



HAL
open science

Influence des émotions sur l'organisation biomécanique des mouvements volontaires d'approche et d'évitement : cas de l'initiation du pas et de l'élévation latérale de la jambe

Manon Gendre

► **To cite this version:**

Manon Gendre. Influence des émotions sur l'organisation biomécanique des mouvements volontaires d'approche et d'évitement : cas de l'initiation du pas et de l'élévation latérale de la jambe. Biomécanique [physics.med-ph]. Université Paris-Saclay, 2015. Français. NNT : 2015SACLS202 . tel-01423887

HAL Id: tel-01423887

<https://theses.hal.science/tel-01423887>

Submitted on 1 Jan 2017

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.

NNT 2015SACLS202

THÈSE DE DOCTORAT
DE L'UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY,
préparée à l'Université Paris-Sud

ÉCOLE DOCTORALE N° 566
« Sciences du Sport, de la Motricité et du Mouvement Humain »

Sciences du Sport et du Mouvement Humain

Par
Mme Manon Gendre

**INFLUENCE DES ÉMOTIONS SUR L'ORGANISATION
BIOMÉCANIQUE DES MOUVEMENTS VOLONTAIRES
D'APPROCHE ET D'ÉVITEMENT :
CAS DE L'INITIATION DU PAS
ET DE L'ÉLÉVATION LATÉRALE DE LA JAMBE**

Thèse présentée et soutenue à Orsay, le 14 décembre 2015

Composition du Jury :

Mme Chalabaev Aïna
M Descarreaux Martin
M Gélat Thierry
M Yiou Éric
M Deroche Thomas
M Le Bozec Serge

MCF-HDR, Université de Grenoble
PU, Université des Trois-Rivières
MCF, Université Paris-Ouest
MCF-HDR, Université Paris-Saclay
MCF, Université Paris-Saclay
PU, Université Paris-Saclay

Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Directeur
Co-directeur
Président



REMERCIEMENTS

Parce que ces trois années de Thèse n'auraient pas eu la même saveur sans leur soutien, je tiens à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à ce travail doctoral.

Mes premiers remerciements s'adressent à **Éric Yiou** et **Thomas Deroche** sans lesquels ce travail de Thèse n'aurait jamais vu le jour. Éric, je tiens à te remercier de m'avoir accordé ta confiance et fait bénéficier de tes connaissances ainsi que de ta large expérience dans l'élaboration de ce travail. Thomas, merci de m'avoir toujours soutenue et d'avoir cru en moi dès mes années master et tout au long de ce travail de Thèse. Ta rigueur, ta patience et tes précieux conseils m'ont permis de m'épanouir tant au niveau professionnel que personnel. Toujours disponible pour écouter mes pensées souvent mal organisées, pour m'encourager et me re-booster, je suis fière d'avoir été, avec Anne, dans ta « première fournée » d'étudiantes en Thèse. Ces trois années de collaboration ont été riches d'apprentissages, je t'en suis vivement reconnaissante.

Je souhaite remercier Madame **Aïna Chalabaev** et le Professeur **Martin Descarreaux** d'avoir accepté de lire et d'évaluer mon travail en étant rapporteurs de cette Thèse. Je remercie également **Thierry Gélat** d'avoir participé au bon déroulement de l'étude 2 ainsi que d'avoir accepté d'examiner ce travail de Thèse. Je remercie **Serges Le Bozec**, en tant que professeur émérite d'avoir accepté d'être le président du jury.

Bien entendu, je souhaite adresser mes remerciements à tous **les participants** de mes expérimentations qui ont contribué à ce travail. Je remercie également l'ensemble du **personnel de l'UFR STAPS** pour leur sympathie et leur collaboration durant mes années de recherche et d'enseignement. Je remercie tout particulièrement **Marie-Pierre**, la maman des doctorants : j'espère que nos conversations à refaire le monde ne s'arrêteront pas à la porte du bâtiment 335.

