle. En effet, comme nous l'avons présenté précédemment, plus un système est désordonné, irrégulier, plus il est entropique. Compte tenu de la diversité articulaire, les oscillations posturales chez l'Homme montrent un état entropique, indiquant que ce contrôle adopté est géré par des processus automatisés. Plus l'individu cherche à contrôler son équilibre de manière volontaire, plus son état entropique diminue, autrement dit, plus ses oscillations posturales sont régulières (Donker et al., 2007, 2008; Lobo da Costa et al., 2019; Roerdink et al., 2006, 2011a; Stins et al., 2009). Ainsi, nous pourrons déceler si

les problèmes posturaux rencontrés par ces populations sont d'ordre cognitif et/ou sensori-moteur. Au-delà, nous émettons l'hypothèse que la population atteinte de malvoyance aura une performance visuelle affectée précocement par l'augmentation de la difficulté de la tâche de discrimination visuelle. Le contrôle postural de cette population nécessitant une forte implication cognitive afin d'éviter la chute, la quantité de ressources cognitives disponibles pour réaliser la tâche suprapostural à focalisation externe risque rapidement de ne plus être suffisante.

Proposition thérapeutique afin de réduire le recours aux indices visuels des personnes atteints déficience visuelle

Par la suite et à partir des résultats obtenus dans la problématique « Discordances perceptives & Comportement moteur » et en accord avec ceux de l'étude publiée en 2017 [**Ceyte H, Lion A, Caudron S, Kriem B, Perrin P P, Gauchard GC. Does calculating impair postural stabilization allowed by visual cues ? *Experimental Brain Research* 2014;232(7):2221-8**], où nous avons pu montrer qu'une scène aux stimulations visuelles non pertinentes provoque une réduction de l'utilisation des indices visuels, je proposerai un projet expérimental basé sur des séances de stimulations optocinétiques afin de réduire leur dépendance aux indices visuels dans leur stratégie d'équilibration posturale au profit de l'utilisation de leurs indices somato-sensoriels, à partir d'une prise en charge de ces patients par les professionnels en ergothérapie, en kinésithérapie et en activités physiques adaptées. Cette étape est encore en réflexion et mérite encore un temps de réflexion quant à sa faisabilité et la conception du plan expérimental.

Problématique « Influences réciproques de la mobilité corporelle et de l'activité attentionnelle chez l'enfant d'âge scolaire »

Un autre modèle, qui permet de mettre en exergue la relation fonctionnelle entre Cognition & Comportement moteur, est celui de l'enfant d'âge scolaire. La réussite à l'école est un élément clé pour les chances d'insertion dans la vie adulte. L'âge de cinq à sept ans marque une étape importante du fait de l'entrée dans la vie scolaire. C'est à cette période que débutent véritablement les apprentissages fondamentaux qui vont conditionner les capacités des enfants à suivre une scolarité normale. Les apprentissages fondamentaux que sont la lecture, l'écriture et le calcul, sont fortement liés au développement des capacités attentionnelles et des fonctions exécutives, telles que la mémoire de travail et le contrôle inhibiteur (Blair & Razza, 2007; Clair-Thompson & Gathercole, 2006; Gathercole, Pickering, Knight, & Stegmann, 2004).

Il est courant de lier difficulté attentionnelle et niveau élevé d'activité motrice chez l'enfant d'âge scolaire ; certains allant jusqu'à qualifier cette expression motrice d'hyperactivité. Toutefois cette qualification n'est pas neutre, puisqu'associée à un déficit attentionnel objectivé, elle sous-entend la présence d'un Trouble Déficitaire de l'Attention avec Hyperactivité (TDAH) qui est un véritable trouble psychiatrique de l'enfance. En effet, les principaux symptômes du TDAH sont l'insuffisance d'attention soutenue, le manque de contrôle des impulsions (impulsivité) et le niveau excessif d'activité (American Psychiatric Association, 1987 ; Barkley, 1981 ; Ross & Ross, 1982). Cependant, parmi ces enfants qualifiés d'hyperactifs, beaucoup ne présentent pas de déficit d'attention ce qui soulève la question de la fonction de cette mobilité excessive apparente et qui, au-delà, souligne la méconnaissance de cette pathologie.

Contrairement à ce qui est communément pensé, la mobilité n'est pas toujours source de distraction. En effet, plusieurs études suggèrent une amélioration des performances cognitives grâce à la mise en action du corps. Janssen et al. (2014) montrent que la pratique d'activités physiques à intensité modérée pendant le temps scolaire induit une optimisation du niveau

d'attention des enfants et au-delà une amélioration de leur rendement scolaire. Certaines initiatives et innovations pédagogiques permettant aux écoliers de rester debout et de se déplacer pendant l'enseignement montrent également des améliorations significatives de l'attention, de la fonction d'inhibition et de la mémoire de travail (Blake, Benden, & Wendel, 2012; Dornhecker, Blake, Benden, Zhao, & Wendel, 2015; Koepp et al., 2012; Mehta, Shortz, & Benden, 2015). Cette relation fonctionnelle entre activité cognitive et mobilité corporelle a également été objectivée en l'absence de modification des appuis. En effet, Barra, Auclair, Charvillat, Vidal, & Pérennou (2015) ont montré que la posture statique en position de Romberg, i.e. un pied devant l'autre, qui offrait la plus grande mobilité corporelle, visible au travers des oscillations posturales, permettait une attention soutenue supérieure à celle évaluée dans des postures statiques plus stables. L'hypothèse avancée pour expliquer cette relation fonctionnelle entre activité cognitive et mobilité corporelle repose sur l'idée d'une élévation du niveau d'activation de l'organisme par la mise en mouvement du corps : modification du fonctionnement cérébral, augmentation de la température corporelle, de la fréquence cardiaque, de la pression sanguine, du volume respiratoire, de la consommation d'oxygène, de la sécrétion de cortisol et de catécholamines (Brisswalter, Collardeau, & René, 2002; Caldwell, Prazinko, & Caldwell, 2003; Thibault & Raz, 2016; Tomporowski, Davis, Miller, & Naglieri, 2008). Dès lors, l'amélioration de la performance cognitive serait liée à la mobilité corporelle de l'enfant. Ce nouveau regard propose donc que cette mobilité corporelle ne doit pas être interprétée comme le reflet d'une instabilité posturale mais bien comme l'expression d'une participation spontanée non-consciente de l'ensemble du corps en vue d'augmenter le niveau d'éveil de l'organisme de ces enfants (Ceyte et al., 2014; Lambourne & Tomporowski, 2010; Stins & Beek, 2012).

L'influence de la mobilité corporelle sur les performances d'attention soutenue chez l'enfant d'âge scolaire

Dans une étude récente, présentée en communication orale lors d'un congrès international fin octobre de cette année 2019 [**Rosenbaum J, Hascoët J-M, Hamon I, Caudron S, Ceyte H. Influence de la mobilité corporelle sur les performances d'attention soutenue chez l'enfant d'âge scolaire. XVIIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive, les 28 et 31 Octobre 2019, Paris V**], nous avons analysé l'influence de la mobilité corporelle sur la performance d'attention soutenue chez l'enfant âgé entre 6-7 ans scolarisé.

En raison de la non-publication, à ce jour, du manuscrit relatant cette étude, j'ai intégré dans le développement de cette section des informations d'ordre méthodologique et statistique afin d'étayer mon argumentaire.

Dix-neuf enfants (dont 7 filles, 6.7 ± 0.4 ans), équipés d'un visiocasque dans lequel était projeté l'Attention Network Test for Children (Rueda et al., 2004), devaient indiquer le plus rapidement et le plus précisément possible la direction droite ou gauche dans laquelle se dirigeait un poisson apparaissant à l'écran avec les boutons d'une souris. Pour évaluer leurs performances d'attention soutenue, ils ont exécuté 12 essais avec un pré-signal les alertant de l'apparition imminente du poisson et 12 essais sans pré-signal. Leurs taux de réussite et leur temps moyen de bonnes réponses pour les deux conditions de pré-signal ont été calculés à partir de leur réponse à chaque essai. A partir de la différence temporelle entre ces deux conditions de pré-signal, nous avons pu calculer le score de l'effet d'alerte nous renseignant sur la maturité de la fonction d'alerte correspondant à l'attention soutenue. Si ce score est nul alors il est dit dans la littérature que cette fonction est mature, en revanche plus il est grand, plus cette fonction peut être optimisée (Rueda et al., 2004). Ce test a été réalisé en position assise et debout, dans lesquelles ils recevaient la consigne de rester immobile (conditions contraintes) et en position libre, i.e. sans aucune

contrainte de mobilité (condition libre). L'ordre de ces conditions était contrebalancé pour chaque enfant.

Les résultats montrent que les taux de réussite ne sont pas significativement différents entre les conditions de pré-signal et/ou de mobilité (voir figure 35).

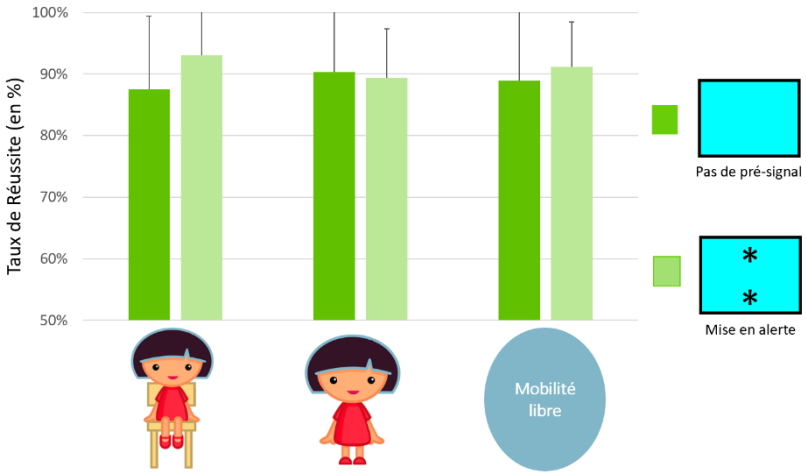


Figure 35 : Taux de réussite (en %) chez l'enfant âgé de 6 -7 ans en position assise fixe, debout fixe et libre.

Ils montrent également que la fonction d'alerte est significativement meilleure en condition libre qu'en condition debout fixe [F(2, 34) = 3,26 ; *p*=0.05 ; voir figure 36].

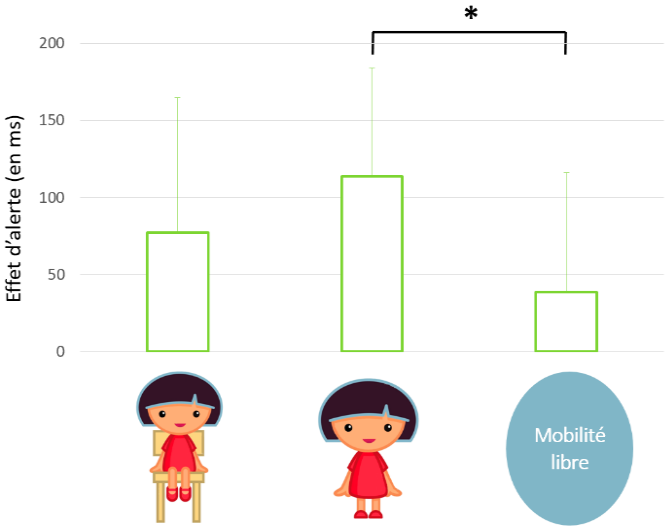


Figure 36 : Score de la fonction d'Alerte (ms) chez l'enfant âgé de 6 -7 ans en position assise fixe, debout fixe et libre. * : p<0.05

En revanche, lorsqu'on s'attarde sur les temps de bonnes réponses sans pré-signaux, les résultats suggèrent aucune différence entre les conditions de mobilité (assise : 969 ± 108 ms ; debout : 996 ± 129 ms ; libre : 974 ± 130 ms), alors que lors de la présence du pré-signal, les enfants semblent plus rapides uniquement en conditions contraintes (assise : 864 ± 134 ms, *p*=.017 ; debout : 881 ± 148 ms ; libre : 955 ± 176 ms) comme semble l'indiquer la tendance à une réduction de ce temps entre la condition assise contrainte et la condition libre (voir figure 37). Ces résultats questionnent l'interprétation du score de la fonction attentionnelle sans prendre en compte les conditions de mobilité de l'enfant.

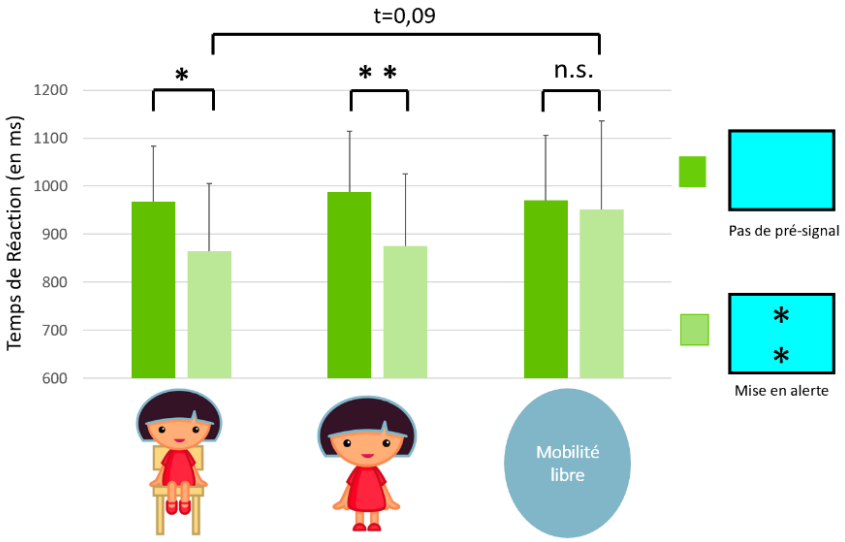


Figure 37 : Temps de réponse (en ms) chez l'enfant âgé de 6 -7 ans en position assise fixe, debout fixe et libre. * : p<0.05 ; ** : *p*<0.01

Ces données indiquent dans un premier temps que le niveau d'excitabilité générale de l'enfant, i.e. son état de vigilance (l'alerte tonique), est indépendant des contraintes de mobilité auxquelles il est soumis. En revanche, l'adaptation de son niveau de vigilance spécifique à la tâche, par exemple lorsqu'un pré-signal est délivré pour l'aider à être « prêt à réagir » (l'alerte phasique), semble dépendante de telles contraintes. En effet, la performance d'attention soutenue de l'enfant âgé entre 6-7 ans est améliorée par la délivrance d'un indice lorsque sa mobilité est

contrainte, en revanche, cela n'est plus le cas lorsqu'elle est totalement libre. Une hypothèse explicative serait qu'en mobilité totalement libre le niveau d'éveil ne pourrait être amélioré par l'apport d'un pré-indice car la consigne permet à l'enfant d'engager de manière maximale sur la tâche supraposturale (Brisswalter & Legros, 1996). Dès lors, ce focus dit externe ne pourrait pas être augmenté par l'apport d'un pré-signal expliquant ainsi l'absence d'amélioration de performance temporelle. En revanche, en position assise et debout, l'enfant n'avait pas la permission de bouger, il devait « faire la statue », ce qui lui imposerait une focalisation attentionnelle sur son immobilité posturale, un focus dit interne. Dès lors la délivrance du pré-signal permettrait à l'enfant à se centrer davantage sur la tâche supraposturale (indiquer la direction du poisson en position centrale) en augmentant son focus externe à la posture ce qui expliquerait ainsi l'amélioration temporelle de ses réponses dans les conditions de mobilité contrainte. Par conséquent, l'influence de la consigne de mobilité semble primordiale pour comprendre les performances attentionnelles chez l'enfant.

L'ensemble de ces résultats suggèrent que soustraire l'enfant aux contraintes posturales socialement attendues en contexte scolaire n'est pas source de dégradation de son état général de vigilance et que cela ne limiterait pas la mobilisation de ses ressources d'attention soutenue dans la réalisation d'une tâche où l'apport d'information supplémentaire à sa réussite n'est pas possible ou prévu. Toutefois, la maîtrise de sa mobilité corporelle semble nécessaire lors de l'apport d'informations supplémentaires spécifiques à la tâche afin d'optimiser son niveau d'alerte phasique. Au-delà, à ces âges, le contrôle de leur mobilité permet de retarder l'apparition des effets délétères d'une fatigue physique et la maîtrise adaptée de leur libération motrice pourrait optimiser leurs performances attentionnelles. Il reste à convenir de la gradation de cette mobilité en prenant en compte les caractéristiques individuelles des enfants et des possibilités pédagogiques qu'offre le contexte scolaire.

L'influence de la mobilité corporelle sur les performances d'attention chez l'enfant vulnérable d'âge scolaire : l'enfant né prématurément

Par ailleurs, parmi les enfants qui intègrent le système éducatif, certains présentent une vulnérabilité particulière. Ainsi les enfants nés prématurés, en fonction de leur âge gestationnel et de leur poids de naissance, présentent un risque de difficultés sensorielles, de problèmes de comportement et de limitations des fonctions cognitives (Bhutta, Cleves, Casey, Cradock, & Anand, 2002; Bracewell & Marlow, 2002). L'ampleur de leurs déficits développementaux a été mise en évidence par des résultats plus médiocres en mathématiques et en lecture par rapport aux enfants nés à terme (Klebanov, Brooks-Gunn, & McCormick, 1994). Malgré des risques élevés de troubles d'apprentissage chez ces enfants, les professionnels du système éducatif ignorent le plus souvent leur histoire néonatale. Cependant, même pour les plus avertis, peu de travaux portent sur l'évolution des déficits liés à la prématurité et les moyens de les atténuer (Hack et al., 2005; Wocadlo & Rieger, 2006). Parmi les rares études à long terme, la nécessité de soutien de ces enfants est très souvent relayée afin de limiter leurs difficultés dans les apprentissages (Anderson, Doyle, & and the Victorian Infant Collaborative Study Group, 2003; Bowen, Gibson, & Hand, 2002; Hille et al., 1994). Certains auteurs ont interprété ces besoins spécifiques comme étant le reflet d'un faible quotient intellectuel (Bhutta et al., 2002), alors que pour d'autres ils seraient dûs à des déficits de l'attention non forcément liés à un retard intellectuel (Hack et al., 1994; Katz et al., 1996). Notons que la plupart des tests utilisés pour évaluer les capacités attentionnelles chez l'enfant ne permettent pas d'identifier précisément la nature du déficit attentionnel évaluant la capacité d'attention générale. Ainsi, une meilleure compréhension de leurs difficultés attentionnelles permettrait d'ouvrir de nouvelles perspectives d'interventions pédagogiques visant à améliorer les performances scolaires de ces enfants vulnérables et donc leurs chances de réussite dans leur future vie d'adulte.

Depuis les années 1990, les travaux de Posner ont mis en évidence trois fonctions attentionnelles aux réseaux cérébraux spécifiques : la fonction d'alerte correspondant à l'attention soutenue, la

fonction d'orientation correspondant à l'attention sélective et la fonction d'inhibition correspondant au contrôle exécutif (Rueda et al., 2004). Le niveau de développement de ces trois fonctions de l'attention serait dépendant de l'âge de l'enfant mais aussi de son âge gestationnel à la naissance (Mulder, Pitchford, Hagger, & Marlow, 2009). De plus, la trajectoire développementale de ces fonctions serait spécifique pour chacune d'elles. Ainsi, la capacité de maintenir un état d'alerte, qualifiée d'attention soutenue, s'améliorerait avec l'âge jusqu'à 14-15 ans où le niveau adulte serait atteint (Conners, Epstein, Angold, & Klaric, 2003). Les études ne montrent pas de difficultés significatives d'attention soutenue chez l'enfant âgé de 5-6 ans né prématuré par rapport à l'enfant du même âge né à terme (Pizzo et al., 2010). En revanche, si la capacité d'orienter son attention est observable dès la première année de vie (Hunnius & Geuze, 2004; Johnson, Posner, & Rothbart, 1991), le niveau d'attention sélective de l'adulte ne serait atteint qu'à l'âge de 6 ans pour l'enfant né à terme (Mulder et al., 2009; Rueda et al., 2004; Welsh, Pennington, & Groisser, 1991) et seulement vers l'âge de 7-8 ans pour l'enfant né prématuré (Bayless & Stevenson, 2007). Il y aurait un retard de développement d'environ un an pour cette fonction liée à la prématurité (Atkinson & Braddick, 2007; Foreman, Fielder, Minshell, Hurrion, & Sergienko, 1997). Enfin, la capacité à se concentrer sur une caractéristique d'un stimulus et d'ignorer les autres, la fonction d'inhibition, émergerait dès la première année de vie (Diamond, 1985), mais atteindrait le niveau adulte seulement à l'âge de 14 ans (Romine & Reynolds, 2005). Cette fonction semble encore affectée à l'âge de 6-7 ans par la prématurité (Atkinson & Braddick, 2007; Bayless & Stevenson, 2007; Pizzo et al., 2010). Toutefois, le niveau de développement de cette fonction est difficile à estimer en raison de la diversité des méthodes d'évaluations (Test de Tapping, Test Go-No-Go, Stroop Color World, Test de performance continue, Test Daily Attention pour les enfants ...).

Certains travaux suggèrent que les retards de maturation de chaque fonction attentionnelle s'estomperaient au cours des années (Mulder et al., 2009; van de Weijer-Bergsma, Wijnroks, & Jongmans, 2008) ; malheureusement, le système scolaire ne permet pas à ces enfants de rattraper

les retards accumulés pendant les premières années d'acquisition des fondamentaux, c'est pourquoi il est important de les identifier et de rechercher comment y remédier au plus tôt.

Parmi les facteurs impactant les performances attentionnelles de l'enfant né prématuré, l'impulsivité est fréquemment citée (Katz et al., 1996). Et comme nous l'avons indiqué précédemment, il est courant de lier déficit d'attention et niveau élevé d'activité motrice chez l'enfant d'âge scolaire ; certains allant jusqu'à qualifier cette expression motrice d'hyperactivité. Rappelons, cependant, parmi ces enfants, la grande majorité ne présentent aucun déficit d'attention ce qui soulève la question de la fonction de cette mobilité excessive apparente particulièrement chez ces enfants vulnérables.

- Proposition méthodologique pour la mise en évidence de cette interdépendance

Afin de tester l'hypothèse selon laquelle il existerait un lien fonctionnel entre activité cognitive et mobilité corporelle, reposant sur l'idée d'une élévation du niveau d'activation de l'organisme par la mise en mouvement du corps et donc d'une optimisation de la performance cognitive, nous avons proposé, dans un article publié en 2018 [**Ceyte H, Rosenbaum J, Hamon I, Wirth M, Caudron S, Hascoët JM. Mobility may impact attention abilities in healthy term or prematurely born children at 7-years of age: protocol for an intervention controlled trial. *BMC Pediatrics* 2018 Aug 6;18(1):264**], une méthodologie spécifique pour déterminer l'influence de la mobilité corporelle sur les 3 composantes de l'attention impactant l'apprentissage chez l'enfant, scolarisés et en bonne santé, âgés de 7 ans né à terme ou prématurément. Dans le cadre d'un essai prospectif, randomisé et contrôlé, nous sommes en train de faire passer l'Attention Network Test adapté à l'enfant (ANT-Child - Rueda et al., 2004) et une évaluation subjective de leur niveau d'éveil (Self-Assessment Manikin scale » -Bradley & Lang, 1994) à 2 groupes de 24 enfants âgés de 7 ans, inclus après consentement parental, l'un composé d'enfants nés prématurés et l'autre d'enfants nés à terme, afin d'évaluer leurs capacités attentionnelles dans différentes conditions de mobilité corporelle. Ces effectifs ont été déterminés à partir d'un calcul à priori pour mettre

en évidence une différence significative avec une puissance de 80% et un risque alpha de 0,00625 (correction de Bonferroni en fonction du nombre de tests effectués). Aucun de ces enfants ne rencontre de difficulté d'apprentissage. Ils sont équipés d'un visio-casque dans lequel l'ANT-Child sera diffusé. Ils ont pour tâche d'indiquer, le plus vite possible, la direction (droite ou gauche) du poisson central à l'aide d'une manette à 2 boutons à la suite de la présentation ou non d'indices spatiaux et temporels sollicitant spécifiquement et séparément chacune des fonctions attentionnelles (voir illustration 14).

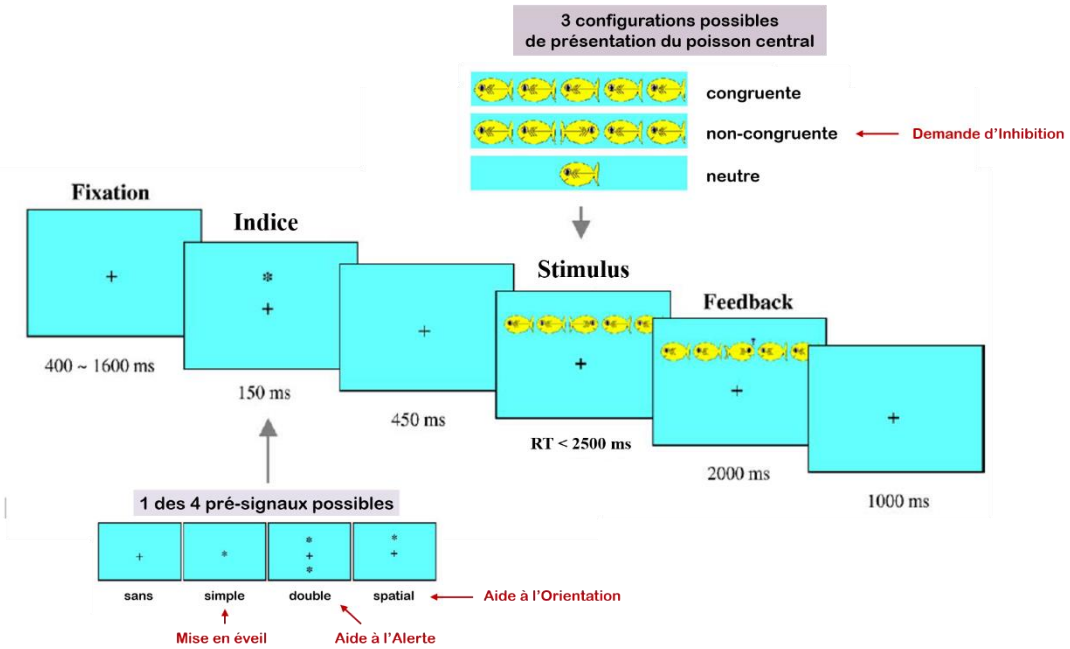


Illustration 14 : ANT Child

Grâce à ce visiocasque, l'enfant peut ainsi réaliser cette tâche dans 3 conditions de mobilité corporelle : en position assise fixe, en position debout dans laquelle l'enfant a pour consigne de ne pas modifier ses appuis et en position libre où il a la possibilité de changer de position comme et quand il le souhaite. La tâche est composée d'un bloc d'essais par condition de mobilité corporelle et ces blocs sont contrebalancés entre eux. Ainsi, les performances des 3 fonctions attentionnelles (alerte, orientation et fonction d'inhibition) sont évaluées dans 3 conditions de

mobilité corporelle. Par ailleurs, entre chaque bloc expérimental, les enfants ont une pause de 3 minutes. Au cours de ces pauses, les enfants évaluent leur éveil à partir d'une l'échelle de notation en 9 échelons adaptée du « Self-Assessment Manikin scale ». Ils doivent indiquer l'un des cinq oursons ou son hésitation entre deux oursons « voisins » correspondant à une valeur de l'échelle (voir illustration 15). La durée totale de ce protocole est d'environ 30 minutes.

Illustration 15 : Échelle des ours en peluche adaptée du « Self-Assessment Manikin scale »

Ainsi, cette étude évalue la contribution de la mobilité corporelle dans des contextes attentionnels proches de ceux rencontrés en milieu scolaire. A partir des résultats expérimentaux de cette étude, de nouveaux formats pédagogiques d'enseignement pourront être envisagés et, également de nouveaux outils pédagogiques permettant de maîtriser la mobilité spontanée des enfants, pourraient être conçus. De plus, un faible pourcentage d'enfants, environ 10%, qui intègrent le système éducatif naissent prématurément. Ces enfants, souvent considérés comme immatures et hyperactifs, seraient les premiers bénéficiaires de ces d'innovations éducatives qui optimiseraient leurs capacités d'attention, améliorant ainsi leur adaptation à l'école primaire.

Cette étude, comme toutes les autres de cette problématique, fait partie du projet de thèse de Joëlle Rosenbaum que j'encadre actuellement avec Jean-Michel Hascoët, Professeur d'Université – Praticien Hospitalier. Nous avons reçu le 06 avril 2017 un avis favorable du CPP Sud-Est III pour cette proposition méthodologique. L'investigateur principal de cette étude est Jean-Michel Hascoët, le promoteur est le CHRU de Nancy et le numéro ID RCB est le 2017-A00327-46. Le protocole a été enregistré dans la base internationales des études, ClinicalTrial.gov, sous le numéro NCT03125447. Les inclusions sont très prochainement terminées.

Les résultats de cette étude centrale dans le travail de thèse de Mme Rosenbaum seront présentés lors du Congré international de la Société Américaine de Pédiatrie à Philadelphie le 3 mai 2020 [Rosenbaum J, Ceyte H, Hamon I, Hascoët A M, Petel A, Caudron S, Hascoët J-M. Influence of prematurity and mobility on the three attention networks at school age. *Pediatric Academic Societies 2020 Meeting*, Philadelphia, accepted].

L'effet de la mobilité corporelle sur les capacités d'inhibition de l'enfant âgé de 7 ans né prématurément : réflexions préliminaires

A partir des données préliminaires de ce travail, nous avons comparé les capacités de résistance à la distraction d'enfants âgés entre 6 et 7 ans nés à terme à celles d'enfants du même âge nés grands prématurés, i.e. à 27 semaines de gestation en moyenne. Publiée cette année [**Hascoët JM, Rosenbaum J, Hamon I, Ceyte H. Physical mobility impact interference control in prematurely born children at 7 years of age: preliminary considerations. *Bulletin de l'Academie Nationale de Medecine* 2019. doi : 10.1016/j.banm.2019.05.018**], cette réflexion sur une des facettes des capacités d'inhibition chez l'enfant, cruciales aux apprentissages scolaires, a fait l'objet d'une communication orale à l'Académie de Médecine.

Tous les enfants-participants étaient issus de classes de même niveau scolaire et ils étaient considérés comme n'ayant pas de difficulté d'apprentissage. Les enfants nés prématurés sont suivis en routine à la Maternité Régionale Universitaire de Nancy dans le cadre du réseau de suivi des enfants vulnérables nés à moins de 34 semaines de gestation. Les enfants témoins nés à terme ont été recrutés via leurs parents travaillant au sein de l'Université de Lorraine. Tous les enfants ont bénéficié d'un examen clinique préalable réalisé par un pédiatre spécialisé dans le suivi des enfants vulnérables, ainsi que d'un examen ophtalmologique pour éliminer tout trouble de la vision qui perturberait la réalisation du test.

Puis ils ont réalisé un test proche de l'Eriksen flanker task adapté aux enfants via un visiocasque dans lequel était projeté le test. Ils devaient le plus rapidement possible indiquer la direction du

poisson placé au centre de leur champ visuel, parfois ce poisson central était entouré par d'autres poissons dirigés soit dans la même direction (congruente) soit dans la direction opposée (non-congruente). La résistance à la distraction est déterminée en mesurant le taux de réussite et le temps de réponse moyen des bonnes réponses. Le test est réalisé, de façon aléatoire, dans les 3 conditions de mobilité corporelle présentée précédemment : assis comme à l'école, debout sans bouger ou libre de leurs mouvements.

Les premiers résultats confirment que le contrôle de l'interférence des 15 enfants nés à terme est différent de celui des 20 enfants nés très prématurément (voir figure 38). En effet, ces derniers répondent, en posture contrainte, spontanément de façon stéréotypée lorsque leur capacité d'inhibition est sollicitée, i.e. sans prendre le temps d'adapter leur réponse. Le contexte non-congruent dégrade significativement leur taux de réussite au test qui passe de 89 ± 9 % à 79 ± 13 %. A l'inverse, l'allongement du temps de réaction des enfants nés à terme leur permet de maintenir un taux élevé de bonnes réponses au test malgré la sollicitation de leur capacité d'inhibition (90 ± 8 % à 87 ± 7 %). Enfin, en posture libre, l'allongement du temps de réponse des enfants nés prématurément semble limiter la dégradation de leur taux de réussite, initialement faible, lorsque leur capacité d'inhibition est sollicitée. La libération de leur mobilité leur permettrait d'agir de manière semblable aux enfants nés à terme.

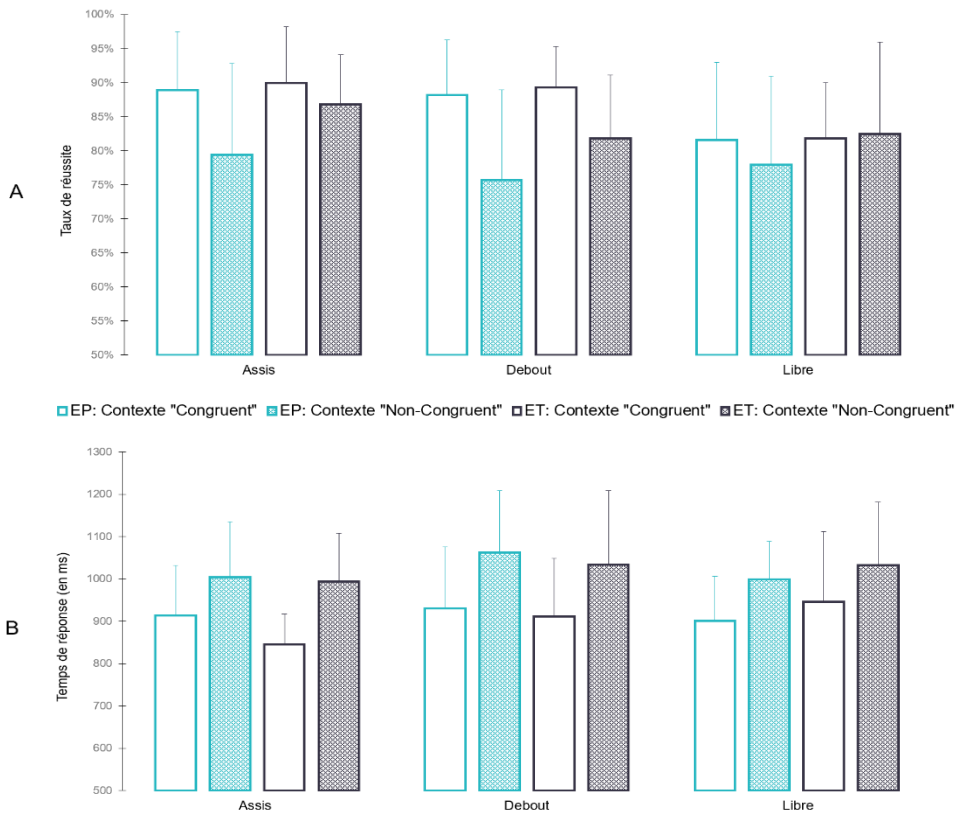


Figure 38 : Taux de réussite (en % - A) et temps de réponse (en ms – B) en situation congruente et non-congruente chez l'enfant âgé de 6/7 ans né prématurément (EP) ou né à terme (ET) en position contrainte assise et debout ou en position libre

Ces résultats préliminaires, à ce stade très spéculatifs, méritent d'être approfondis par de nouvelles inclusions dans chaque groupe afin d'atteindre les effectifs définis à priori. Toutefois, s'ils se confirment, ils permettraient de rassurer parents et enseignants sur le comportement et l'implication des enfants souvent suspectés de mauvaise volonté devant des résultats scolaires insuffisants, attribués à une attention déficiente. De plus, elles suggèreraient que les efforts attentionnels nécessaires pour maintenir une contrainte posturale pourraient limiter la disponibilité de ces ressources chez l'enfant vulnérable pour réaliser les tâches cognitives associées. Enfin, la liberté totale de mouvement semble affecter les capacités d'inhibition des enfants quelle que soit leur histoire néonatologique ; autrement dit, les enfants nés prématurément auraient des performances d'inhibition proche de ceux né à terme en absence de contrainte motrice. Un approfondissement de ce contexte, notamment des motricités adoptées

par les enfants, permettrait de mieux comprendre ces résultats. Au-delà, ces données permettraient d'envisager une révision des conditions matérielles et pédagogiques d'enseignement afin d'optimiser les performances d'apprentissage des enfants vulnérables. En effet, corroborant les propositions de Dornhecker et al. (2015), des dispositifs scolaires autorisant la mobilité corporelle des enfants, sans induire d'effet délétère, lié à la fatigue, sur ses capacités d'apprentissage (Yerkes & Dodson, 1908) ni perturber le déroulement de la classe méritent d'être évalués. Ils permettraient de prévenir l'échec scolaire dû, non pas aux faibles capacités intellectuelles intrinsèques des enfants, mais au retard maturationnel de leurs fonctions attentionnelles, en libérant leur motricité.

Messages à retenir

- Nécessité de prendre en compte les contraintes de mobilité imposées à l'enfant pour interpréter sa capacité d'attention soutenue,
- Niveau d'alerte tonique comparable entre les contraintes de mobilité corporelles chez l'enfant âgé entre 6-7 ans,
- Saturation du niveau d'alerte phasique lors d'une mobilité corporelle totalement libre

- Rapidité de la réponse privilégiée à sa justesse chez l'enfant âgé entre 6-7ans né prématurément,
- Possible réduction des différences du contrôle de l'interférence en mobilité libre entre les enfants de cet âge nés à terme et prématurément.

Perspectives de recherche

→ La forme de la relation entre activation physiologique et performances attentionnelles

Comme nous l'avons discuté précédemment, la réalisation d'une tâche cognitive pourrait être facilitée par la mise en mouvement de l'ensemble du corps (Brisswalter & Legros, 1996; Riccio & Stoffregen, 1988). Une des hypothèses de ce travail doctoral est donc que la mobilité corporelle des enfants d'âge scolaire pourrait induire une amélioration de leurs performances attentionnelles favorisant ainsi leur rendement scolaire, du fait de l'augmentation de la sollicitation des processus énergétiques. Toutefois, comme le propose Yerkes & Dodson (1908), cette relation fonctionnelle entre activité motrice et activité cognitive suivrait une forme parabolique avec l'existence d'un optimum, d'une valeur seuil d'activation motrice au-delà de laquelle l'activité motrice devenant trop sollicitante, la performance attentionnelle de l'enfant se dégraderait. Cela sous-entend qu'afin d'optimiser leurs capacités attentionnelles et ainsi de favoriser leur réussite scolaire, il faut que les enseignants et les éducateurs aient connaissance de la valeur maximale d'activation motrice qu'ils sont susceptibles de proposer aux enfants afin d'éviter d'induire des effets délétères, tel qu'un état de fatigue, à leur niveau d'attention.

En collaboration avec Isabelle Olivier, Professeure au laboratoire TIMC-IMAG "Techniques de l'Ingénierie Médicale et de la Complexité - Informatique, Mathématiques, Applications, Grenoble" de Grenoble-Alpes Université, nous avons pour objectif d'étudier la forme de cette relation fonctionnelle entre le niveau d'activation motrice et la performance attentionnelle. En cohérence avec notre positionnement théorique de l'attention, basé sur le modèle proposé par Posner & Petersen (1990), l'étude de cette relation chez l'enfant âgé entre 6-7 ans fera l'objet d'une analyse spécifique pour chaque type d'attention : l'alerte (l'attention soutenue), l'orientation de l'attention (l'attention sélective) et les capacités d'inhibition (le contrôle exécutif). Le plan expérimental de ces évaluations n'est pas pour le moment finalisé. Un travail collaboratif spécifique avec l'équipe grenobloise est prévu au début de l'année 2020 pour une réalisation concrète de ce projet pendant l'été 2020 au sein du laboratoire TIMC-IMAG.