Mes remerciements s'adressent évidemment aux nombreuses personnes qui m'ont soutenue quotidiennement pendant ces années doctorales. A commencer bien sûr par mes

acolytes et amis qui ont su animer mes journées, mes soirées, mes week-ends et mes vacances : **Anne, Servane, Laure, Hugo et Iréné**. Merci de m'avoir supportée pendant ces années, d'avoir su me guider et me conseiller. Sans vous et vos rires, ces années de Thèse n'auraient pas été aussi agréables ! Je sais que notre amitié transcendera nos années doctorales et qu'on continuera à se voir ici mais surtout « ailleurs ». Je remercie bien sûr tous les autres doctorants (actuels et anciens) et maîtres de conférence qui font du laboratoire un lieu unique de vie et d'échanges : **David, Anne-Laure, Jiewen, Mathieu, Anna, Stéphane, Michaël, Jean, Carole, Caroline, Alexandra...** Tout particulièrement, je tiens à remercier **Jean-Louis**. En plus de ton amitié, tu as toujours su être un collègue hors pair. Les sushis et les restaurants ne suffiront pas pour te remercier de ta patience, de ta gentillesse et du temps que tu as passé à m'aider malgré les kilomètres qui nous séparaient. Le partage de tes aptitudes techniques et scientifiques a été fort précieux.

Un immense merci à tous **mes amis de la première heure** d'avoir participé à cette aventure. Un merci tout particulier à **Anne** et **Ameline**. Ma MSJ, ma Lyne, ces quelques lignes ne suffiront pas pour vous remercier comme j'ai envie de le faire. Toujours là, fidèles, malgré les années et la distance. Merci de m'avoir toujours soutenue et boostée durant ces trois ans. Je ne devais pas être simple à suivre, décrivant alternativement ma Thèse avec joie absolue ou doute total. Pourtant, vous m'avez toujours écoutée avec patience et bienveillance. Donc encore une fois : merci.

Mes dernières pensées vont bien sûr à ma famille qui m'a toujours encouragée et rassurée. Merci à **mes parents**. Merci pour votre amour sans faille depuis toujours et de m'avoir donné ces fameuses racines et ailes. Merci à mes sœurs chéries, **Aurore et Anaïs**. Mes confidentes et complices de toujours, merci d'avoir (largement) contribué à faire de moi ce que je suis aujourd'hui. Merci à mes beaux-frères adorés, **Aurélien et Hugues**. Merci pour tous ces moments passés ensemble et d'avoir toujours ensoleillé nos repas dominicaux, si chers à mon cœur et nécessaires à ma stabilité. Enfin et surtout, merci à toi, **Arthur**, pour ton soutien, ta patience, ton amour qui ont façonné cette réussite malgré les épreuves. Tout au long de cette Thèse tu as été ma motivation, mon repère et mon équilibre. Cette fin de Thèse marque enfin le début de notre vie à deux et, j'en suis sûre, notre nouvelle vie d'expatriés ne sera que du bonheur.

*« Le rassurant de l'équilibre, c'est que rien ne bouge.
Le vrai de l'équilibre, c'est qu'il suffit d'un souffle pour tout faire bouger »*
(Gracq 1951)

« Le mouvement est facile à affoler, L'équilibre est facile à détruire »
(Le Clézio 1967)

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	7
ÉTAT DE L'ART	10
1. Organisation biomécanique du mouvement humain	10
1.1. Principes fondamentaux de la mécanique appliqués à l'étude du mouvement.....	10
1.1.1. Posture et équilibre	10
1.1.2. Principe d'inertie et principe de l'action et de la réaction	12
1.1.3. Stabilité posturale et modèle du pendule inversé	12
1.2. Mouvement, perturbation posturale et ajustements posturaux	16
1.2.1. Perturbations posturales inhérentes au mouvement volontaire.....	16
1.2.2. Concept d'ajustement postural	17
1.2.3. Concept de capacité posturo-cinétique	21
1.3. Focus sur les Ajustements Posturaux Anticipateurs (APA)	24
1.3.1. Rôles fonctionnels des APA.....	24
1.3.1.1. Stabiliser le corps lors d'un mouvement volontaire	24
1.3.1.2. Assister la performance motrice.....	29
1.3.2. Origine centrale des APA.....	32
1.3.3. Organisation des APA	34
1.3.4. Adaptabilité des APA.....	36
1.3.4.1. Contraintes posturales exogènes	36
1.3.4.1.1. APA et charge additionnelle	36
1.3.4.1.2. APA et contrainte temporelle	36
1.3.4.2. Contraintes posturales endogène.....	37
1.3.4.2.1. APA et stabilité posturale.....	37
1.3.4.2.2. APA et fatigue.....	38
1.3.4.2.3. APA et vieillissement	39
1.3.4.3.4. APA et émotions	40
2. Définition et conceptualisation de la notion d'émotion	41
2.1. Définition du concept d'émotion	41
2.1.1. Étude de la composante physiologique des émotions.....	41
2.1.2. Étude de la composante cognitive des émotions	42
2.1.3. Étude de la composante subjective des émotions	43
2.1.4. Étude de la composante motivationnelle des émotions	43
2.1.5. Étude de la composante comportementale des émotions.....	44