→ L'application de nos découvertes au contexte scolaire : une assise innovante

Par ailleurs, sur la base de nos premiers résultats concernant l'étude de l'influence de la mobilité corporelle sur la performance des différentes fonctions attentionnelles fondamentales dans la réussite scolaire de l'enfant âgé entre 6-7 ans, nous avons, en partenariat avec la société CGM Construction Mécanique GRUGET (N° SIRET : 33491094000017), développé une assise innovante permettant de libérer la mobilité corporelle de l'enfant tout en la maintenant dans un cadre propice à l'investissement des autres enfants dans les tâches d'apprentissage, i.e. sans les distraire par des déplacements inopportuns dans l'espace de la salle de classe. En effet, les pédagogies scolaires classiques requièrent un comportement peu mobile, voire statique des enfants, ce qui pourrait être un frein à la mobilisation de leurs ressources attentionnelles et ainsi augmenter les difficultés d'apprentissage des plus vulnérables (Ceyte et al., 2018). Par ailleurs, les rares espaces scolaires aménagés pour permettre à l'enfant de bouger montrent, certes, une amélioration du rendement scolaire des enfants (Hinckson et al., 2016), mais ils doivent être conçus afin de limiter les effets distractifs, dûs trajets moteurs, sur la performance des enfants environnants. Enfin, à notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée aux processus responsables de ces améliorations de performance scolaire. C'est dans ce contexte que nous souhaitons tester l'effet d'une assise libérant la mobilité spontanée d'enfants âgés entre 6 et 7 ans sur leurs performances attentionnelles en contexte scolaire. Pour ce faire, nous envisageons de faire passer à l'enfant la version adaptée de l'ANT-Child afin d'évaluer deux des trois fonctions attentionnelles, celle d'alerte de d'inhibition. Le choix de ces fonctions fut établi à partir des résultats préliminaires dans nos études précédentes. Les enfants réaliseront ce test en situation posturale proche de celle rencontrée en contexte scolaire, i.e. assis sur une chaise rigoureusement semblable à une chaise d'école pour les élèves de niveau CP/CE1, et assis sur une chaise identique à la précédente mais où l'assise a été modifié afin de permettre à l'enfant de bouger librement dans les trois plans de l'espace (illustration 16).

Illustration 16 : Assise mobile

A la suite de l'étude portant sur l'influence de la mobilité corporelle sur les 3 fonctions de l'attention impactant l'apprentissage chez l'enfant, scolarisés et en bonne santé, âgés entre 6-7 ans nés à terme ou prématurément, nous allons nous intéresser à la relation opposée, i.e. l'influence du type et du niveau d'attention sur le contrôle postural de ces mêmes enfants. Ce travail vient de recevoir le 05 novembre 2019 un avis favorable du CPP Ouest VI (Etude COGNIPOST) N°ID-RCB : 2019-A02385-52.

→ Quantification de la mobilité posturale de l'enfant âgé de 6-7 ans né prématurément

Comme nous l'avons précisé précédemment, l'âge de 6-7 ans marque le début des apprentissages fondamentaux et ceux-ci conditionnent les capacités des enfants à suivre une scolarité normale. En fonction de leur âge gestationnel et de leur poids de naissance, les enfants de cet âge, nés prématurément, ont un risque accru de développer des difficultés d'apprentissage (Larroque et al., 2011) pouvant être le reflet de troubles neurocognitifs, comportementaux et/ou moteurs (Baron & Rey-Casserly, 2010; Delobel-Ayoub et al., 2009; Fevang, Hysing, Markestad, & Sommerfelt, 2016; Marlow, Hennessy, Bracewell, Wolke, & others, 2007). Au niveau moteur, ils montrent une motricité

fine moins développée comparée à celle d'enfants nés à terme et leur équilibre serait plus précaire en situation posturale difficile telle que marcher sur une ligne, se tenir sur une jambe ou encore sauter à cloche pied (Marlow et al., 2007; Rodríguez Fernández et al., 2016). Certains auteurs suggèrent même que ces enfants ont un contrôle postural moins efficient que ceux nés à terme au cours de la période préscolaire (Bucci et al., 2017) et lors de l'adolescence (Petersen et al., 2015) du fait de leur vitesse de déplacement du centre de pression supérieure. Toutefois, d'autres auteurs ne parviennent pas à mettre en évidence de différence de précision posturale entre ces enfants à partir de l'analyse de la surface d'oscillations du centre de pression (Kluenter et al., 2008; Lorefice et al., 2015; Rodríguez Fernández et al., 2016). Ces résultats indiquent, cependant, que l'enfant âgé de 6-7 ans né prématurément oscillerait plus vite qu'un enfant du même âge né à terme dans une surface d'oscillation comparable. Dès lors, nous pouvons nous interroger sur l'origine de cette mobilité posturale accrue chez les enfants nés prématurément.

La première étape de réponse à ce questionnement consistera à objectiver cette mobilité posturale supérieure chez l'enfant né prématurément à partir d'une analyse cinétique plus complète. En effet, au-delà de l'analyse de variables classiquement utilisées, reflétant le comportement postural global, tels que la longueur totale du déplacement du centre de pression et sa surface d'oscillation, nous étudierons également la manière dont l'enfant gère sa posture au cours de la tâche. Ce type d'analyse permettra de déterminer concrètement le mode de gestion posturale adopté par l'enfant, i.e. la nature automatique ou volontaire du contrôle postural. Cette information sera accessible à partir de l'analyse de la régularité du signal posturographique, i.e. le déplacement du centre de pression au cours du temps d'enregistrement. Cette régularité correspond à l'entropie du signal et, comme nous l'avons précédemment présenté, elle nous permettra d'avoir une information quant au niveau de gestion du contrôle postural réalisé par l'enfant. Dès lors, nous analyserons le contrôle postural d'enfants âgés entre 6 et 7 ans nés à terme et prématurément à partir des variables linéaires et non-linéaires. Trois difficultés posturales seront testées : une où l'enfant devra suivre une séquence de dessin animés pendant le maintien de sa posture debout, une autre où il devra fixer un ancrage visuel dans l'environnement et une dernière où il aura les yeux fermés. Chaque essai durera 30 secondes.

Effet de la corpulence et de la trajectoire de croissance : un effet covariant ?

Le premier axe de réflexion, quant à l'origine de la mobilité posturale accrue chez l'enfant né prématurément, ciblera ses caractéristiques anthropométriques. En effet, leur faible poids à la naissance évolue généralement différemment de la courbe de croissance de référence (Ong et al., 2015). Ces trajectoires particulières dépendent notamment des apports nutritifs reçus au cours de leurs premières années de vie. Près de la moitié de ces enfants présentent un retard de croissance post-natal au cours des premières années de vie (Mucignat et al., 2003) associé à un retard de leur développement neurocognitif (Ehrenkranz, 2006). Un rattrapage trop rapide et trop précoce augmenterait toutefois le risque qu'ils développent un surpoids ou une obésité (Belfort, Gillman, Buka, Casey, & McCormick, 2013; Hascoët, 2013). Ainsi, il semble intéressant de prendre en compte la cinétique de rattrapage du retard de croissance post-natal dans nos études sur le contrôle postural de ces enfants, sans doute à partir d'une analyse de covariance.

Hypothèse représentationnelle

Par ailleurs, Bucci, Wiener-Vacher, Trousson, Baud, & Biran (2015) interprètent la forte mobilité posturale des enfants nés prématurément comme la conséquence d'un trouble perceptif de la direction gravitaire. L'altération de leur perception géocentrée, référence fondamentale au contrôle de la posture, serait à l'origine d'un comportement postural hésitant illustré par une mobilité posturale plus importante chez eux. En cohérence avec notre conception théorique sur la filiation des perceptions égocentrée & géocentrée, présentée dans la section « Perception égocentrée & perception géocentrée : une filiation ? », nous faisons l'hypothèse que si ce déficit perceptif existe, il pourrait provenir d'une difficulté chez ces enfants à percevoir correctement leur orientation corporelle, i.e. leur perception égocentrée. A notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée à cette évaluation perceptive chez ces enfants. L'analyse de leurs perceptions géo- et égocentrées fournirait de nouveaux éléments dans la compréhension de leurs comportements posturaux et ainsi validerait ou invaliderait l'hypothèse représentationnelle pour expliquer leur mobilité posturale. Pour ce faire, nous évaluerons ces perceptions spatiales à partir d'un casque de réalité virtuelle où nous demanderons aux enfants soit d'ajuster une baguette lumineuse à la verticale (perception géocentrée), soit parallèlement à leur corps

(perception égocentrée). Ces évaluations se feront assis sur une chaise et incliné à droite et à gauche à 90 degrés afin de décorréler l'axe longitudinal de l'enfant de celui gravitaire.

Hypothèse attentionnelle

Au-delà de l'hypothèse représentationnelle, les connaissances actuelles sur la relation entre activité cognitive et activité posturale nous ont amené à envisager une seconde hypothèse selon laquelle les difficultés attentionnelles rencontrées par l'enfant né prématurément pourraient expliquer leur mobilité posturale. En effet, comme nous l'avons vu précédemment dans la section « Influence de la mobilité corporelle sur les performances d'attention chez l'enfant vulnérable d'âge scolaire : l'enfant né prématurément », ces enfants présenteraient à l'âge préscolaire un retard de maturation des trois fonctions de l'attention (Raz & Buhle, 2006) : ils seraient attentifs moins longtemps, avec de plus longs moments d'inattention que les enfants nés à terme ; ils parviendraient à identifier moins efficacement les informations pertinentes et ils seraient plus facilement distraits (de Kieviet, van Elburg, Lafeber, & Oosterlaan, 2012; Geldof et al., 2013; Giordano et al., 2017; Mulder et al., 2009; Pizzo et al., 2010; Réveillon, Hüppi, & Barisnikov, 2018; Shum, Neulinger, Ocallaghan, & Mohay, 2008). L'objectif de cette étude sera d'analyser l'augmentation de la sollicitation de chaque fonction attentionnelle sur le contrôle postural chez l'enfant âgé entre 6-7 ans né à terme et prématurément. Nous émettons l'hypothèse que l'augmentation de la difficulté d'une tâche attentionnelle chez ces enfants pourraient accroitre leurs difficultés à contrôler leur équilibre, ce qui les conduirait à utiliser des processus de régulation posturale volontaire plus rapidement que les enfants nés à terme. Ce mode de gestion posturale pourra être objectivé via le score d'entropie du déplacement du centre de pressions. Si la difficulté posturale devient trop élevée, il est probable que l'enfant délaisse la tâche attentionnelle associée afin d'éviter une éventuelle chute.

Concrètement, les deux populations d'enfants équipées d'un casque de réalité augmentée (HoloLens®, Microsoft) seront placées debout sur une plateforme de force (AccuGait®, AMTI). Dans ce casque, il sera projeté séparément un test attentionnel évaluant l'une des trois fonctions de l'attention. Un des tests évaluera la fonction d'alerte. L'enfant devra cliquer sur une souris (d'ordinateur) à chaque fois qu'il verra une grenouille verte parmi les animaux défilant les uns après

les autres devant lui dans le casque (illustration 17). Dans le 1er niveau de difficulté, seuls les grenouilles seront vertes. Tous les autres animaux seront violets. Dans le 2ème niveau de difficulté, tous les animaux seront verts.

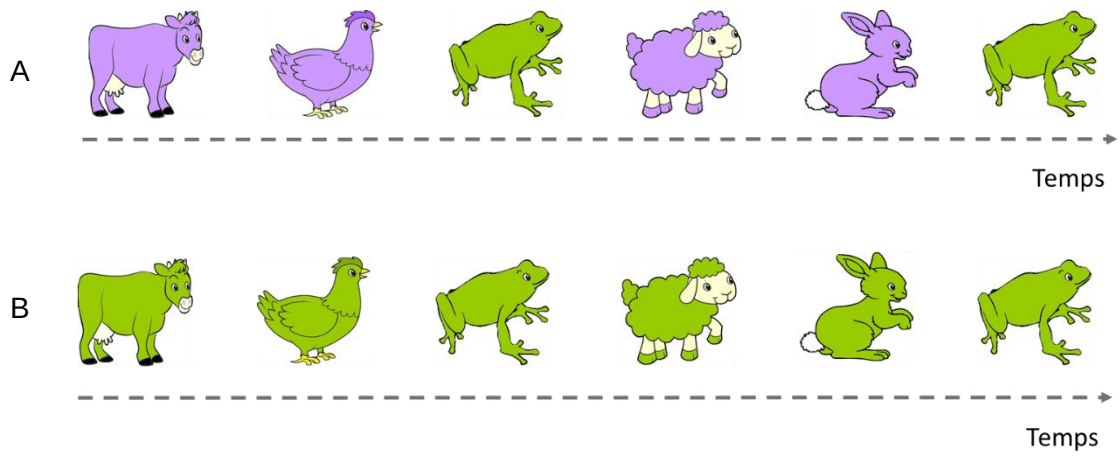


Illustration 17 : Exemple de scénario visuels testant la fonction d'alerte. A : Faible sollicitation – B : Forte sollicitation

Un des tests évaluera la fonction d'orientation. L'enfant devra indiquer verbalement le plus vite possible le type d'animal qui apparaitra dans une des fenêtres affichées face à lui dans le casque. Le test sera complexifié en augmentant le nombre de fenêtre (Illustration 18).

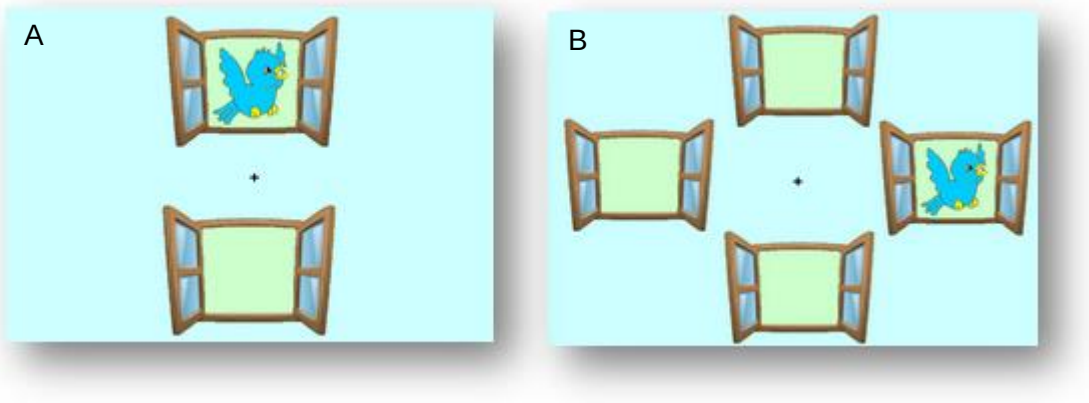
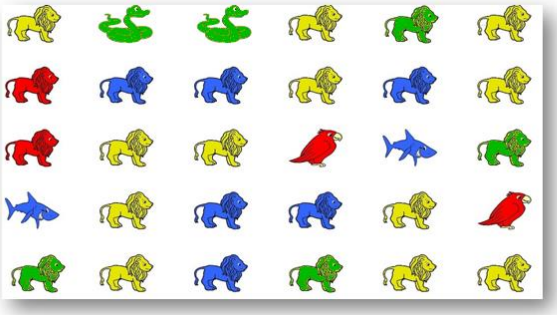


Illustration 18 : Exemple d'environnements visuels testant la fonction d'orientation
A : Faible sollicitation – B : Forte sollicitation

Un des tests évaluera la fonction d'inhibition. L'enfant devra dénombrer verbalement le plus vite les lions jaunes se dirigeant vers la droite. Dans le premier niveau de difficulté, certains lions seront d'une autre couleur. Dans le second niveau de difficulté, certains lions seront d'une autre couleur et parmi ceux jaunes certains pourront être orientés vers la gauche ; de plus, d'autres animaux seront également de la couleur jaune (illustration 19).

A



B

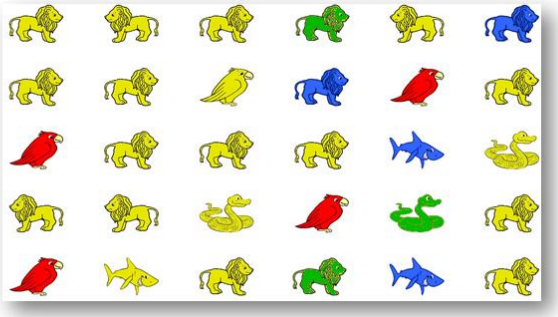


Illustration 19 : Exemple d'environnements visuels testant la fonction d'inhibition
A : Faible sollicitation – B : Forte sollicitation

- En bref…

THEMATIQUE Interdépendance fonctionnelle entre mobilité corporelle et capacités attentionnelles chez l'enfant d'âge scolaire né à terme ou prématurément.	
COLLABORATEUR PU-PH Jean-Michel Hascoët	**STRUCTURE** Maternité Régionale de Lorraine
CONTRATS / FINANCEMENTS OBTENUS - APPEL A PROJETS du POLE SCIENTIFIQUE - UNIVERSITE DE LORRAINE "Soutien à des Actions de Recherche 2017" → 17 k€ (10 k€ en Fonctionnement et 7 k€ en Investissement) - APPEL A PROJETS INTERNES BMS "Projets Structurants 2018", Crédits Fonds de Roulement UL → 12 k€ en Investissement - CONCOURS DE L'ECOLE DOCTORALE 2018 → Financement de thèse pendant 3 ans soit environ 92 k€	

PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES

1. Rosenbaum J, Hascoët J-M, Hamon I, Caudron S, Ceyte H. Influence de la mobilité corporelle sur les performances d'attention soutenue chez l'enfant d'âge scolaire. XVIIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive, les 28 et 31 Octobre 2019, ParisV. (Communication orale)
2. Hascoët JM, Rosenbaum J, Hamon I, Ceyte H. Physical mobility impact interference control in prematurely born children at 7 years of age: preliminary considerations. Bulletin de l'Academie Nationale de Medecine. 2019. doi : 10.1016/j.banm.2019.05.018
3. Ceyte H, Rosenbaum J, Hamon I, Wirth M, Caudron S, Hascoët JM. Mobility may impact attention abilities in healthy term or prematurely born children at 7-years of age: protocol for an intervention controlled trial. BMC Pediatr. 2018 Aug 6;18(1):264.
4. Rosenbaum J, Hascoët J-M, Hamon I, Caudron S, Ceyte H. Influence de la mobilité corporelle sur les performances d'attention soutenue chez l'enfant d'âge scolaire. XVIIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive, les 28 et 31 Octobre 2019, ParisV. (Communication orale)
5. Rosenbaum J, Ceyte H, Hamon I, Caudron S, Hascoët J-M. Impact de la prématurité sur les capacités d'inhibition et la réussite aux tâches attentionnelles de l'enfant de 7 ans: résultats préliminaires. Congrès JFRN 2018 (Journée Francophone de Recherche en Néonatalogie) organisé par la SFN (Société Française de Néonatalogie), le 13 et 14 décembre 2018, Paris. Communication orale dont le résumé a été publié dans les actes de congrès
6. Rosenbaum J, Ceyte H, Caudron S, Hamon I, Hascoët J-M. Impact de la prématurité sur les capacités d'inhibition de l'enfant d'âge préscolaire : résultats préliminaires. 12e Journée de la Recherche Hospitalo-Universitaire 2018 organisé par le CHRU de Nancy et l'Université de Lorraine, le 23 novembre 2018, l'Institut Louis Mathieu, CHRU de Nancy - Hôpitaux de Brabois, Vandoeuvre-lès-Nancy. Communication orale
7. Ceyte H, Rosenbaum J, Caudron S, Hascoët J-M. (2017) Posture and mobility influence on attention abilities in healthy 7 years old children. Communication affichée, Second Congress of joint European Neonatal Societies (jENS 2017), Venise, Italie, 31 octobre - 4 novembre 2017. In Journal of Pediatric and Neonatal Individualized Medicine, 6(2) : e060237, ABS 55, 50
8. Ceyte H. Influence de la posture et de la mobilité sur les capacités attentionnelles chez l'enfant né prématuré, à l'âge de 7 ans. Journée d'Actualités en Néonatologie, le 30 septembre 2017, Nancy. Conférencier-invité, communication orale filmée (accessible à l'adresse : http://www.relations-medicales.com/replay/C176_jalon_2017/event.html) et dont le résumé a été publié dans les actes de congrès

ETUDIANT ENCADRÉ

- ROSENBAUM J → Co-directeur de thèse débuté le 01 octobre 2018 au sein de l'ED BioSE

2 publications en 2ème auteur de cette doctorante suite à des travaux initiés en Master. Actuellement elle est en train de rédiger son 1er article et sera en rang 1.
Elle a déjà pu présenter en communication orale ses travaux au cours de congrés internationaux et nationaux
Elle vient d'être distinguée par l'ED BioSE pour son travail parmi les doctorants de 2ème année.

❖ CONCLUSION GENERALE

Tout au long de ce document, j'ai présenté différents projets expérimentaux, chez l'Homme en développement, en bonne santé ou encore en situation de vulnérabilité, cherchant à mettre en lumière la relation circulaire que j'entrevois entre différentes facettes de sa cognition, telles que ses perceptions spatiales ou encore les formes variées de son attention, et son comportement moteur, que ce soit son contrôle postural et/ou sa mobilité corporelle. Aujourd'hui, je défends l'idée selon laquelle la cognition et le comportement sont deux éléments indissociables d'une même entité, l'un impactant l'autre et réciproquement, mais que je ne parviens pas à nommer simplement car cela m'impose d'intégrer à ce couple l'environnement dans lequel se produit cette relation. Selon moi, seule une approche contextualisée de l'Homme est pertinente pour mettre à jour, voire envisager d'interpréter, l'interdépendance fonctionnelle entre ses activités cognitives et ses activités motrices.

❖ REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Andersen, R. A., Snyder, L. H., Bradley, D. C., & Xing, J. (1997). Multimodal representation of space in the posterior parietal cortex and its use in planning movements. *Annual Review of Neuroscience*, *20*(1), 303-330. https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.20.1.303

Anderson P, Doyle L.W., & and the Victorian Infant Collaborative Study Group. (2003). NEurobehavioral outcomes of school-age children born extremely low birth weight or very preterm in the 1990s. *JAMA*, *289*(24), 3264-3272. https://doi.org/10.1001/jama.289.24.3264

Antonucci, G., Guariglia, C., Judica, A., Magnotti, L., Paolucci, S., Pizzamiglio, L., & Zoccolotti, P. (1995). Effectiveness of neglect rehabilitation in a randomized group study. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *17*(3), 383-389. https://doi.org/10.1080/01688639508405131

Appelle, S. (1972). Perception and discrimination as a function of stimulus orientation: The" oblique effect" in man and animals. *Psychological bulletin*, *78*(4), 266-278.

Assaiante, C., & Amblard, B. (1995). An ontogenetic model for the sensorimotor organization of balance control in humans. *Human Movement Science*, *14*(1), 13-43. https://doi.org/10.1016/0167-9457(94)00048-J

Assaiante, C., Woollacott, M., & Amblard, B. (2000). Development of postural adjustment during gait initiation: Kinematic and EMG analysis. *Journal of Motor Behavior*, *32*(3), 211-226. https://doi.org/10.1080/00222890009601373

Association American Psychology (1987). Diagnostic and statistical manual of mental disorders. *3rd ed. revised. Washington, DC*.

Atkinson, J., & Braddick, O. (2007). Visual and visuocognitive development in children born very prematurely. In C. von H. and K. Rosander (Éd.), *Progress in Brain Research*, p. 123-149.

Barkley RA. (1981) Hyperactive children: a handbook for diagnosis and treatment. Guilford press New York.

Baron, I. S., & Rey-Casserly, C. (2010). Extremely preterm birth outcome: a review of four decades of cognitive research. *Neuropsychology Review*, *20*(4), 430-452. https://doi.org/10.1007/s11065-010-9132-z

Barra, J., Auclair, L., Charvillat, A., Vidal, M., & Pérennou, D. (2015). Postural control system influences intrinsic alerting state. *Neuropsychology*, *29*(2), 226-234.

Barra, J., Bray, A., Sahni, V., Golding, J. F., & Gresty, M. A. (2006). Increasing cognitive load with increasing balance challenge: Recipe for catastrophe. *Experimental Brain Research*, *174*(4), 734-745. https://doi.org/10.1007/s00221-006-0519-2

Barra, J., Benaim, C., Chauvineau, V., Ohlmann, T., Gresty, M., & Perennou, D. (2008). Are rotations in perceived visual vertical and body axis after stroke caused by the same mechanism?. *Stroke*, 39(11), 3099-3101. https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.108.5152247

Barrett, G. V., & Thornton, C. L. (1968). Relationship between perceptual style and simulator sickness. *Journal of Applied Psychology*, *52*(4), 304-308. https://doi.org/10.1037/h0026013

Bauermeister, M. (1964). Effect of body tilt on apparent verticality, apparent body position, and their relation. *Journal of experimental psychology*, *67*(2), 142-147.

Bayless, S., & Stevenson, J. (2007). Executive functions in school-age children born very prematurely. *Early Human Development*, *83*(4), 247-254. https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2006.05.021

Beis, J. M., André, J. M., Barre, A., & Paysant, J. (2001). Mirror images and unilateral spatial neglect. *Neuropsychologia*, *39*(13), 1444-1450. https://doi.org/10.1016/S0028-3932(01)00065-3

Belfort, M. B., Gillman, M. W., Buka, S. L., Casey, P. H., & McCormick, M. C. (2013). Preterm Infant Linear Growth and Adiposity Gain: Trade-Offs for Later Weight Status and Intelligence

Quotient. *The Journal of Pediatrics*, *163*(6), 1564-1569.e2. https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2013.06.032

Bernier, P.-M., Burle, B., Vidal, F., Hasbroucq, T., & Blouin, J. (2009). Direct evidence for cortical suppression of somatosensory afferents during visuomotor adaptation. *Cerebral Cortex*, *19*(9), 2106-2113. https://doi.org/10.1093/cercor/bhn233

Bhutta, A. T., Cleves, M. A., Casey, P. H., Cradock, M. M., & Anand, K. J. S. (2002). Cognitive and behavioral outcomes of school-aged children who were born preterm: A meta-analysis. *Journal of the American Medical Association*, *288*(6), 728–737.

Biguer, B., Donaldson, I. M. L., Hein, A., & Jeannerod, M. (1988). Neck muscle vibration modifies the representation of visual motion and direction in man. *Brain*, *111*(6), 1405-1424. https://doi.org/10.1093/brain/111.6.1405

Bijveld, M. M. C., Bronstein, A. M., Golding, J. F., & Gresty, M. A. (2008). Nauseogenicity of Off-Vertical Axis Rotation vs. Equivalent Visual Motion. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *79*(7), 661-665. https://doi.org/10.3357/ASEM.2241.2008

Bisdorff, A. (2013). *Épidémiologie du vertige, de l'étourdissement et de l'instabilité, ainsi que leurs relations avec la migraine, le mal des transports, l'anxiété-dépression, le malaise vagal et l'agoraphobie* (PhD Thesis). Université de Lorraine.

Bisiach, E., & Luzzatti, C. (1978). Unilateral neglect of representational space. *Cortex*, *14*(1), 129-133.

Bizzi, E., & Cheung, V. C. K. (2013). The neural origin of muscle synergies. *Frontiers in Computational Neuroscience*, *7*, 51. https://doi.org/10.3389/fncom.2013.00051

Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, *78*(2), 647-663. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x

Blake, J. J., Benden, M. E., & Wendel, M. L. (2012). Using stand/sit workstations in classrooms: Lessons learned from a pilot study in Texas. *Journal of Public Health Management and Practice: JPHMP*, *18*(5), 412-415. https://doi.org/10.1097/PHH.0b013e3182215048

Blažević, S., Katić, R., & Popović, D. (2006). The effect of motor abilities on karate performance. *Collegium Antropologicum*, *30*(2), 327-333.

Boksem, M. A. S., & Tops, M. (2008). Mental fatigue: Costs and benefits. Brain Research Reviews, 59(1), 125–139. doi:10.1016/j.brainresrev.2008.07.001

Bonnet, C. T. (2016). Advantages and disadvantages of stiffness instructions when studying postural control. *Gait & Posture, 46*, 208–210. doi:10.1016/j.gaitpost.2015.12.026

Bottini, G., Karnath, H.-O., Vallar, G., Sterzi, R., Frith, C. D., Frackowiak, R. S. J., & Paulesu, E. (2001). Cerebral representations for egocentric space Functional–anatomical evidence from caloric vestibular stimulation and neck vibration. *Brain*, *124*(6), 1182-1196. https://doi.org/10.1093/brain/124.6.1182

Bouisset, S. (1991). Relation entre support postural et mouvement intentionnel : Approche biomécanique. *Archives of Physiology and Biochemistry*, *99*(5), A77-A92. https://doi.org/10.3109/13813459109145919

Bouisset, S., & Zattara, M. (1981). A sequence of postural movements precedes voluntary movement. *Neuroscience Letters*, *22*(3), 263–270.

Bove, M., Courtine, G., & Schieppati, M. (2002). Neck muscle vibration and spatial orientation during stepping in place in humans. *Journal of Neurophysiology*, *88*(5), 2232-2241. https://doi.org/10.1152/jn.00198.2002

Bove, M., Diverio, M., Pozzo, T., & Schieppati, M. (2001). Neck muscle vibration disrupts steering of locomotion. *Journal of Applied Physiology*, *91*(2), 581-588.

Bowen, J., Gibson, F., & Hand, P. (2002). Educational outcome at 8 years for children who were born extremely prematurely: A controlled study. *Journal of Paediatrics and Child Health*, *38*(5), 438-444. https://doi.org/10.1046/j.1440-1754.2002.00039.x

Bracewell, M., & Marlow, N. (2002). Patterns of motor disability in very preterm children. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, *8*(4), 241-248. https://doi.org/10.1002/mrdd.10049

Bradley, M. M., Codispoti, M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation I: Defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion; Emotion*, *1*(3), 276-298.

Bradley, Margaret M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *25*(1), 49-59. https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9

Bradshaw, J. L., Nettleton, N. C., Nathan, G., & Wilson, L. (1985). Bisecting rods and lines: Effects of horizontal and vertical posture on left-side underestimation by normal subjects. *Neuropsychologia*, *23*(3), 421-425. https://doi.org/10.1016/0028-3932(85)90029-6

Brisswalter, J., & Legros, P. (1996). Interactions entre les processus physiologiques et cognitifs : Modèles théoriques et approche méthodologique. *Science & sports*, *11*(2), 71–80.

Brisswalter, Jeanick, Collardeau, M., & René, A. (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Medicine*, *32*(9), 555–566.

Bucci, M. P., Tringali, M., Trousson, C., Husson, I., Baud, O., & Biran, V. (2017). Spatial and temporal postural analysis in children born prematurely. *Gait & Posture*, *57*(Supplement C), 230-235. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.06.023

Bucci, M. P., Wiener-Vacher, S., Trousson, C., Baud, O., & Biran, V. (2015). Subjective visual vertical and postural capability in children born prematurely. *Plos One*, *10*(3), e0121616. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121616

Buchman, C. A., Joy, J., Hodges, A., Telischi, F. F., & Balkany, T. J. (2004). Vestibular effects of cochlear implantation. *The Laryngoscope*, *114*(S103), 1-22. https://doi.org/10.1097/00005537-200410001-00001

Caldwell, J. A., Prazinko, B., & Caldwell, J. L. (2003). Body posture affects electroencephalographic activity and psychomotor vigilance task performance in sleep-deprived subjects. *Clinical Neurophysiology*, *114*(1), 23-31. https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00283-3

Cesari, P., & Bertucco, M. (2008). Coupling between punch efficacy and body stability for elite karate. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *11*(3), 353-356. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.05.007

Ceyte, H., Cian, C., Nougier, V., Olivier, I., & Roux, A. (2006). Effects of neck muscles vibration on the perception of the head and trunk midline position. *Experimental Brain Research*, *170*(1), 136-140. https://doi.org/10.1007/s00221-006-0389-7

Ceyte, H., Cian, C., Trousselard, M., & Barraud, P.-A. (2009). Influence of perceived egocentric coordinates on the subjective visual vertical. *Neuroscience letters*, *462*(1), 85-88. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.06.048

Ceyte, H., Lion, A., Caudron, S., Kriem, B., Perrin, P. P., & Gauchard, G. C. (2014). Does calculating impair postural stabilization allowed by visual cues? *Experimental Brain Research*, *232*, 2221-2228. https://doi.org/10.1007/s00221-014-3913-1

Ceyte, H., Rosenbaum, J., Hamon, I., Wirth, M., Caudron, S., & Hascoët, J.-M. (2018). Mobility may impact attention abilities in healthy term or prematurely born children at 7-years of age : Protocol for an intervention controlled trial. *BMC Pediatrics*, *18*. https://doi.org/10.1186/s12887-018-1229-1

Chokron, S., & Imbert, M. (1995). Variations of the egocentric reference among normal subjects and a patient with unilateral neglect. *Neuropsychologia*, *33*(6), 703-711. https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00007-P

Chong, R. K. Y., Mills, B., Dailey, L., Lane, E., Smith, S., & Lee, K.-H. (2010). Specific interference between a cognitive task and sensory organization for stance balance control in healthy young adults: Visuospatial effects. *Neuropsychologia*, *48*(9), 2709-2718. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.05.018

Clair-Thompson, H. L. S., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *59*(4), 745-759. https://doi.org/10.1080/17470210500162854

Colby, C. L. (1998). Action-oriented spatial reference frames in cortex. *Neuron*, *20*(1), 15-24. https://doi.org/10.1016/S0896-6273(00)80429-8

Conners, C. K., Epstein, J. N., Angold, A., & Klaric, J. (2003). Continuous performance test performance in a normative epidemiological sample. *Journal of abnormal child psychology*, *31*(5), 555–562.

Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*(3), 201-215. https://doi.org/10.1038/nrn755

Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2011). Spatial neglect and attention networks. *Annual review of neuroscience*, *34*, 569-599. https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-061010-113731

Costa, M., Goldberger, A. L., & Peng, C.-K. (2002). Multiscale entropy analysis of complex physiologic time series. *Physical Review Letters*, *89*(6), 068102. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.89.068102

Crenna, P., & Frigo, C. (1991). A motor programme for the initiation of forward-oriented movements in humans. *The Journal of Physiology*, *437*(1), 635-653.

Dai, M., Sofroniou, S., Kunin, M., Raphan, T., & Cohen, B. (2010). Motion sickness induced by off-vertical axis rotation (OVAR). *Experimental brain research*, *204*(2), 207–222.

Danckert, J., & Ferber, S. (2006). Revisiting unilateral neglect. *Neuropsychologia*, *44*(6), 987–1006.

Deschamps, T., Magnard, J., & Cornu, C. (2013). Postural control as a function of time-of-day: influence of a prior strenuous running exercise or demanding sustained-attention task. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *10*(1), 26. https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-26

de Kieviet, J. F., van Elburg, R. M., Lafeber, H. N., & Oosterlaan, J. (2012). Attention problems of very preterm children compared with age-matched term controls at school-age. *The Journal of Pediatrics*, *161*(5), 824-829.e1. https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.05.010

De Leo, G., Diggs, L. A., Radici, E., & Mastaglio, T. W. (2014). Measuring sense of presence and user characteristics to predict effective training in an online simulated virtual environment: *Simulation in Healthcare: The Journal of the Society for Simulation in Healthcare*, *9*(1), 1-6. https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e3182a99dd9

Del Percio, C., Babiloni, C., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., Vecchio, F., … Eusebi, F. (2009). "Neural efficiency" of athletes' brain for upright standing: A high-resolution EEG study. *Brain Research Bulletin*, *79*(3), 193-200. https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2009.02.001

Del Percio, C., Brancucci, A., Bergami, F., Marzano, N., Fiore, A., Di Ciolo, E., … Eusebi, F. (2007). Cortical alpha rhythms are correlated with body sway during quiet open-eyes standing in athletes: A high-resolution EEG study. *NeuroImage*, *36*(3), 822-829. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.02.054

Delobel-Ayoub, M., Arnaud, C., White-Koning, M., Casper, C., Pierrat, V., Garel, M., … for the EPIPAGE Study Group. (2009). Behavioral Problems and Cognitive Performance at 5 Years of Age After Very Preterm Birth: The EPIPAGE Study. *Pediatrics*, *123*(6), 1485-1492. https://doi.org/10.1542/peds.2008-1216

Dematte, L. M., Sanabria, D., & Spence, C. (2006). Cross-modal associations between odors and colors. *Chemical Senses*, *31*(6), 531-538. https://doi.org/10.1093/chemse/bjj057

Diamond, A. (1985). Development of the ability to use recall to guide action, as indicated by infants' performance on AB. *Child development*, 868–883.

Dichgans, J., & Brandt, T. (1978). Visual-Vestibular Interaction: Effects on self-motion perception and postural control. In R. Held, H. W. Leibowitz, & H.-L. Teuber (Éd.), *Perception* (p. 755-804).

Diels, C., Ukai, K., & Howarth, P. A. (2007). Visually Induced Motion Sickness with Radial Displays: Effects of Gaze Angle and Fixation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *78*(7), 659-665.

Donkelaar, P. van. (1999). Pointing movements are affected by size-contrast illusions. *Experimental Brain Research*, *125*(4), 517-520. https://doi.org/10.1007/s002210050710

Donker, S. F., Ledebt, A., Roerdink, M., Savelsbergh, G. J. P., & Beek, P. J. (2008). Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. *Experimental Brain Research*, *184*(3), 363-370. https://doi.org/10.1007/s00221-007-1105-y

Donker, S. F., Roerdink, M., Greven, A. J., & Beek, P. J. (2007). Regularity of center-of-pressure trajectories depends on the amount of attention invested in postural control. *Experimental Brain Research*, *181*(1), 1–11.

Dornhecker, M., Blake, J. J., Benden, M., Zhao, H., & Wendel, M. (2015). The effect of stand-biased desks on academic engagement: An exploratory study. *International Journal of Health Promotion and Education*, *53*(5), 271-280. https://doi.org/10.1080/14635240.2015.1029641

Driver, J., & Mattingley, J. B. (1998). Parietal neglect and visual awareness. *Nature Neuroscience*, *1*(1), 17-22. https://doi.org/10.1038/217

Duncan, M. J., Smith, M., Clarke, N. D., Eyre, E. L. J., & Wright, S. L. (2016). Dual task performance in older adults: Examining visual discrimination performance whilst treadmill walking at preferred and non-preferred speeds. *Behavioural Brain Research*, *302*, 100-103. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2016.01.020

Ebenholtz, S. M. (1992). Motion Sickness and Oculomotor Systems in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 1*(3), 302–305. doi:10.1162/pres.1992.1.3.302

Ehrenkranz, R. A. (2006). Growth in the neonatal intensive care unit influences neurodevelopmental and growth outcomes of extremely low birth weight infants. *Pediatrics*, *117*(4), 1253-1261. https://doi.org/10.1542/peds.2005-1368

Elliott, D., & Madalena, J. (1987). The influence of premovement visual information on manual aiming. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *39*(3), 541–559.

Enticott, J. C., Tari, S., Koh, S. M., Dowell, R. C., & O'Leary, S. J. (2006). Cochlear Implant and Vestibular Function: *Otology & Neurotology*, *27*(6), 824-830. https://doi.org/10.1097/01.mao.0000227903.47483.a6

Felnhofer, A., Kothgassner, O., Beutl, L., Hlavacs, H., & Kryspin-Exner, I. (2012, octobre). *Is Virtual Reality made for Men only? Exploring Gender Differences in the Sense of Presence*. Présenté à International Society for Presence Research Annual Conference – ISPR 2012, Philadelphia, Pennsylvania, USA.

Fevang, S. K. E., Hysing, M., Markestad, T., & Sommerfelt, K. (2016). Mental health in children born extremely preterm without severe neurodevelopmental disabilities. *Pediatrics*, *137*(4), e20153002-e20153002. https://doi.org/10.1542/peds.2015-3002

Filingeri, D., Bianco, A., Zangla, D., Paoli, A., & Palma, A. (2012). Is karate effective in improving postural control? *Archives of Budo*, *8*, 203-206. https://doi.org/10.12659/AOB.883521

Foreman, N., Fielder, A., Minshell, C., Hurrion, E., & Sergienko, E. (1997). Visual search, perception, and visual–motor skill in "healthy" children born at 27–32 weeks' gestation. *Journal of Experimental Child Psychology*, *64*(1), 27-41. https://doi.org/10.1006/jecp.1996.2326

Forget, R., & Lamarre, Y. (1990). Anticipatory postural adjustment in the absence of normal peripheral feedback. *Brain Research*, *508*(1), 176-179. https://doi.org/10.1016/0006-8993(90)91135-4

Forssberg, H., & Nashner, L. M. (1982). Ontogenetic development of postural control in man: Adaptation to altered support and visual conditions during stance. *The Journal of Neuroscience*, *2*(5), 545-552.

Frassinetti, F., Angeli, V., Meneghello, F., Avanzi, S., & Làdavas, E. (2002). Long-lasting amelioration of visuospatial neglect by prism adaptation. *Brain*, *125*(3), 608-623. https://doi.org/10.1093/brain/awf056

Gamito, P., Oliveira, J., Morais, D., Baptista, A., Santos, N., Soares, F., … Rosa, P. (2010). Training presence: The importance of virtual reality experience on the « sense of being there ». *Studies in Health Technology and Informatics*, (154), 128-133.

Gamito, P., Oliveira, J., Santos, N., Morais, D., Saraiva, T., Pombal, M., & Mota, B. (2008). Presence, immersion and cybersickness assessment through a test anxiety virtual environment. *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine*, 83-90.

Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, *18*(1), 1-16. https://doi.org/10.1002/acp.934

Gélat, T., Coudrat, L., & Le Pellec, A. (2011). Gait initiation is affected during emotional conflict. *Neuroscience Letters*, *497*(1), 64-67. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.04.030

Geldof, C. J., de Kieviet, J. F., Dik, M., Kok, J. H., van Wassenaer-Leemhuis, A. G., & Oosterlaan, J. (2013). Visual search and attention in five-year-old very preterm/very low birth weight children. *Early human development*, *89*(12), 983–988.

Gentilucci, M., Chieffi, S., Daprati, E., Saetti, M. C., & Toni, I. (1996). Visual illusion and action. *Neuropsychologia*, *34*(5), 369–376.

Gil, S. (2009). Comment étudier les émotions en laboratoire. *Revue électronique de psychologie sociale*, *4*, 15–24.

Giordano, V., Fuiko, R., Leiss, U., Brandstetter, S., Hayde, M., Bartha-Doering, E., … Weiler, L. (2017). Differences in attentional functioning between preterm and full-term children underline the importance of new neuropsychological detection techniques. *Acta Paediatrica*, *106*(4), 601-611. https://doi.org/10.1111/apa.13723

Golberger, A. L. (1996). Non-linear dynamics for clinicians: Chaos theory, fractals, and complexity at the bedside. *The Lancet*, *347*(9011), 1312-1314.

Golding, J. F. (2006). Predicting individual differences in motion sickness susceptibility by questionnaire. *Personality and Individual Differences*, *41*(2), 237-248. https://doi.org/10.1016/j.paid.2006.01.012

Golding, J. F., & Gresty, M. A. (2013). Motion sickness and disorientation in vehicles *Oxforf textbook of vertigo and imbalance. Oxford University Press, Oxford,* 293-306.

Goodrich, B. G. (2010). We do, therefore we think: Time, motility, and consciousness. *Reviews in the Neurosciences*, *21*(5). https://doi.org/10.1515/REVNEURO.2010.21.5.331

Goodwin, G. M., McCloskey, D. I., & Matthews, P. B. C. (1972). The contribution of muscle afferents to kinaesthesia shown by vibration induced illusions of movement and by the effects of paralysing joint afferents. *Brain*, *95*(4), 705–748.

Gottfried, J. A., & Dolan, R. J. (2003). The Nose Smells What the Eye Sees. *Neuron*, *39*(2), 375-386. https://doi.org/10.1016/S0896-6273(03)00392-1

Graybiel, A., Wood, C. D., Miller, E. F., & Cramer, D. B. (1968). Diagnostic criteria for grading the severity of acute motion sickness. *Aerospace Medicine*, *39*(5), 453-455.

Gresty, M. A., Waters, S., Bray, A., Bunday, K., & Golding, J. F. (2003). Impairment of spatial cognitive function with preservation of verbal performance during spatial disorientation. *Current Biology*, *13*(21), R829-R830. https://doi.org/10.1016/j.cub.2003.10.013

Gresty, M., & Golding, J. (2009). Impact of vertigo and spatial disorientation on concurrent cognitive tasks. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1164*(1), 263–267.

Guinet, M., & Michel, C. (2013). Prism adaptation and neck muscle vibration in healthy individuals: Are two methods better than one? *Neuroscience*, *254*, 443-451. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2013.08.067

Haas, G., Diener, H. C., Rapp, H., & Dichgans, J. (1989). Development of feedback and feedforward control of upright stance. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *31*(4), 481-488. https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1989.tb04026.x

Hack, M., Taylor, H. G., Drotar, D., Schluchter, M., Cartar, L., Andreias, L., … Klein, N. (2005). Chronic conditions, functional limitations, and special health care needs of school-aged children born with extremely low-birth-weight in the 1990s. *Journal of American Medical Association*, *294*(3), 318-325. https://doi.org/10.1001/jama.294.3.318

Hack, M., Taylor, H. G., Klein, N., Eiben, R., Schatschneider, C., & Mercuri-Minich, N. (1994). School-age outcomes in children with birth weights under 750 g. *New England Journal of Medicine*, *331*(12), 753–759.

Haddad, J. M., Rietdyk, S., Claxton, L. J., & Huber, J. (2013). Task-dependent postural control throughout the lifespan. *Exercise and sport sciences reviews*, *41*(2), 123.

Haffenden, A. M., & Goodale, M. A. (1998). The effect of pictorial illusion on prehension and perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*(1), 122–136.

Hascoët, J.-M. (2013). Conséquences de la nutrition périnatale sur le développement. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, *197*(9), 1701-1711. https://doi.org/10.1016/S0001-4079(19)31390-1

Hay, L. (1990). Developmental changes in eye-hand coordination behaviors: Preprogramming versus feedback control. *Development of eye-hand coordination across the life span*, 217–244.

Hay, L., & Redon, C. (1999). Feedforward versus feedback control in children and adults subjected to a postural disturbance. *Experimental Brain Research*, *125*(2), 153-162. https://doi.org/10.1007/s002210050670

Hecht, D., & Reiner, M. (2007). Field Dependency and the Sense of Object-Presence in Haptic Virtual Environments. *CyberPsychology & Behavior*, *10*(2), 243-251. https://doi.org/10.1089/cpb.2006.9962

Heilman, K. M., Bowers, D., Coslett, H. B., Whelan, H., & Watson, R. T. (1985). Directional hypokinesia: Prolonged reaction times for leftward movements in patients with right hemisphere lesions and neglect. *Neurology*, *35*(6), 855-859.

Heilman, K. M., Bowers, D., & Watson, R. T. (1983). Performance on hemispatial pointing task by patients with neglect syndrome. *Neurology*, *33*(5), 661-661. https://doi.org/10.1212/WNL.33.5.661

Hille, E. T. M., Ouden, A. L. D., Bauer, L., Oudenrijn, C. van den, Brand, R., & Verloove-Vanhorick, S. P. (1994). School performance at nine years of age in very premature and very low birth weight infants: Perinatal risk factors and predictors at five years of age. *The Journal of Pediatrics*, *125*(3), 426-434. https://doi.org/10.1016/S0022-3476(05)83290-1

Hillman, C. H., Rosengren, K. S., & Smith, D. P. (2004). Emotion and motivated behavior: Postural adjustments to affective picture viewing. *Biological psychology*, *66*(1), 51–62.

Hinckson, E., Salmon, J., Benden, M., Clemes, S. A., Sudholz, B., Barber, S. E., … Ridgers, N. D. (2016). Standing Classrooms: Research and Lessons Learned from Around the World. *Sports Medicine*, *46*(7), 977-987. https://doi.org/10.1007/s40279-015-0436-2

Horak, F. B., Esselman, P., Anderson, M. E., & Lynch, M. K. (1984). The effects of movement velocity, mass displaced, and task certainty on associated postural adjustments made by normal and hemiplegic individuals. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *47*(9), 1020-1028. https://doi.org/10.1136/jnnp.47.9.1020

Hunnius, S., & Geuze, R. H. (2004). Gaze shifting in infancy: A longitudinal study using dynamic faces and abstract stimuli. *Infant Behavior and Development*, *27*(3), 397–416.

Jacquin, S., Luauté, J., Ling, L., Rode, G., Rossetti, Y., & Boisson, D. (1998). Amélioration de la conduite en fauteuil roulant après adaptation prismatique chez le patient héminégligent. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, *41*, 320. Elsevier Masson.

Jacquin-Courtois, S., Rode, G., Pisella, L., Boisson, D., & Rossetti, Y. (2008). Wheel-chair driving improvement following visuo-manual prism adaptation. *Cortex*, *44*(1), 90-96. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2006.06.003

Jamet, M., Deviterne, D., Gauchard, G. C., Vançon, G., & Perrin, P. P. (2007). Age-related part taken by attentional cognitive processes in standing postural control in a dual-task context. *Gait & Posture*, *25*(2), 179-184. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.03.006

Janssen, M., Chinapaw, M. J. M., Rauh, S. P., Toussaint, H. M., van Mechelen, W., & Verhagen, E. A. L. M. (2014). A short physical activity break from cognitive tasks increases selective attention in primary school children aged 10–11. *Mental Health and Physical Activity*, *7*(3), 129-134. https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2014.07.001

Jeannerod, M., & Biguer, B. (1989). Référence égocentrique et espace représenté. *Rev Neurol (Paris)*, *145*(8-9), 635–639.

Jeannerod, M. (1988). *The neural and behavioural organization of goal-directed movements.* Clarendon Press/Oxford University Press.

Jeannerod, M., & Biguer, B. (1987). The directional coding of reaching movements. A visuomotor conception of spatial neglect. In Marc Jeannerod (Éd.), *Advances in Psychology*, p. 87-113. North-Holland.

Johannsen, L., Ackermann, H., & Karnath, H.-O. (2003). Lasting amelioration of spatial neglect by treatment with neck muscle vibration even without concurrent training. *Journal of rehabilitation medicine*, *35*(6), 249–253.

Johnson, M. H., Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (1991). Components of visual orienting in early infancy: Contingency learning, anticipatory looking, and disengaging. *Journal of cognitive neuroscience*, *3*(4), 335–344.

Juras, G., Rzepko, M., Krol, P., Czarny, W., Bajorek, W., Slomka, K., & Sobota, G. (2013). The effect of expertise in karate on postural control in quiet standing. *Archives of Budo*, *9*(3), 205–209.

Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Prentice-Hall Inc.

Kail, R. (1986). Sources of age differences in speed of processing. *Child Development*, 969–987.

Kail, R. (1991). Developmental change in speed of processing during childhood and adolescence. *Psychological bulletin*, *109*(3), 490-501.

Kalra, L., Perez, I., Gupta, S., & Wittink, M. (1997). The influence of visual neglect on stroke rehabilitation. *Stroke*, *28*(7), 1386-1391. https://doi.org/10.1161/01.str.28.7.1386

Karlberg, M., Persson, L., & Magnusson, M. (1995). Impaired postural control in patients with cervico-brachial pain. *Acta Oto-Laryngologica. Supplementum*, *520 Pt 2*, 440-442. https://doi.org/10.3109/00016489509125293

Karnath, H. -O. (1996). Optokinetic stimulation influences the disturbed perception of body orientation in spatial neglect. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *60*(2), 217-220.

Karnath, H. -O., Christ, K., & Hartje, W. (1993). Decrease of contralateral neglect by neck muscle vibration and spatial orientation of trunk midline. *Brain*, *116*(2), 383-396. https://doi.org/10.1093/brain/116.2.383

Karnath, Hans-Otto. (1994). Subjective body orientation in neglect and the interactive contribution of neck muscle proprioception and vestibular stimulation. *Brain*, *117*(5), 1001–1012.

Karnath, H.-O., Dick, H., & Konczak, J. (1997). Kinematics of goal-directed arm movements in neglect: Control of hand in space. *Neuropsychologia*, *35*(4), 435-444. https://doi.org/10.1016/S0028-3932(96)00118-2

Karnath, H.-O., Ferber, S., & Himmelbach, M. (2001). Spatial awareness is a function of the temporal not the posterior parietal lobe. *Nature*, *411*(6840), 950–953.

Karnath, H.-O., Fruhmann Berger, M., Küker, W., & Rorden, C. (2004). The anatomy of spatial neglect based on voxelwise statistical analysis: A study of 140 patients. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, *14*(10), 1164-1172. https://doi.org/10.1093/cercor/bhh076

Karnath, H.-O., Fetter, M., & Dichgans, J. (1996). Ocular exploration of space as a function of neck proprioceptive and vestibular input—Observations in normal subjects and patients with spatial neglect after parietal lesions. *Experimental Brain Research*, *109*(2), 333–342.

Karnath, H.-O., Reich, E., Rorden, C., Fetter, M., & Driver, J. (2002). The perception of body orientation after neck-proprioceptive stimulation. *Experimental brain research*, *143*(3), 350–358.

Karnath, H.-O., Sievering, D., & Fetter, M. (1994). The interactive contribution of neck muscle proprioception and vestibular stimulation to subjective "straight ahead" orientation in man. *Experimental Brain Research*, *101*(1), 140–146.

Kasai, T., Yahagi, S., & Shimura, K. (2002). Effect of vibration-induced postural illusion on anticipatory postural adjustment of voluntary arm movement in standing humans. *Gait & Posture*, *15*(1), 94-100. https://doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00177-1

Katz, K. S., Dubowitz, L. M., Henderson, S., Jongmans, M., Kay, G. G., Nolte, C. A., & de Vries, L. (1996). Effect of cerebral lesions on continuous performance test responses of school age children born prematurely. *Journal of pediatric psychology*, *21*(6), 841–855.

Kennedy, R. S., Dunlap, W. P., & Fowlkes, J. E. (1990). Prediction of motion sickness susceptibility. *Motion and space sickness*, 179–216.

Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, *3*(3), 203-220. https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3

Kerkhoff, G. (1998). Rehabilitation of visuospatial cognition and visual exploration in neglect: A cross-over study. *Restorative neurology and neuroscience*, *12*(1), 27–40.

Kerkhoff, G. (2003). Modulation and rehabilitation of spatial neglect by sensory stimulation. in C. Prablanc, D., Pélisson & Y., Rossetti (Eds), *Progressin Brain Research,* vol. 142, p. 257-271

Kerr, B., Condon, S. M., & McDonald, L. A. (1985). Cognitive spatial processing and the regulation of posture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *11*(5), 617-622. https://doi.org/10.1037/0096-1523.11.5.617

Keshavarz, B., Stelzmann, D., Paillard, A., & Hecht, H. (2015). Visually induced motion sickness can be alleviated by pleasant odors. *Experimental Brain Research*, *233*(5), 1353-1364. https://doi.org/10.1007/s00221-015-4209-9

Kirshenbaum, N., Riach, C., & Starkes, J. (2001). Non-linear development of postural control and strategy use in young children: A longitudinal study. *Experimental brain research*, *140*(4), 420–431.

Klebanov, P. K., Brooks-Gunn, J., & McCormick, M. C. (1994). School achievement and failure in very low birth weight children. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, *15*(4), 248–256.

Kluenter, H.-D., Lang-Roth, R., & Guntinas-Lichius, O. (2009). Static and dynamic postural control before and after cochlear implantation in adult patients. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, *266*(10), 1521-1525. https://doi.org/10.1007/s00405-009-0936-5

Koepp, G. A., Snedden, B. J., Flynn, L., Puccinelli, D., Huntsman, B., & Levine, J. A. (2012). Feasibility analysis of standing desks for sixth graders. *ICAN: Infant, Child, & Adolescent Nutrition*, *4*(2), 89-92. https://doi.org/10.1177/1941406412439414

Kotby, M. N., Tawfik, S., Aziz, A., & Taha, H. (2008). Public health impact of hearing impairment and disability. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, *60*(2), 58-63. https://doi.org/10.1159/000114646

Kristjánsson, Á., Vuilleumier, P., Schwartz, S., Macaluso, E., & Driver, J. (2007). Neural basis for priming of pop-out during visual search revealed with fMRI. *Cerebral Cortex*, *17*(7), 1612-1624. https://doi.org/10.1093/cercor/bhl072

Lackner, J. R., & Levine, M. S. (1979). Changes in apparent body orientation and sensory localization induced by vibration of postural muscles: Vibratory myesthetic illusions. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *50*, 346-354.

Lackner, James R, & DiZio, P. (2005). Vestibular, proprioceptive, and haptic contributions to spatial orientation. *Annual review of psychology*, *56*, 115-147. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.55.090902.142023

Lajoie, Y., Teasdale, N., Bard, C., & Fleury, M. (1993). Attentional demands for static and dynamic equilibrium. *Experimental Brain Research, 97*(1). doi:10.1007/bf00228824

Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research*, *1341*, 12-24. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.091

Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1997). Motivated attention: Affect, activation, and action. *Attention and orienting: Sensory and motivational processes*, 97–135.

Lang, P. J. (1985). *The cognitive psychophysiology of emotion: Fear and anxiety.*

Lang, P. J., & Bradley, M. M. (2013). Appetitive and defensive motivation: Goal-directed or goal-determined? *Emotion Review*, *5*(3), 230–234.

Larroque, B., Ancel, P.-Y., Marchand-Martin, L., Cambonie, G., Fresson, J., Pierrat, V., … and the Epipage Study group. (2011). Special Care and School Difficulties in 8-Year-Old Very Preterm Children: The Epipage Cohort Study. *PLoS ONE*, *6*(7), e21361. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021361

le Nobel, G. J., Hwang, E., Wu, A., Cushing, S., & Lin, V. Y. (2016). Vestibular function following unilateral cochlear implantation for profound sensorineural hearing loss. *Journal of Otolaryngology - Head & Neck Surgery*, *45*(1), 38. https://doi.org/10.1186/s40463-016-0150-6

Ledebt, A., Bril, B., & Brenière, Y. (1998). The build-up of anticipatory behaviour an analysis of the development of gait initiation in children. *Experimental Brain Research*, *120*(1), 9–17.

Lekhel, H., Popov, K., Anastasopoulos, D., Bronstein, A., Bhatia, K., Marsden, C. D., & Gresty, M. (1997). Postural responses to vibration of neck muscles in patients with idiopathic torticollis. *Brain*, *120*(4), 583-591. https://doi.org/10.1093/brain/120.4.583

Leplaideur, S., Leblong, E., Jamal, K., Rousseau, C., Raillon, A. M., Coignard, P., … Bonan, I. (2016). Short-term effect of neck muscle vibration on postural disturbances in stroke patients. *Experimental Brain Research*, 1-9. https://doi.org/10.1007/s00221-016-4668-7

Lobo da Costa, P. H., Verbecque, E., Hallemans, A., & Vieira, M. F. (2019). Standing balance in preschoolers using nonlinear dynamics and sway density curve analysis. *Journal of Biomechanics*, *82*, 96-102. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.10.012

Luauté, J., Halligan, P., Rode, G., Rossetti, Y., & Boisson, D. (2006). Visuo-spatial neglect: A systematic review of current interventions and their effectiveness. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *30*(7), 961-982. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.03.001

Mahboobin, A., Loughlin, P. J., Redfern, M. S., & Sparto, P. J. (2005). Sensory re-weighting in human postural control during moving-scene perturbations. *Experimental Brain Research*, *167*(2), 260-267. https://doi.org/10.1007/s00221-005-0053-7

Malouin, F., & Richards, C. L. (2000). Preparatory adjustments during gait initiation in 4–6-year-old children. *Gait & Posture*, *11*(3), 239-253. https://doi.org/10.1016/S0966-6362(00)00051-5

Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology, 106*(3), 857–864. doi:10.1152/japplphysiol.91324.2008

Maric, Y., & Jacquot, M. (2013). Contribution to understanding odour–colour associations. *Food Quality and Preference*, *27*(2), 191-195. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.05.001

Marlow, N., Hennessy, E. M., Bracewell, M. A., Wolke, D., & others. (2007). Motor and executive function at 6 years of age after extremely preterm birth. *Pediatrics*, *120*(4), 793–804.

Mason, A., & Mason, M. (2007). Psychologic Impact of Deafness on the Child and Adolescent. *Primary Care: Clinics in Office Practice*, *34*(2), 407-426. https://doi.org/10.1016/j.pop.2007.04.003

Massion, J. (1992). Movement, posture and equilibrium: Interaction and coordination. *Progress in Neurobiology*, *38*(1), 35–56.

Massion, Jean. (1994). Postural control system. *Current Opinion in Neurobiology*, *4*(6), 877-887. https://doi.org/10.1016/0959-4388(94)90137-6

Mattingley, J. B., Bradshaw, J. L., & Phillips, J. G. (1992). Impairments of movement initiation and execution in unilateral neglect. Directional hypokinesia and bradykinesia. *Brain*, *115*(6), 1849-1874.

Maylor, E. A., Allison, S., & Wing, A. M. (2001). Effects of spatial and nonspatial cognitive activity on postural stability. *British Journal of Psychology*, *92*(2), 319-338. https://doi.org/10.1348/000712601162211

McFadyen, B. J., Malouin, F., & Dumas, F. (2001). Anticipatory locomotor control for obstacle avoidance in mid-childhood aged children. *Gait & posture*, *13*(1), 7–16.

McGlone, F., Österbauer, R. A., Dematte, L. M., & Spence, C. (2013). The Crossmodal Influence of Odor Hedonics on Facial Attractiveness: Behavioural and fMRI Measures. In F. Signorelli (Éd.), *Functional Brain Mapping and the Endeavor to Understand the Working Brain*. https://doi.org/10.5772/56504

Mehta, R. K., Shortz, A. E., & Benden, M. E. (2015). Standing up for learning: A pilot investigation on the neurocognitive benefits of stand-biased school desks. *International journal of environmental research and public health*, *13*(1), 59.

Melvin, T.-A. N., Della Santina, C. C., Carey, J. P., & Migliaccio, A. A. (2009). The effects of cochlear implantation on vestibular function: *Otology & Neurotology*, *30*(1), 87-94. https://doi.org/10.1097/MAO.0b013e31818d1cba

Meyer, C., Gauchard, G. C., Deviterne, D., & Perrin, P. P. (2007). Cognitive task fulfilment may decrease gaze control performances. *Physiology & Behavior*, *92*(5), 861-866. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.06.010

Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1995). *Oxford psychology series, No. 27*. The visual brain in action. New York, NY, US: Oxford University Press.

Morrot, G., Brochet, F., & Dubourdieu, D. (2001). The Color of Odors. *Brain and Language*, *79*(2), 309-320. https://doi.org/10.1006/brln.2001.2493

Mort, D. J., Malhotra, P., Mannan, S. K., Rorden, C., Pambakian, A., Kennard, C., & Husain, M. (2003). The anatomy of visual neglect. *Brain: A Journal of Neurology*, *126*(9), 1986-1997. https://doi.org/10.1093/brain/awg200

Mouchnino, L., Aurenty, R., Massion, J., & Pedotti, A. (1992). Coordination between equilibrium and head-trunk orientation during leg movement: A new strategy build up by training. *Journal of Neurophysiology*, *67*(6), 1587-1598.

Mouchnino, L., Aurenty, R., Massion, J., & Pedotti, A. (1993). Is the trunk a reference frame for calculating leg position? *Neuroreport, 4*(2), 125-127.

Mucignat, V., De Montgolfier-Aubron, I., Grillon, C., Bourdareau, F., Blond, M. H., Boëlle, P. Y., … Gold, F. (2003). Retard de croissance postnatal du grand prématuré (27-33 SA) : Fréquence et facteurs de risque: Étude rétrospective à propos de 161 cas. *Archives de Pédiatrie*, *10*(4), 313-319. https://doi.org/10.1016/S0929-693X(03)00032-0

Mulder, H., Pitchford, N. J., Hagger, M. S., & Marlow, N. (2009). Development of executive function and attention in preterm children: A systematic review. *Developmental neuropsychology*, *34*(4), 393–421.

Naugle, K. M., Hass, C. J., Bowers, D., & Janelle, C. M. (2011). Emotional state affects gait initiation in individuals with Parkinson's disease. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *12*(1), 207-219. https://doi.org/10.3758/s13415-011-0071-9

Naugle, K. M., Joyner, J., Hass, C. J., & Janelle, C. M. (2010). Emotional influences on locomotor behavior. *Journal of Biomechanics*, *43*(16), 3099-3103. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.08.008

Nehmé, L., Barbar, R., Maric, Y., & Jacquot, M. (2016). Influence of odor function and color symbolism in odor–color associations: A French–Lebanese–Taiwanese cross-cultural study. *Food Quality and Preference*, *49*, 33-41. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.11.002

Nougier, V., Bard, C., Fleury, M., & Teasdale, N. (1998). Contribution of central and peripheral vision to the regulation of stance: Developmental aspects. *Journal of Experimental Child Psychology*, *68*(3), 202-215. https://doi.org/10.1006/jecp.1997.2427

Ogawa, Y., Hayashi, M., Otsuka, K., Shimizu, S., Inagaki, T., Hagiwara, A., … Suzuki, M. (2010). Subjective visual vertical in patients with ear surgery. *Acta Oto-Laryngologica*, *130*(5), 576-582. https://doi.org/10.3109/00016480903352967

Ohlmann, T. (1988). *Perception de la verticale : Variabilité interindividuelle dans la dépendance à l'égard des référentiels spatiaux* (PhD Thesis). Paris 8.

Olivier, I., Audiffren, M., & Ripoll, H. (1998). Age-related differences in the preparatory processes of motor programming. *Journal of experimental child psychology*, *69*(1), 49–65.

Olivier, I., & Bard, C. (2000). The effects of spatial movement components precues on the execution of rapid aiming in children aged 7, 9, and 11. *Journal of Experimental Child Psychology*, *77*(2), 155-168. https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2558

Ong, K. K., Kennedy, K., Castañeda-Gutiérrez, E., Forsyth, S., Godfrey, K. M., Koletzko, B., … Fewtrell, M. (2015). Postnatal growth in preterm infants and later health outcomes: A systematic review. *Acta Paediatrica*, *104*(10), 974-986. https://doi.org/10.1111/apa.13128

Onyekuru, B. U. (2015). Field Dependence-Field Independence Cognitive Style, Gender, Career Choice and Academic Achievement of Secondary School Students in Emohua Local Government Area of Rivers State. *Journal of Education and Practice*, *6*(10), 76–85.

Pachella, R. G. (1973). The interpretation of reaction time in information processing research. In B. Kantowitz (Ed.), *Human Information Processing: Tutorial in Performance and Recognition*, Erlbaum, 1974, pp. 41–82.

Pageaux, B., Marcora, S. M., & Lepers, R. (2013). Prolonged Mental Exertion Does Not Alter Neuromuscular Function of the Knee Extensors. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 45*(12), 2254–2264. doi:10.1249/mss.0b013e31829b504a

Pansell, T., Ygge, J., & Schworm, H. D. (2003). Conjugacy of torsional eye movements in response to a head tilt paradigm. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *44*(6), 2557-2564. https://doi.org/10.1167/iovs.02-0987

Parietti-Winkler, C., Lion, A., Montaut-Verient, B., Grosjean, R., & Gauchard, G. C. (2015). Effects of unilateral cochlear implantation on balance control and sensory organization in adult patients with profound hearing loss. *BioMed Research International*, *2015*, 1-7. https://doi.org/10.1155/2015/621845

Patino, C. M., McKean-Cowdin, R., Azen, S. P., Allison, J. C., Choudhury, F., Varma, R., & Los Angeles Latino Eye Study Group. (2010). Central and peripheral visual impairment and the risk of falls and falls with injury. *Ophthalmology*, *117*(2), 199-206.e1. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.06.063

Pavlou, M., Quinn, C., Murray, K., Spyridakou, C., Faldon, M., & Bronstein, A. M. (2011). The effect of repeated visual motion stimuli on visual dependence and postural control in normal subjects. *Gait & Posture*, *33*(1), 113-118. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.10.085

Pedotti, A., Crenna, P., Deat, A., Frigo, C., & Massion, J. (1989). Postural synergies in axial movements: Short and long-term adaptation. *Experimental Brain Research*, *74*(1), 3–10.

Pellecchia, G. L. (2003). Postural sway increases with attentional demands of concurrent cognitive task. *Gait & Posture*, *18*(1), 29-34. https://doi.org/10.1016/S0966-6362(02)00138-8

Pérennou, D. A., Amblard, B., Leblond, C., & Pélissier, J. (1998). Biased postural vertical in humans with hemispheric cerebral lesions. *Neuroscience Letters*, *252*(2), 75-78. https://doi.org/10.1016/S0304-3940(98)00501-1

Pérennou, D. A., Amblard, B., Laassel, E. M., Benaim, C., Hérisson, C., & Pélissier, J. (2002). Understanding the pusher behavior of some stroke patients with spatial deficits: A pilot study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *83*(4), 570–575.

Pérennou, D. A., Amblard, B., Laassel, E. M., & Pélissier, J. (1997). Hemispheric asymmetry in the visual contribution to postural control in healthy adults. *Neuroreport*, *8*(14), 3137–3141.

Perrot, C., Moes, R., Deviterne, D., & Perrin, P. (1998). Adaptations posturales lors de gestuelles spécifiques aux sports de combat. *Science & Sports*, *13*(2), 64-74. https://doi.org/10.1016/S0765-1597(97)86902-X

Petersen, H., Tulinius, A.-T., Georgsdóttir, I., Einarsson, E.-J., Patel, M., Haraldsson, Á., & Fransson, P.-A. (2015). Decreased postural control in adolescents born with extremely low birth weight. *Experimental Brain Research*, *233*(5), 1651-1662. https://doi.org/10.1007/s00221-015-4239-3

Pew, R. W. (1969). The speed-accuracy operating characteristic. *Acta Psychologica*, *30*, 16–26.

Pires, F. O., Silva-Júnior, F. L., Brietzke, C., Franco-Alvarenga, P. E., Pinheiro, F. A., de França, N. M., … Meireles Santos, T. (2018). Mental Fatigue Alters Cortical Activation and Psychological Responses, Impairing Performance in a Distance-Based Cycling Trial. *Frontiers in Physiology, 9*. doi:10.3389/fphys.2018.00227

Pisella, L., Rode, G., Farne, A., Tilikete, C., & Rossetti, Y. (2006). Prism adaptation in the rehabilitation of patients with visuo-spatial cognitive disorders. *Current opinion in neurology*, *19*(6), 534–542.

Pizzamiglio, L., Frasca, R., Guariglia, C., Incoccia, C., & Antonucci, G. (1990). Effect of Optokinetic Stimulation in Patients with Visual Neglect. *Cortex*, *26*(4), 535-541. https://doi.org/10.1016/S0010-9452(13)80303-6

Pizzo, R., Urben, S., Van der Linden, M., Borradori-Tolsa, C., Freschi, M., Forcada-Guex, M., … Barisnikov, K. (2010). Attentional networks efficiency in preterm children. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *16*(01), 130–137.

Plamondon, R., & Alimi, A. M. (1997). Speed/accuracy trade-offs in target-directed movements. *Behavioral and brain sciences*, *20*(2), 279–303.

Pons Van Dijk, G., Lenssen, A., Leffers, P., Kingma, H., & Lodder, J. (2013). Taekwondo Training Improves Balance in Volunteers Over 40. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *5*. https://doi.org/10.3389/fnagi.2013.00010

Pop, T., Czamy, W., Glista, J., & Skrzypiec, M. (2013). Influence of traditional karate training on the stability and symmetry of the load on lower limbs. *Archives of Budo*, *9*(1), 39–49.

Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual review of neuroscience*, *13*(1), 25–42.

Pouget, A., & Driver, J. (2000). Relating unilateral neglect to the neural coding of space. *Current opinion in neurobiology*, *10*(2), 242–249.

Raz, A., & Buhle, J. (2006). Typologies of attentional networks. *Nature Reviews Neuroscience*, *7*(5), 367–379.

Rebenitsch, L., & Owen, C. (2016). Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Reality*, *20*(2), 101-125. https://doi.org/10.1007/s10055-016-0285-9

Redding, G. M., & Wallace, B. (2006). Prism adaptation and unilateral neglect: Review and analysis. *Neuropsychologia*, *44*(1), 1-20. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.04.009

Remaud, A., Boyas, S., Caron, G. A. R., & Bilodeau, M. (2012). Attentional demands associated with postural control depend on task difficulty and visual condition. *Journal of Motor Behavior*, *44*(5), 329-340. https://doi.org/10.1080/00222895.2012.708680

Réveillon, M., Hüppi, P. S., & Barisnikov, K. (2018). Inhibition difficulties in preterm children: Developmental delay or persistent deficit? *Child Neuropsychology*, *24*(6), 734-762. https://doi.org/10.1080/09297049.2017.1294665

Riccio, G. E., Martin, E. J., & Stoffregen, T. A. (1992). The role of balance dynamics in the active perception of orientation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*(3), 624-644. https://doi.org/10.1037/0096-1523.18.3.624

Riccio, G. E., & Stoffregen, T. A. (1988). Affordances as constraints on the control of stance. *Human movement science*, *7*(2), 265–300.

Richard, C., Honoré, J., Bernati, T., & Rousseaux, M. (2004). Straight-ahead pointing correlates with long-line bisection in neglect patients. *Cortex*, *40*(1), 75–83.

Riley, M. A., Balasubramaniam, R., & Turvey, M. T. (1999). Recurrence quantification analysis of postural fluctuations. *Gait & Posture*, *9*(1), 65-78. https://doi.org/10.1016/S0966-6362(98)00044-7

Robertson, I. H., Hogg, K., & McMillan, T. M. (1998). Rehabilitation of unilateral neglect: Improving function by contralesional limb activation. *Neuropsychological Rehabilitation*, *8*(1), 19-29. https://doi.org/10.1080/713755556

Robertson, I. H., North, N. T., & Geggie, C. (1992). Spatiomotor cueing in unilateral left neglect: Three case studies of its therapeutic effects. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *55*(9), 799–805.

Robertson, I. H., Tegnér, R., Tham, K., Lo, A., & Nimmo-smith, I. (1995). Sustained attention training for unilateral neglect: Theoretical and rehabilitation implications. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *17*(3), 416-430. https://doi.org/10.1080/01688639508405133

Rode, G., Tilikete, C., & Boisson, D. (1997). Predominance of postural imbalance in left hemiparetic patients. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, *29*(1), 11-16.

Rode, G., Klos, T., Courtois-Jacquin, S., Rossetti, Y., & Pisella, L. (2006). Neglect and prism adaptation: A new therapeutic tool for spatial cognition disorders. *Restorative Neurology and Neuroscience*, *24*(4), 347-356.

Rode, G., & Perenin, M.-T. (1994). Temporary remission of representational hemineglect through vestibular stimulation. *Neuroreport*, *5*(8), 869–872.

Rode, G., Pisella, L., Rossetti, Y., Farnè, A., & Boisson, D. (2003). Bottom-up transfer of sensory-motor plasticity to recovery of spatial cognition: Visuomotor adaptation and spatial neglect. *Progress in brain research*, *142*, 273–287.

Rodríguez Fernández, C., Mata Zubillaga, D., Rodríguez Fernández, L. M., Regueras Santos, L., Reguera García, M. M., de Paz Fernández, J. A., & Lapeña López de Armentia, S. (2016). Evaluation of coordination and balance in preterm children. *Anales de Pediatría (English Edition)*, *85*(2), 86-94. https://doi.org/10.1016/j.anpede.2015.10.023

Roerdink, M., Haart, M. D., Daffertshofer, A., Donker, S. F., Geurts, A. C. H., & Beek, P. J. (2006). Dynamical structure of center-of-pressure trajectories in patients recovering from stroke. *Experimental Brain Research*, *174*(2), 256-269. https://doi.org/10.1007/s00221-006-0441-7

Roerdink, M., Hlavackova, P., & Vuillerme, N. (2011a). Center-of-pressure regularity as a marker for attentional investment in postural control: A comparison between sitting and standing postures. *Human Movement Science*, *30*(2), 203-212. https://doi.org/10.1016/j.humov.2010.04.005

Roerdink, M., Hlavackova, P., & Vuillerme, N. (2011b). Effects of plantar-flexor muscle fatigue on the magnitude and regularity of center-of-pressure fluctuations. *Experimental Brain Research, 212*(3), 471–476. doi:10.1007/s00221-011-2753-5

Roll, J.-P., & Roll, R. (1988). From eye to foot: A proprioceptive chain involved in postural control. *Posture and gait. Elsevier, Amsterdam*, 155–164.

Romine, C. B., & Reynolds, C. R. (2005). A model of the development of frontal lobe functioning: Findings from a meta-analysis. *Applied neuropsychology*, *12*(4), 190–201.

Ross, D. M., & Ross, S. A. (1982). *Hyperactivity: Current issues, research, and theory*. John Wiley & Sons.

Rossetti, Y., Rode, G., Cheikh-Rouhou, M., Farnè, A., Pisella, L., Li, L., & Boisson, D. (1998). Amélioration durable des symptômes de la négligence par adaptation prismatique : Quels arguments pour les théories référentielle, attentionnelle et intégrationnelle. *Les syndromes de négligence spatiale. Paris: Masson*, 299–310.

Rubens, A. B. (1985). Caloric stimulation and unilateral visual neglect. *Neurology*, *35*(7), 1019-1019. https://doi.org/10.1212/WNL.35.7.1019

Rueda, M. R., Fan, J., McCandliss, B. D., Halparin, J. D., Gruber, D. B., Lercari, L. P., & Posner, M. I. (2004). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychologia*, *42*(8), 1029-1040. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.012

Ruff, C. C., Kristjánsson, Á., & Driver, J. (2007). Readout from iconic memory and selective spatial attention involve similar neural processes. *Psychological Science*, *18*(10), 901-909. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01998.x

Rumeau, C., Frère, J., Montaut-Verient, B., Lion, A., Gauchard, G., & Parietti-Winkler, C. (2015). Quality of life and audiologic performance through the ability to phone of cochlear implant users. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, *272*(12), 3685-3692. https://doi.org/10.1007/s00405-014-3448-x

Saevarsson, S., Kristjánsson, Á., & Halsband, U. (2010). Strength in numbers: Combining neck vibration and prism adaptation produces additive therapeutic effects in unilateral neglect. *Neuropsychological Rehabilitation*, *20*(5), 704-724. https://doi.org/10.1080/09602011003737087

Saevarsson, S., Kristjánsson, Á., Hildebrandt, H., & Halsband, U. (2009). Prism adaptation improves visual search in hemispatial neglect. *Neuropsychologia*, *47*(3), 717-725. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.11.026

Saj, A., Honoré, J., Richard, C., Coello, Y., Bernati, T., & Rousseaux, M. (2006). Where is the "straight ahead" in spatial neglect? *Neurology*, *67*(8), 1500-1503. https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000239823.28570.87

Samuel, C., Louis-Dreyfus, A., Kaschel, R., Makiela, E., Troubat, M., Anselmi, N., … Azouvi, P. (2000). Rehabilitation of very severe unilateral neglect by visuo-spatio-motor cueing: Two single case studies. *Neuropsychological Rehabilitation*, *10*(4), 385–399.

Schindler, I., Kerkhoff, G., Karnath, H.-O., Keller, I., & Goldenberg, G. (2002). Neck muscle vibration induces lasting recovery in spatial neglect. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *73*(4), 412-419. https://doi.org/10.1136/jnnp.73.4.412

Schindler, I., & Kerkhoff, G. (2004). Convergent and divergent effects of neck proprioceptive and visual motion stimulation on visual space processing in neglect. *Neuropsychologia*, *42*(9), 1149–1155.

Schmitz, C., Martin, N., & Assaiante, C. (2002). Building anticipatory postural adjustment during childhood: A kinematic and electromyographic analysis of unloading in children from 4 to 8 years of age. *Experimental Brain Research*, *142*(3), 354-364. https://doi.org/10.1007/s00221-001-0910-y

Serino, A., Angeli, V., Frassinetti, F., & Làdavas, E. (2006). Mechanisms underlying neglect recovery after prism adaptation. *Neuropsychologia*, *44*(7), 1068-1078. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.10.024

Shafer, D. M., Carbonara, C. P., & Korpi, M. F. (2017). Modern virtual reality technology: Cybersickness, sense of presence, and gender. *Media Psychol Rev*, *11*.

Shum, D., Neulinger, K., Ocallaghan, M., & Mohay, H. (2008). Attentional problems in children born very preterm or with extremely low birth weight at 7–9 years. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *23*(1), 103-112. https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.08.006

Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (1985). The growth of stability. *Journal of Motor Behavior*, *17*(2), 131-147. https://doi.org/10.1080/00222895.1985.10735341

Soubrane, G., Zlateva, G., Xu, X., Buggage, R., & Kosa, M. (2008). Impact de la dégénérescence maculaire néovasculaire : Données françaises. *Journal Français d'Ophtalmologie*, *31*(2), 138-145. https://doi.org/10.1016/S0181-5512(08)70346-2

Stanney, K. M., Kingdon, K. S., Graeber, D., & Kennedy, R. S. (2002). Human performance in immersive virtual environments: Effects of exposure duration, user control, and scene complexity. *Human performance*, *15*(4), 339–366.

Stins, J. F., Michielsen, M. E., Roerdink, M., & Beek, P. J. (2009). Sway regularity reflects attentional involvement in postural control: Effects of expertise, vision and cognition. *Gait & Posture*, *30*(1), 106–109.

Stins, J.F., & Beek, P. J. (2011). Organization of voluntary stepping in response to emotion-inducing pictures. *Gait & Posture*, *34*(2), 164-168. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.04.002

Stins, John F., & Beek, P. J. (2012). A critical evaluation of the cognitive penetrability of posture. *Experimental Aging Research*, *38*(2), 208-219. https://doi.org/10.1080/0361073X.2012.660053

Stoffregen, T. A. (2011). Motion sickness considered as a movement disorder. *Movement & Sport Sciences*, (3), 19–30.

Stoffregen, T. A., Hove, P., Bardy, B. G., Riley, M., & Bonnet, C. T. (2007). Postural stabilization of perceptual but not cognitive performance. *Journal of Motor Behavior*, *39*(2), 126-138.