2.2.	Classification des émotions.....	45
2.2.1.	Conception dimensionnelle des émotions	45
2.2.1.1.	Dimensions de valence et d'activation : théorie biphasique des émotions.....	45
2.2.1.2.	Modélisation des émotions : modèle de l'affect central.....	47
2.2.1.3.	Hypothèse de la direction motivationnelle.....	48
2.2.1.4.	Protocoles utilisant l'International Affective Picture System.....	49
2.2.1.5.	Limites majeures de la conception dimensionnelle des émotions.....	50
2.2.2.	Conception catégorielle des émotions	51
2.2.2.1.	Émotions basiques et complexes.....	51
2.2.2.2.	Modélisation des émotions : modèle de Plutchik.....	52
2.2.2.3.	Cas spécifique de la peur	53
2.2.2.4.	Protocoles utilisant une menace posturale	55
2.2.2.5.	Limites majeures de la conception catégorielle des émotions.....	56
3.	Influence des émotions sur le contrôle postural et moteur	58
3.1.	Influence des émotions selon le concept dimensionnel des émotions.....	58
3.1.1.	Étude de la position orthostatique	59
3.1.2.	Étude des mouvements focaux : interprétation des comportements d'approche et d'évitement.....	60
3.1.3.	Étude de la marche	63
3.1.4.	Étude de l'initiation de la marche.....	63
3.1.5.	Étude de l'initiation du pas vers l'avant et vers l'arrière	65
3.1.6.	Bilan et limites des études utilisant l'IAPS	66
3.2.	Influence des émotions selon le concept catégoriel des émotions.....	71
3.2.1.	Étude de la position orthostatique	72
3.2.2.	Étude de l'élévation des talons	73
3.2.3.	Étude de la flexion du membre inférieur	74
3.2.4.	Étude des facteurs psychologiques	75
3.2.5.	Bilan et limites des étude utilisant une menace posturale	78
	PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE.....	81
1.	Problématique.....	81
2.	Méthodologie générale	85

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES	86
1. Étude 1 - Influence des images plaisantes et déplaisantes sur l'organisation biomécanique de l'initiation du pas vers l'avant et vers l'arrière	86
1.1. Introduction.....	86
1.2. Methods	88
1.3. Results.....	94
1.4. Discussion	98
2. Etude 2 : Influence de la menace posturale sur l'organisation biomécanique de l'initiation d'un mouvement d'élévation latérale de la jambe	104
2.1. Introduction.....	104
2.2. Methods	108
2.3. Results.....	114
2.4. Discussion	118
3. Etude 3 : Rôle de la confiance en l'équilibre dans l'influence de la menace posturale sur l'organisation biomécanique de l'initiation d'un mouvement d'élévation latérale de la jambe	124
3.1. Introduction.....	124
3.2. Méthodes.....	126
3.3. Résultats.....	129
3.4. Discussion	133
4. Étude 4 : Rôle de l'estime globale de soi dans la perception de la peur de chuter et de la confiance en l'équilibre lors de la répétition d'un mouvement d'élévation latérale de la jambe.....	138
4.1. Introduction.....	138
4.2. Méthodes.....	140
4.3. Résultats.....	144
4.4. Discussion	145
DISCUSSION GÉNÉRALE, CONCLUSION ET PERSPECTIVES	148
1. Discussion générale.....	148
2. Conclusion.....	165
3. Perspectives	166
BIBLIOGRAPHIE	169
LISTE DES FIGURES	200
LISTE DES TABLEAUX	202
ANNEXES	203