Stoffregen, T. A., Pagulayan, R. J., Bardy, B. G., & Hettinger, L. J. (2000). Modulating postural control to facilitate visual performance. *Human Movement Science*, *19*(2), 203–220.

Stoffregen, T. A., Smart, L. J., Bardy, B. G., & Pagulayan, R. J. (1999). Postural stabilization of looking. *Journal of Experimental Psychology*, *25*(6), 1641-1658. https://doi.org/10.1037/0096-1523.25.6.1641

Taylor, J. L., & McCloskey, D. I. (1991). Illusions of head and visual target displacement induced by vibration of neck muscles. *Brain*, *114*(2), 755–759.

Teasdale, N., Bard, C., Larue, J., & Fleury, M. (1993). On the cognitive penetrability of posture control. *Experimental Aging Research*, *19*(1), 1-13. https://doi.org/10.1080/03610739308253919

Teel, E. F., Register-Mihalik, J. K., Troy Blackburn, J., & Guskiewicz, K. M. (2013). Balance and cognitive performance during a dual-task: Preliminary implications for use in concussion assessment. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *16*(3), 190-194. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.09.007

Thibault, R. T., & Raz, A. (2016). Imaging posture veils neural signals. *Frontiers in human neuroscience*, *10*.

Thurrell, A., & Bronstein, A. (2002). Vection increases the magnitude and accuracy of visually evoked postural responses. *Experimental Brain Research*, *147*(4), 558-560. https://doi.org/10.1007/s00221-002-1296-1

Tien, H.-C., & Linthicum, F. H. (2002). Histopathologic changes in the vestibule after cochlear implantation. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, *127*(4), 260-264. https://doi.org/10.1067/mhn.2002.128555

Tilikete, C., Rode, G., Rossetti, Y., Pichon, J., Li, L., & Boisson, D. (2001). Prism adaptation to rightward optical deviation improves postural imbalance in left-hemiparetic patients. *Current Biology*, *11*(7), 524-528. https://doi.org/10.1016/S0960-9822(01)00151-8

Tomporowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2008). Exercise and Children's Intelligence, Cognition, and Academic Achievement. *Educational Psychology Review*, *20*(2), 111-131. https://doi.org/10.1007/s10648-007-9057-0

Treleaven, J., Jull, G., & Sterling, M. (2003). Dizziness and unsteadiness following whiplash injury: Characteristic features and relationship with cervical joint position error. *Journal of Rehabilitation Medicine*, *35*(1), 36-43. https://doi.org/10.1080/16501970306109

Trousselard, M., Cian, C., Nougier, V., Pla, S., & Raphel, C. (2003). Contribution of somesthetic cues to the perception of body orientation and subjective visual vertical. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *65*(8), 1179–1187.

Trousselard, Marion, Barraud, P., Nougier, V., Raphel, C., & Cian, C. (2004). Contribution of tactile and interoceptive cues to the perception of the direction of gravity. *Cognitive Brain Research*, *20*(3), 355-362. https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.03.008

Turner, M., & Kendrick, S. (2003). Perceptual style, volitional eye movements, and their relation to visually induced motion sickness. *Proceedings of 38th UK Conference on Human Response to Vibration*, 107-118.

Vaillancourt, D. E., & Newell, K. M. (2002). Changing complexity in human behavior and physiology through aging and disease. *Neurobiology of Aging*, *23*(1), 1-11. https://doi.org/10.1016/S0197-4580(01)00247-0

Vallar, G., Antonucci, G., Guariglia, C., & Pizzamiglio, L. (1993). Deficits of position sense, unilateral neglect and optokinetic stimulation. *Neuropsychologia*, *31*(11), 1191-1200.

Vallar, G., Guariglia, C., & Rusconi, M. L. (1997). Modulation of the neglect syndrome by sensory stimulation. *Experimental Brain Research Series*, *25*, 555–578.

Vallar, G., Guariglia, C., Magnotti, L., & Pizzamiglio, L. (1995). Optokinetic stimulation affects both vertical and horizontal deficits of position sense in unilateral neglect. *Cortex*, *31*(4), 669-683. https://doi.org/10.1016/S0010-9452(13)80019-6

Vallar, G., & Perani, D. (1986). The anatomy of unilateral neglect after right-hemisphere stroke lesions. A clinical/CT-scan correlation study in man. *Neuropsychologia*, *24*(5), 609-622. https://doi.org/10.1016/0028-3932(86)90001-1

Vallis, L. A., & McFadyen, B. J. (2005). Children use different anticipatory control strategies than adults to circumvent an obstacle in the travel path. *Experimental brain research*, *167*(1), 119–127.

van Beuzekom, A. D., Medendorp, W. P., & Van Gisbergen, J. A. M. (2001). The subjective vertical and the sense of self orientation during active body tilt. *Vision research*, *41*(25), 3229–3242.

van de Weijer-Bergsma, E., Wijnroks, L., & Jongmans, M. J. (2008). Attention development in infants and preschool children born preterm: A review. *Infant Behavior and Development*, *31*(3), 333-351. https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2007.12.003

Vando, S., Filingeri, D., Maurino, L., Chaabène, H., Bianco, A., Salernitano, G., … Padulo, J. (2013). Postural adaptations in preadolescent karate athletes due to a one week karate training camp. *Journal of Human Kinetics*, *38*, 45-52. https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0044

Vedaei, F., Fakhri, M., Harirchian, M. H., Firouznia, K., Lotfi, Y., & Ali Oghabian, M. (2013). Methodological considerations in conducting an olfactory fmri study. *Behavioural Neurology*, *27*(3), 267-276. https://doi.org/10.1155/2013/870814

Vitte, E., Lazennec, J., Pharaboz, C., Semont, A., & Freyss, G. (1992). Induced perturbations of Equitest in cervical spine pathologies. In *Eugene, Oregon: University of Oregon Books*: *Vol. 2*. *Posture and gait: Control mechanisms* (Woollacott M, Horak FB, editors), 176–179

Wade, N. J. (1992). The representation of orientation in vision. *Australian Journal of Psychology*, *44*(3), 139–145.

Weech, S., Kenny, S., & Barnett-Cowan, M. (2019). Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related : A review. *Frontiers in Psychology*, *10*, 158. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00158

Welsh, M. C., Pennington, B. F., & Groisser, D. B. (1991). A normative-developmental study of executive function: A window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology*, *7*(2), 131-149. https://doi.org/10.1080/87565649109540483

Westwood, D. A., Chapman, C. D., & Roy, E. A. (2000). Pantomimed actions may be controlled by the ventral visual stream. *Experimental Brain Research*, *130*(4), 545–548.

Wiart, L., Côme, A. B. S., Debelleix, X., Petit, H., Joseph, P. A., Mazaux, J. M., & Barat, M. (1997). Unilateral neglect syndrome rehabilitation by trunk rotation and scanning training. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *78*(4), 424-429. https://doi.org/10.1016/S0003-9993(97)90236-7

Wilson, F. C., Manly, T., Coyle, D., & Robertson, I. H. (2000). The effect of contralesional limb activation training and sustained attention training for self-care programmes in unilateral spatial neglect. *Restorative Neurology and Neuroscience*, *16*(1), 1-4.

Witkin, H. A., Dyk, R. B., Fattuson, H. F., Goodenough, D. R., & Karp, S. A. (1962). *Psychological differentiation: Studies of development.* Wiley

Witkin, H. A., & Goodenough, D. R. (1976). Field dependence revisited. *ETS Research Bulletin Series*, *1976*(2), i–85.

Witkin, H. A., & Goodenough, D. R. (1977). Field dependence and interpersonal behavior. *Psychological bulletin*, *84*(4), 661-689.

Witkin, H. A., & Goodenough, D. R. (1981). Cognitive styles: Essence and origins. Field dependence and field independence. *Psychological issues*, (51), 1–141.

Witkin, H. A., Moore, C. A., Goodenough, D. R., & Cox, P. W. (1975). Field-dependent and field-independent cognitive styles and their educational implications. *ETS Research Bulletin Series*, *1975*(2), 1–64.

Wocadlo, C., & Rieger, I. (2006). Educational and therapeutic resource dependency at early school-age in children who were born very preterm. *Early Human Development*, *82*(1), 29-37. https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2005.06.005

Wolsley, C. J., Sakellari, V., & Bronstein, A. M. (1996). Reorientation of visually evoked postural responses by different eye-in-orbit and head-on-trunk angular positions. *Experimental Brain Research*, *111*(2), 283-288. https://doi.org/10.1007/BF00227305

Yates, B. J., Catanzaro, M. F., Miller, D. J., & McCall, A. A. (2014). Integration of vestibular and emetic gastrointestinal signals that produce nausea and vomiting: Potential contributions to motion sickness. *Experimental Brain Research*, *232*(8), 2455-2469. https://doi.org/10.1007/s00221-014-3937-6

Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of comparative neurology and psychology*, *18*(5), 459–482.

Zago, M., Mapelli, A., Shirai, Y. F., Ciprandi, D., Lovecchio, N., Galvani, C., & Sforza, C. (2015). Dynamic balance in elite karateka. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *25*(6), 894-900. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2015.10.002

❖ LES PERSPECTIVES DE RECHERCHE & DE DEVELOPPEMENT

Période	Problématique	Projet	Page
A court terme - à 3 ans -	Déterminants des perceptions spatiales	Effet d'une stimulation proprio-cervicale unilatérale sur la perception visuelle égocentrée et ses conséquences locomotrices	118
	Discordances perceptives & Comportement moteur	Effets des facteurs humains dans la modulation de la cybercinétose grâce au phénomène cross-modal visuo-olfactif (dont leur capacité d'imigination olfactive)	86 (88)
		Impact de l'agréabilité d'un arrangement coloré sur l'apparition d'une cinétose [dont le développement d'une technologie innovante (IA) pour réduire les cybercinétoses et cinétoses]	89 (91)
	Troubles perceptifs & Comportement	Projet de valorisation confidentiel : SMART PROPRIO PATCH	123
	Influences réciproques de la mobilité corporelle et de l'activité attentionnelle chez l'enfant d'âge scolaire	La forme de la relation entre activation physiologique et performances attentionnelles	172
		L'application de nos découvertes au contexte scolaire : une assise innovante	173
		Quantification de la mobilité posturale de l'enfant âgé de 6-7 ans né prématurément	174
A moyen terme - à 5 ans -	Déterminants des perceptions spatiales	Influence des stimulations otolithiques dans la perception de la localisation visuelle égocentrée	47
		Influence d'un lestage gastrique sur la perception visuelle d'orientation égocentrée	63
	Discordances perceptives & Comportement moteur	Effet d'un ancrage visuel sur la survenue d'une cybercinétose en fonction des facteurs humains	96
		Effet d'une situation nauséogène virtuelle sur le comportement postural	100
	Influences des contraintes environnementales et internes sur l'exécution de tâches réalisées simultanément	Effet de la déficience visuelle sur le contrôle postural de personnes âgées de plus de 65 ans lors de la réalisation de tâche cognitive	153
A long terme - à 10 ans -	Déterminants des perceptions spatiales	Influence du contexte visuel émotionnellement connoté sur la perception spatiale de l'environnement gravitaire	66
	Troubles perceptifs & Comportement	Persistances des effets thérapeutiques de protocoles combinés : Projet HEMI-OR	118
		Corrélats neuronaux des effets de protocoles combinés : Projet HEMIMAGE	121

6. Présentation synthétique des activités de valorisation et de transfert

Pour la réalisation de mes divers projets de recherche, j'ai dû envisager le développement de matériels et autres logiciels à visée expérimentale. Après la rédaction de cahiers des charges, j'ai entrepris la recherche de partenaire pour la conception du matériel et/ ou du développement logiciel imaginé(s).

TYPE	PERIODE	REALISATION
IA : prévention de cinetose	En projet	Technologie innovante capable de 1) prédire le caractère nauséogène des environnements visuels et 2) générer en temps réel des harmonies colorées adaptées au contexte et à l'individu afin de réduire son état d'inconfort
SMART PROPRIO PATCH	2019-…	Conception d'un outil de stimulations proprio-cervicales pour les patients atteints de troubles de la cognition spatiale
Logiciels en Réalité Virtuelle	2017-18	. Conception d'un logiciel permettant d'évaluer les perceptions spatiales d'orientation géocentrée et égocentrée ici que la dépendance visuelle chez l'humain via l'utilisation d'un casque de Réalité Virtuelle.
	2016-17	. Conception d'un logiciel permettant d'induire visuellement une cinétose de type « Motion Ship » via l'utilisation d'un casque de Réalité Virtuelle.
Produit à visée Experimentale	2015-17	. Création d'un logiciel permettant d'évaluer l'impact émotionnel dans un environnement visuel
	2015-16	. Mentonnière inclinable pour tous tests de perception spatiale : Contrôle de la position de la tête lors des évaluations perceptives
	2013-14	. Siège pour plate-forme inclinable : prototype afin de pouvoir réaliser des tests de perception de la verticale posturale subjective
Produit à visée pédagogique	2019	. Conception d'un siège permettant de libérer la mobilité corporelle permettant d'optimiser les capacités cognitives
Produit à visée thérapeutique	2019	. Conception d'un « collier ré-éducateur » permettant de corriger les troubles perceptifs de l'espace et ainsi d'améliorer la qualité de vie du patient
Dispositifs électro-mécaniques et leur logiciel propre	2017-19	. Création d'un dispositif électro-mécanique et de son logiciel permettant d'évaluer les perceptions spatiales d'orientation géocentrée et égocentrée ici que la dépendance visuelle chez l'humain.
	2015-16	. Conception d'un dispositif électro-mécanique et de son logiciel permettant d'évaluer les localisations spatiales visuelles égocentrées horizontale et verticale et de la mémorisation de ces caractéristiques spatiale chez l'humain.

7. Rayonnement scientifique

❖ COLLABORATIONS SCIENTIFIQUES

NIVEAU	PERIODE	COLLABORATION / COLLECTIF
International	2015-18	Groupe de travail européen sur "Le Mal Des Transports & L'Analyse De L'Instabilité Posturale" ➔ Maire R, Mallinson A, Ceyte H, Caudron S, Van Nechel C, Bisdorff A, Magnusson M, Petersen H, Kingma H, Perrin Ph P. Discussion about Visual Dependence in Balance Control: European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders. *Journal International Advanced Otology* 2017 Dec;13(3):404-406. doi: 10.5152/iao.2017.4344.
	2010-12	Pr. Hamann (ENT Hospital, Technical University Munich, München, Allemagne) avec qui j'ai développé un projet Franco-allemand sur la thématique de « Vestibule & Mémorisation spatiale » ➔ Conséquences de lésions vestibulaires unilatérales sur la mémorisation de la position spatiale d'une cible visuelle Mme Krall (thèse de Médecine allemande)
National	2019-…	Leslie Decker (MCU-HDR) du laboratoire UMR-S 1075 INSERM-UNICAEN sur la thématique de la Neuroprésence en réalité virtuelle. ➔ Maneuvrier A, Ceyte H, Renaud P, Morello R, Decker LM. Men perform better on a virtual reality neuropsychological test: A paper-and-pencil vs. virtual reality analysis. (submited to *Computers in Human Behavior*)
	2017-…	Frédéric Noé (MCU) du laboratoire Mouvement Equilibre Performance et Santé (EA 4445) de Tarbes sur la thématique de « Effets de la fatigue mentale sur le contrôle postural ». ➔ Hachard B, Noe F, Ceyte H, Trajin B, Paillard T. Balance control is impaired by mental fatigue due to the fulfilment of a continuous cognitive task or by the watching of a documentary. *Experimental Brain Research* 2020. doi: 10.1007/s00221-020-05758-2 (sous press).
	2016-17	Lionel Bringoux (MCU-HDR) de l'Institut des Sciences du Mouvement E. J. Marey (ISM UMR AMU/CNRS) de Marseille sur la thématique de « L'influence De Contexte Visuel Emotionnellement Connoté Sur La Perception D'orientation Géocentrée ».
Local	2019-…	Gabriela Hossu du laboratoire IADI UMR 947-INSERM de l'Universalité de Lorraine sur un projet de Recherche sur la thématique des corrélats neuronaux des facteurs olfactifs et colorés à l'apparition de cinétose. Projet de co-direction de thèse 10.2020.
	2016-…	Muriel Jacquot de SAS MYRISSI sur un projet de Recherche et développement sur la thématique des facteurs d'influence olfactifs et colorés d'apparition de cinétose et de cybercinétose.

2013-…	Julien Frère (MCU) et Sébastien Caudron (MCU) du Laboratoire DevAH EA3450. Collaborations quotidiennes sur de nombreux projets de recherche et soumissions en cours.
2012-…	Collaborations dans de nombreux projets de recherche avec différents centres de rééducation et de réadaptation : - L'Institut de Rééducation et de Réadaptation (IRR) de Lay Saint Christophe spécialisé sur les atteintes centrales, - L'institut de Rééducation et de Réadaptation (IRR) de Nancy spécialisé sur les atteintes posturo-locomotrices, - Le CHRU de Nancy Central (service d'Otoneurologie) - Le CHRU de Nancy-Brabois (service d'Analyse de la Posture, de l'Equilibre et du Mouvement), - La Maternité Régionale de Lorraine, - Le Centre de Rééducation Florentin de Nancy spécialisé dans la réadaptation périphérique de la personne âgée. - Le Centre d'Éducation pour Déficients Visuels de Nancy, le centre Santifontaine

❖ PARTENAIRES INDUSTRIELS

- La société CGM Construction Mécanique GRUGET (N° SIRET : 33491094000017) pour la conception de matériel
- La société VIRTUALIS pour la mise à disposition de logiciels d'évaluation perceptive destinée à la prise en charge thérapeutique de troubles posturaux, vertiges…

❖ EXPERTISES SCIENTIFIQUES AUPRES DES REVUES INTERNATIONALES INDEXEES

Attention, Perception, & Psychophysics	Experimental Brain Research
Medical Sciences: Biology and Medicine	Frontiers Medicine
BioMed Research International	Journal of Motor Behavior
BioMedical Engineering OnLine	Neurosciences Letters
Gait & Posture	PlosOne

❖ CONTRATS ET FINANCEMENTS DEMANDES ET/ OU OBTENUS

APPEL d'OFFRE	TITRE DU PROJET	BUDGET
ANR 2020, Jeunes chercheuses - jeunes chercheurs (JCJC Porteur : Julien Frère Neurosciences intégratives et cognitives (CE37)	Acronyme : LearniSyn Titre : Modularité motrice au cours de l'apprentissage moteur : études expérimentales et simulations informatiques Titre en anglais : Motor modularity during skill acquisition: experimental and computational analyses	Financement demandé : 280 k€ (non obtenu)
CONCOURS DE L'ECOLE DOCTORALE 2018 Pour information, cette Ecole Doctorale regroupe l'ensemble des Structures de Recherche (UMR CNRS et INSERM, EA) dans le domaine de la Biologie, Médecine, Santé de l'Université de Lorraine. Il n'existe pas en Lorraine d'Ecole Doctorale spécifique pour les Sciences du Mouvement Humain.	Interdépendance fonctionnelle entre mobilité corporelle et capacités attentionnelles chez l'enfant d'âge scolaire né à terme ou prématurément.	Financement de thèse pendant 3 ans soit environ 92 k€ obtenus Candidate et Projet terminant 4ème du concours sur 25 postulants
APPEL A PROJETS INTERNES BMS "Projets Structurants 2018", Crédits Fonds de Roulement UL	Acquisition d'une plateforme de forces triaxiales pour l'analyse cinétique d'activités posturo-locomotrices	12 k€ obtenus en Investissement
APPEL A PROJETS du POLE SCIENTIFIQUE - UNIVERSITE DE LORRAINE "Soutien à des Actions de Recherche 2017"	Influence des contraintes de mobilité corporelle sur les capacités attentionnelles chez l'enfant né prématuré âgé de 6-7 ans	17 k€ obtenus (10 k€ en Fonctionnement et 7 k€ en Investissement)
ANR 2015, Projet de recherche collaborative (PRC) Porteur : stephanie FLECK ORIENTATION 33 : Innovations sociales, éducatives et culturelles	Acronyme : PRATIC Titre : Conception d'interfaces couplant Réalité Augmentée et interactions Tangibles pour l'Innovation pédagogique en Contexte scolaire Titre en anglaise: PRoviding children-centered Augmented and Tangible Interfaces to improve learning in educational Contexts	Financement demandé : 781 k€ (non obtenu)
APPEL A PROJETS de l'UNIVERSITE-CNRS-REGION 2015- 2017	Effet de stimulations proprioceptives sur les troubles perceptifs d'orientation spatiale chez des patients atteints d'héminégligence et sur les troubles posturaux associés.	24 k€ obtenus sur 3 ans (3 k€ en Fonctionnement et 21 k€ en Investissement)
APPEL A PROJET MSH (Maison des Sciences de l'Homme) Lorraine 2010	Evaluation des conséquences de blessures médullaires sur la perception des espaces : conception d'un dispositif d'évaluation visuelle des orientations spatiales	10 k€ obtenus

❖ IMPLICATIONS DANS DES EVENEMENTS SCIENTIFIQUES

Membre de comité d'organisation de congrès et colloques internationaux

- Lors du 1er congrès POSTURE – EQUILIBRE – MOUVEMENT (P.E.M.), ayant eu lieu du 8 au 10 Décembre 2016. Ce congrès a regroupé 3 sociétés savantes reconnues autour de la thématique des interactions entre les fonctions de contrôle de la posture, de l'équilibre et du mouvement : la SOFPEL (Société Francophone Posture Equilibre, Locomotion), l'ESCEBD (European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders), et la SOFAMEA (Société Francophone d'Analyse du Mouvement chez l'Enfant et l'Adulte). De plus amples informations vous sont disponibles sur le site :
    - http://pem-nancy2016.event.univ-lorraine.fr/pem_commi.php
- Lors de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD) en 2015. De plus amples informations vous sont disponibles aux adresses suivantes :
    - http://posturographie-nancy.event.univ-lorraine.fr/posturo_prog2015.php
- Lors de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD) en 2017. De plus amples informations vous sont disponibles aux adresses suivantes :
    - http://posturographie-nancy.event.univ-lorraine.fr/posturo_prog2017.php

Membre de comité scientifique de congrès internationaux

- Lors du 1er congrès POSTURE – EQUILIBRE – MOUVEMENT (P.E.M.), ayant eu lieu du 8 au 10 Décembre 2016. De plus amples informations vous sont disponibles sur le site http://pem-nancy2016.event.univ-lorraine.fr/pem_commi.php

Membre du comité d'organisation de manifestations de vulgarisation scientifique

- Festival PINT OF SCIENCES, les 14 et 15 mai 2018. Cette manifestation a pour objectif de « démystifier la recherche scientifique et la faire découvrir au grand public dans un cadre détendu ».
- SCIENCES & YOU 2015 qui est un événement culturel et scientifique d'envergure internationale s'adressant à toute personne intéressée par les sciences.

❖ CONFERENCIER-INVITE

Au-delà des congrès nationaux et internationaux au cours desquels j'ai présenté des communications orales et affichées, j'ai été invité à communiquer lors de 9 conférences dont voici le recensement :

1. **Ceyte H**. Influence de la posture et de la mobilité sur les capacités attentionnelles chez l'enfant né prématuré, à l'âge de 7 ans. Journée d'Actualités en Néonatologie, le 30 septembre 2017, Nancy

   → Communication *orale en tant qu'invité* Cette conférence a eu lieu face à des cliniciens mais aussi face à des pédagogues. La vidéo de cette conférence est accessible à l'adresse suivante : http://www.relations-medicales.com/replay/C176_jalon_2017/event.html
2. **Ceyte H**, Caudron S. Motor and postural effects of the proprioceptive vibratory stimulations. 11ème reunion de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD), les 17-18 Septembre 2015, Nancy.
3. **Ceyte H**. La vibration musculo-tendineuse : effets sur la perception spatiale de l'environnement et de notre propre corps. 10ème reunion de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD), le 18-20 Septembre 2014, Nancy.
4. **Ceyte H**. Dépendance visuelle & posture : Approche Psychophysique & Outils de mesure. 8ème reunion de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD), le 20 Septembre 2012, Nancy.
5. **Ceyte H**, Cian C. Le référentiel égocentré comme origine de nos perceptions visuelles ? Congrès de la Société Française de Psychologie, entre le 06-09 Septembre 2010, Lille, France. (Symposium « Représentation de l'espace et contrôle de l'action »*)*
6. **Ceyte H**. Réunion de l'académie « HELMHOLTZ », le 18 décembre 2009, Archives H. Poincaré-LHPS, UMR 7117 CNRS / Nancy-Université, France
7. **Ceyte H**. Susceptibilité au mal des transports, Table ronde de la 5ème Réunion de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD) / INSERM U 954, Coordonnateurs : Gilles Bosser et Pierre Denise, le 23 septembre 2009, Faculté de Médecine, ESP/INSERM, Nancy.
8. **Ceyte H**. Perception d'orientation spatiale : le référentiel égocentré. 5ème Réunion de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD), le 22 janvier 2009, Faculté de Médecine, ESP/INSERM, Nancy.
9. **Ceyte H**. Perception visuelle égocentrée : Origine de la perception visuelle de l'espace extra-corporel ? Le Corps en Acte, A l'occasion du centenaire de la naissance de Maurice Merleau-Ponty sous la présidence de Alain Berthoz et Bernard Andrieu, le 22 et 23 septembre 2008, Collège de France, Paris.

8. Informations significatives sur le déroulement de la carrière relativement aux conditions d'exercice

Recruté en octobre 2007 à l'Université Henri Poincaré de Nancy I, après avoir soutenu ma thèse de doctorat (Contributions Sensorielles A L'élaboration De Nos Perceptions Spatiales) à l'Université Joseph Fourier de Grenoble I en décembre 2006, j'ai intégré le laboratoire de Recherche d'Histoire et de Philosophie des Sciences - Archives H. Poincaré, UMR 7117 CNRS et l'UFR-STAPS de Nancy. Ce rattachement scientifique, avait pour objectif d'alimenter les thématiques du laboratoire en connaissances neuroscientifiques. Toutefois afin de me rapprocher d'un laboratoire proche de mes thématiques de Recherche, j'ai intégré en 2013 l'Equipe d'Accueil 3450 DevAH (Développement, Adaptation, Handicap) de l'Université de Lorraine. Cette structure de Recherche était la seule de cet établissement à travailler sur les thématiques des Sciences du Mouvement chez l'Humain.

❖ EVOLUTION DE L'EA3450 DEVAH VERS LA FORMATION DE JEUNES-CHERCHEURS

Basée au Laboratoire de Physiologie de la Faculté de Médecine de Vandœuvre-lès-Nancy, cette EA est composée à ce jour de chercheurs, cliniciens et ingénieurs (dont 21 PH pour un effectif de 38 membres titulaires). Historiquement composé d'hospitalo-universitaires, ce laboratoire n'avait pas la culture de former des étudiants « non-médecin » au métier de la Recherche. En effet, la quasi-totalité des doctorants était des médecins (MD ou PH), des dentistes ou d'origine para-médicale. Cette source de doctorant résultait aussi de l'absence de Master dans le champ des Sciences du Mouvement Humain en Lorraine jusqu'à 2013. C'est pourquoi je me suis fortement impliqué à cette époque dans la construction d'un projet de formation à niveau Master coloration « Recherche » et ainsi développer un cursus universitaire vers le doctorat dans notre domaine de Recherche au niveau local (Master mention STAPS parcours Evaluation de Performance et des

Adaptations Motrices et Physiologiques, Habilitation 2013-2018 ; Master mention "Ingénierie et Ergonomie de l'Activité Physique" (IEAP) parcours-type "Métrologie, Performance, Santé" (MPS), Habilitation 2018-2022). Dès lors, dès la première vague d'étudiants formés à niveau Master avec cette coloration Recherche en Science du Mouvement Humain, j'ai présenté une candidate (Joëlle Rosenbaum, major de sa promotion) avec le Professeur Jean-Michel Hascoët au concours de l'Ecole Doctoral BioSE qu'elle a brillamment réussi.

Par ailleurs, j'ai participé et je participe toujours, activement, à la lisibilité et la visibilité de nos thématiques de recherche au sein de notre Etablissement en intégrant le comité scientifique de l'Ecole Doctoral BioSE à la suite de ma nomination par son Directeur, le Professeur Patrick Menu. Dès lors, j'ai pu défendre la place et la représentativité des projets de Recherche en Sciences du Mouvement Humain en Lorraine, comme je le fais, depuis bientôt 8 ans, au sein du Pôle Scientifique Biologie Médecine Santé dont je suis actuellement l'un des Directeurs Adjoints.

❖ DEVELOPPEMENT DE THEMATIQUES TRANSLATIONNELLES

Les thématiques historiques de ce laboratoire étant la physiologie adaptative à l'exercice et l'évaluation posturale, j'ai profité de la forte interconnexion entre les structures universitaires (laboratoire de physiologie de la Faculté de Médecine, salle d'analyse du mouvement de la Faculté des Sciences du Sport, UFR STAPS de Nancy) et les services hospitaliers (Maternité Régionale Universitaire, Service du Laboratoire d'Analyse de la Posture, de l'Équilibration et de la Motricité, Services d'Explorations Fonctionnelles, Laboratoire d'exploration de la motricité à l'Institut Régional de Réadaptation) pour proposer une approche translationnelle, novatrice pour ce laboratoire, complémentaire à l'analyse posturographique classique à partir de méthodologies expérimentales perceptivo-cognitives telles que le Rod and Frame Test, le Rod and Disc Test et autres paradigmes d'évaluation d'orientation spatiale, attentionnelles via l'ANT..., voire mixtes comme lors de l'utilisation du NASA-TLX.

Dès lors, j'ai cherché à développer mes propres collaborations dans le tissu lorrain notamment avec les centres de réadaptation tels que l'Institut de Rééducation et Réadaptation (IRR) de Lay Saint Christophe spécialisé sur les atteintes centrales (Projet « Stimulations Cervicales & Ses Effets Représentationnels et Comportementaux »), l'Institut de Rééducation et Réadaptation (IRR) de Nancy spécialisé sur les atteintes posturo-locomotrices (Projet « Acuité visuelle & Ajustements posturaux associes aux gestes d'approche manuelle » et le Projet « Adaptation locomotrice chez l'enfant atteint de paralysie cérébrale »), le CHRU de Nancy Central et particulièrement le service d'Otoneurologie (Projet « Implant cochléaire & Ses effets perceptifs et posturaux »), mais également avec la Maternité Régionale de Lorraine (Projet « Effets de la mobilité corporelle sur les capacités attentionnelles chez l'enfant d'âge scolaire »). Actuellement je poursuis cette volonté d'approche translationnelle en développant un nouveau projet de Recherche avec le Centre de Rééducation Florentin de Nancy (OHS) spécialisé dans la réadaptation périphérique de la personne âgée qui visera à appréhender les troubles posturaux chez ces patients en évaluant le coût attentionnel de leur gestion posturale notamment lors de réalisation de tâche quotidienne simple (Projet « Déficience visuelle & Gestion du contrôle posturale lors de tâches d'attentions visuelles »).

❖ RECHERCHE DE FINANCEMENTS PROPRES

La réalisation de ces différents projets scientifiques, nécessitant le développement d'outils d'évaluation et d'analyse perceptivo-motrices jusqu'alors inexistants en Lorraine, n'a pu et ne peut être possible qu'uniquement grâce à mes réussites à différents appels d'offre et par la participation financière du Professeur Jean-Michel Hascoët via des fonds cliniques. En effet, la dotation annuelle de mon unité de Recherche DevAH EA3450, attribuée par l'Université de Lorraine via le Pôle Scientifique BMS, s'élève à moins de 30 000 euros pour les 38 chercheurs titulaires et statutaires et les 17 doctorants.

E. LISTE COMPLETE ET CLASSEE DES PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES

❖ PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES DANS DES REVUES INTERNATIONALES INDEXEES AVEC COMITE DE LECTURE

- Maneuvrier A, **Ceyte H**, Renaud P, Morello R, Decker LM. Men perform better on a virtual reality neuropsychological test: A paper-and-pencil vs. virtual reality analysis. (submited to *Computers in Human Behavior)*
- Fabre-Adinolfi D, **Ceyte H**, Hoffman C, Frere J, Parietti-Winkler C. Short-terms postural behavior and geocentric perception disorders induced by cochlear implantation in the normo-reflexic patient. (submited to *Gait & Posture)*
- **Ceyte H**, Caudron S, Beis J-M. Perceptual effects of protocol combining left neck-muscles vibration and voluntary visuomotor task: an intermodal updating? en attente de soumission pour cause de démarche BREVET

1. Hachard B, Noe F, **Ceyte H**, Trajin B, Paillard T. Balance control is impaired by mental fatigue due to the fulfilment of a continuous cognitive task or by the watching of a documentary. *Experimental Brain Research* 2020. doi : 10.1007/s00221-020-05758-2 (sous press).

2. Hascoët JM, Rosenbaum J, Hamon I, **Ceyte H**. La mobilité corporelle influence les capacités d'inhibition de l'enfant de 7 ans né prématuré : réflexions préliminaires. *Bulletin de l'Académie Nationale de Medecine* 2019. doi : 10.1016/j.banm.2019.05.018

3. **Ceyte H**, Rosenbaum J, Hamon I, Wirth M, Caudron S, Hascoët JM. Mobility may impact attention abilities in healthy term or prematurely born children at 7-years of age: protocol for an intervention controlled trial. *BMC Pediatrics* 2018;18(1):264. doi: 10.1186/s12887-018-1229-1.

4. Caudron S, **Ceyte H**, Barraud PA, Cian C, Guerraz M. Perception of body movement when real and simulated displacements are combined. *PLoS One*. 2018;13(3):e0193174. doi: 10.1371/journal.pone.0193174.

5. **Ceyte H**, Beis J-M, Simon M, Rémy A, Anxionnat R, Paysan J, Caudron, S. Lasting improvements in left spatial neglect following a protocol combining neck-muscle vibration and voluntary arm movements: a case-study. *Disability and Rehabilitation* 2018; 1-9. doi: 10.1080/09638288.2018.1430178.

6. Maire R, Mallinson A, **Ceyte H**, Caudron S, Van Nechel C, Bisdorff A, Magnusson M, Petersen H, Kingma H, Perrin Ph P. Discussion about Visual Dependence in Balance Control: European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders. *Journal International Advanced Otology* 2017 Dec;13(3):404-406. doi: 10.5152/iao.2017.4344.

7. Gauchard GC, Lion A, Bento L, **Ceyte H**. Effects of kata and kumite specialties in high level karatekas on postural performance. *Movement and Sports Sciences - Science et Motricite* 2017. DOI: 10.1051/sm/2017005

8. **Ceyte H**, Caudron S, Lion A, Gauchard GC, Perrin P P. Visuo-oculomotor adaptations related to the specificities of sporting activities. *Experimental Brain Research* 2017; 235(1):269–277

9. **Ceyte H**, Lion A, Caudron S, Kriem B, Perrin P P, Gauchard GC. Does calculating impair postural stabilization allowed by visual cues? *Experimental Brain Research* 2014;232(7):2221-8

10. Freppel S, Bisdorff A, Colnat-Coulbois S, **Ceyte H**, Gauchard GC, Auque J, Perrin PhP. Visuo-proprioceptive interactions in degenerative cervical spine diseases requiring surgery. *Neurosciences* 2013;255:226-232

11. Cian C, Olhmann T, **Ceyte H**, Golding JF, Gresty MA. Off Vertical Axis Rotation Motion Sickness and Field Dependence. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 2011;82(10):959-963

12. **Ceyte H**, Trousselard M, Barraud PA, & Cian C. Influence of perceived egocentric coordinates on the Subjective Visual Vertical. *Neuroscience Letters* 2009;462(1):85-8.

13. Palluel E, **Ceyte H**, Olivier I, Nougier V. Anticipatory postural adjustments associated with a forward leg raising in children: Effects of age, segmental acceleration and sensory context. *Clinical Neurophysiology* 2008; 119(11):2546-54.

14. **Ceyte H**, Trousselard M, Barraud PA, Roux A & Cian C. Perceived head-trunk angle during microgravity produced by parabolic flight. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 2008;79:420-423.

15. **Ceyte H**, Cian C, Zory R, Barraud PA, Roux A, Guerraz M. Effect of tendon vibration on postural orientation. *Neuroscience Letters* 2007; 416:71-75.

16. **Ceyte H**, Cian C, Nougier V, Olivier I, Trousselard M. Role of gravity-based information on the orientation and localization of the perceived body midline. *Experimental Brain Research* 2007; 176:504-509.

17. **Ceyte H**, Cian C, Nougier V, Olivier I, Roux A. Effects of neck muscles vibration on the perception of the head and trunk midline position. *Experimental Brain Research* 2006; 170(1): 136-140.

18. Rival C, **Ceyte H**, Olivier I. Developmental changes of static standing balance in children. *Neurosciences Letters* 2005; 376(2): 133-6.

19. Rival C, Olivier I, **Ceyte H**, Bard C. Age-related differences in the visual processes implied in perception and action: distance and location parameters. *Journal of Experimental Child Psychology* 2004; 87(2): 107-24.

20. Rival C, Olivier I, **Ceyte H**, Ferrel C. Age-related differences in a delayed pointing of a Muller-Lyer illusion. *Experimental Brain Research* 2003; 153(3): 378-81.

21. Rival C, Olivier I, **Ceyte H**. Effects of temporal and/or spatial instructions on the speed-accuracy trade-off of pointing movements in children. *Neurosciences Letters* 2003; 336(1): 65-9.

❖ ACTES DE CONGRES DANS REVUES INDEXEES

1. **Ceyte H**, Rosembaum J, Caudron S, Hascoët J-M (2017) Posture and mobility influence on attention abilities in healthy 7 years old children. Communication affichée, Second Congress of joint European Neonatal Societies (jENS 2017), Venise, Italie, 31 octobre - 4 novembre 2017. In Journal of Pediatric and Neonatal Individualized Medicine, 6(2) : e060237, ABS 55, 50

2. Badin M, Vidalie N, Beis J-M, Pelé G, Paysant J, **Ceyte H**. (2017) Combining left neck muscle vibration to voluntary arm movements: to new perspectives in the therapeutic care in neglect. Annals of Physical and Rehabilitation Medicine; 60(sup), e5

3. Beis J-M, Caudron S, Remy A, **Ceyte H.** (2016). Place de la stimulation vibratoire dans la réhabilitation du comportement de négligence chez le cérébrolésé : à propos d'un cas.

Communication affichée, Congrès Posture Equilibre Mouvement SOFPEL-SOFAMEA-ESCEBD, Nancy, France, 7-10 décembre 2016. In Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology, 46(4–5), 244-245.

4. Aubert C, **Ceyte H**, Haldric M-A, Paysant J, Beyaert C. (2016) Effets de l'acuité visuelle et du contraste sur le comportement postural lors d'une tâche d'exploration visuelle et de saisie d'objets. Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology ; 46(4), 242

5. Aubert C, **Ceyte H**, Haldric M-A, Paysant J, Beyaert C. (2016) Acute low visual acuity and contrast affect the postural kinetic and kinematic behaviour during reaching an object with hand in young healthy adults. Gait & Posture ; 25th ESMAC annual meeting

6. Beyaert C, Caudron S, **Ceyte H**, Haldric M-A, Paysant J. (2014). Activités du tibial antérieur et du soléaire et cinématique du pied selon le chaussage au cours de la marche chez l'enfant ayant une paralysie cérébrale. Communication orale, 22ème congrès de la Société Francophone Posture, Equilibre, Locomotion, Rennes, France, 5-6 décembre 2014. In Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology, 44(5), 502.

7. Caudron S, **Ceyte H**, Haldric M-A, Paysant J, Beyaert C. (2014). Pose du pied en équin et marche avec chaussures à cambrure négative chez l'enfant ayant une paralysie cérébrale: une adaptation immédiate ? Communication « poster flash », 22ème congrès de la Société Francophone Posture, Equilibre, Locomotion, Rennes, France, 5-6 décembre 2014. In Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology, 44(5), 505.

8. **Ceyte H**, Trousselard M, Barraud P-A, Cian C. Egocentric processing in the Aubert effect. Congrès Progress in Motor Control VII, 23-25 Juillet 2009, Marseille. In Motor Control

9. Caudron S, **Ceyte H**, Cian C, Guerraz M. (2007). Composantes kinesthésique et statesthésique de l'illusion induite par vibration musculo-tendineuse. Communication orale, 14ème Congrès de l'Association Posture Equilibre, Saint-Mandé, France, 14-15 décembre 2007. In Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology, 37(4), 273.

❖ COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES ORALES ET AFFICHEES

1. Rosenbaum J, **Ceyte H**, Hamon I, Hascoët A M, Petel A, Caudron S, Hascoët J-M. Influence of prematurity and mobility on the three attention networks at school age. Pediatric Academic Societies 2020 Meeting, les 29 avril au 6 Mai 2020, Philadelphia. (Communication Oral Poster Symposia).

2. Schaeffer M, Fantin L, Vanini L, Jacquot M, **Ceyte H**. Peut-on moduler l'apparition d'un mal des transports via un arrangement chromatique suggérant une odeur ? XVIIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive, les 28 et 31 Octobre 2019, ParisV. (Communication orale)

3. Fantin L, Schaeffer M, Vanini L, **Ceyte H**. Effet d'une situation nauséogène visuellement induite sur la dépendance visuelle. XVIIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive, les 28 et 31 Octobre 2019, ParisV. (Communication affichée)

4. Rosenbaum J, Hascoët J-M, Hamon I, Caudron S, **Ceyte H.** Influence de la mobilité corporelle sur les performances d'attention soutenue chez l'enfant d'âge scolaire. XVIIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive, les 28 et 31 Octobre 2019, ParisV. (Communication orale)

5. Rosenbaum J, **Ceyte H**, Hamon I, Caudron S, Hascoët J-M. Impact de la prématurité sur les capacités d'inhibition et la réussite aux tâches attentionnelles de l'enfant de 7 ans: résultats

préliminaires. Congrès JFRN 2018 (Journée Francophone de Recherche en Néonatalogie) organisé par la SFN (Société Française de Néonatalogie), le 13 et 14 décembre 2018, Paris. (Communication orale)

6. Rosenbaum J, **Ceyte H**, Caudron S, Hamon I, Hascoët J-M. Impact de la prématurité sur les capacités d'inhibition de l'enfant d'âge préscolaire : résultats préliminaires. 12e Journée de la Recherche Hospitalo-Universitaire 2018 organisé par le CHRU de Nancy et l'Université de Lorraine le 23 novembre 2018, l'Institut Louis Mathieu, CHRU de Nancy - Hôpitaux de Brabois, Vandoeuvre-lès-Nancy. (Communication orale)

7. Parietti-Winkler C, Fabre-Adinolfi D, Seigle B, Frère J, **Ceyte H**. Troubles vestibulaire post implantation : Comment les évaluer? Comment les traiter ? 52ième Symposium de la société Internationale d'Otoneurologie (SIO), les 24-26 Mai 2018, Toulouse. (Communication orale).

8. **Ceyte H**, Rosembaum J, Caudron S, Hascoët J-M. Posture and mobility influence on attention abilities in healthy 7 years old children. Second Congress of joint European Neonatal Societies (jENS 2017), les 31 Octobre et 04 Novembre 2017, Venise. (Communication affichée)

9. **Ceyte H**, Caudron S, Beis J-M. Optimisation des effets d'un protocole de stimulation par vibration mécanique du trapezius gauche: l'apport d'une tâche sensori-motrice associée. XVIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive, les 29 et 31 Octobre 2017, Dijon. (Communication orale)

10. Gauchard GC, Lion A, **Ceyte H**. Postural instability or postural strategy? A comparative study on the effects of the karate practice and its specialties. XVIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive, les 29 et 31 Octobre 2017, Dijon. (Communication affichée)

11. **Ceyte H**. Influence de la posture et de la mobilité sur les capacités attentionnelles chez l'enfant né prématuré, à l'âge de 7 ans. Journée d'Actualités en Néonatologie, le 30 septembre 2017, Nancy → Communication orale en tant qu'invité

12. Vidalie N, Badin M, Beis J-M, Pelé G, Paysant J, **Ceyte H**. Combining left neck muscle vibration to voluntary arm movements: to new perspectives in the therapeutic care in neglect. 32ème édition du congrès de la Société Française de Médecine Physique et de Réadaptation (SOFMER), les 05-07 Octobre 2017, Nancy. (Communication affichée)

13. Fabre-Adinolfi D, Frère J, Hoffmann C, Gauchard G, **Ceyte H**, Parietti-Winkler C. Effects of unilateral cochlear implantation on balance control and the perception of the environment in adult patients with profound hearing loss. Congrès international de l'International Federation of Oto-Rhinolaryngological Societies (IFOS: World ENT Congress), les 24-28 Juin 2017, Paris. (Communication affichée)

14. Beis J-M, Caudron S, Rémy A, **Ceyte H**. Place de la stimulation vibratoire dans la réhabilitation du comportement de négligence chez le cérébro-lésé : A propos d'un cas. Congrès Posture Equilibre Mouvement (PEM) regroupant La Société Francophone Posture Equilibre Locomotion (SOFPEL), la Société Francophone d'Analyse du Mouvement chez l'Enfant et l'Adulte (SOFAMEA) et le groupe de travail European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD), les 07-10 Décembre 2016, Nancy. (Communication affichée)

15. Aubert C, **Ceyte H**, Haldric M-A, Paysant J, Beyaert C. Effets de l'acuité visuelle et du contraste sur le comportement postural lors d'une tâche d'exploration visuelle et de saisie d'objets. Congrès Posture Equilibre Mouvement (PEM) regroupant La Société Francophone Posture Equilibre Locomotion (SOFPEL), la Société Francophone d'Analyse du Mouvement chez l'Enfant et l'Adulte (SOFAMEA) et le groupe de travail European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD), les 07-10 Décembre 2016, Nancy. (Communication Orale)

16. Aubert C, **Ceyte H**, Haldric M-A, Paysant J, Beyaert C. Acute low visual acuity and contrast affect the postural kinetic and kinematic behaviour during reaching an object with hand in young healthy adults. 25th ESMAC annual meeting, entre le 28 septembre et le 01 octobre 2016, Séville. (Communication affichée)

17. **Ceyte H**, Caudron S. Motor and postural effects of the proprioceptive vibratory stimulations. 11ème reunion de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD), les 17-18 Septembre 2015, Nancy. → Communication orale en tant qu'invité

18. Beyaert C, Caudron S, **Ceyte H**, Haldric M-A, Paysant J. Activités du tibial antérieur et du soléaire à l'oscillation selon le chaussage chez l'enfant ayant une paralysie cérébrale. 14ème édition du congrès de la Société Francophone d'Analyse du Mouvement chez l'Enfant et l'Adulte (SOFAMEA), entre le 04-06 Février 2015, Genève. (Communication affichée)

19. Caudron S, **Ceyte H**, Haldric M-A, Paysant J, Beyaert C. Adaptation immédiate à l'utilisation de chaussures à cambrure négative chez l'enfant ayant une paralysie cérébrale14ème édition du congrès de la Société Francophone d'Analyse du Mouvement chez l'Enfant et l'Adulte (SOFAMEA), entre le 04-06 Février 2015, Genève. (Communication affichée)

20. Beyaert C, Caudron S, **Ceyte H**, Haldric M-A, Paysant J. Activités du tibial antérieur et du soléaire et cinématique du pied selon le chaussage au cours de la marche chez l'enfant ayant une paralysie cérébrale. La Société Francophone Posture Equilibre Locomotion (SOFPEL), entre le 04-06 Décembre 2014, Rennes. (Communication orale)

21. Caudron S, **Ceyte H**, Haldric M-A, Paysant J, Beyaert C. Pose du pied en équin et marche avec chaussures à cambrure négative chez l'enfant ayant une paralysie cérébrale : une adaptation immédiate ? La Société Francophone Posture Equilibre Locomotion (SOFPEL), entre le 04-06 Décembre 2014, Rennes. (Communication affichée)

22. **Ceyte H**. La vibration musculo-tendineuse : effets sur la perception spatiale de l'environnement et de notre propre corps. 10ème reunion de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD), le 18-20 Septembre 2014, Nancy. → Communication orale en tant qu'invité

23. Beyaert C, Caudron S, **Ceyte H**, Billon C, Paysant J. Tibialis anterior and soleus activities during preswing and swing phases and pathophysiology of equinus gait in children with cerebral palsy. Clinical Movement Analysis World Conference, 2014 Rome. (Communication orale)

24. Bour S, Morieux M, Gauchard GC, **Ceyte H**. Phase d'envol suite à un départ exécuté sur un plot Omega OSB11®. 5° Journées Spécialisées de Natation entre les 27-28 Mai 2014, Lille. (Communication affichée)

25. Bour S, Caudron S, Morieux M, Guingamp C, Gauchard GC, **Ceyte H**. Modifications cinématiques liées à l'utilisation de plot Omega OSB11® lors de courses de sprint en Nage Libre. XVème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive entre les 29-31 Octobre 2013, Grenoble. (Communication affichée)

26. **Ceyte H**, Caudron S, Lion A, Kriem B, Perrin Ph, Gauchard GC. Est-ce que la vision conserve toujours son rôle de stabilisateur postural quand nous sommes en train de « réfléchir » ? XVème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive entre les 29-31 Octobre 2013, Grenoble. In Programme du congrès ACAPS 2013 (p ?). (Communication orale)

27. **Ceyte H**, Lion A, Caudron S, Kriem B, Perrin Ph, Gauchard GC. Does vision have the same stabilizing postural effect when we are thinking ? Conférence d'inauguration du centre EUROMOV le 24-25 juin 2013, Montpellier. (Communication affichée)

28. **Ceyte H**, Lion A, Caudron S, Kriem B, Perrin PP, Gauchard GC Does vision have the same stabilizing postural effect when we are thinking? 9ème reunion de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD), le 19-20 Septembre 2013, Nancy. (Communication orale)

29. **Ceyte H**. Dépendance visuelle & posture : Approche Psychophysique & Outils de mesure. 8ème reunion de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD), le 20 Septembre 2012, Nancy. → Communication orale en tant qu'invité

30. Freppel S, Bisdorff A, Colnat-Coulbois S, **Ceyte H**, Gauchard GC, Auque J, Perrin PhP. Visuo-proprioceptive interactions in cervical pathologies necessitating an indication for surgery. 7ème reunion de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD), le 23 Septembre 2011, Nancy. (Communication orale)

31. **Ceyte H**, Cian C. Le référentiel égocentré comme origine de nos perceptions visuelles ? Congrès de la Société Française de Psychologie, entre le 06-09 Septembre 2010, Lille, France. (Symposium « Représentation de l'espace et contrôle de l'action ») → Communication orale en tant qu'invité

32. **Ceyte H**. Réunion de l'académie « HELMHOLTZ », le 18 décembre 2009, Archives H. Poincaré-LHPS, UMR 7117 CNRS / Nancy-Université, France → Communication orale en tant qu'invité

33. **Ceyte H**, Barraud PA, Roux A, Cian C. Contribution des informations cervicales dans les perceptions d'orientation de l'axe de la tête et du tronc. XIIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive, 28-30 Octobre 2009, Lyon. In Programme du congrès ACAPS 2009 (p ?). (Communication orale)

34. **Ceyte H**, Trousselard M, Barraud PA, Cian C. Egocentric processing in the Aubert effect. Congrès Progress in Motor Control VII, 23-25 Juillet 2009, Marseille. In Programme du congrès PMC 2009 (p ?). (Communication affichée)

35. **Ceyte H**. Susceptibilité au mal des transports, Table ronde de la 5ème Réunion de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD) / INSERM U 954, Coordonnateurs : Gilles Bosser et Pierre Denise, le 23 septembre 2009, Faculté de Médecine, ESP/INSERM, Nancy. → Communication orale en tant qu'invité

36. **Ceyte H**. Perception d'orientation spatiale : le référentiel égocentré. 5ème Réunion de l'European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders (ESCEBD), le 22 janvier 2009, Faculté de Médecine, ESP/INSERM, Nancy. → Communication orale en tant qu'invité

37. **Ceyte H**. Perception visuelle égocentrée : Origine de la perception visuelle de l'espace extra-corporel ? Le Corps en Acte, A l'occasion du centenaire de la naissance de Maurice Merleau-Ponty sous la présidence de Alain Berthoz et Bernard Andrieu, le 22 et 23 septembre 2008, Collège de France, Paris. → Communication orale en tant qu'invité

38. **Ceyte H**, Trousselard M, Barraud PA, Roux A & Cian C. Perceived egocentric coordinates in microgravity. Congrès ESA, Life in Space for Life on Earth» 2008, Angers. (Communication affichée)

39. Caudron S, **Ceyte H**, Cian C, Guerraz M. La vibration des tendons d'Achille modifie la perception des déplacements passifs du corps. Communication affichée, 7ème journée de l'Ecole Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement, La Tronche, France, 19 mai 2008. (Prix de la meilleure communication affichée)

40. Caudron S, **Ceyte H**, Cian C, Guerraz M. Composantes kinesthésique et statesthésique de l'illusion induite par vibration musculo-tendineuse. XIVème congrès de l'Association Posture Equilibre 2007, Paris. In Programme du congrès APE 2007 (p ?). (Communication orale)

41. **Ceyte H**. Contribution différenciée des informations graviceptives dans la perception visuelle de la localisation et de l'orientation d'un objet par rapport au corps. Séminaire Histoire, Philosophie et Epistémologie du Corps, le 6 novembre 2007, Nancy. (Communication orale)

42. Trousselard M, **Ceyte H**, Cian C. Relationship between ego- and exo-centric judgments: influence of somaesthetic cues. 4th International Conference on Enactive Interfaces 2007, Grenoble. (Communication affichée)

43. **Ceyte H**, Cian C, Nougier V, Olivier I, Roux A. Effects of neck muscles vibration on the perception of egocentric space. XIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive 2007, Lieuvin. In Programme du congrès ACAPS 2007 (p ?). (Communication affichée)

44. Trousselard M, **Ceyte H**, Barraud PA, Cian C. Influence of perceived Z-axis on the Subjective Visual Vertical. XIIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive 2007, Lieuvin. In Programme du congrès ACAPS 2007 (p ?). (Communication affichée)

45. **Ceyte H**, Cian C, Nougier V, Olivier I, Trousselard M. Weighting" of the sensory systems which convey relevant information for estimating the direction of gravity in the representation of the egocentric space. XIème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive 2005, Paris. In Programme du congrès ACAPS 2005 (p ?). (Communication affichée)

46. **Ceyte H**, Carriot J, Trousselard M, Cian C. Axe-Z et Plan median. Journée de rencontre scientifique au Centre de Recherche du Servive de Santé des Armées 2005, Grenoble. (Communication orale)

47. **Ceyte H**, Olivier I, Nougier V. Effets de l'accélération segmentaire et indices sensoriels sur les ajustements préparatoires à un levé de jambe vers l'avant. 4ème journée de l'école doctorale Ingénierie pour la santé, la cognition, l'environnement 2004, Grenoble. (Communication affichée)

48. **Ceyte H**, Olivier I, Schneider C. Dance-like pointing with the leg: postural expertise and associated anticipatory postural adjustments. Conference of the International Society for Postural and Gait Research 2003, Sydney. In Programme du congrès ISPG 2003 (p ?). (Communication affichée)

49. **Ceyte H**, Olivier I. Effets de l'accélération segmentaire et du contexte sensoriel sur les ajustements posturaux anticipés associés à un levé de jambe vers l'avant. Xème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive 2003, Toulouse. In Programme du congrès ACAPS 2003 (p ?). (Communication affichée)

50. Rival C, **Ceyte H**, Olivier I. Illusion visuelle de Duncker sur la perception et le comportement de pointage des enfants de 7 à 11 ans. 2ème journée de l'école doctorale Ingénierie pour le vivant 2002, Grenoble. (Communication affichée)

51. Rival C, **Ceyte H**, Olivier I. Les effets de l'illusion visuelle de Duncker sur la perception et le comportement de pointage des enfants de 7 à 11 ans. IXème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive 2001, Valence. In Programme du congrès ACAPS 2001 (p ?). (Communication affichée)

❖ CHAPITRES D'OUVRAGE & ENCART DANS DES PERIODIQUES GRAND PUBLIC

1. **Ceyte H**. 2012. Les douleurs fantômes vues par la science, Inexploré, numéro 14, pp 69.

2. **Ceyte H**, Cian C. 2011. Le Corps en Acte, sous la direction de Alain Berthoz & Bernard Andrieu. Presses Universitaires de Nancy, Perception visuelle égocentrée : Origine de la perception visuelle de l'espace extra-corporel ?, pp 69-81.

3. **Ceyte H**. 2008. Clinique du sport et des pratiques physiques, sous la direction de S. Abadie. Presses Universitaire de Nancy, pp 221-228.

4. Caudron S, **Ceyte H**, Cian C & Guerraz M. 2008. Impact de la vibration des tendons d'Achille sur la perception d'orientation et de mouvements du corps. In : M. Lacour et P. Thoumie (Eds). De la recherche à la pratique clinique, Collection Posture et Equilibre, Marseille : Solal, pp 85-97.

Exp Brain Res (2007) 176:504–509
DOI 10.1007/s00221-006-0764-4

RESEARCH NOTE

Role of gravity-based information on the orientation and localization of the perceived body midline

Hadrien Ceyte · Corinne Cian · Vincent Nougier · Isabelle Olivier · Marion Trousselard

Received: 23 May 2006 / Accepted: 14 October 2006 / Published online: 25 November 2006
© Springer-Verlag 2006

Abstract The present study focused on the influence of gravity-based information on the orientation and localization of the perceived body midline. The orientation was investigated by the rolling adjustment of a rod on the subjects' *Z*-axis and the localization by the horizontal adjustment of a visual dot as being straight ahead. Experiment 1 investigated the effect of the dissociation between the *Z*-axis and the direction of gravity by placing subjects in roll tilt and supine postures. In roll tilt, the perception of the body midline orientation was deviated in the direction of body tilt and the perception of its localization was deviated in the opposite direction. In the supine body orientation, estimates of the *Z*-axis and straight-ahead remained veridical as when the body was upright. Experiment 2 highlighted the relative importance of the otolithic and tactile information using diffuse pressure stimulation. The estimation of body midline orientation was modified contrarily to the estimation of its localization. Thus, subjects had no absolute representation of their egocentric space. The main hypothesis regarding the dissociation between the orientation and localization of the body midline may be related to a difference in the integration of sensory information. It can be suggested that the horizontal component of the vestibulo-ocular reflex (VOR) contributed to the perceived localization of the body midline, whereas its orientation was mainly influenced by tactile information.

Keywords Body midline · Orientation · Localization · Tactile cues · Otolithic cues

H. Ceyte · C. Cian (✉) · M. Trousselard
Centre de Recherches du Service de Santé des Armées,
BP 87, 38702 La Tronche cedex, France
e-mail: corinnecian@crssa.net

H. Ceyte · V. Nougier · I. Olivier
UPR-ES 597 'Sport et Performance Motrice',
Université Joseph Fourier, BP 53,
38041 Grenoble Cedex 9, France

Introduction

The egocentric frame of reference, such as the body midline, constitutes one basis of the oriented behavioral organization towards the extra-corporal space (Jeannerod and Biguer 1987). The body midline can be defined as the internal representation of a plane drawn by the orthogonal projection of the head-to-foot axis (*Z*-axis) on the fronto-parallel plane. It divides the body and space in two equal left and right parts (Bower and Heilman 1980). The processes which give rise to the perceived body midline co-ordinates reflect the sum of visual, somatosensory and vestibular cues which are continuously re-actualized by new postures (Critchley 1953). Thus, the subjective body midline may be considered as an "equilibrium position" between information arising from both sides of the body space (Jeannerod and Biguer 1987).

Whereas the body midline holds its relation to the body regardless of its orientation in space, it has been shown that the subjective position (orientation and localization) of the body midline is disturbed when the orientation of the *Z*-axis is no more parallel to the direction of gravity. An illusory rotation (Bauermeister 1964) or displacement (Bradshaw et al. 1985) of the perceived body midline has been observed with subjects lying horizontally on their side. It is unclear, however, whether the body midline needs to be encoded in

a gravity-based frame of reference or whether it is the action of the gravitational forces on the different sensory systems which induces a distortion of its co-ordinates—i.e., the effect that roll tilted head position has in turn on eye position like the torsional and translational effects (vestibulo-ocular reflex: VOR; Pansell et al. 2003), the decrease in utricle sensitivity when the head tilt increases (Bronstein 1999), and the asymmetrical distribution of the tactile stimulation (Trousselard et al. 2003).

In order to reassess the influence of gravity on the subjective orientation and localization of the body midline, two experiments were conducted. The orientation was investigated by the rolling adjustment of a rod on the subjects' *Z*-axis while the localization was investigated by the horizontal adjustment of the position of a visual dot as being straight ahead. The first experiment investigated the effect of the dissociation between the *Z*-axis and the direction of gravity by placing subjects in roll and supine tilt orientations. The aim of the second experiment was to further determine the relative importance of gravity-based information in the representation of the body midline by reducing the pattern of pressures usually generated during body tilt.

Method

Fourteen naïve subjects, all volunteers, took part in this study; seven subjects (two females and five males; mean age 25) participated in Experiment 1, the other seven subjects (two females and five males; mean age 27) in Experiment 2. All subjects had a normal or corrected-to-normal vision (lenses) and were free of any apparent vestibular or somaesthetic abnormalities. In conformity with the Helsinki Convention which controls and regulates human experimentation, informed consent was obtained from all subjects.

Subjects were placed in a chair on an apparatus capable of rotating to any angle in the frontal and sagittal planes (3° s^{-1} constant velocity and a starting acceleration, final deceleration of 0.001° s^{-2}). Subjects faced a luminous rod or dot secured to the platform at a 80 cm distance. The rod was a linear array (32 cm long and 1.5 cm wide) which could rotate around the *X*-axis on the midpoint of the inter-ocular axis, in a plane parallel to the subjects' frontal plane. The dot was composed of a luminous LED (1 cm diameter) moving sideways on the *Y*-axis of a plotting board. The middle of the plotter (zero on the *Y*-axis) was brought into alignment with the horizontal median plane through the bridge of the nose (between the eyes). The luminance of both visual stimuli was 0.3 cdm^{-2} (Spectrascan 650). All experiments were computer driven. Subjects could modify the orientation of the rod or the localization of the dot by means of a joystick. The platform position (0.005° accuracy) and the setting of the luminous rod (0.01° accuracy) or dot (0.01 mm accuracy) were controlled and recorded using a digital position encoder (Fig. 1).

In Experiment 1, subjects were restrained in the chair by means of four large straps fixed at the level of

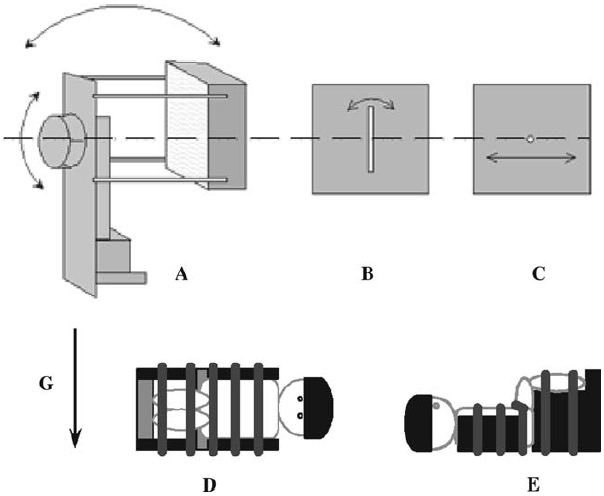


Fig. 1 Rotating platform (**a**), rod adjustment device (**b**), dot adjustment device (**c**), and roll (**d**) and supine (**e**) postures. The platform could produce any desired body tilt. The position ands velocity interlocking system provided a 0.005° and 0.005° s^{-1} accuracy. The velocity of the rod and dot devices allowed fast and accurate adjustments. The *dashed line* indicates the level of the eyes, the axis of rotation of the platform and the rod and the displacement of the dot. The *arrow* indicates the direction of gravity (*G*)

the chest, abdomen, thighs and shanks. Head position was held constant relative to the body axis by the use of a helmet fixed on the apparatus. The orientation and localization tasks (rod and dot sessions, respectively) were performed in two separate sessions of 45 min each, counterbalanced across subjects. Each session included 24 trials, four angles of body tilt (0°, 90° left roll, 90° right roll and 90° backward) repeated six times. The sequence of trials was randomly determined respecting two criteria: (1) the sequence of trials alternated left, right and backward body tilts with respect to the gravitational vertical; (2) subjects were never placed in an upside down position when they were rotated between two consecutive trials.

In Experiment 2, two body restriction conditions were tested. In the strapped condition, subjects were restrained as in Experiment 1. In the body-cast condition, they were immobilized by means of four plastic envelopes filled with micro-marbles. Each envelope could be separately depressurized by a manual pump device. The envelopes were wrapped around the trunk, the hips, the legs and the head except for the face. With increasing tilts in the strapped condition, the pressures generated by the antigravity reaction forces increased in the contact zones and the pattern of pressures became more asymmetrical. Conversely, in the body-cast condition, both gravity-based somaesthetic cues and the asymmetrical distribution of pressures related to body tilt were greatly reduced (Trousselard et al. 2003). Subjects took part in four 30 min sessions corresponding to the four possible combinations of task (orientation vs. localization) and body tactile restriction (strapped vs. body-cast). The order of the four sessions was randomized across subjects using a random numbers table. Each session included 12 trials, three angles of roll body tilt (0°, 90° left roll, 90° right roll) repeated four times. The sequence of trials in each session was randomly determined using the two criteria of Experiment 1.

In both experiments, subjects were placed in an otherwise dark room and were instructed to keep their eyes closed at all times except during the rod or dot adjustments. For a given trial, the chair rotated and stopped at the preset position. After a 20 sec delay, subjects were asked to adjust the visual stimulus to their body midline from a randomly starting position at ± 20° or ± 40° in the rod adjustment task and at ± 60 or ± 120 mm of the subjects' body midline in the dot adjustment task. The body midline was defined as the virtual head-to-foot plane which divides the body and space in two equal left and right parts. For the rod session, subjects were instructed to rotate the luminous rod until it looked "in line" with their Z-axis. For the dot session, subjects were instructed to displace laterally the visual stimulus until it appeared "straight ahead", that is, neither left nor right from their body midline. When the adjustment was completed, the chair rotated to the next preset position. The sequence of trials alternated body tilts with respect to the gravitational vertical.

Data analyses were carried out on the angular difference between the objective orientation or localization of the body midline and subjects' response. For the orientation task, this difference was expressed in angular errors (deg) between subjects' objective orientation of the Z-axis and the orientation of the rod. For the localization task, the difference was expressed in errors of visual angle (deg v.a.) between subjects' objective straight ahead direction and the position of the dot. Errors were arbitrarily considered from subjects' point of view to be positive if the upper pole of the rod or the dot deviated to the right from the objective body midline and negative if the rod or the dot deviated to the left.

Results

Experiment 1

The individual mean error was calculated for each of the four tilt angles. Results showed rod setting errors depending on body orientation [$F(3, 18) = 24.23$, $p < 0.05$]. As illustrated in Fig. 2 Panel 1a, a left body tilt induced a left deviation of the rod (t-test against zero which corresponded to the objective direction of the Z-axis $t = -3.87$, $p < 0.05$), a right body tilt induced a right deviation ($t = 3.39$, $p < 0.05$). The upright and supine conditions induced no directional bias ($p > 0.05$). Moreover, when signing the errors with the reversed sign for the left tilt (i.e., a positive sign instead of a negative one for a left deviation of errors and a negative sign instead of a positive one for a right deviation), the displacement for right and left tilts was of similar magnitude ($p > 0.05$), suggesting no asymmetric errors of adjustment. For the localization of the dot, there was also a significant main effect of the body orientation [$F(3, 18) = 10.60$, $p < 0.05$]. As illustrated in Fig. 2 Panel 1b, a left body tilt induced a right deviation of the dot (t-test against zero, $t = 2.65$, $p < 0.05$), a right body tilt induced a left deviation ($t = 3.52$, $p < 0.05$). The upright and supine conditions induced no directional bias ($p > 0.05$). In addition, there was no asymmetric adjustment errors in the roll dimension as a similar magnitude of the directional bias was observed for the right and left body tilts, $p > 0.05$.

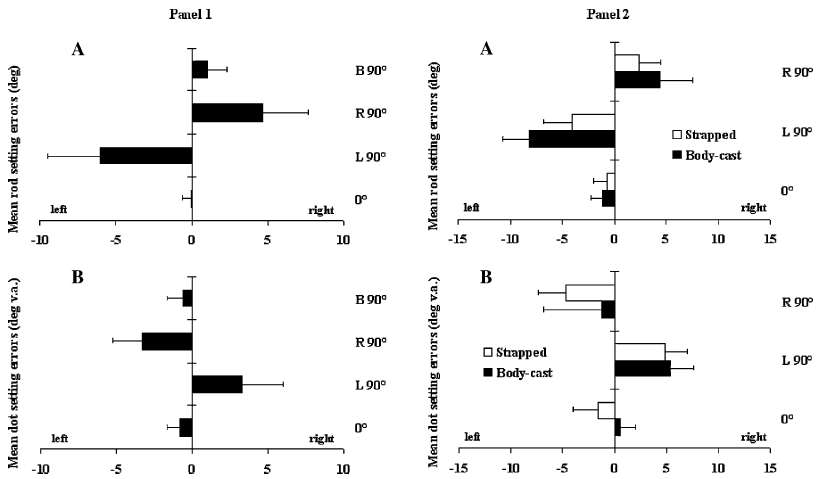


Fig. 2 Mean setting errors for the rod (deg) and dot (deg v.a.) tasks (panels **a** and **b**, respectively). In Panel 1 (Experiment 1), mean setting errors are represented as a function of the body tilt. In Panel 2 (Experiment 2), mean setting errors are function of the roll body tilt and the body restriction (strapped: *empty bars*; body-cast: *full bars*). *Error bars* indicate the standard deviation

When *Z*-axis and gravity directions were not aligned, a roll tilt posture induced errors in the egocentric orientation and localization of an object whereas a supine body orientation did not alter these judgments. However, the two body tilts did not allow to process the potential sensory information about the direction of gravity in the same way. Unlike roll tilt posture, supine body orientation renders the otolithic and somaesthetic systems irrelevant to the direction of gravity (Templeton 1973). Results suggested that the egocentric perception of the body is encoded in a gravity-based system of reference only when information about the direction of gravity was relevant to the judgments. Moreover, the presence of two types of systematic deviation when subjects were tilted sideways suggested the existence of separate mechanisms to estimate the orientation and localization of the body midline. This assumption was supported by the absence of any relationship between the two tasks ($p > 0.05$).

Experiment 2

The individual mean error was calculated for each body tilt and body restriction. To investigate whether the body restriction affected the egocentric perception, a 2 body restriction conditions (strapped, body-cast) × 3 body tilts (0°, 90° left roll, 90° right roll) analysis of variance with repeated measures on the two factors was applied to the mean errors for each task (rod, dot), separately. A post hoc analysis (Newman-keuls) was performed when $p < 0.05$. For the orientation task, results showed a significant main effect of the body tilt condition [$F(2, 12) = 42.80$, $p < 0.05$]. Whereas the upright condition induced no directional bias, a left body tilt induced a left deviation of the rod and a right body tilt induced a right deviation. The main effect of the body restriction condition was not significant ($p > 0.05$), but an interaction of the two factors was found [$F(2, 12) = 15.56$, $p < 0.05$]. As illustrated in Fig. 2 panel 2a, the body-cast did not modify rod settings when subjects were upright whereas an increasing shift toward the side of body tilt was observed when they were tilted sideways. This deviation for the right and left tilts was of similar magnitude. For the localization task, there were a significant main effect of body tilt condition [$F(2, 12) = 18.95$, $p < 0.05$], no main effect of body restriction condition ($p > 0.05$) and no interaction of the two factors ($p > 0.05$). As shown in Fig. 2 panel 2b, errors in the direction opposite to postural inclination were observed at 90° left roll and 90° right roll whereas no directional bias was observed in the upright condition.

As shown in Experiment 1, roll tilt posture in the strapped condition induced errors in the direction of body tilt for the estimation of body midline orientation and in the direction opposite to postural tilt for its localization. The body-cast had no effect on the perception of body midline localization as a similar roll tilt effect was observed for the two body restriction conditions.

However, it modified the perception of its orientation. Since the otolith organs produced the same gravity response in both the strapped and body-cast conditions, these results suggested that somatosensory inputs were necessary for the estimation of body midline orientation.

Discussion

The present study suggested that subjects have no absolute representation of their egocentric space. The main hypothesis regarding the dissociation between the orientation and localization of the body midline may be related to a difference in the integration of sensory information. In the localization task, the final setting of the visual dot deviated from the objective position of the body midline in the direction opposite to the body tilt suggesting the contribution of the horizontal component of the VOR in the egocentric judgment. Indeed, when the head was roll tilted, conjugate horizontal eye movements in the direction opposite to that of the head tilt were induced (Pansell et al. 2003). This assumption was confirmed by no change in the body midline localization when the gravity-based somaesthetic cues were reduced. None of the components of the VOR, especially ocular counter-rolling reflex (i.e., rotational changes of eye position around the anterior-posterior *X*-axis with the head roll tilt; Howard 1982), can explain the systematic deviation of the body midline toward the tilted side in the orientation task.

The orientation task may be mainly influenced by the somaesthetic information. The asymmetrical distribution of pressures when participants were roll tilted may induce a displacement of the equilibrium position between information arising from both sides of space in the direction of the body side which was stimulated. However, in the body cast, an increasing bias in the direction of body tilt was observed whereas the asymmetrical distribution of pressures was reduced (Trousselard et al. 2003). A hypothesis can be advanced regarding the sensory discordance created by the body-cast between the tactile cues and the otolithic inputs relative to the representation of the body in space. In the body-cast, the gravity-based somaesthetic cues were greatly reduced whereas the gravity-based otolithic cues were not altered. It can be suggested that the head and the trunk are perceived differently tilted for a same inclination with respect to the direction of gravity. A head-trunk dissociation could be perceived. However, this dissociation was not confirmed by the neck proprioceptive cues. As suggested by Ito and Gresty (1997), the missing congruence between sensory cues raises the question that "spatial disorientation" per se may interfere with thinking processes involved in the perceived space.

Overall, it can be suggested that the sensory stimulation induced by a change of postural orientation relative to gravity created a disturbance of the central transformation process that converts the sensory co-ordinates from the peripheral inputs (i.e., the retina, otoliths and proprio-somaesthesia) into a body centered system of co-ordinates. The disturbed co-ordinate transformation leads to a distortion of the represented spatial frame of reference. Lastly, the question must be raised if this misperception of the egocentric co-ordinates could induce errors in the visual judgment of an object relative to the geocentric information. On one hand, Mast and Jarchow (1996) observed that while subjects felt perfectly horizontal, they did not adjust the visual horizontal by simply setting the luminous line parallel to their spinal axes. On the other hand, studies focusing on the effects caused by an alteration of somatosensory information on the skin surface induced by water immersion (Schöne 1964; Wade 1973; Jarchow and Mast 1999; Lechner-Steinleitner and Schöne 1980), a padded structure (Nemire and Cohen 1993; Nyborg 1971) or a body-cast (Trousselard et al. 2003) showed quite different patterns of results. In most of them, an increased A-effect (errors in the subjective visual vertical in the direction of body tilt) was observed. However to look "in line" with the *Z*-axis, a rod must be more tilted than the actual orientation of the subject, this effect increasing when somatosensory information was disturbed. Thus it could be suggested that the misperception of the orientation of a visual indicator relative to the body midline, accounts for the subjective visual vertical errors. Further experiments are required to test this hypothesis.

Acknowledgments The authors are grateful to the Instrumentation and Technological Research Laboratory of the Center of Research of the Military Health Service for the construction of the experimental device and the technical expertise and assistance.

References

Bauermeister M (1964) Effect of body tilt on apparent verticality, apparent body position, and their relation. J Exp Psychol 67(2):142–147

Bower D, Heilman K (1980) Pseudoneglect: effect of hemispace on a tactile line bisection task. Neuropsychologia 18:491–498

Bradshaw JL, Nettleton NC, Nathan G, Wilson L (1985) Bisecting rods and lines: effects of horizontal and vertical posture on left-side underestimation by normal subjects. Neuropsychologia 23(3):421–425

Bronstein AM (1999) The interaction of otolith and proprioceptive information in the perception of verticality. The effects

of labyrinthine and CNS disease. Ann N Y Acad Sci 871:324–333
Critchley M (1953) The parietal lobes. Hafner, New York
Howard IP (1982) Human visual orientation. Willey, New York
Ito Y, Gresty MA (1997) Subjective postural orientation and visual vertical during slow pitch tilt for the seated human subject. Aviat Space Environ Med 6:3–12
Jarchow T, Mast FW (1999) The effect of water immersion on postural and visual orientation. Aviat Space Environ Med 70:879–886
Jeannerod M, Biguer B (1987) The directional coding of reaching movements. A visuomotor conception of spatial neglect. In: Jeannerod M (ed) Neurophysiological and neuropsychological aspect of space neglect. Elsevier, North-Holland Amsterdam, pp 87–113
Lechner-Steinleitner S, Schöne H (1980) The subjective vertical under "dry" and "wet" conditions at clockwise and counterclockwise changed positions and the effect of a parallel background field. Psychol Res 41:305–317
Mast FW, Jarchow T (1996) Perceived body position and the visual horizontal. Brain Res Bull 40(5–6):393–397
Nemire K, Cohen MM (1993) Visual and somesthetic influences on postural orientation in the median plane. Percept Psychophys 53(1):106–116
Nyborg H (1971) Tactile stimulation and perception of the vertical. I. Effect of diffuse versus Specific tactile stimulation. Scand J Psychol 12:1–13
Pansell T, Ygge J, Schworm HD (2003) Conjugacy of torsional eye movements in response to a head tilt paradigm. Invest Ophthalmol Vis Sci 44(6):2557–2564
Schöne H (1964) On the role of gravity in human spatial orientation. Aerosp Med 35:764–772
Templeton WB (1973) The role of gravitational cues in the judgment of visual orientation. Percept Psychophys 14(3):451–457
Trousselard M, Cian C, Nougier V, Pla S, Raphel C (2003) Contribution of somaesthetic cues to the perception of body orientation and subjective visual vertical. Percept Psychophys 65(8):1179–1187
Wade NJ (1973) The effect of water immersion on the perception of the visual vertical. Br J Psychol 64:351–361

RESEARCH ARTICLE

Off Vertical Axis Rotation Motion Sickness and Field Dependence

CORINNE CIAN, THÉOPHILE OHLMANN, HADRIEN CEYTE, MICHAEL A. GRESTY, AND JOHN F. GOLDING

CIAN C, OHLMANN T, CEYTE H, GRESTY MA, GOLDING JF. *Off vertical axis rotation motion sickness and field dependence.* **Aviat Space Environ Med 2011; 82:959–63.**

Background: Our study probed the relationship between field dependence and the development of nausea in light and dark during whole-body, off vertical axis rotation (OVAR). ***Methods:*** There were 24 subjects who underwent OVAR at 0.2 Hz, 18° tilt. Exposures were undertaken in both light and darkness in sessions spaced 5 d apart in balanced order design. During rotation, nausea was rated at 1-min intervals to a cut off at 20 min or a level of 'moderate nausea' was attained, at which point motion stopped. Before and after OVAR sessions field dependence was rated with the rod and frame test (RFT) with head upright or tilted 28° to induce a head-centric bias. ***Results:*** Subjects tolerated OVAR longer in the light (mean 13.3 min ± 6.8 SD) than in darkness (11.1 min ± 7.2). Motion sickness susceptibility evaluated by questionnaire was inversely correlated with tolerance of OVAR in the light. There was a tendency for subjects who were visual field dependent to fare better with OVAR in the light than in darkness. Subjects whose RFT estimates with head tilted tended to incline the visual vertical to the direction of head tilt better tolerated OVAR in darkness. ***Discussion:*** The results suggest that susceptibility, as evaluated by questionnaires probing motion sickness experiences in daily life, is influenced by visual factors. Assessments of sensitivity to reference frames for orientation, either visual or ego-centered, show promise for markers of motion sickness susceptibility according to the visual surround rather than to absolute levels of susceptibility to motion sickness.

Keywords: off-vertical axis rotation, motion sickness, visual information, individual differences, frame of reference, rod and frame test.

OFF VERTICAL AXIS rotation (OVAR) entails rotating a subject about his/her longitudinal body axis while that axis is tilted relative to the gravity vector and is known to be highly nauseogenic. In parsing the relative contributions of visual and somatic stimulation to the development of nausea during OVAR, Bijveld et al. (2) made the observation that individual susceptibilities were distributed on a continuum with some subjects tending toward better tolerance of OVAR in the light than when in darkness, whereas others had similar susceptibilities under the two conditions. The authors speculated that the subjects who fared better in the light could use the visual information to resolve the nauseogenic disorientation induced by OVAR and that such ability might be related to 'visual field dependence' (11). Specifically, 'field dependent' subjects could better resolve, or perhaps quarantine (8), the unusual self-motion induced by OVAR when vision is available and the visual surround is fixed relative to the Earth. In that way, it has been shown that the use of cues from the visual field decreases errors of orientation during whole body tilt or centrifugation (7,19).