INTRODUCTION

Maintenir son équilibre est essentiel pour l'autonomie de l'Homme. Cet équilibre est fondamental aux individus pour réaliser des tâches quotidiennes, pour évoluer efficacement dans leur environnement et surtout pour éviter une chute. Bien que cela puisse paraître simple, le maintien de l'équilibre s'avère être une activité particulièrement complexe. Cette difficulté est notamment liée au fait que l'Homme évolue dans un champ gravitationnel qui le déséquilibre en permanence en l'attirant vers le centre de la Terre. À cette difficulté vient s'ajouter des perturbations (quoique très faibles) inhérentes à l'activité biologique du corps telles que la respiration, les battements cardiaques ou encore l'activité péristaltique (Bouisset et Duchêne 1994 ; Bouisset et Maton 1995). Des perturbations induites par le mouvement lui-même constituent également des perturbations qui peuvent affecter le contrôle de l'équilibre. Lors d'un mouvement volontaire, la mobilisation des segments corporels génère des forces de réactions locales qui sont transmises quasi-instantanément à l'ensemble du corps, jusqu'aux surfaces d'appui. Afin de maintenir l'équilibre, le système nerveux central doit développer des phénomènes dynamiques contre-perturbateurs, connus sous le terme d'*ajustements posturaux* (Belen'Kii et al. 1967 ; Bouisset et Zattara 1981 ; Gahéry et Massion 1981 ; Cordo et Nashner 1982 ; Horak et Macpherson 1996). Ces phénomènes posturaux rendent compte de la *capacité posturo-cinétique* qui constituerait un facteur clé de la performance motrice et du maintien de l'équilibre (pour des revues voir Bouisset 1991 ; Bouisset et Do 2008). Les *Ajustements Posturaux Anticipateurs* (APA) qui, comme leur nom l'indique correspondent à des ajustements posturaux survenant avant le début du mouvement volontaire, occupent une place privilégiée dans l'organisation du mouvement. Ils correspondent à une phase posturale dynamique préparatoire au mouvement volontaire et permettent donc d'investiguer les coordinations entre la posture et le mouvement. Selon la tâche à réaliser, il est admis que ces APA ont pour rôle de stabiliser le corps avant même que le déséquilibre ne soit opérant, mais également d'initier le mouvement volontaire, ou encore d'assister la performance motrice. C'est pour ces raisons que de très nombreuses études se sont penchées ces dernières décennies sur l'organisation de ces APA, notamment en lien avec la problématique de la chute chez la personne âgée ou encore de la performance motrice chez le sujet sportif.

La littérature recense un certain nombre de facteurs pouvant influencer ces APA. C'est par exemple le cas de la fatigue des muscles posturaux ou focaux, du vieillissement, des

conditions de stabilités initiale et finale, de la qualité des surfaces d'appui, de la mobilité articulaire, etc. (pour une revue de littérature voir Yiou et al. 2012a). Il est à noter que les facteurs étudiés jusqu'à présent dans la littérature étaient essentiellement de nature « biomécanique ». La dimension « psychologique », et en particulier les émotions des participants, n'est classiquement pas prise en compte dans ces études. Or, selon les théories émotionnelles, majoritairement héritées de Darwin (1872), le contexte émotionnel influence l'organisation du mouvement de façon adaptative (pour une lecture approfondie de l'approche Darwinienne des émotions, voir Channouff et Rouan 2002 ; Luminet 2004). Dans le cadre de cette Thèse, nous nous sommes spécifiquement intéressés à l'influence de ces émotions sur l'organisation biomécanique du mouvement volontaire. Afin d'avoir une approche intégrative de l'influence émotionnelle, nous avons considéré deux conceptions fondamentales des émotions : les conceptions *dimensionnelle* et *catégorielle* des émotions. La conception dimensionnelle décrit les émotions selon un certain nombre de dimensions, par exemple la valence et l'activation. Par contre, la conception catégorielle considère un petit nombre d'émotions basiques ou fondamentales telles que la joie, la peur, la colère, etc. Ces deux conceptions distinctes ont ainsi laissé place à deux protocoles expérimentaux spécifiques à chacune d'elles. Le premier consistait à induire des émotions plaisantes ou déplaisantes (selon la conception dimensionnelle) grâce au visionnage d'images émotionnelles issues de l'*International Affective Pictures System* (IAPS). Le second protocole consistait à induire une peur de chuter (conception catégorielle) en plaçant les participants en hauteur, plus ou moins proche du vide. Dans ces contextes émotionnels, les participants devaient exécuter respectivement des tâches d'initiation du pas (vers l'avant ou vers l'arrière) ou d'élévation latérale de la jambe à 45°.