Since independent measures of field dependence were not deployed in Bijveld's study, the authors' hypothesis remained untested. The topic has potential significance for personnel selection since markers for motion sickness susceptibility have long been sought because of their potential value in screening for motion sickness susceptibility in vehicle, naval, or marine operations (11). Although visual field dependence has been a favorite contender (11) in the quest for predictors of motion sickness, decisive evidence as to its value has not been forthcoming, perhaps because of the simple fact that studies have not considered that dependence might be related to differences in nauseogenicity in the light and dark rather than to absolute levels of susceptibility. Accordingly our purpose was to repeat Bijveld's experiment (2), probing for a field dependence effect on differences between the relative nauseogenicities of OVAR in the light and dark in subjects who were also assessed on established tests of field dependence.

METHODS

Subjects

There were 12 female and 12 male subjects, mean age = 29.4 yr (SD 7.3) and without history of vestibular disorder, who gave their informed consent to the study, which was approved by the local ethics commitee. Motion sickness susceptibilities were rated on a standardized questionnaire [MSSQ (6)]. Their mean percentile score was 51% (SD 29.3, range 0–97%), indicating that the sample was representative of the normal population. All were naïve as to the purpose of the study.

From the Institut de Recherches Biomédicales des Armées, La Tronche, France; the Université de Grenoble, CNRS, Grenoble, France; the Faculté du Sport / Archives H. Poincaré, LHPS, CNRS / Nancy-Université, France; the Department of Psychology, University of Westminster, London, UK; and the Division of Experimental Medicine, Imperial College London, Charing Cross Hospital, London, UK.

This manuscript was received for review in January 2011. It was accepted for publication in July 2011.

Address correspondence and reprint requests to: Corinne Cian, Institut de Recherches Biomédicales des Armées, 38702 La Tronche, France; Corinnecian@gmail.com.

Reprint & Copyright © by the Aerospace Medical Association, Alexandria, VA.

DOI: 10.3357/ASEM.3049.2011

Design

Each subject underwent two sessions of rotation in OVAR: in total darkness (A) and in the light (B). The order of the sessions was counterbalanced across subjects and 5 d elapsed between each session to mitigate habituation.

Visual and Ego-Centered Dependence

Commencing 20 min before and after the endpoint of motion, assessments of field dependence were made using the 'rod and frame test' [RFT (17,18)]. Head upright RFT was assessed with subjects seated upright viewing in darkness a luminous rod subtending 20° of primary gaze set in a square frame subtending 28°. The subjects adjusted the rod to apparent Earth vertical from lateral tilts of 28° with the frame laterally tilted 28°. The head was held upright by a chinrest. Estimates were obtained from balanced order combinations of two right and left rod tilts and two right and left frame tilts. Errors were rated positive if the rod was in the direction of the frame tilt and negative in the opposite direction. Magnitude of visual dependence was calculated as the algebraic mean. The influence of head-related dependence ('Headtilt RFT') were also obtained with an identical set up as RFT (tilted frame), but with the subject's head held by the chin rest at a 28° rightwards inclination in roll (9). When the head was tilted, errors were rated positive if the rod was in the direction of the head tilt and negative in the opposite direction, again taking the algebraic mean. For both measures, a positive mean indicates that the subjective vertical was perceived as being in the same direction as the perturbation.

Downloaded from ... by Guest User on Sun, 2 ... 2011
Copyright: Aerospace Medical Association

Motion Sickness Rating

Subjects only underwent OVAR if they had no significant, spontaneous autonomic symptoms, particularly nausea, when questioned immediately before the session. Motion sickness rating commenced at the start of tilting (t = 0 s) and thereafter at every minute during motion. Subjects rated their symptoms of motion sickness on a 6-point scale (5): sickness rating (SR) = 1, no symptoms; SR = 2, stomach awareness but no nausea; SR = 3, mild nausea; SR = 4, moderate nausea (stop motion); SR = 5, severe nausea; SR = 6, vomiting. The experiment was stopped at SR = 4 or after 20 min, which was the maximum cut-off time for subjects who did not reach a SR = 4. Subjects continued rating nausea at each minute interval for 20 min after cessation of motion. During the experiments subjects were free to withdraw at any time.

Rotation in OVAR

OVAR was identical to that used in Bijveld's study (2). Subjects were seated, head, torso, and legs restrained, in a motorized chair with the axis of rotation aligned through the head and long axis of the torso. The chair was accelerated at $1° \cdot s^{-2}$ until it rotated at $72° \cdot s^{-1}$. After 1 min of rotation at constant velocity, the chair tilted $1° \cdot s^{-2}$ to 18° off vertical. The angular velocity of $72° \cdot s^{-1}$ provided a rotating linear acceleration vector at 0.2 Hz (± 0.3 g modulation), which is the peak frequency for motion sickness for several different kinds of motion (5), including OVAR (14). This stimulus evokes motion sickness but is not so strong as to obliterate differential responsiveness (2). When the subject called a halt at SR = 4 the chair tilted back to upright and stopped with the inverse velocity profile to the OVAR onset.

Statistical Analysis

The data conformed to a repeated measures ANOVA with factors 'Light' (with two levels: OVAR in the light and in the dark) and for each level the factor 'SR times' (with 3 levels: times to reach SR2, SR3, and SR4). 'Gender' (male/female) and 'Order' (experimental order of the two conditions) were grouping variables for initial analyses. MSSQ scores, RFT scores, and headtilted RFT scores ('Headtilt RFT') were covariates in the main analysis.

RESULTS

The evolution of nausea through the stages SR2–SR4 for the 24 subjects is shown in **Table I**. There were positive correlations between times to reach all sickness ratings in the light and in the dark (Spearman rho > 0.60, $P < 0.05$). Recovery was unremarkable with no significant difference in nausea ratings or time courses for light and dark conditions. Initial mean nausea ratings 1 min after stop were light: 2.29; dark: 2.63, decaying apparently exponentially to light: 1.17; dark: 1.13 at 20 min, with no significant differences in recovery times between light and dark.

Field dependence RFT and Headtilt RFT estimates taken before and after OVAR and in the light and dark were not significantly different and were combined to make average RFT and average Headtilt RFT scores. RFT estimates had a mean of 1.59 (SD 1.73), indicating a tendency to estimate that the rod was vertical when tilted slightly to the direction of frame tilt. Headtilted RFT estimates had a mean of −0.3 (SD 5.26). Although, on average, subjects estimated a true upright position with accuracy, estimates ranged between substantial tilts from upright both in the direction of the head tilt and opposite to head tilt.

Gender and Order Effects

Repeated measures ANOVA of 'SR times' (light and dark) with subject Gender as grouping variable showed no interaction of Gender on light vs. dark conditions and no interaction of Gender with 'SR times'. Repeated measures ANOVA of 'SR times' with experimental condition

TABLE I. NUMBER OF SUBJECTS (OUT OF 24) REACHING SICKNESS RATING AND THE MEAN (SD) TIMES TO REACH EACH STAGE.

	Dark	Light
Number reaching SR = 2	21/24	19/24
Number reaching SR = 3	20/24	19/24
Number reaching SR = 4	18/24	16/24
Time to SR = 2	6.94 (6.66)	8.9 (7.2)
Time to SR = 3	8.55 (7.18)	10.71 (6.97)
Time to SR = 4	11.11 (7.16)	13.31 (6.81)

Order as grouping variable showed no interaction of Order on light vs. dark conditions and no interaction of Order with 'SR times'. Accordingly the factors Gender and Order were excluded from the main analysis.

Main Analysis

An analysis of covariance (ANCOVA) was conducted with repeated measures on times to sickness ratings with factors 'Light' and 'SR level', with MSSQ percentile scores, RFT settings, and Headtilt RFT as covariates. Factor Light has the two levels light and dark, and factor SR has the three levels of sickness ratings of initial symptoms, mild nausea, and moderate nausea. There was a significant effect of Light [$F(1,20) = 8.978$, $P < 0.05$] with subjects tolerating OVAR in the light longer than in the dark (**Fig. 1**). This may be exemplified by a mean time to SR4 in the light of 13.31 min (SD 6.81) in comparison with tolerance in the dark of 11.11 min (SD 7.16).

There was a significant interaction between covariate MSSQ scores and the factor Light [$F(1,20) = 9.341$, $P < 0.05$]. There was a significant interaction between covariate Headtilt RFT and the factor Light [$F(1,20) = 6.517$, $P < 0.05$], but no interaction between covariate RFT and the factor Light ($P > 0.05$). These interactions were probed with nonparametric correlation analysis (Spearman rho).

The interaction of MSSQ with Light was attributable to a high negative correlation of MSSQ scores with times to reach SR3 and SR4 in the light (Spearman rho > -0.41, $P < 0.05$) and absence of significant correlation with times to sickness ratings in the dark (Spearman rho < -0.19, $P > 0.05$). This result indicates that subjects with lower motion sickness susceptibility tended to tolerate OVAR in the light better than those with higher susceptibilities. Times to reach all sickness ratings in the dark were relatively independent of MSSQ scores.

The interaction between covariate Headtilt RFT and the factor Light was attributable to a positive correlation between rod settings made with the head tilted and times to reach all sickness ratings in the dark (Spearman rho > 0.047, $P < 0.05$). There was no significant correlation with time to SR2, 3, and 4 in the light (Spearman rho < 0.019, $P > 0.05$). Since positive values of rod setting indicate that subjects estimated the rod to be upright when set in the direction of the head tilt, the positive correlation in darkness indicates that the more subjects estimated that the rod was vertical when it was actually inclined toward the tilted head the more they tolerated OVAR in the dark.

Differential Role of Visual Cues in OVAR Nauseogenicity

Although there was a general tendency to tolerate OVAR better in the light than in the dark, it was apparent from data inspection that some individuals fared better in the dark. Therefore, we compared the relationship between susceptibility to motion sickness (MSSQ), frame effect (RFT), and head effect (Headtilt RFT) with the difference in time for which motion was tolerated in light and dark. This was calculated as the difference in time to attain SR = 4 (i.e., light minus dark). There was no relationship between this difference and susceptibility to motion sickness ($P > 0.05$). RFT errors were significantly correlated with the difference in time to reach moderate nausea in light and dark (Spearman rho = 0.43, $P < 0.05$). Thus, there was a distinct tendency for subjects who were visual field dependent to fare better with OVAR in the light than in darkness. Headtilt RFT errors were negatively correlated with the difference in time to reach SR = 4 in light and dark (Spearman rho = 0.58, $P < 0.05$). The subjects who tended to tilt the target line toward the tilted head had greater tolerance of OVAR in the dark than in the light.

Visual vs. Ego-Centered Dependence and Motion Sickness Susceptibilities

The effects of the frame and the head on subjective vertical were independent ($P > 0.05$). Thus, low sensitivity to the frame effect cannot be attributed to reliance on the ego-centered references. MSSQ was marginally correlated to RFT errors (Spearman rho = 0.35, $P = 0.1$), but MSSQ and Headtilt RFT were independent ($P > 0.50$).

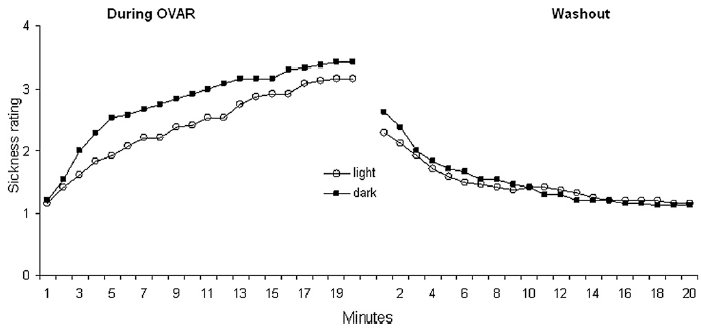


Fig. 1. The development of and subsequent recovery of nausea ratings is shown during OVAR in light and darkness conditions. Where subjects reached the moderate nausea end point (SR = 4) prior to the 20-min maximum time cut off, continuation points of SR = 4 were inserted for illustrative purposes.

DISCUSSION

The present results are in agreement with the observations of Bijveld et al. (2). The ability to tolerate OVAR, as indicated by time to achieve moderate nausea, was consistently better in the light than in the dark across most subjects. Estimates of motion sickness susceptibility were inversely correlated with times for which OVAR in the light could be tolerated, but unrelated to tolerance in the dark. Significantly, estimates of the visual vertical made with head tilted were correlated with the amount of time OVAR was tolerated in the dark. Visual field dependent subjects fared better in the light than in the dark.

The ability to tolerate OVAR better in the light than in the dark suggested that when an Earth-fixed visual surround is available in OVAR, much less disorientation and misperception of self-motion occurs than when in darkness or when the visual surround is obscured. Self-motion may have less ambiguity when vision is available. In OVAR the visual cues were consistent with a constant body rotation around the tilted Z-axis. As suggested by Dichgans and Brandt (4), when visual motion information is in "physiologic agreement" with vestibular input, sickness may be suppressed. A potential limitation is the level of anxiety, which may be enhanced during OVAR in the dark compared to OVAR in the light. However, individual differences in the effect of the visual surround related to visual field dependence. No significant relationship has been found between field dependence and anxiety (13). Thus it can be suggested that subjects with conventional visual field dependence would tend to accept the tilted visual world seen during OVAR as being 'correct' in orientation and thus down regulate the perception of tilt during OVAR.

Headtilt RFT was developed as an assessment of subjective 'corporeal' dependence (9). Subjects who align the visual vertical more with the orientation of their own head are more propriosomesthetic dependent. Therefore, it is tempting to suggest that subjects who estimated their visual vertical to be inclined toward their head tilt perceived vertical orientation as aligned more with their own body, thus lessening the effects of inclination from Earth vertical induced by OVAR in the dark. However, subjects who used the body as the main referent for orientation had similar tolerance in the light and dark and in some cases tolerated rotation better in the dark. When the light was on they would see how much the OVAR tilted, which would override the somatic dependence. The possible difference between dependence on somatic egocentered cues versus visual cues is important to aspects of current theory and modeling of the origins of motion sickness, which stress that nauseogenic motions are those that challenge orientation to the vertical (3); this is largely true of provocative vehicle motion. What is taken as a reference for verticality is thus dependent on specific choice of sensory frame of reference. Our study, following many others, shows that this can vary between subjects.

While visual field dependent subjects were in a relative way less susceptible in the light than in the dark, they did not present, in an absolute way, a higher level of susceptibility to OVAR. Experimental studies attempting to relate field dependence to motion sickness have produced mixed results (11). While visual field dependent subjects, as assessed by the RFT, are more susceptible to visual spatial disorientation (1,12) and visual vertigo (10), they are not more susceptible to motion sickness (10,15), the one exception being a study of tilting trains (16) in which sickness is provoked primarily by the tilting view out of the windows, which produced the remarkably robust result that degree of sickness provoked on the train correlated $r = 0.65$ with errors on the RFT. In this latter study there were similarities in visual structure between the RFT configuration and tilted views from tilted train windows, suggesting, perhaps, that the relationship between type of field dependence and the nature of disorientation provoking motion sickness could be highly specific. Such specificity would go far in explaining why general surveys have failed to identify robust relationships. It would also be consistent with situation specific characteristics of motion sickness and adaptation thereto.

Considering the relationship between general motion susceptibilities and tolerance to OVAR in the light vs. in the dark, it is surprising, perhaps, that our study revealed a modest relationship between RFT estimates and MSSQ. The possible cause is that RFT estimates were grouped closely around zero. Our subjects were sought on the basis of netting a selection with a reasonable distribution of susceptibility to motion sickness and not on RFT susceptibility. The main drawback of this study was this fortuitous result of selection of few subjects with high degrees of field dependence so that differential susceptibility to OVAR was not assessed for highly field dependent subjects due to their underrepresentation in the study population. A future design that might resolve the question of the relationship between RFT and motion sickness would trawl for subjects with a range of motion sickness susceptibilities and independently for a range of subjects with a wide distribution of RFT scores.

In conclusion, the results of our study show that scores on questionnaires of quotidian motion sickness only relate to motion sickness induced in the light despite a high correlation between times to achieve moderate nausea for OVAR in the light and dark. The lack of relationship between the MSSQ and times to attain nausea in the dark suggests that questions probing motion sickness experiences in daily life are strongly biased by visual factors determining the development of nausea. Assessments of sensitivity to reference frames for orientation, either visual or ego-centered, show promise for markers of motion susceptibility according to the visual surround rather than to absolute levels of susceptibility to motion sickness.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was funded by the Service de Santé des Armées, Republic of France, The Medical Research Council (UK) GO600183, and the Psychology Research Committee of the University of Westminster.

The authors would like to thank Pierre Alain Barraud and Alain Roux, Centre de Recherches du Service de Santé des Armées, La Tronche, France, for engineering services.

Authors and affiliations: Corinne Cian, B.Sc., Ph.D., and Hadrien Ceyte, B.Sc., Ph.D., Institut de Recherches Biomédicales des Armées, La Tronche, France; Théophile Ohlmann, B.Sc., Ph.D., Université de

Grenoble, CNRS, Grenoble, France; Hadrien Ceyte, B.Sc., Ph.D., Faculté du Sport/Archives H. Poincaré, CNRS/Nancy-Université, France; Michael A. Gresty, B.A., Ph.D., and John F. Golding, B.A., D.Phil., Division of Experimental Medicine, Imperial College London, Charing Cross Hospital, London, UK; and John F. Golding, B.A., D.Phil., Department of Psychology, University of Westminster, London, UK.

REFERENCES

1. Alexander RA, Barrett GV. Relationship between perceptual style and responses to visual motion under active and passive viewing conditions. J Appl Psychol 1975; 60:507–12.
2. Bijveld MM, Bronstein AM, Golding JF, Gresty MA. Nauseogenicity of off-vertical axis rotation vs. equivalent visual motion. Aviat Space Environ Med 2008; 79:661–5.
3. Bos JE, Bles W. Modelling motion sickness and subjective vertical mismatch detailed for vertical motions. Brain Res Bull 1998; 47:537–42.
4. Dichgans J, Brandt TJ. Visual-vestibular interaction: effects on self-motion perception and postural control. In: Held R, Leibowitz W, Teuber HL, eds. Handbook of sensory-physiology, vol. VIII. New York: Springer-Verlag; 1978:753–804.
5. Golding JF, Mueller AG, Gresty MA. A motion sickness maximum around the 0.2 Hz frequency range of horizontal translational oscillation. Aviat Space Environ Med 2001; 72:188–92.
6. Golding JF. Predicting individual differences in motion sickness susceptibility by questionnaire. Pers Individ Dif 2006; 41:237–48.
7. Goodenough DR, Cox PW, Sigman E, Strawderman E. A cognitive-style conception of the field-dependence dimension. Cahiers de Psychologie Cognitive 1985; 5:687–705.
8. Gresty MA, Waters S, Bray A, Bunday K, Golding JF. Impairment of spatial cognitive function with preservation of verbal performance during spatial disorientation. Curr Biol 2003; 13:R829–30.
9. Guerraz M, Poquin D, Ohlmann T. The role of head-centric spatial reference with a static and kinetic visual disturbance. Percept Psychophys 1998; 60:287–95.
10. Guerraz M, Yardley L, Bertholon P, Pollak L, Rudge P, et al. Visual vertigo: symptom assessment, spatial orientation and postural control. Brain 2001; 124:1646–56.
11. Kennedy RS, Dunlap WP, Fowlkes JE. Prediction of motion sickness susceptibility. In: Crampton GH ed. Motion and space sickness. Boca Rata, FL: CRC Press; 1989: 179–215.
12. Long GM, Ambler RK, Guedry FE Jr. Relationship between perceptual style and reactivity to motion. J Appl Psychol 1975; 60:599–605.
13. Loo R, Cauthen NR. Anxiety and perceptual articulation. Percept Mot Skills 1976; 42:403–8.
14. Miller EF, Graybiel A. Perception of the upright and susceptibility to motion sickness as functions of angle of tilt and angular velocity in off-vertical rotation. Fifth symposium on the role of the vestibular organs in space exploration. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration; 1973:99–103. NASA-SP314.
15. Mirabile CS Jr, Glueck BC, Stroebel CF. Susceptibility to motion sickness and field dependence-independence as measured with the rod and frame test. Neuropsychobiology 1976; 2:45–51.
16. Neimer J, Eskiizmirliler S, Ventre-Dominey J, Darlot C, Luyat M, et al. Trains with a view to sickness. Curr Biol 2001; 11:R549–50.
17. Witkin HA, Ash SE. Studies in space orientation. III. Perception of the upright in the absence of a visual field. J Exp Psychol 1948; 38:603–14.
18. Witkin HA, Ash SE. Studies in space orientation. IV. Further experiments on perception of the upright with displaced visual fields. J Exp Psychol 1948; 38:762–82.
19. Witkin HA. Perception of the upright when the direction of the force acting on the body is changed. J Exp Psychol 1950; 40:93–106.

Delivered by Ingenta to: Guest User
IP: 5.189.200.89 On: Sun, 26 Jun 2016 03:08:42
Copyright: Aerospace Medical Association

Exp Brain Res (2014) 232:2221–2228
DOI 10.1007/s00221-014-3913-1

RESEARCH ARTICLE

Does calculating impair postural stabilization allowed by visual cues?

Hadrien Ceyte · Alexis Lion · Sébastien Caudron · Badreddine Kriem · Philippe P. Perrin · Gérome C. Gauchard

Received: 11 June 2013 / Accepted: 10 March 2014 / Published online: 28 March 2014
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Abstract In many daily situations, balance control is associated with a cognitive activity such as reading or a simple calculation. The objective of this study was to investigate the relationship between these two specific human activities, especially the influence of visual cues and support surface stability on body sway during a calculation task. A Sensory Organization Test, which can disrupt or suppress sensory inputs, was performed on 71 healthy young adults. The evaluations were performed both with and without mental arithmetic tasks which consisted of backward counting by three or thirteen. Our results showed that the addition of a calculation task induced an increase in body sway only when visual cues were available. They also showed the same instability effect of the support surface on the amount of body sway no matter what the associated cognitive task was. Moreover, no difference in body sway was observed between the two calculation tasks no matter what the visual context and/or the stability of the support surface were. We suggest that focusing on fulfilling the requirements of the mental calculation challenge may be responsible for the increase in body sway. This increase may be related to the use of oculomotor activity as unintentional attempts to increase arousal by self-generated body movement. Thus, this activity facilitates information processing rather than minimizing unbalance by a visual anchor point.

Keywords Balance control · Cognition · Body sway · Calculation · Visual cues

H. Ceyte (✉) · A. Lion · S. Caudron · B. Kriem · P. P. Perrin · G. C. Gauchard
UFR STAPS de Nancy & EA 3450 DevAH «Développement, Adaptation, Handicap», Université de Lorraine, 30 rue du Jardin Botanique, 54603 Villers-lès-Nancy Cedex, France
e-mail: hadrien.ceyte@univ-lorraine.fr

A. Lion
Sports Medicine Research Laboratory, Public Research Centre for Health, 1460 Luxembourg, Luxembourg

P. P. Perrin · G. C. Gauchard
Service d'ORL et de Chirurgie Cervico-Faciale, CHU Nancy, 54000 Nancy, France

Introduction

Balance control is a complex motor skill that relies on the interaction between three major sensory components: the visual, somatosensory, and vestibular systems. Information from these systems is integrated and processed depending on the task and the environment (Woollacott and Shumway-Cook 2002). Furthermore, sometimes motor activity such as locomotion ceases so that thinking or speaking can continue, suggesting that postural control requires some level of cognitive processing, despite its highly practiced nature. The contribution of cognitive processes to the regulation of balance is typically studied using the dual-task paradigm, which combines postural and cognitive tasks. The assumption of this paradigm stipulates that if two tasks share the same cognitive resource pool, the increasing the difficulty of one of them will deteriorate the performance of the second (Kahneman 1973). Thus, the fulfillment of a cognitive task while standing might draw on the resources available for this postural control, hence rendering the individual vulnerable to destabilizing events (Kerr et al. 1985). Nevertheless, although several works have studied the effects of a cognitive task on standing postural control, the impact of cognitive processes on postural regulation remains widely discussed and disputed (Barra et al. 2006; Stins and Beek 2012; Teasdale et al. 1993).

Published studies are contradictory with results showing a decrease in body sway and others showing either an unperturbed or an increased body sway while dual tasking. These discrepancies depend on different factors like the challenge of the postural task and the difficulty of the added cognitive task (Jamet et al. 2007; Teel et al. 2013). Indeed, during a static bipedal posture or standing in a well-learned position, the addition of a cognitive task caused minimal changes in balance control (Barra et al. 2006). Conversely, when the postural challenge increases, the addition of a cognitive task increases body sway (Dault et al. 2001). Furthermore, a few studies have attempted to quantify the effects of various cognitive task difficulties (Chong et al. 2010; Maylor et al. 2001; Pellecchia 2003). However, increasing a cognitive task's difficulty on balance control leads to the same contradictory results. Some studies indicated a decrease in body sway while performing a difficult cognitive task rather than an easy one (Maylor et al. 2001), whereas in others, an increase in body sway was observed (Pellecchia 2003; Riley et al. 2005).

The above experiments clearly suggest that the relationship between balance control and cognitive processing is still not clear. Some authors have proposed another way of conceiving this relationship between these two specific human activities. Stoffregen et al. (2007) suggested that to distinguish different cognitive tasks (called suprapostural tasks, i.e., not postural ones) when associated with the postural task, the oculomotor requirements in the environment necessary to accomplish the cognitive task must be known. Indeed, on the one hand, performance in some suprapostural tasks depends on maintaining some sort of visual contact with the environment. For example, reading or the visual detection of something in the environment requires gaze control in order to successfully perform the task. This oculomotor activity facilitates the execution of the postural task due to gaze fixation in the environment. On the other hand, the successful fulfillment of some suprapostural tasks, such as a single calculation task, requires no accurate gaze control in the environment. Indeed a calculation task can be performed mentally, i.e., without visual contact with the environment. Therefore, the absence of gaze fixation induces a deterioration of the postural performance such as an increase in body sway. These authors also suggested that a change in the difficulty of the suprapostural task affects the execution of the postural task only if the fulfillment of the added suprapostural task requires an oculomotor activity in the environment like reading or visual detecting of environmental landmarks. Indeed, the modification of the difficulty of this sort of suprapostural task induces a modification in the gaze fixation in the environment, leading to a marked postural effect that can be observed. On the other hand, for a suprapostural task in which the successful fulfillment doesn't require any gaze control in the environment such as calculating, no change in the visual contact with the environment is induced by the modification of the difficulty of this sort of task; therefore, no postural effect can be observed.

In the same way, we suggest that changing the postural challenge, such as being on a ship for example (Yu et al. 2010), necessarily affects postural performance, whatever the simultaneously performed suprapostural task is and its difficulty. Indeed, whether we are reading or calculating, somatosensory and vestibular cues are required in order to achieve the postural task, and these cues are available at all times during the fulfillment of a dual task. In other words, an individual in an upright stance is permanently in somatosensory and vestibular contact with the environment.

Furthermore, some studies do not compare body sway obtained while doing a suprapostural task to that obtained in a sole postural task. Stoffregen et al. (2007) defend the idea whereby "quiet stance" does not exist; the individual is always engaged in some suprapostural activity during standing, even if it is implicit. According to this idea, "quiet stance" remains never the less an ecological and daily situation in the same way as doing mental calculation while standing. However, we do not know which kind of suprapostural activity the individual is engaged in this situation. But, if the visual contact with the environment established by oculomotor activity is a key to understanding the amount of body sway obtained when a suprapostural task is performed simultaneously, we can then guess as to what the sort of suprapostural task engaged during "quiet stance" is. For this reason, the comparison of body sway during an explicit suprapostural activity such as calculating and in a "quiet stance" condition makes sense.

The aim of this experiment was to investigate the influence of sensory contacts established with the environment on the amount of body sway while simultaneously doing both postural and suprapostural tasks. In order to evaluate the postural consequences of doing a calculation task, the amount of body sway has been measured while during three suprapostural tasks (one requiring no calculation activity and two requiring a calculation activity). We predicted higher body sway when a calculation task is executed but no difference in body sway between the two calculation tasks was expected. Moreover, the influences of the visual cues and the support surface stability on body sway were also investigated during all three suprapostural tasks. We expected smaller body sway when the visual cues were reliable than when they were unreliable or unavailable. Furthermore, we expected no difference in body sway between the two calculation tasks whatever the visual context. In the absence of visual cues, we assumed there would be no difference in body sway between the different suprapostural tasks due to the absence of gaze fixation in the environment. Lastly, we expected lower body sway

on a stabilized support surface compared to a moving surface whatever the suprapostural task performed was. We focused on calculating an equilibrium score from the shift of the center of pressure along the antero-posterior axis because these data directly reflect the amount of body sway on the ground, and therefore, the postural behavior.

Method

Participants

Seventy-one students (36 women and 35 men; mean age = 24.1 ± 2.5 years; mean height = 1.74 ± 0.10 m; mean weight = 68.6 ± 13.1 kg) volunteered to participate in this study. All participants were master's degree students in sport sciences, University of Lorraine. However, none of them practiced sport intensively and no one showed a particular state of anxiety during the study. One participant did not fully complete the protocol. Tests were carried out in the Laboratory for the Analysis of Posture, Equilibrium and Movement (LAPEM) of the University Hospital of Nancy (with Ministry of Health agreement for research). The experimental protocols followed the recommendations of the Declaration of Helsinki. As part of the informed consent process prior to the study, each participant indicated that they had no history of psychiatric or neurological disorders or showed any orthopedic disorders either of the trunk or of the lower limbs that could affect postural performance.

Apparatus

EquiTest® (Neurocom®, OR, USA) uses a dual platform which consists of two footplates connected by a pin joint. The two footplates are supported by four force transducers (strain gauges) mounted symmetrically on a supporting central plate. Force data were sampled to 100 Hz and stored on a PC using a 12-bit A/D converter. A fifth transducer is bracketed to the central plate directly beneath the pin joint. The center transducer measured shear forces along the *Y* axis, in the plane parallel to the floor. The other transducers measured vertical forces applied to the dual platform. The data were zero-phase filtered using a second-order Butterworth. Then, the computer calculated the CoP and the vertical component of the center of gravity (CoG), using the participant's height. Force transducers are placed in a way that when a participant stands with their ankles centered over the stripe on the dual platform, with their feet at an equal distance laterally from the sagittal line (*Y* axis), CoG is located directly above the intersection of the *X* and *Y* axes (a position called the electrical zero position, which serves as a reference point for the calculation of sway angles). The program uses a small angle approximation to arcsin x, which is accurate to 0.5 % in the range of angles encountered.

EquiTest® was used to perform the Sensory Organization Test (SOT) which evaluates the participant's ability to efficiently use visual and somatosensory inputs separately in postural regulation. To provide inadequate or unreliable information, somatosensory and visual cues were disrupted by using a technique commonly referred to as sway referenced, which involves tilting the visual surround and/or the support surface in order to directly follow the antero-posterior (AP) sways of the participant's CoG (Nashner and Peters 1990).

An equilibrium score (*ES*) was calculated for each of the six conditions by comparing the participant's maximal and minimal AP during each trial to the maximum theoretical sway limits of stability, which are based on the individual's height and size of their support base. It represents an angle (8.5° forward and 4.0° backward) at which point the person can lean in any direction before the CoG moves beyond a point that allows him/her to remain upright (i.e., point of falling). The following formula was used to calculate the *ES*: $[12.5°–((\theta_{max} - \theta_{min})/12.5°)] \times 100$, where θ_{max} indicates the greatest AP CoG sway angle displayed by the participant while θ_{min} indicates the lowest AP CoG sway angle. Lower sway lead to a higher *ES*, indicating better balance control performance (a score of 100 represents no sway, while 0 indicates sway that exceeds the limit of stability, resulting in a fall).

Procedure

The participants were barefoot and were requested to stand upright on the platform, remaining as stable as possible, breathing normally, with their arms by their sides. To protect them from falls, an operator stood within touching distance of the participants, all of which wore a safety harness connected to the ceiling by two suspension straps in each test condition. The task was to maintain an upright stance, as stable as possible, during the three 20 s trials in six conditions which combine three visual conditions (*V*—vision, *NV*—no vision, *MV*—moving visual surround) with two support conditions (fixed or moving support surface) as illustrated in Table 1. In *V* conditions, participants were instructed to look straight ahead at a picture located on the visual surround. In addition, three calculation conditions were performed during the task, i.e., a control condition without calculation added (single condition) and two conditions with calculation added (retro-3 and retro-13 conditions). The starting three-digit number used for each participant is randomized and never reused. The participant repeated the number before subtracting backward aloud by 3 or 13. To achieve the maximum distraction in this test,

Table 1 Sensory Organization Test (EquiTest®, Neurocom®, OR, USA)

Sensory Organization Test	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4	Condition 5	Condition 6
Captures	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Sensory consequences	Vision and Proprio-somesthesis	No vision and Proprio-somesthesis	Unreliable vision and Proprio-somesthesis	Vision and Unreliable proprio-somesthesis	No vision and Unreliable proprio-somesthesis	Unreliable vision and Unreliable proprio-somesthesis
Visual conditions	Vision (*V*)	No vision (*NV*)	Moving visual surround (*MV*)	Vision (*V*)	No vision (*NV*)	Moving visual surround (*MV*)
Support conditions		Fixed support surface			Moving support surface	

Table 2 Mean results, associated with standard errors (SE) of the equilibrium score (*ES*, in %) for the visual [vision (*V*), no vision (*NV*) and moving visual surround (*MV*)] and support conditions observed in the single, retro-3, and retro-13 conditions

Visual conditions	Support conditions	Calculation conditions		
		Single mean (SE)	Retro-3 mean (SE)	Retro-13 mean (SE)
V	Fixed support surface	94.99 (0.22)	94.11 (0.44)	93.92 (0.38)
NV		92.65 (0.40)	93.03 (0.37)	93.08 (0.53)
MV		92.73 (0.40)	92.00 (0.64)	91.99 (0.72)
V	Moving support surface	89.10 (0.68)	88.13 (0.79)	87.10 (0.77)
NV		74.70 (1.01)	74.41 (0.78)	74.18 (1.09)
MV		77.69 (1.23)	75.46 (1.30)	73.34 (1.33)

participants were instructed to calculate as quickly and as accurately as possible in their head. One trial per condition was performed. All conditions were performed in random order by each participant. Participants were not given any information about treating either the balance control task or the calculation task as more important. Data collection began after each participant called out the first subtracted response. At the end of each trial, the experimenter asked for the result of the successive calculations in order to verify only that the calculation task was carried out.

Statistical analysis

Quantitative data were expressed as means and were associated with standard errors (m ± SE). To examine the main effects of the calculation context, the visual context, the support stability and their interactions separately, *ES* were submitted to a 3 × 3 × 2 repeated-measures ANOVA on the three factors: i.e., calculation condition [single, retro-3 and retro-13], visual condition [*V*, *NV* and *MV*], and support condition [fixed and moving support surfaces]. In order to respect ANOVA's assumptions for all the forthcoming statistical analysis, sphericity was tested on each main effect or interaction with Mauchly's sphericity test. In the case of significance in this latter test, the Greenhouse-Geisser procedure was applied to correct the *p* value. The Newman–Keuls method was used for post hoc comparisons whenever necessary. A 0.05 *p*-level of significance was set, and we considered a *p* value between 0.05 and 0.1 as a trend toward significance.

Results

Descriptive results are presented in Table 2. The results showed a main effect of the calculation condition [$F_{(2,140)} = 5.04$, $p < 0.01$]. Post hoc comparisons indicated a significant difference between single and retro-13 conditions (whatever the visual and support conditions, single: 86.98 ± 1.05, retro-13: 85.60 ± 1.41, $p < 0.001$) and tended to be different between single and retro-3 conditions (retro-3: 86.19 ± 1.33, $p = 0.07$). Furthermore, a main effect of the visual condition was observed [$F_{(2,140)} = 218.06$,

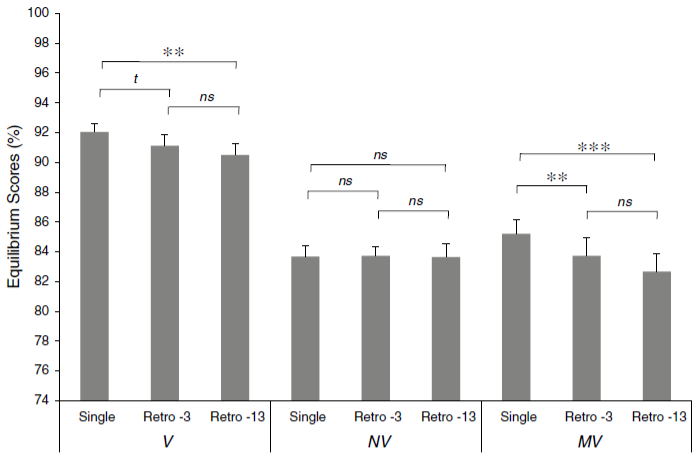


Fig. 1 Means equilibrium scores (%) and standard errors (indicated by *error bars*) in vision (*V*), no vision (*NV*), and moving visual surround (*MV*) conditions and for the three arithmetical task conditions (single, retro-3 and retro-13) independently of the support condition [significant interaction visual condition × arithmetical task $F_{(4,180)} = 2.93$, $p < 0.05$]. *Asterisks* indicate a significant Newman–Keuls post hoc comparison between two conditions (*ns* no significant, t $0.05 < p < 0.1$, $*p < 0.05$, $**p < 0.01$, $***p < 0.001$)

$p < 0.001$]. The *ES* was higher when visual cues were available (whatever the calculation and support conditions, *V*: 91.22 ± 0.95, *NV*: 83.68 ± 1.00, $p < 0.001$) and reliable (*V*: 91.22 ± 0.95, *MV*: 83.87 ± 1.69, $p < 0.001$). No difference was observed between *NV* and *MV* ($p > 0.05$). Similarly, *ES* was significantly higher on fixed support surface than on moving support surface as indicated by the main effect of the support condition [whatever the visual and calculation conditions, fixed support surface: 93.17 ± 1.10, moving support surface: 79.35 ± 2.05, $F_{(1,70)} = 507.53$, $p < 0.001$].

The interaction visual condition × calculation condition was also significant [$F_{(4,180)} = 2.93$, $p < 0.05$] and showed that the effect of the calculation condition was enhanced with the reliable (*V*) or unreliable (*MV*) visual input (Fig. 1). Indeed, post hoc comparisons showed that, in *V*, *ES* was significantly lower in retro-13 than in single condition ($p < 0.01$) and tended to be lower in retro-3 than in single condition ($p = 0.08$). In *MV*, *ES* was lower in both retro-3 and in retro-13 conditions than in single condition ($p < 0.01$ and $p < 0.001$, respectively). In addition, no significant difference was observed between retro-3 and retro-13 conditions, in both *V* and *MV* ($p > 0.05$). At last no difference between single, retro-3, and retro-13 conditions in *NV* is obtained ($p > 0.05$).

Sensory Organization Test results showed also that the moving support surface had a higher effect on *ES* when vision was unavailable or unreliable, which is highlighted by the significant support condition × visual condition [$F_{(2,140)} = 134.58$, $p < 0.001$] interaction (Fig. 2). Post hoc comparisons indicated, both on fixed and moving support surfaces, a significant difference between *V* and *NV* (on fixed support surface, $p < 0.05$; on moving support surface, $p < 0.001$) and between *V* and *MV* (on fixed support surface, $p < 0.001$; on moving support surface, $p < 0.001$). No difference was observed between *NV* and *MV*, on both fixed and moving support surfaces ($p > 0.05$).

The interaction support condition × calculation condition tended to be significant [$F_{(2,140)} = 2.92$, $p < 0.06$], and the double interaction support condition × visual condition × calculation condition [$F_{(4,280)} = 1.25$, $p > 0.05$] did not reach a significant threshold.

Discussion

The founding objective of this study was to investigate the relationship between these two specific human activities and especially the influence of sensory contacts established with the environment on balance control during a calculation task. We have tested different associations of calculation and postural tasks by varying the calculation task, the availability and the reliability of visual cues and the physical constraints of the support.