Les hypothèses générales appliquées à l'ensemble des études de cette Thèse sont fondées sur l'*hypothèse de la direction motivationnelle* (Lang et al. 1990 ; Lang 1995 ; Bradley et al. 2001). Selon cette hypothèse, les comportements des individus sont influencés par la présence de stimuli émotionnels. Ainsi, un stimulus plaisant (qui favorise la récompense et la sécurité de l'individu) favorise les comportements d'approche et perturbe les comportements d'évitement ; au contraire, un stimulus déplaisant (qui est nuisible à l'intégrité des participants ou qui favorise la punition) favorise les comportements d'évitement et perturbe les comportements d'approche. Ces comportements d'approche et d'évitement sont notamment interprétés au regard des processus de régulation de la distance qui s'opèrent entre les individus et les stimuli émotionnels. Ainsi, un déplacement de l'ensemble du corps vers

les stimuli émotionnels est symboliquement associé à un comportement d'approche ; alors que l'éloignement du corps par rapport aux stimuli émotionnels est associé à un comportement d'évitement. Par ailleurs, nous faisons l'hypothèse qu'il existe des différences interindividuelles dans l'expression de ces comportements en réponse aux stimuli émotionnels. En effet, la façon dont les individus perçoivent les stimuli émotionnels (ou perçoivent leur capacité à y faire face) optimiserait ou atténuerait les effets de ces derniers sur les comportements (Maki et al. 1991 ; Davis et al. 2009). Par là même, nous supposons que les dispositions individuelles (la personnalité) des participants contribuent à expliquer ces différences interindividuelles.

La Thèse s'articule autour de quatre parties. La **première partie** sera consacrée à une revue de littérature. Nous y présenterons dans un premier temps les éléments théoriques généraux relatifs au contrôle de la posture, de l'équilibre et du mouvement volontaire. Dans un second temps, nous définirons le concept d'émotion et détaillerons spécifiquement les deux classifications théoriques et expérimentales des émotions recensées dans la littérature. Dans un troisième temps, nous nous attarderons à décrire les études traitant de l'influence des émotions sur l'organisation biomécanique du maintien de la posture et de l'initiation d'un mouvement volontaire. Dans une **seconde partie**, nous présenterons notre problématique et énoncerons nos hypothèses avant de présenter la méthodologie générale utilisée lors de nos études expérimentales. La **troisième partie** détaillera les études expérimentales de ce travail de Thèse. Cette partie est constituée de deux études rédigées en langue anglaise et de deux autres rédigées en langue française. Ces études sont acceptées (étude 1 et 2) ou destinées à être soumises (études 3 et 4) à des revues internationales indexées. L'étude 1 est consacrée à l'effet des émotions plaisantes ou déplaisantes, induites par des images tirées de l'IAPS, sur l'organisation biomécanique d'un pas réalisé vers l'avant (matérialisant un comportement d'approche) et vers l'arrière (matérialisant un comportement d'évitement). L'étude 2 porte sur les effets de la peur de chuter sur le contrôle de l'équilibre postural et la performance motrice lors de l'élévation latérale rapide de la jambe. L'existence de différences interindividuelles dans la perception des stimuli émotionnels et leurs répercussions sur l'organisation posturo-cinétique du mouvement volontaire sont testées dans l'étude 3. L'étude 4, quant à elle, met en exergue la contribution des dispositions individuelles dans l'explication de l'existence de ces différences interindividuelles. Enfin, dans une **quatrième partie**, nous discuterons puis conclurons sur les résultats de nos études avant de proposer quelques orientations pour de futures recherches.

ÉTAT DE L'ART

1. Organisation biomécanique du mouvement humain

1. 1. Principes fondamentaux de la mécanique appliqués à l'étude du mouvement

1.1.1. Posture et équilibre

La *posture* se définit classiquement comme la position dans l'espace des segments corporels les uns par rapport aux autres à un moment donné (Paillard 1976 ; Massion 1997). À chaque posture correspond un état d'équilibre. En termes de mécanique, l'équilibre statique d'un corps solide est caractérisé par une résultante des forces extérieures (F_{EXT}) nulle et un moment résultant des forces extérieures (M_{EXT}) nul :