Firstly, as expected in our hypothesis, the results showed that the addition of a calculation activity while standing induced an increase in body sway compared to simple quiet stance. During single condition with open eyes, the participants were instructed to look straight ahead at a picture located on the visual surround; therefore, the instructions imposed a gaze fixation in the environment. Moreover, our results also confirmed no significant change in body sway between the two calculation conditions requiring a real calculation activity. As suggested by Stoffregen et al. (2007),

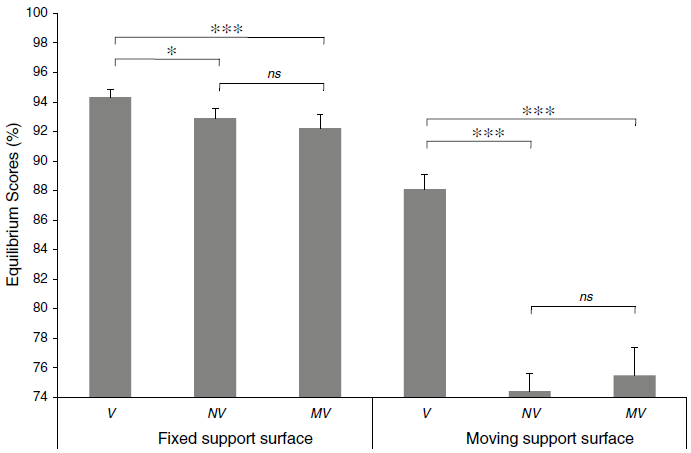


Fig. 2 Means equilibrium scores (%) and standard errors (indicated by *error bars*) in vision (*V*), no vision (*NV*), and moving visual surround (*MV*) conditions and for the two support surface stability conditions (fixed and moving support surfaces) independently of the calculation condition [significant interaction support condition × visual condition [$F_{(2,140)} = 134.58$, $p < 0.001$]. *Asterisks* indicate a significant Newman–Keuls post hoc comparison between two conditions (*ns* no significant, $*p < 0.05$, $**p < 0.01$, $***p < 0.001$)

doing a calculation task required no visual contact with the environment, whatever the difficulty of the calculation task. Some authors even suggested that, during a calculation task, visual attention could therefore be reoriented from external landmarks to internal visual images of the cognitive task, which may thus induce the suppression of the visual anchorage required to control balance (Jamet et al. 2004, 2007).

Our data obviously then confirmed that the reliability of visual cues and the stability of the support surface influence the amount of body sway. Indeed, as regards this visual contribution, body sway in healthy young adults was not significantly different when the visual cues were unreliable or unavailable. Generally speaking, the similar postural control observed both in the absence of vision and in moving visual surround conditions raises the question of sensory weighting for balance in a sensory context mismatch. Bernier et al. (2009) showed that in the context of sensory mismatch, the system no longer takes cues that seem irrelevant into consideration. Although further studies are necessary, we assume that in the unreliable visual context, the weighting of visual cues is reduced in favor of other sensory input such as the one that is imposed in the no vision condition. When a suprapostural task is associated with upright stance, our results confirmed the general hypothesis, whereby the maintenance of some sort of visual contact with the environment was crucial to understanding postural behavior. Indeed, although body sway is lower when visual cues are available and reliable, simultaneously doing a calculation activity induces higher body sway than simple gaze fixation on a picture straight ahead as illustrated in the single condition, and this is true whatever the reliability of the visual cues. This result suggests that the availability of visual cues is not sufficient to maintain body sway similar to quiet stance (single condition). This raises the question of the role of visual activity during calculating. Furthermore, when visual cues are unavailable, no significant difference in the amount of body sway was observed between the different suprapostural tasks. In other words, when no gaze fixation was possible, the performance of balance control was similar no matter what suprapostural tasks were added.

Finally, the results obviously showed that the amount of body sway was lower on a fixed support surface when the visual cues were reliable, and they showed also the same effect of the instability of the support surface for all the suprapostural tasks confirming our initial hypothesis. In our study, the instability of the support surface was solely driven by the participant's own body sway. The moving support condition induced a strong difficulty to perform the postural task due to the unreliability of the legs' proprioceptive cues. Whatever the suprapostural task, this sort of somesthetic cue constantly informs the motor system about its balance on the ground. In other words, the individual is constantly in somesthetic contact with the environment while in an upright stance. This assumption is consistent with the results obtained in sea-based studies showing that the performance of a visual recognition task associated with a postural task is influenced by the motion of the ship (Yu et al. 2010). As also suggested by Stoffregen et al. (2011), this support effect seems to be indirect because the ship motion influenced the postural activity, which influenced visual performance. Nevertheless, our results tended to

show that body sway is higher on a moving support surface when a calculation activity was performed. To understand this trend, we looked at the problem another way: When the individual was instructed to look at the landscape while standing on a moving support surface, oculomotor activity can help them to maintain their balance due to visual contact (gaze fixation) with the environment. In contrast, when the individual was asked to calculate while standing on a moving support surface, the oculomotor activity did not seem to be of sufficient help to maintain their balance. This possible explanation suggests that postural activity is routinely modulated in response to sensory contact with the environment established while doing suprapostural and postural tasks. However, further studies are necessary to confirm this.

Several authors have proposed that body sway can be strategically modulated to facilitate performance of a suprapostural task like a calculation task (Stoffregen et al. 1999, 2007). This is not a recent idea. Nietzsche wrote "The only valid thoughts are those that come while walking." In the fourth century BC, Aristotle had already found the stimulatory effects of movement on the mind through teaching while walking. Therefore, motor control and specifically postural control may be mixed with cognitive activities. In other words, the fulfillment of a cognitive activity during balance control has to be understood as an integrated operation, a functional integration (Stoffregen et al. 2007). However, Maylor et al. (2001) indicated that the provoked amount of body sway must be "acceptable" in order to effectively perform both tasks simultaneously. Here, the restriction of the motor system in a static bipedal posture in our experiment allows us to make the hypothesis that the facilitation of cognitive activity could be mirrored in subtle body movements which may only be induced by ocular mobility. Indeed, Meyer et al. (2007) implied that performing a cognitive task alters gaze control performance such as the gain of smooth ocular pursuit or the latency and the accuracy of the ocular saccades. We can suppose that the amount of body sway observed while performing calculations could be induced by the perturbation of gaze stabilization. Thus, contrary to what one might think, the availability of visual cues might not be sufficient help to control balance when a suprapostural task is added (Remaud et al. 2012). But, the visual cues would be the relevant element to understand the performance of performing both tasks simultaneously. We suggest that these cues are integrated on the basis of the demands made by each task: (a) in order to control the stance and (b) to facilitate the performance of the suprapostural task. The increase in body sway during calculation may be related to the use of the visual activity for unintentional attempts to increase arousal by self-generated bodily motions, thereby facilitating information processing rather than minimizing the unbalance by visual anchorage. Thus, increased bodily motion might have a causal role in cognitive activity (Goodrich 2010), and the resulting increased body sway can then be misinterpreted as loss of balance (Stins and Beek 2012).

Some data from the dual-task literature (Barra et al. 2006; Berger and Bernard-Demanze 2011; Jamet et al. 2007; Lion et al. 2013; Shumway-Cook et al. 1997) showed that elderly people use the "posture first" principle namely regulating their posture first and therefore dropping the cognitive task. Conversely, young adults preferentially use the "cognitive first" principle (Barra et al. 2006; Berger and Bernard-Demanze 2011; Jamet et al. 2007). This prioritization principle between the activities is also demonstrated in relation to the expertise of participants (Stins et al. 2009). In this way, we suppose that our young participants were all more the "cognitive first" principle due to their age, health, fitness level, and curriculum (master's degree in sport sciences). The calculation activity performance could lead these young participants to control their posture more by using automatic processes rather than by using cognitive ones (Huxhold et al. 2006; Jamet et al. 2007; McNevin and Wulf 2002; Stins et al. 2009). However, these automatic processes to control the participants' posture do not mean that the participants are less in bodily motion (Roerdink et al. 2006; Stins et al. 2009). In the same way, the postural challenge in no vision conditions could make these young participants prioritize postural control over calculation performance therefore calling on cognitive processes for postural regulation. This assumption cannot be verified with our data, because the cognitive performance was not quantified in calculation tasks of the present study. However, this hypothesis is consistent with the findings of Stins et al. (2009) showing a higher amount of postural sway and a more regular sway pattern when postural cognitive processes occur. This strategic choice linked to age in dual task associated with the idea of sensory contacts with the environment while performing suprapostural tasks could well account for our results. Indeed, when a calculation activity is asked for, this focus on performing the calculation requiring no visual contact with the environment could explain the increase in body sway.

Conclusion and perspectives

Classically, it is accepted that postural control and simultaneous cognitive activities (suprapostural tasks) compete for a limited capacity pool of central processing resources. This theoretical vision seems to be insufficient to understand the tasks in which the individual is engaged. It is difficult to believe that a motor activity like maintaining balance can be performed without doing anything else at the same time. The relationship between balance control and

a simultaneous cognitive activity has to be understood as an integrated operation where the fulfillment of each task influences the other: In this context, the individual performs a double task and not a dual task.

This paper indicates that postural performance is dependent on the sensory contacts established with the environment while performing postural and suprapostural tasks. The knowledge of these sensory contacts seems to be fundamental in understanding the postural incidences in the individual. In following studies, the measurement of gaze displacement during the double task should check whether oculomotor activity is used as a visual anchorage in order to limit unbalance or if it is used to induce self-generated body motions in order to facilitate the associated cognitive activity.

Acknowledgments The authors would like to give special thanks to Julie Saubion-Stockwell and Gilles Petitdemange (Université de Lorraine) for their precious advice in the final read-through of this manuscript.

Conflict of interest The authors declare that they have no conflict of interest.

References

Barra J, Bray A, Sahni V, Golding JF, Gresty MA (2006) Increasing cognitive load with increasing balance challenge: recipe for catastrophe. Exp Brain Res 174:734–745

Berger L, Bernard-Demanze L (2011) Age-related effects of a memorizing spatial task in the adults and elderly postural control. Gait Posture 33:300–302

Bernier P-M, Burle B, Vidal F, Hasbroucq T, Blouin J (2009) Direct evidence for cortical suppression of somatosensory afferents during visuomotor adaptation. Cereb Cortex 19:2106–2113

Chong RK, Mills B, Dailey L, Lane E, Smith S, Lee KH (2010) Specific interference between a cognitive task and sensory organization for stance balance control in healthy young adults: visuospatial effects. Neuropsychologia 48:2709–2718

Dault MC, Geurts AC, Mulder TW, Duysens (2001) Postural control and cognitive task performance in healthy participants while balancing on different support-surface configurations. Gait Posture 14:248–255

Goodrich BG (2010) We do, therefore we think: time, motility, and consciousness. Rev Neurosci 21:331–361

Huxhold O, Li SC, Schmiedek F, Lindenberger U (2006) Dual-tasking postural control: aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. Brain Res Bull 14:294–305

Jamet M, Deviterne D, Gauchard GC, Vançon G, Perrin PP (2004) Higher visual dependency increases balance control perturbation during cognitive task fulfillment in elderly people. Neurosci Lett 359:61–64

Jamet M, Deviterne D, Gauchard GC, Vançon G, Perrin PP (2007) Age-related part taken by attentional cognitive processes in standing postural control in a dual-task context. Gait Posture 25:179–184

Kahneman D (1973) Attention and effort. Prentice-Hall, Englewood Cliffs

Kerr B, Condon SM, McDonald LA (1985) Cognitive spatial processing and the regulation of posture. J Exp Psychol Hum Percept Perform 11:617–622

Lion A, Spada RS, Bosser G, Gauchard GC, Anello G, Bosco P, Calabrese S, Iero A, Stella G, Elia M, Perrin PP (2013) "Postural first" principle when balance is challenged in elderly people. Int J Neurosci. doi:10.3109/00207454.2013.864288

Maylor EA, Allison S, Wing AM (2001) Effects of spatial and nonspatial cognitive activity on postural stability. Br J Psychol 92:319

McNevin NH, Wulf G (2002) Attentional focus on supra-postural tasks affects postural control. Hum Mov Sci 21:187–202

Meyer C, Gauchard GC, Deviterne D, Perrin PP (2007) Cognitive task fulfillment may decrease gaze control performances. Physiol Behav 92:861–866

Nashner LM, Peters JF (1990) Dynamic posturography in the diagnosis and management of dizziness and balance disorders. Neurol Clin 8:331–349

Pellecchia GL (2003) Postural sway increases with attentional demands of concurrent cognitive task. Gait Posture 18:29–34

Remaud A, Boyas S, Caron GA, Bilodeau M (2012) Attentional demands associated with postural control depend on task difficulty and visual condition. J Mot Behav 44:329–340

Riley MA, Baker AA, Schmit JM, Weaver E (2005) Effects of visual and auditory short-term memory tasks on the spatiotemporal dynamics and variability of postural sway. J Mot Behav 37:311–324

Roerdink M, De Haart M, Daffertshofer A, Donker SF, Geurts ACH, Beek PJ (2006) Dynamical structure of center-of-pressure trajectories in patients recovering from stroke. Exp Brain Res 174:256–269

Shumway-Cook A, Woollacott M, Kerns KA, Baldwin M (1997) The effects of two types of cognitive tasks on postural stability in older adults with and without a history of falls. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 52:M232–M240

Stins JF, Beek PJ (2012) A critical evaluation of the cognitive penetrability of posture. Exp Aging Res 38:208–219

Stins JF, Michielsen ME, Roerdink M, Beek PJ (2009) Sway regularity reflects attentional involvement in postural control: effects of expertise, vision and cognition. Gait Posture 30:106–109

Stoffregen TA, Smart LJ, Bardy BG, Pagulayan RJ (1999) Postural stabilization of looking. J Exp Psychol Hum Percept Perform 25:1641–1658

Stoffregen TA, Hove P, Bardy BG, Riley M, Bonnet CT (2007) Postural stabilization of perceptual but not cognitive performance. J Mot Behav 39:126–138

Stoffregen TA, Villard S, Chen F-C, Yu Y (2011) Standing posture on land and at sea. Ecol Psychol 23:19–36

Teasdale N, Bard C, LaRue J, Fleury M (1993) On the cognitive penetrability of posture control. Exp Aging Res 19:1–13

Teel EF, Register-Mihalik JK, Troy Blackburn J, Guskiewicz KM (2013) Balance and cognitive performance during a dual-task: preliminary implications for use in concussion assessment. J Sci Med Sport 16:190–194

Woollacott M, Shumway-Cook A (2002) Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. Gait Posture 16:1–14

Yu Y, Yank JR, Katsumata Y, Villard S, Kennedy RS, Stoffregen TA (2010) Visual vigilance performance and standing posture at sea. Aviat Space Environ Med 81:375–382

DISABILITY AND REHABILITATION, 2018
https://doi.org/10.1080/09638288.2018.1430178

Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

CASE REPORT

Check for updates

Lasting improvements in left spatial neglect following a protocol combining neck-muscle vibration and voluntary arm movements: a case-study

Hadrien Ceyte[a,b], Jean-Marie Beis[a,b,c], Mathilde Simon[a,b], Ariane Rémy[c], René Anxionnat[d], Jean Paysant[a,b,c] and Sébastien Caudron[a,b]

[a]Development, Adaptation and Disability, EA 3450 DevAH, Université de Lorraine, Vandoeuvre-lès-Nancy, France; [b]Faculty of Sport Sciences, UFR-STAPS, Université de Lorraine, Villers-lès-Nancy, France; [c]Centre de Médecine Physique et de Réadaptation, Institut Régional de Médecine Physique et de Réadaptation de Nancy, Lay-Saint-Christophe, France; [d]Centre Hospitalier Universitaire, Service de Neuroradiologie Diagnostique et Thérapeutique, Nancy, France

ABSTRACT

Purpose: Beyond promising experimental results of sensory passive stimulations in spatial cognition disorders, some questions still remain regarding interests of these stimulations during the daily activities in neglect. The aim of this case-study was to evaluate the effects of a protocol combining left neck-muscle vibration with daily simple movements, like arm pointing movements, on perceptivo-locomotor deficits in a left spatial neglect patient.

Materials and methods: Two neuropsychological tests, one subjective straight-ahead pointing (SSA) test and one wheelchair navigation test were carried out before the combination protocol, immediately after, 1 h later, and 24 h later.

Results: The results showed a reduction of neglect spatial bias following the protocol lasted at least 24 h in all the tests (except for the SSA test due to the unavailability of the pointing device).

Conclusions: The range of improvements in the symptoms of spatial neglect suggests that this therapeutic intervention based on the combining neck-muscle vibration to voluntary arm movements could be a useful treatment for this condition. One of future investigation axes should be the development of a vibratory tool in order to facilitate the combining this proprioceptive stimulation to daily activities.

ARTICLE HISTORY
Received 7 September 2017
Revised 15 January 2018
Accepted 16 January 2018

KEYWORDS
Neglect; combination protocol; neck-muscle vibration; voluntary arm movement; egocentred perception; *Bottom–Up* approach

➤ IMPLICATIONS FOR REHABILITATION

- Spatial neglect is a perplexing neuropsychological syndrome, affecting different domains of spatial cognition and impacting also the functional domain.
- The treatments based on neck-muscle vibration are simple to use, non-invasive and requires none active participation of patient.
- A therapeutic intervention based on the combining left neck-muscle vibration and voluntary arm movements in a left-spatial-neglect show a lasting reduction of symptoms especially in daily activities.
- The combination of treatments based on the *Bottom–Up* approach opens innovative perspectives in rehabilitation.

Introduction

Unilateral spatial neglect (USN) is a perplexing neuropsychological syndrome, affecting different domains of spatial cognition and impacting also the functional domain [1]. More specifically, these patients fail to detect (and/or respond to) stimuli located contralaterally to their hemispheric lesion. These alterations in space representation [2–4] and the associated behavioural symptoms [5,6] has been well described in the literature. USN is not simply the result of dysfunctions in the capture or transmission of sensory information within the cortex, the lesioned cerebral network appears to affect the whole system of spatial coordination relative to the patient's body [7]. Studies investigating the subjective straight ahead (SSA) in patients with left spatial neglect have shown that it is deviated to the right [8–11]. This syndrome affects many functions and can contribute to long-term disability.

Different treatments have been used for reducing the effects of this impairment [12]. Classically, they can be categorised into two types of approach [13]: *Top–Down* approaches based on the consciousness of his/her deficit by the patient, such as visual cueing, visual scanning training, etc. (acting directly on the cognitive representation) and, *Bottom–Up* approaches based on sensory manipulations, such as prismatic adaptation or sensory passive stimulations, such as optokinetic, vestibular or proprioceptive (acting directly on the sensory or sensorimotor representation). Among this last approach, the sensory stimulation interventions seem very attractive due to the weak requirement of patient's cooperation, which is an important therapeutic advantage especially in the early phases of rehabilitation [14]. Stimulation proprioceptive by mechanical vibration, non-invasive and simple to use, shows promising results reorienting the patient's attention when applied on the contralesional side [15,16] and/or remapping the egocentric space [14,17–21]. This spatial remapping may occur when the vibration (80–100 Hz) is applied on a muscle belly; it generates a response of the muscle spindles and the primary afferent fibbers that is interpreted centrally as a change in the

CONTACT Hadrien Ceyte hadrien.ceyte @univ-lorraine.fr Development, Adaptation and Disability, EA 350 DevAH, Université de Lorraine, 30 rue du Jardin Botanique, 54505 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

© 2018 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

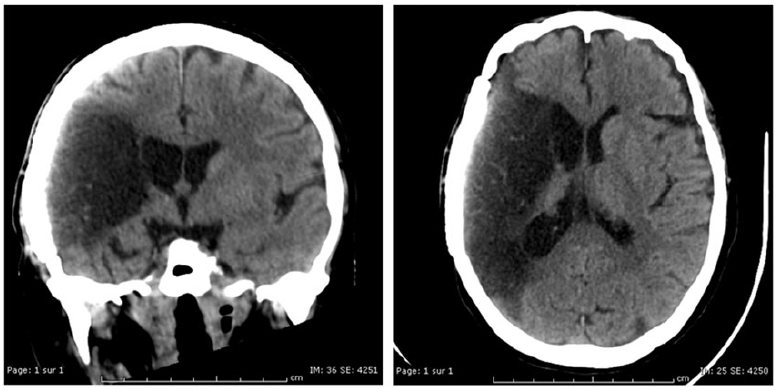


Figure 1. Frontal and axial slices from CT scan: right frontal-parietal and right superior temporal hypodensity due to ischemic stroke in the superficial and deep territories of the right middle cerebral artery associated with atrophic dilatation of the lateral ventricle. The cranioplasty can also be seen.

muscle's length [22]. This vibratory stimulation of left posterior neck-muscle causes a proprioceptive illusion that affects the whole egocentric coordinate system, producing a deviation of the SSA towards the vibrated side during the stimulation [18,23,24]. In general, the patient is unaware of the perceptual and behavioural changes induced [19,23,25,26]. Furthermore, several studies have suggested that stronger and more durable improvements might result from combining different treatments when their own effects were convergent [13,26]. Neck-muscle vibration technique can be easily combined with other therapeutic techniques [27–30]. Schindler et al. [20] have combined the vibratory technique to a visual exploring training in left spatial neglect patients. They reported lasting reduction in the symptoms of neglect and concomitant improvements in activities of daily living but only from questionnaire responses related daily life problems. These findings give rise to questions on the effects of this vibratory stimulation combined to daily simple movements, such as voluntary arm movements (often called "limb activation" in the literature) in the left spatial neglect patient.

This case-study aimed to respond it, by determining (1) the effects of a protocol combining left posterior neck-muscle vibration with voluntary arm movements in the peri-personal space, and (2) their durations on the disorders of left spatial neglect in line-cancellation and free drawing tests, an egocentred perception test in the peri-personal space, and a wheelchair navigation test, an essential activity of daily living. We hypothesised that this combination protocol would cause a leftward deviation of the SSA, that the effect would generalise to wheelchair navigation performance and that these effects would be maintained over time.

Material and methods

Left spatial neglect patient

A right-handed female patient at 53-years-old was admitted to the Neurology department for left hemiplegia with left facial paralysis and right-wards deviation of her gaze (NIHSS score 17). An MRI carried out at H3 showed ischemia in the territory of the right middle cerebral artery with occlusion of the right M1. Intravenous thrombolysis was carried out at H4 followed by thrombectomy at H7 and decompressive craniectomy at H24 (failure of reperfusion with migration of the clot into the carotid siphon and malignant middle cerebral artery infarct, Figure 1). The neurological examination 18 weeks later showed left-sided hemiplegia (Scandinavia Stroke Scale score 31 [31]), loss of sensation on the left, and left facial paralysis. The visual field was normal. It was tested by confrontation assessment, i.e., it was performed by a physician (AR) whose has asked patient to detect his index in different extreme spatial position of her visual field. The neuropsychological examination (French test battery for neglect – "Batterie d'évaluation de la négligence spatiale" BEN [32]) and the functional independence measure (FIM [33]) were carried out in the neurorehabilitation department 2 d after the neurological evaluation. The BEN showed anosognosia with left spatial neglect as illustrated in Table 1. The patient could use a manual wheelchair independently (propelled with her right foot and right hand; FIM motor score: 48/91). She had a wedge-shaped cushion to promote trunk extension and facilitate foot propulsion.

The study was carried out in agreement with legal international regulations (Declaration of Helsinki, 1964) and was granted approval from the local ethics committee.

Table 1. Patient scores (cut off).

Tests variables	Patient score
Anosognosia	
For hemiplegia	0/3
For hemianopia	NA
Gaze and eye deviation	3/3
Personal neglect	
Eyes open	0/3
Eyes closed	0/3
Bells test	
Omissions, total	17 (>6)
Omissions, left minus right	6 (>2)
Starting point	7 (>5)
Figure copying	2 (>0)
Clock drawing	1 (>0)
Bisection (mm)	
20 cm lines	25 (>6.5)
5 cm lines	5 (>2.0)
Text reading	
Omissions (total number)	59 (>0)
Omissions (left minus right)	9 (>0)
Writing (left margin, cm)	3.5 (>7.7)

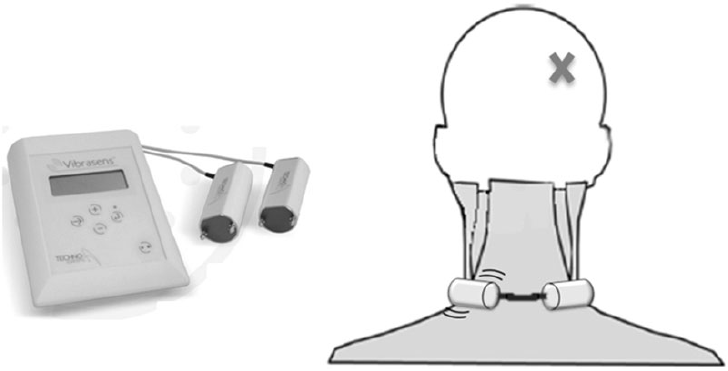


Figure 2. On the left: vibratory stimulators (VB115; Vibrasens®, Technoconcept). On the right: location of vibratory stimulators on the superior fibres of the trapezius muscle bilaterally. Only the left vibrator was activated (100 Hz–300 μm) during the stimulation protocol.

Experimental design

Combination protocol

Vibratory stimulators (VB115; Vibrasens®, Technoconcept, Pitaugier, France) were fixed to the superior fibres of the trapezius muscle bilaterally, as illustrated in Figure 2. Participants sat with their head resting comfortably on a chin rest that maintained the vertical alignment of the head and trunk.

The combination protocol involved performing self-produced pointing movements during left neck-muscle vibration, in complete darkness.

Participants were asked to point to one of five lit target positions, randomly chosen by the experimenter either 10 or 20° at right or left, or straight ahead (0°). A diode was placed on the index finger so the participant could see his/her finger during the pointing path. Five blocks of 50 movements were carried out. Only the left vibrator was activated (100 Hz–300 μm) 30 s before the first trial and immediately stopped after the last trial of the block. Following a 1 min rest, the vibrator was reactivated and the first target of the next block was lit 30 s later. The whole protocol lasted 15 min.

Evaluations

Neuropsychological tests

Two neuropsychological tests were carried using a sheet of paper placed in front of the patient's head: (1) Albert's line-cancellation test (clinical assessment of spatial neglect), in which patients have to cross out short lines drawn in different orientations all over a sheet of A4 paper [34] and (2) a spontaneous daisy drawing test, i.e., without model to copy, used in experimental assessment [35,36].

Subjective straight ahead (SSA) test

The patient was asked to point straight in front with their right index finger as quickly as possible following the experimenter's instruction, with their eyes closed. The starting position was with the index on the base of the chin rest, the final position was held until the experimenter's instruction. Twenty trials were undergone.

Wheelchair navigation test

A wheelchair navigation test was also carried out. This involved propelling a wheelchair around a 53.14 m long and 2.5 m wide marked course (that was well known to the patient), from the occupational therapy department (A) to the speech therapy department (B) as shown in Figure 3. The patient was instructed to go as quickly as possible, using her usual mode of hand and foot propulsion, avoiding collisions with the sides of the course or any object/person met during the course. The course was carried out once in each direction (AB involved two right-hand bends and one left-hand bend and BA the opposite). A trial run was carried out prior to the test.

The patient underwent all the tests at 19–20 weeks post stroke: before the combination protocol (pre), immediately after ($post_0$), 1 h later ($post_{1\ h}$), and 24 h later ($post_{24\ h}$, except for the SSA test due to the unavailability of the pointing device).

Data reduction

The Albert's line-cancellation test was quantified by the performance time and a score which depended on the number of lines crossed-out (a score of 36 indicates no neglect [34]). The patient's exploration strategy was evaluated qualitatively. For the daisy drawing test, the performance time was recorded as well as the number of petals drawn and their position relative to the vertical axis of the flower. These variables were used to calculate a laterality index (LI [35]). The position of the daisy on the paper and the alignment of the stigma with the stem were also evaluated qualitatively.

To evaluate SSA, the perception error, corresponding to the visual angle between the subjective SSA (localisation pointed to) and the objective SSA (target localisation), was measured for each trial. Leftward errors were assigned a negative value and rightward errors a positive value. The mean of the errors (and their standard deviation) was calculated for each evaluation date.

Wheelchair navigation performance was quantified by the time taken to finish the course (seconds). Navigation ability was also evaluated qualitatively (crashes, avoidance of obstacles, etc.).

Results

Neuropsychological tests

Albert's line-cancellation test

The patient had a high score in pre (Figure 4, Panel A1), with only two lines missed on the bottom left of the page. The performance

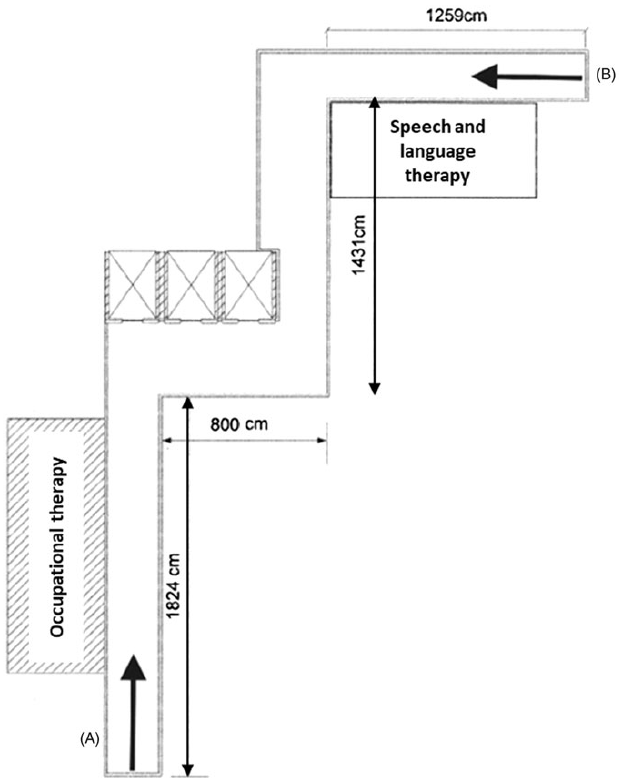


Figure 3. Wheelchair navigation course from the occupational therapy department (A) to the speech and language therapy department (B).

time was 1 min 13.6 s (Figure 4, Panel A2). The score dropped dramatically at $post_0$, with a performance time of only 15.8 s. The score was highest in $post_{1\ h}$, with a relatively short performance time (41.3 s), and remained high at $post_{24\ h}$ despite a very short performance time (29.7 s).

Daisy drawing test

In pre, the LI was high (Figure 4, Panel B1), the performance time was 46.3 s (Figure 4, Panel B2) and the drawing was in the centre of the sheet of paper, slightly offset to the left (Figure 4, Panel B3). The daisy drawing was vertical, however, there were no petals drawn on the left side of the stigma. In $post_0$, the LI decreased, the performance time was 33.1 s and the drawing was slightly offset to the right. In $post_{1\ h}$, the LI was high, the performance time was 40.4 s and the drawing was situated on the upper left part of the sheet of paper and inclined towards the left. In $post_{24\ h}$, LI increased, the performance time was 33.4 s and the daisy was relatively vertical and positioned on the left side of the sheet of paper.

Subjective straight-ahead (SSA) test

In pre, the SSA was strongly offset to the right (+13.0° (±1.7)). This rightward deviation was clearly less marked in $post_0$ (+6.2° (±0.9)) and in $post_{1\ h}$ (+4.0° (±0.8)). The protocol effect on the SSA perception seemed lasting for at least 1 h, as illustrated in Figure 5.

Wheelchair navigation test

The patient spontaneously turned her eyes and head to the right in pre (no crash but attention was paid to stimuli on the right all along the course). The performance time of the BA course was 23.3% longer than AB. During the post-tests, the performance time decreased and improvements in steering were observed (avoidance of obstacles on the left, head and eyes less deviated to the right, i.e., the patient's attention was progressively deviated towards the left, Figure 6). From the $post_0$ test, the performance time for BA was equivalent to AB despite a higher number of left-hand bend.

Discussion

The results confirmed our hypothesis that left posterior neck-muscle vibration associated to voluntary arm pointing in the peri-personal space reduced the symptoms of left spatial neglect as measured by neuropsychological, perceptual, and wheelchair navigation tests, for at least 24 h. The proprioceptive illusion that

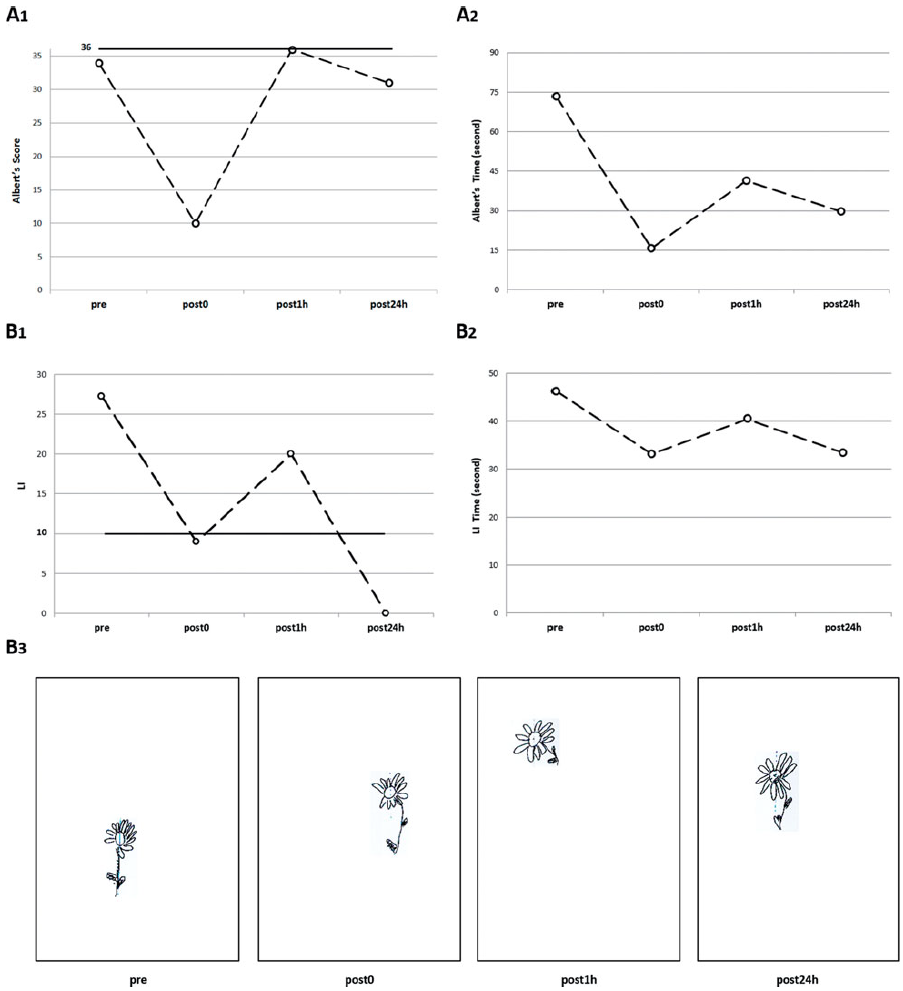


Figure 4. Panel (A1) score on Albert's line-cancellation test before the combination protocol (pre), immediately after ($post_0$), 1 h later ($post_{1\,h}$) and 24 h later ($post_{24\,h}$). The maximum score of 36 indicates no neglect (solid black line). Panel (A2) performance time (second) for the Albert's line-cancellation test at each evaluation date. Panel (B1) laterality index (LI) at each evaluation date. LI $\geq$10 is pathological (above the black line). Panel (B2) performance time (second) for the daisy drawing test at each evaluation date. Panel (B3) daisy drawing at each evaluation date.

changes the perception of the lateral localisation of the SSA [17,23,37] may be the origin of the reducing of the initial deficits in the left spatial neglect patient.

Egocentred & allocentred improvements

This deviation of the egocentre to the left improved not only egocentred perception in the peri- and extra-personal spaces but also allocentred perception, thus corroborating the model of reference frame interaction proposed by Wade [38]. Indeed, the improvement in the performance time of the Albert's line-cancellation test as well as the strategy used, along with the more central position of the daisy on the page showed a clear improvement in egocentred perception in the peri-personal space. Improvements in the perception of extra-personal space were demonstrated by the decrease in the performance time for both courses (AB and BA), and by less stereotyped strategies of navigation performance (avoidance on the left). As well as the generalisation of the reduction of neglect symptoms to locomotion, there was also an improvement in allocentred perception in the peri-personal space. This was demonstrated by the normalisation of the daisy drawing over time. Why these effects lasted for at least 24 h remains to be

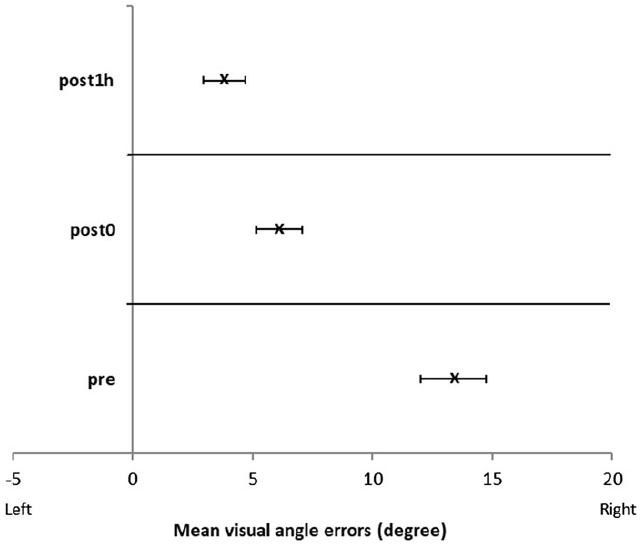


Figure 5. Mean visual angle errors (degree) and standard-deviations during the subjective straight-ahead (SSA) test for the patient before the combination protocol (pre), immediately after ($post_0$), and 1 h later ($post_{1\,h}$).

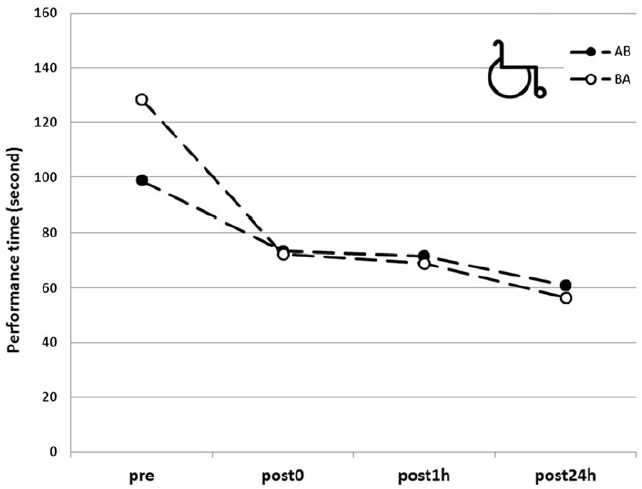


Figure 6. Performance time (second) for the wheelchair navigation test from the occupational therapy department to the speech and language therapy department (AB, continuous line) and the opposite direction (BA, dotted line) before the combination protocol (pre), immediately after ($post_0$), 1 h later ($post_{1\,h}$), and 24 h later ($post_{24\,h}$).

elucidated. Kamada et al. [21] have been already shown some lasted improvements of USN disorders (on the FIM and the Behavioural Inattention Test) after 5 min neck-muscle vibration before 40 min occupational therapy for 5 d a week during two weeks. These authors suggested that these improvements might be caused (1) by a modification of the direction of attention in the left spatial neglect patient and (2) by the activation of the somatosensory areas contributing to the egocentred representation of space, although these suggestions have not been checked in their study. None explicative assumption about the duration of these effects was proposed. Such improvements are classically discussed in the literature as resulting in neuroplastic changes.

Further studies including functional imaging will be necessary to check the neural mechanisms behind these changes and their duration.

No after-effect but post-effect

In contrast with suggestions by Saevarsson et al. [30], the effects of neck-vibration do not appear to be limited to the personal space. This calls into question the notion of the specificity of effects induced by different *Bottom–Up* protocols. Although the underlying neural processes of neck-muscle vibration and prisms appear to be quite different [25,26,30] – neck-muscle vibration changes the position of the representation of the egocentre while adaptation to prisms reduces the impairment of visuospatial representations – comparison of our results with the literature suggests that the perceptual-behavioural effects induced are relatively similar [39,40]. However, the origin of these similar apparently effects seems fundamentally different. Indeed, the prism adaptation induces an after-effect in the opposite direction of the visual deviation [35,40] although the proprioceptive cervical stimulation by vibration induces a post-effect in the same direction that one obtained during the vibration [18,23].

Possible effects of a therapeutic intervention based on neck-muscle vibration

Several interrelated hypotheses on the effects of a treatment based on neck-muscle vibration can be proposed in an attempt to understand the functional non-specificity between these *Bottom–Up* protocols. One of them takes account into the reduction of ipsilesional deviation of visual attention induced by neck-muscle vibration which led to the duration of the improvement in visuo-spatial representation [41]. Other hypotheses are based on side-effects of these proprioceptive stimulations. Previously, Barra et al. [42] showed that patients with lesions of the right fronto-parietal cortex had severe impairment of the perceived orientation of the longitudinal-body-axis. Ceyte et al. [23] showed that neck-muscle vibration changes too perceived body orientation in healthy participants. Therefore, we suggest that this modification of perceived body orientation in the left spatial neglect patient induces an improvement of the alignment of the axial segments with the gravity direction. This postural repositioning may be the origin of the improvement in peri- and extra-personal space exploration inpatient [43,44]. Although this "postural" hypothesis has not tested in this case-study, we observed a very clear improvement in the patient's sitting posture across the evaluations. In addition, Leplaideur et al. [19] showed that neck-muscle vibration reduces foot-pressure asymmetry in these patients which are consistent with our "postural" assumption. We plan to further this research by studying the potential effects of left neck-muscle vibration on egocentred orientation and balance function.

Neck-muscle vibration & limb activation (voluntary arm movements)

A last hypothesis concerns the type of protocol used. Classically, a therapeutic intervention based on the vibratory technique corresponds to a few minutes of controlesional posterior neck-muscle vibration realised under normal illumination during which none significant motor activity has performed by the patient [14,30,45]. However, several studies have speculated that stronger and more durable effects might results from combining different treatments when their own effects were convergent [13,26,29]. In our case-study, the neck-muscle vibration was combined with limb activation by voluntary arm pointing towards visual targets located in front of the patient. Previous studies based on limb activation treatment showed a neglect reduction of the left side of peri- and extra-personal space [16,46–50], but we cannot directly transfer these results to ours. Indeed, although the reaching of visual targets induces an attention re-orienting in the left spatial neglect patient [48,50], they were performed in these previous studies with the contralesional hand, while it was ipsilesional in our protocol. The limb activation of the neglected hemi-body may be not an optimal therapeutic method for this patient population. Because, they often affected by a strong left hemiplegia and, the limb activation of the neglected hemi-body, if it is possible, always requires a strong additional attention demand. The advantage of our combination protocol may be directly to associate unaware perceptual changes of egocentred frame of reference induced by the vibratory stimulation to limb activation of the no-neglected hemi-body in the peri-personal space of the patient. We suggest that the updating of matching between the proprioceptive cues from the arm and the visual cues from the location to reach might be optimised by the effects of neck-muscle vibration. The maintenance of this matching and the updating of the underlying spatial representations could be facilitated by the awareness of behavioural successes easily objectified by the reaching of targets in the peri-personal space. These findings raise clearly the question of the use of the vibratory tool during short and repeated rehabilitation sessions. This innovative proposal of therapeutic care should be tested in a study designed on ecological contexts, such as occupational therapy sessions.

Limitations of the study and perspectives

This case-study can be considered like a feasibility and/or a pilot study. A first limitation could be formulated about the evaluation of the visual field. Indeed, this evaluation by confrontation assessment in the USN patient has some limitations. Sometimes, it may be difficult to determine with certainty whether a concomitant visual cut is present or not. A USN patient affected by hemianopia may show worse performance in some visuomotor tasks suggesting that field defects can interact with neglect [51,52]. Furthermore, ipsilesional deviation of SSA can be absent or reversed in these patients [53].

In addition, some design limitations should be also highlighted. Indeed, other patients' inclusion will be requiring (1) to confirm the promising outcomes of the vibratory tool's use at level of neck-muscle and (2) to support the integration this tool during the occupational therapy sessions. Likewise, it may be interesting to compare these effects to control groups including age-paired healthy participants or better paired left spatial neglect patients only receiving their conventional therapy. Nevertheless, the constitution of a homogeneous left spatial neglects' group is very complex due to the heterogeneity of lesional affections in this population and consequently their strong perceptual and behavioural variability.

At last, our combination protocol doesn't allow us to affirm that these promising outcomes in the USN patient come from the interaction between the controlesional neck-muscle vibration and the ipsilesional limb activation and not from the effect of one alone of this therapeutics. A further study seems to require to check it.

Conclusion

The combined effects of the vibration method alone on ocular exploration space and egocentred perception (lateral localisation

and orientation), and the effects relating to the active segmental alignment and its association to voluntary arm movements could underlie the perceptual-behavioural improvements in the symptoms of left spatial neglect found in this study, in the different frames of reference and spaces. Non-invasive and simple to use, these promising findings for the rehabilitation of spatial cognition disorders argue in favour of the ecological use of the vibratory tool during the rehabilitation sessions.

Acknowledgements

We are sincerely grateful to J. Robertson for the translation to English and to F. Clanché, R. Weinland, and E. Bernard for their helpful technical assistance. We would like to give special thanks to Ph. P. Perrin and C. Cian. Fundi

Disclosure statement

The authors declare that they have no conflict of interest.

Funding

This work was supported by and received a grant from the Région Lorraine and by the Université de Lorraine, France (Contrat d'objectifs avec les Etablissements d'Enseignement Supérieur et de Recherche Lorrains – Exercice 2015).

ORCID

Hadrien Ceyte http://orcid.org/0000-0003-1746-5026

References

[1] Verdon V, Schwartz S, Lovblad K-O, et al. Neuroanatomy of hemispatial neglect and its functional components: a study using voxel-based lesion-symptom mapping. Brain. 2009;133:880–894.
[2] Bisiach E, Luzzatti C. Unilateral neglect of representational space. Cortex. 1978;14:129–133.
[3] Bisiach E, Perani D, Vallar G, et al. Unilateral neglect: personal and extra-personal. Neuropsychologia. 1986;24: 759–767.
[4] Semmes J, Weinstein S, Ghent G, et al. Correlates of impaired orientation in personal and extrapersonal space. Brain. 1963;86:747–772.
[5] Heilman KM, Bowers D, Coslett HB, et al. Directional hypokinesia: prolonged reaction times for leftward movements in patients with right hemisphere lesions and neglect. Neurology. 1985;35:855–859.
[6] Mattingley JB, Bradshaw JL, Phillips JG. Impairments of movement initiation and execution in unilateral neglect. Directional hypokinesia and bradykinesia. Brain. 1992;115: 1849–1874.
[7] Karnath H-O, Dick H, Konczak J. Kinematics of goal-directed arm movements in neglect: control of hand in space. Neuropsychologia. 1997;35:435–444.
[8] Chokron S, Imbert M. Variations of the egocentric reference among normal subjects and a patient with unilateral neglect. Neuropsychologia. 1995;33:703–711.
[9] Heilman KM, Bowers D, Watson RT. Performance On hemispatial pointing task by patients with neglect syndrome. Neurology. 1983;33:661.
[10] Richard C, Rousseaux M, Saj A, et al. Straight ahead in spatial neglect: evidence that space is shifted, not rotated. Neurology. 2004;63:2136–2138.
[11] Saj A, Honoré J, Richard C, et al. Where is the "straight ahead" in spatial neglect? Neurology. 2006;67:1500–1503.
[12] Chen P, Pitteri M, Gillen G, et al. Ask the experts how to treat individuals with spatial neglect: a survey study. Disabil Rehabil. 2017;11:1–15.
[13] Luauté J, Halligan P, Rode G, et al. Visuo-spatial neglect: a systematic review of current interventions and their effectiveness. Neurosci Biobehav Rev. 2006;30:961–982.
[14] Johannsen L, Ackermann H, Karnath H-O. Lasting amelioration of spatial neglect by treatment with neck muscle vibration even without concurrent training. J Rehabil Med. 2003;35:249–253.
[15] Richard C, Rousseaux M, Honoré J. Plantar stimulation can affect subjective straight-ahead in neglect patients. Neurosci Lett. 2001;301:64–68.
[16] Pitteri M, Arcara G, Passarini L, et al. Is two better than one? Limb activation treatment combined with contralesional arm vibration to ameliorate signs of left neglect. Front Hum Neurosci. 2013;7:460.
[17] Karnath H-O, Christ K, Hartje W. Decrease of contralateral neglect by neck muscle vibration and spatial orientation of trunk midline. Brain. 1993;116:383–396.
[18] Karnath H-O, Reich E, Rorden C, et al. The perception of body orientation after neck-proprioceptive stimulation. Effects of time and of visual cueing. Exp Brain Res. 2002;143:350–358.
[19] Leplaideur S, Leblong E, Jamal K, et al. Short-term effect of neck muscle vibration on postural disturbances in stroke patients. Exp Brain Res. 2016;10:1–9.
[20] Schindler I, Kerkhoff G, Karnath H-O, et al. Neck muscle vibration induces lasting recovery in spatial neglect. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 2002;73:412–419.
[21] Kamada K, Shimodozono M, Hamada H, et al. Effects of 5 minutes of neck-muscle vibration immediately before occupational therapy on unilateral spatial neglect. Disabil Rehabil. 2011;33:2322–2328.
[22] Goodwin GM, McCloskey DI, Matthews PBC. The contribution of muscle afferents to kinaesthesia shown by vibration induced illusions of movement and by the effects of paralysing joint afferents. Brain. 1972;95:705–748.
[23] Ceyte H, Cian C, Nougier V, et al. Effects of neck muscles vibration on the perception of the head and trunk midline position. Exp Brain Res. 2006;170:136–140.
[24] Jeannerod M, Biguer B. The directional coding of reaching movements. A visuomotor conception of spatial neglect. In: Jeannerod M, editor. Advances in Psychology. Vol. 45. Neurophysiological and Neuropsychological Aspects of Spatial Neglect. Amsterdam (Netherlands): North-Holland; 1987. p. 87–113.
[25] Guinet M, Michel C. Prism adaptation and neck muscle vibration in healthy individuals: are two methods better than one? Neuroscience. 2013;254:443–451.
[26] Kerkhoff G. Modulation and rehabilitation of spatial neglect by sensory stimulation. In: Progress in Brain Research. Vol. 142. Neural control of space coding and action production. Amsterdam (Netherlands): Elsevier; 2003. p. 257–271.

[27] Karnath H-O. Subjective body orientation in neglect and the interactive contribution of neck muscle proprioception and vestibular stimulation. Brain. 1994;117:1001–1012.
[28] Karnath H-O, Sievering D, Fetter M. The interactive contribution of neck muscle proprioception and vestibular stimulation to subjective "straight ahead orientation in man". Exp Brain Res. 1994;101:140–146.
[29] Schindler I, Kerkhoff G. Convergent and divergent effects of neck proprioceptive and visual motion stimulation on visual space processing in neglect. Neuropsychologia. 2004;42: 1149–1155.
[30] Saevarsson S, Kristjánsson Á, Halsband U. Strength in numbers: combining neck vibration and prism adaptation produces additive therapeutic effects in unilateral neglect. Neuropsychol Rehabil. 2010;20:704–724.
[31] Lindenstrøm E, Boysen G, Waage Christiansen L, et al. Reliability of Scandinavian neurological stroke scale. Cerebrovasc Dis. 1991;1:103–107.
[32] Azouvi P, Samuel C, Louis-Dreyfus A, et al. Sensitivity of clinical and behavioural tests of spatial neglect after right hemisphere stroke. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 2002; 73:160–166.
[33] Granger CV, Hamilton BB, Linacre JM, et al. Performance profiles of the functional independence measure. Am J Phys Med Rehabil Assoc Acad Physiatr. 1993;72:84–89.
[34] Albert ML. A simple test of visual neglect. Neurology. 1973;23:658–664.
[35] Rode G, Klos T, Courtois-Jacquin S, et al. Neglect and prism adaptation: a new therapeutic tool for spatial cognition disorders. Restor Neurol Neurosci. 2006;24:347–356.
[36] Mancini F, Bricolo E, Mattioli FC, et al. Visuo-haptic interactions in unilateral spatial neglect: the cross modal judd illusion. Front Psychol. 2011;2:341.
[37] Biguer B, Donaldson IML, Hein A, et al. Neck muscle vibration modifies the representation of visual motion and direction in man. Brain. 1988;111:1405–1424.
[38] Wade NJ. The representation of orientation in vision. Aust J Psychol. 1992;44:139–145.
[39] Jacquin S, Luauté J, Ling L, et al. Amélioration de la conduite en fauteuil roulant après adaptation prismatique chez le patient héminégligent. In: Annales de Réadaptation et de Médecine Physique. Vol. 41. Amsterdam (Netherlands): Elsevier Masson; 1998. p. 320.
[40] Rossetti Y, Rode G, Pisella L, et al. Prism adaptation to a rightward optical deviation rehabilitates left hemispatial neglect. Nature. 1998;395:166–169.
[41] Karnath H-O, Fetter M, Dichgans J. Ocular exploration of space as a function of neck proprioceptive and vestibular input-observations in normal subjects and patients with spatial neglect after parietal lesions. Exp Brain Res. 1996;109:333–342.
[42] Barra J, Chauvineau V, Ohlmann T, et al. Perception of longitudinal body axis in patients with stroke: a pilot study. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 2007;78:43–48.
[43] Massion J. Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. Prog Neurobiol. 1992;38:35–56.
[44] Massion J. Postural control system. Curr Opin Neurobiol. 1994;4:877–887.
[45] Ferber S, Bahlo S, Ackermann H, et al. Vibration der nackenmuskulatur als therapie bei neglectsymptomatik. Neurol Rehabil. 1998;4:21–24.
[46] Robertson IH, Hogg K, McMillan TM. Rehabilitation of unilateral neglect: improving function by contralesional limb activation. Neuropsychol Rehabil. 1998;8:19–29.
[47] Robertson IH, North NT. One hand is better than two: motor extinction of left hand advantage in unilateral neglect. Neuropsychologia. 1994;32:1–11.
[48] Robertson IH, North NT, Geggie C. Spatiomotor cueing in unilateral left neglect: three case studies of its therapeutic effects. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 1992;55: 799–805.
[49] Robertson IH, North N. Active and passive activation of left limbs: influence on visual and sensory neglect. Neuropsychologia. 1993;31:293–300.
[50] Samuel C, Louis-Dreyfus A, Kaschel R, et al. Rehabilitation of very severe unilateral neglect by visuo-spatio-motor cueing: two single case studies. Neuropsychol Rehabil. 2000;10:385–399.
[51] Ferber S, Karnath H-O. Size perception in hemianopia and neglect. Brain. 2001;124:527–536.
[52] Doricchi F, Angelelli P. Misrepresentation of horizontal space in left unilateral neglect: role of hemianopia. Neurology. 1999;52:1845.
[53] Ferber S, Karnath H-O. Parietal and occipital lobe contributions to perception of straight ahead orientation. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 1999;67:572–578.

Ceyte *et al. BMC Pediatrics* (2018) 18:264
https://doi.org/10.1186/s12887-018-1229-1

BMC Pediatrics

STUDY PROTOCOL Open Access

Mobility may impact attention abilities in healthy term or prematurely born children at 7-years of age: protocol for an intervention controlled trial

Hadrien Ceyte[1*], Joëlle Rosenbaum[2], Isabelle Hamon[1,2], Maëlle Wirth[1,2], Sébastien Caudron[1] and Jean-Michel Hascoët[1,2]

Abstract

Background: Seven years of age is a milestone for learning basic knowledge that is strongly related to attention abilities such as Alerting, Orienting, and Inhibition function, allowing for appropriate adaptation to primary school. These attention abilities are also influenced by gestational age at birth in a complex manner, indicating an area of weakness in prematurely born children. Furthermore, recent studies suggest that allowing children to have freedom of movement during learning may improve their attention level and school performance. The purpose of the present study is to determine the influence of mobility on the attentional components that may impact learning abilities in children aged 7-years who were born at term and prematurely.

Methods: This prospective, randomized, controlled trial will focus on psychometric testing of attentional abilities assessed with the Attention Network Test for Child (Child ANT) and involves a mixed measurement design. Forty-eight children aged 7-years, half of whom were premature at birth and in their expected grade without learning difficulties will be included after parental consent. They will be equipped with a head-mounted display in which the Child ANT will be presented. The association of different flankers and pre-cues will allow the measurement of the development level of Alerting, Orienting, and Inhibition function. The task will be composed of one experimental block of trials randomly performed per posture: seated, standing, or free.

Discussion: This study will assess the contribution of mobility in specific attentional contexts that are usually present during fundamental learning in children. New pedagogical formats of teaching could consider these findings, and new pedagogical tools enabling free spontaneous child mobility might be designed. Moreover, a small percentage of children integrating into the educational system are born prematurely. These children, often considered immature and hyperactive, could benefit from educational innovations that enhance their attention abilities, thereby improving their adaptation to primary school.

Trial registration: This trial is registered at ClinicalTrials.gov (NCT03125447).

Keywords: Premature infant, Children, Attention, Alerting, Orienting, Inhibition function, Mobility

* Correspondence: hadrien.ceyte@univ-lorraine.fr
[1]DevAH, Université de Lorraine, F-54000 Nancy, France
Full list of author information is available at the end of the article

© The Author(s). 2018 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated.

Background

Five to 7-years of age is a milestone in children's development. At this age, they begin school and acquire the basics of fundamental learning such as reading, writing, and calculating. In a general way, these lessons are strongly related to attentional abilities and executive functions such as working memory and inhibitory control in children [1–8].

Since 1990, Posner's work highlighted three different attentional networks that are thought to relate to the activation of different brain areas [9]. These cerebral networks are related to three components of attention: sustained attention or alerting (maintaining vigilance abilities), selective attention or orienting (ability to shift the attention), and inhibition function (ability to focus on one feature of a stimulus and ignore other interfering features). Fan et al. [10] developed an integrated Attention Network Test (ANT) based on a flanker task [11] in order to independently measure the efficiency of these three networks. This test was validated in adults, where alerting was induced by warning signals given prior to a target event, orienting facilitated by explicit spatial cues prior to a target event, and inhibition function evaluated by introducing incongruent flankers around the target. The adaptation of this test for children born at term at the ages of 4 to 10-years [12] showed an independence in the development of these three attentional systems. Alerting and orienting components may mature at up to 6-years of age then stabilize, while the inhibition function may improve up to the age of 7-years then remain stable after this age [12].

Little research has assessed the three attention components in children born prematurely. Studies suggest that prematurity may induce delays in maturation for the three attentional networks throughout the preschool years rather than lead to a persistent impairment [13, 14]. These attention components are influenced by age at assessment and gestational age at birth in a complex manner, indicating an area of weakness in children born prematurely [13]. On one hand, the risk for deficits in these attention components increases with decreasing gestational age. On the other hand, the development of these attention components might follow different developmental trajectories in children who were born preterm. For alerting, studies did not show any difference between children born at term versus those born preterm at the age of about 8-years [15, 16]. For orienting, the adult level may be reached at 8-years of age in children born prematurely [15]. A developmental delay of about one year has been observed between children born at term versus those born preterm [17–20]. Finally, data suggest that the inhibition function is still affected by prematurity at the age of 7-years [15–17] and up to 11-years of age in some children [21]. However, many different experimental assessments have been used to study the inhibition function (Tapping Test, Go No-Go Test, Stroop Color World test, Continuous Performance Test, Test Everyday Attention for Children, etc), which have failed to determine consensual and accurate developmental delays for this attentional component.

In general, the attention level of children is considered to decrease when they are moving. The poor attentional performance in those born prematurely as compared to children born at term is also attributed to an impulsivity [16]. Moreover, the urge for mobility is frequently observed in school age children and is often described as "hyperactivity" [22]. However, this is a loaded concept because it implies an attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). This concept is one of the most extensively studied childhood psychiatric disorders and has a precise definition [23–25]. The core of ADHD-hyperactive symptoms are poor sustained attention, deficient impulse control (impulsivity), and excessive activity level [24, 26–29]. Thus, this qualification of "hyperactive" is excessive due to the absence of primary attention problems in many of these children, raising the fundamental question of the role of their apparent excessive mobility.

Extensive neuroimaging data highlight the interconnection between cognitive capacities and the sensorimotor state [30]. Human posture and/or mobility governs both neurophysiological arousal [31–33] and cognitive performance [34–38]. In healthy adults, Barra et al. [39] showed that increased body swaying related to imposed postures improved the alerting performance without modulating the orienting and inhibition function. Therefore, contrary to common thinking, mobility does not always seem to be a source of distraction leading to a lack of concentration. For instance, Janssen et al. [40] showed that the implementation of a moderate intensity physical activity break during the school day enhances attention levels, thereby improving school performance. Beyond this exercise-facilitated cognition, several studies suggest that children working in classrooms equipped with desks that allow standing and movement during class time led to significant improvement in their attention, executive control, and working memory [41–44].

Aim of the study

The purpose of the present study is to determine the influence of mobility on the attention components that may impact learning in healthy children aged 7-years born at term or prematurely. We hypothesize that the absence of mobility constraints may improve alerting performance by increasing arousal in children born at term, without influencing orienting or inhibition function. We also speculate that considering mobility in children born prematurely might help improve some of their attention abilities.

Methods and design

This prospective, randomized, controlled trial will focus on psychometric testing of the attention components and will involve a mixed measurement design. The study will take place in the Maternité Régionale of CHRU Nancy. It will be conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. It was approved by the Comité de Protection des Personnes Sud-Est III Ethics Committee (2017–010 B) and registered in the clinicaltrial.gov registry (NCT 03125447). Because the participants will be children, the signed consent of their parents will be requested after they have received written information related to the study. The children will also be asked for their oral consent. Data collected will be analyzed anonymously.

Inclusion and exclusion criteria

Children aged 7-years will be included in the study. Half will be children who were born prematurely and the other half will be children born at term. For the preterm group, children were born prematurely at or before 34 weeks gestation. They were born and cared for at our level III institution and involved in our routine follow-up program. At the time of the 7 years follow-up visit parents and child will be informed about the study and asked for participation. When they agree to participate an appointment will be taken for the study. For the term group, the children will be recruited using an information leaflet displayed at Lorraine University.

All children will have a clinical examination performed by trained pediatricians. General information on children's health, socio-demographic data, behavioral problems, vision screening at the time of the test as well as perinatal information will be recorded. These features will be taken into account as potential confounding factors. All children with visual, cognitive, or motor disabilities that would prevent the realization of the test will be excluded. Also, infants with ADHD-inattentive problems will not be part of this study.

Materials

The Child ANT [12] will be generated by the software, E-Prime (version 3.0 professional; Psychological Software Tools®, Sharpsburg PA, USA) and presented through a head-mounted display (Wear Video Headphones, The Way In®, Vuzix Corporation, New York, USA).

Design and setting of the study

The head-mounted display will be used to keep the distance between the eyes and the visual stimuli constant across 3 experimental conditions (seated, standing, and free position). The visual target stimulus consists of a yellow fish placed in the center of the visual blue background that is oriented toward the left or right side (Fig.1). This target will be presented either above or below a fixed cross and with or without flanker stimuli. The target will appear either alone (neutral condition) or in the center of a horizontal row of five yellow flanking fishes who will be oriented in the same direction (congruent condition) or in the opposite direction (incongruent condition). Children will be instructed to identify, as quickly and accurately as possible, the direction of the central fish by pressing the right or the left mouse button whatever the direction of the possible flanking fishes. The children will use their preferred hand. Each fish is subtended 1.6 degrees of visual angle and the contours of adjacent fish are separated by 0.2 degrees. The five fish are

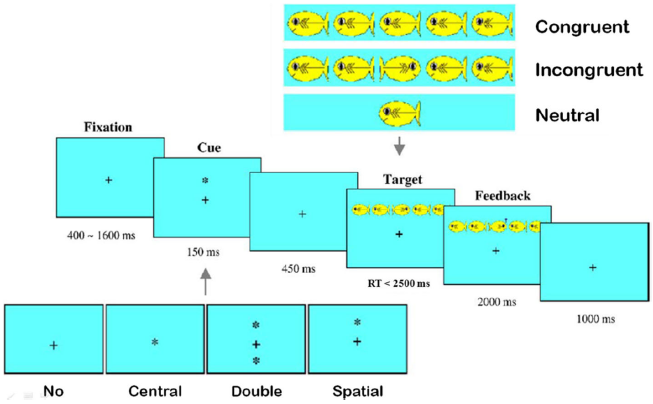


Fig. 1 Schematic of the Attention Network Test for Child (Child ANT) adapted from Rueda et al [12]

subtended a total of 8.8 degrees. The target will be presented about 1 degree above or below fixation.

Each target will be preceded by one of the following four warning cues (asterisk) conditions, as illustrated in Fig. 1: (1) no cue with only the fixation cross displayed; (2) a center cue presented at the location of the fixation cross; (3) a double cue, appearing simultaneously 1 degree above and 1 degree below the fixation cross then the target appears at the level of only one of these two cues; or (4) a spatial cue, appearing 1 degree above or 1 degree below the fixation cross, then the target appears at the location of the cue. Each trial will begin with a fixation period of random duration (400–1600 ms). After that fixation period, the warning cue will be presented for 100 ms and will be followed by another fixation period of 400 ms. subsequently, the target and flankers will appear simultaneously. They will be presented until the child responds. The maximal response time allowed will be 2500 ms. After the response, the target and flankers will disappear, and there will be a last fixation period of 3500 ms minus the response time (RT). Then, the next trial can begin.

To test the influence of mobility on the level of the three components of attention, we will ask the children to complete the experimental task in three random positions: (a) in a fixed seated position corresponding to a posture with very low mobility similar to the demand of sitting in a school environment; (b) standing in an upright position corresponding to the human's reference posture, requiring real balance control due to the natural body sway; (c) in a free position where the children will be able to move and change their position whenever and as often as they want.

To check the children's understanding of ANT, a 12-trial practice block, lasting less than 2 min, will be executed in the seated position. The children will receive feedback on their success. After this practice block, they will execute 48 trials in each position (with a 1-min 30-s break after 24 trials): 4 cue conditions × 2 target locations (up, down) × 2 target directions (left, right) × 3 flanker conditions (neutral, congruent, incongruent). The order of the trials will be randomized. Overall, each experimental block will last less than 3 min. Between each experimental block, the children will have a 3-min break. During these breaks, they will rate the subjective dimension of their arousal based on the adapted Self-Assessment Manikin scale [45]. They will point to one of five figures on a teddy bears' scale (Fig.2), or between any two figures, which results in a 9-point rating scale. Overall, the experiment will last about 30 min.

Data acquisition

To control for the position instructions, the experiment will be video recorded and an observation sheet completed for each experimental block.

During the Child ANT, the success and RT will be recorded for each trial. According to Fan et al. [10], the level of each attention components in each position will be computed from the RT difference of correct responses between pairs of specific trials. The alerting effect will be evaluated by subtracting the median RT of all double cue conditions for each child from the median RT of the no cue condition across the flanker conditions. The orienting effect will be evaluated by subtracting the median RT of all spatial cue conditions from the median RT of all center cue conditions across the flanker conditions. The inhibition function effect will be evaluated by subtracting the median RT of congruent flanking conditions from the median RT of incongruent flanking conditions across cue conditions.

Statistical analyses

To determine the number of children to include, we relied upon Rueda et al. [12], showing a global sitting performance of an overall RT of 931 ± 42 ms in 6-years-old children born at term and 833 ± 123 ms in 7-years-old children born at term. Because children born prematurely are usually considered to have about a 1-year delay for learning abilities, we calculated that to demonstrate a catch-up related to the mobility condition, sitting being the reference, for each attention component, with an alpha risk of 0.00625 (Bonferroni correction for the number of tests) and a power of 0.80, 24 children would be needed in each group (Power and Precision™ V4, Biostat Inc., Englewood, NJ, USA 2001).

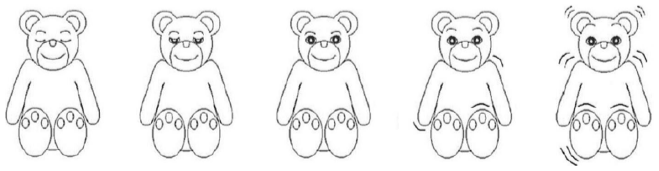


Fig. 2 Teddy bears' scale adapted from the Self-Assessment Manikin Scale

Thus, we will first compare the overall RT of the children born at term versus those born prematurely. Then, we will compare separately the mean scores (± standard deviation) obtained for each of the attention components. After having verified the required assumptions about data distributions (normality of attentional scores, homoscedasticity and sphericity), the level of each attention component will be analyzed by the means of three mixed analyses of variance, with position condition (seated, standing, free) as a within-subject factor and gestational age (children born preterm vs. children born at term) as a between-subject factor. For all analyses, post hoc tests will be conducted using Tukey's honestly significant difference method when needed.

To evaluate the subjective arousal level of children between the positions, the Friedman test will be performed on each score on the Self-Assessment Manikin scale with position (seated, upright, and free) as a within-subject factor.

The statistical thresholds for significance will be set to 0.05 for the remaining analyses.

Discussion

The consequences of child mobility during learning are a recurrent concern for parents and teachers. In general, a behavior with a high level of mobility is perceived as the expression of a lack of concentration, and consequently a lack of performance. This study will reassess the contribution of mobility expression in specific attentional contexts that are usually present during fundamental learning in children aged 7-years.

Numerous findings suggest that mobility is not always a source of distraction [39, 46–49]. The work of Stoffregen's team [48, 49] suggests that during the accomplishment of a supra-postural cognitive task such as calculating or memorizing, the organism may generate a spontaneous body sway to facilitate the performance of the associated supra-postural task. The modulation of self-generated body motions may correspond to unintentional attempts to increase arousal. This would be enabled by the increase in physiological parameters leading to greater cerebral activation, hence facilitating information processing [40, 50–52]. This heuristic assumption results from the U-inverted model of Yerkes and Dodson [53], which proposes a progressive improvement in cognitive performance with a moderate increase in the arousal level until reaching a threshold of this energetic solicitation, when the cognitive performance progressively decreases.

Furthermore, the behavioral strategies in children, especially their mobility, should be considered in the analysis of their difficulties during class time. In other words, we speculate that the spontaneous mobility often observed in school children may reflect a behavioral strategy when he/she is engaged in learning activities with attentional overload. This possible reassessment of child mobility has potentially important implications for educational practices in order to facilitate the attentional performance in children. A new pedagogical format of teaching could be proposed, taking into account the child's mobility. Also, new pedagogical tools that allow the child to have free mobility could be designed such as stand-biased school desks [41–44]. Simple environmental changes in classrooms could enhance children's cognitive functioning, driving their cognitive development and impacting educational outcomes. This could significantly improve learning abilities in children who were born preterm. These children are known to have poor or delayed development levels of attention. From the outcomes of this trial, educational innovations may be developed to help improve the adaptation to primary school in vulnerable children.

Acknowledgements
We are sincerely grateful to all the children and their parents for their participation. We would like to give special thanks to A.-F. André, C. Sauge and N. Tecquert for managing the children's files. We also thank Professor N. Thilly from the Methodology, Data management and Statistics Unit of the PARC of Nancy University Hospital for her help and supervision of the study design.

Funding
This research is funded by the Université de Lorraine "Soutien à des Actions de Recherches – Crédits SC-UL 2017".

Availability of data and materials
Not applicable.

Authors' contributions
All authors contributed to developing the protocol for the study and writing this manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Ethics approval and consent to participate
This study will be conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. It was approved by the Comité de Protection des Personnes Sud-Est III Ethics Committee (2017–010 B) and registered on the clinicaltrial.gov registry (NCT 03125447). Written informed consent will be obtained from the parents according to the protocol approved by the ethics committees. In this study, no child will be exposed to painful situations.

Consent for publication
The individual will give consent to allow data from the registers to be used for research publication purposes before participation. Data collected will be treated confidentially. No individual details will be included in the manuscript.

Competing interests
The authors declare that they have no competing interests.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Author details
[1]DevAH, Université de Lorraine, F-54000 Nancy, France. [2]Department of Neonatology, Maternité Régionale, CHRU, Université de Lorraine, F-54000 Nancy, France.

Received: 29 December 2017 Accepted: 19 July 2018
Published online: 06 August 2018

References

1. Blair C, Razza RP. Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. Child Dev. 2007;78:647–63.
2. Bull R, Scerif G. Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: inhibition, switching, and working memory. Dev Neuropsychol. 2001;19:273–93.
3. Clair-Thompson HLS, Gathercole SE. Executive functions and achievements in school: shifting, updating, inhibition, and working memory. Q J Exp Psychol. 2006;59:745–59.
4. Gathercole SE, Pickering SJ, Knight C, Stegmann Z. Working memory skills and educational attainment: evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. Appl Cogn Psychol. 2004;18:1–16.
5. Gernsbacher MA. Less skilled readers have less efficient suppression mechanisms. Psychol Sci. 1993;4:294–8.
6. Lorsbach TC, Wilson S, Reimer JF. Memory for relevant and irrelevant information: evidence for deficient inhibitory processes in language/learning disabled children. Contemp Educ Psychol. 1996;21:447–66.
7. Ozonoff S, Jensen J. Brief report: specific executive function profiles in three neurodevelopmental disorders. J Autism Dev Disord. 1999;29:171–7.
8. Swanson HL. Reading comprehension and working memory in learning-disabled readers: is the phonological loop more important than the executive system? J Exp Child Psychol. 1999;72:1–31.
9. Posner MI, Petersen SE. The attention system of the human brain. Annu Rev Neurosci. 1990;13:25–42.
10. Fan J, McCandliss BD, Sommer T, Raz A, Posner MI. Testing the efficiency and independence of attentional networks. J Cogn Neurosci. 2002;14:340–7.
11. Eriksen BA, Eriksen CW. Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. Atten Percept Psychophys. 1974;16:143–9.
12. Rueda MR, Fan J, McCandliss BD, Halparin JD, Gruber DB, Lercari LP, et al. Development of attentional networks in childhood. Neuropsychologia. 2004;42:1029–40.
13. Mulder H, Pitchford NJ, Hagger MS, Marlow N. Development of executive function and attention in preterm children: a systematic review. Dev Neuropsychol. 2009;34:393–421.
14. van de Weijer-Bergsma E, Wijnroks L, Jongmans MJ. Attention development in infants and preschool children born preterm: a review. Infant Behav Dev. 2008;31:333–51.
15. Bayless S, Stevenson J. Executive functions in school-age children born very prematurely. Early Hum Dev. 2007;83:247–54.
16. Katz KS, Dubowitz LM, Henderson S, Jongmans M, Kay GG, Nolte CA, et al. Effect of cerebral lesions on continuous performance test responses of school age children born prematurely. J Pediatr Psychol. 1996;21:841–55.
17. Atkinson J, Braddick O. Visual and visuocognitive development in children born very prematurely. In: Rosander C von H and K, editor. Prog. Brain Res. Elsevier; 2007. p. 123–49.
18. Foreman N, Fielder A, Minshell C, Hurrion E, Sergienko E. Visual search, perception, and visual–motor skill in "healthy" children born at 27–32 weeks' gestation. J Exp Child Psychol. 1997;64:27–41.
19. Marlow N, Hennessy EM, Bracewell MA, Wolke D. Others. Motor and executive function at 6 years of age after extremely preterm birth. Pediatrics. 2007;120:793–804.
20. Pasman JW, Rotteveel JJ, Maassen B. Neurodevelopmental profile in low-risk preterm infants at 5 years of age. Eur J Paediatr Neurol. 1998;2:7–17.
21. Leclercq V, Jambaqué I, Picard A, Bricout L, Siéroff É. Trouble du contrôle attentionnel et prématurité. Rev Neuropsychol. 2006;16:41–64.
22. Barkley RA, Poillion MJ. Attention deficit hyperactivity disorder: a handbook for diagnosis and treatment. Behav Disord. 1994;19:150–2.
23. Barkley RA. Attention-deficit/hyperactivity disorder. In: Barkley RA, Mash EJ, editors. Treatment of childhood disorders. New York: The Guilford Press; 1998.
24. Barkley RA. Hyperactive children: a handbook for diagnosis and treatment. Guilford press New York; 1981.
25. Barkley RA. The ecological validity of laboratory and analogue assessment methods of ADHD symptoms. J Abnorm Child Psychol. 1991;19:149–78.
26. Douglas VI. Stop, look and listen: the problem of sustained attention and impulse control in hyperactive and normal children. Can J Behav Sci Can Sci Comport. 1972;4:259.
27. Douglas VI, Peters KG. Toward a clearer definition of the attentional deficit of hyperactive children. Atten. Cogn. Dev. Springer; 1979. p. 173–247.
28. Ross DM, Ross SA. Hyperactivity: Current issues, research, and theory. John Wiley & Sons; 1982.
29. Association AP. Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 3rd Ed Revis. Wash. DC. 1987.
30. Thibault RT, Raz A. Imaging Posture Veils Neural Signals. Front Hum Neurosci. 2016;10
31. Rice JK, Rorden C, Little JS, Parra LC. Subject position affects EEG magnitudes. NeuroImage. 2013;64:476–84.
32. Spironelli C, Busenello J, Angrilli A. Supine posture inhibits cortical activity: Evidence from Delta and alpha EEG bands. Neuropsychologia. 2016;89:125–31.
33. Thibault RT, Lifshitz M, Raz A. Body position alters human resting-state: insights from multi-postural magnetoencephalography. Brain Imaging Behav. 2015;10:772–80.
34. Goodenough DR, Oltman PK, Sigman E, Cox PW. The rod-and-frame illusion in erect and supine observers. Atten Percept Psychophys. 1981;29:365–70.
35. Lipnicki DM, Byrne DG. An effect of posture on anticipatory anxiety. Int J Neurosci. 2008;118:227–37.
36. Mast FW, Ganis G, Christie S, Kosslyn SM. Four types of visual mental imagery processing in upright and tilted observers. Cogn Brain Res. 2003;17:238–47.
37. Messerotti Benvenuti S, Bianchin M, Angrilli A. Posture affects emotional responses: a head down bed rest and ERP study. Brain Cogn. 2013;82:313–8.
38. Muehlhan M, Marxen M, Landsiedel J, Malberg H, Zaunseder S. The effect of body posture on cognitive performance: a question of sleep quality. Front Hum Neurosci. 2014;8:171.
39. Barra J, Auclair L, Charvillat A, Vidal M, Pérennou D. Postural control system influences intrinsic alerting state. Neuropsychology. 2015;29:226.
40. Janssen M, Chinapaw MJM, Rauh SP, Toussaint HM, van Mechelen W, Verhagen EALM. A short physical activity break from cognitive tasks increases selective attention in primary school children aged 10–11. Ment Health Phys Act. 2014;7:129–34.
41. Blake JJ, Benden ME, Wendel ML. Using stand/sit workstations in classrooms: lessons learned from a pilot study in Texas. J Public Health Manag Pract JPHMP. 2012;18:412–5.
42. Dornhecker M, Blake JJ, Benden M, Zhao H, Wendel M. The effect of stand-biased desks on academic engagement: an exploratory study. Int J Health Promot Educ. 2015;53:271–80.
43. Koepp GA, Snedden BJ, Flynn L, Puccinelli D, Huntsman B, Levine JA. Feasibility analysis of standing desks for sixth graders. ICAN Infant Child Adolesc Nutr. 2012;4:89–92.
44. Mehta RK, Shortz AE, Benden ME. Standing up for learning: a pilot investigation on the neurocognitive benefits of stand-biased school desks. Int J Environ Res Public Health. 2015;13:59.
45. Bradley MM, Lang PJ. Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. J Behav Ther Exp Psychiatry. 1994;25:49–59.
46. Ceyte H, Lion A, Caudron S, Kriem B, Perrin PP, Gauchard GC. Does calculating impair postural stabilization allowed by visual cues? Exp Brain Res. 2014;232:2221–8.
47. Stins JF, Beek PJ. A critical evaluation of the cognitive penetrability of posture. Exp Aging Res. 2012;38:208–19.
48. Stoffregen TA, Hove P, Bardy BG, Riley M, Bonnet CT. Postural stabilization of perceptual but not cognitive performance. J Mot Behav. 2007;39:126–38.
49. Stoffregen TA, Smart LJ, Bardy BG, Pagulayan RJ. Postural stabilization of looking. J Exp Psychol. 1999;25:1641–58.
50. Caldwell JA, Prazinko B, Caldwell JL. Body posture affects electroencephalographic activity and psychomotor vigilance task performance in sleep-deprived subjects. Clin Neurophysiol. 2003;114:23–31.
51. Brisswalter J, Legros P. Interactions entre les processus physiologiques et cognitifs: modèles théoriques et approche méthodologique. Sci Sports. 1996;11:71–80.
52. Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF. Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. Nat Rev Neurosci. 2008;9:58–65.
53. Yerkes RM, Dodson JD. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. J Comp Neurol Psychol. 1908;18:459–82.

L'Homme est au cœur de mes questionnements ; toutefois la prise en compte de son environnement, qu'il soit physique ou encore émotionnel, est indispensable dans ma conception de son étude. Au cours de mon cursus scientifique dans le champ des STAPS, j'ai investi différentes problématiques chez l'Homme notamment celle de sa perception des espaces et celle de l'intime relation qu'il entretient avec son environnement. A partir d'une approche hypothético-déductive, mes analyses ciblent les contributions sensorielles (somesthésiques, proprioceptives, graviceptives…) dans ses élaborations cognitives (perceptions, attentions, représentations…) et leur conséquences motrices (posture, locomotion, mobilité…). Aujourd'hui, je défends l'idée selon laquelle l'action ne peut plus être considérée comme une simple sortie d'exécution.

Tout au long de ce document, j'énonce différents projets expérimentaux, chez l'Homme en développement, sain ou encore pathologique, qui visent à démontrer que la cognition et le comportement moteur sont deux éléments indissociables d'une même entité, l'un impactant l'autre et réciproquement. Seule une approche contextualisée de l'Homme me semble pertinente pour mettre à jour les relations fonctionnelles entre ses activités cognitives et ses activités motrices.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE | BioSE