$$\Sigma F_{EXT} = 0$$

$$\Sigma M_{EXT} = 0$$

Dans les situations expérimentales proposées tout au long de cette Thèse, les participants seront positionnés debout (ou *position orthostatique*) sur une plateforme de force représentant la piste terrestre. Ils ne seront en contact avec l'environnement que par le biais de leurs soles plantaires. Dans ces conditions, seules deux forces sont appliquées au corps : le poids de l'individu et la résultante des forces de réaction au sol. Ces forces sont respectivement appliquées au centre des masses et au centre des pressions. Le centre des masses, aussi appelé centre d'inertie, est le barycentre des masses du corps (des segments corporels). Dans le référentiel galiléen, le champ de gravitation est considéré comme constant : le centre des masses est alors assimilé au centre de gravité qui est le point d'application de la résultante des forces de gravité. Le centre des pressions est, quant à lui, le barycentre des forces de réaction au sol. Dans cette configuration expérimentale, les conditions de l'équilibre statique impliquent :

- 1) que les résultantes des forces de réaction au sol et du poids du participant soient de même intensité et de sens opposé ;
- 2) que le centre des masses soit situé sur la verticale passant par le centre des pressions.

Le corps humain peut être assimilé à un ensemble de segments mobiles les uns par rapport aux autres. Ainsi, une même position du centre des pressions (et de la projection du centre des masses au sol) peut résulter d'une infinité de configurations segmentaires. La position relative des segments corporels et le maintien de l'équilibre ne procèdent donc pas nécessairement des mêmes mécanismes. De ce fait, si la posture et l'équilibre constituent deux aspects intimement liés, leurs relations ne sont toutefois pas biunivoques.

Afin de garantir le maintien de l'équilibre statique de ce système déformable, des conditions additionnelles aux deux conditions précédentes sont nécessaires. Il faut ainsi que les centres de rotations articulaires et les centres de gravité de chaque segment corporel soient alignés sur la ligne de gravité. Cependant, notamment du fait de la forme des os, cette condition n'est en pratique pas réalisable (Bouisset et Maton 1995). Il est par exemple connu que la ligne de gravité passe en avant de l'axe de rotation de la cheville en posture érigée (de 2 à 3 cm selon les individus - figure 1). Dans ce cas, afin de contrer le déséquilibre vers l'avant, l'intervention de forces internes d'origines musculaires et ligamentaires s'avère nécessaire. En somme, le maintien de l'équilibre en position orthostatique constitue un phénomène physiologique actif. Comme nous l'évoquerons plus tard, à ces effets perturbateurs de la gravité, s'ajoutent des perturbations endogènes liées au mouvement lui-même et aux phénomènes végétatifs (respiration, fonctionnement de la pompe cardiaque, péristaltisme).

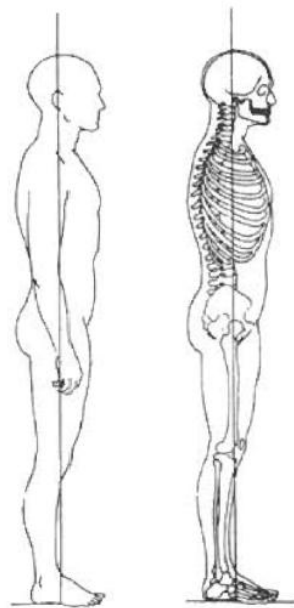


Figure 1 : Illustration de la position orthostatique en fonction de la verticale gravitaire relative aux principales articulations (figure extraite de Bouisset et Maton 1995).

1.1.2. Principe d'inertie et principe de l'action et de la réaction

Pour que l'homme puisse maintenir son équilibre ou se déplacer, il est nécessaire que le milieu extérieur offre un support. Ce dernier permet en effet de prendre appui et de générer des forces de réaction permettant le maintien ou la rupture de l'équilibre postural. Une telle nécessité résulte des lois de la mécanique Newtonienne, en l'occurrence le principe de l'inertie (1ère loi de Newton) et le principe de l'action et de la réaction (3ème loi de Newton).

Le principe de l'inertie stipule que tout solide au repos, ou en mouvement rectiligne uniforme, conserve son état à moins qu'une force extérieure ne vienne modifier son état (Newton 1759). Un corps initialement à l'état d'équilibre ne peut donc être mis en mouvement que par l'application d'une force extérieure (Gray 1968). La même analogie peut être faite pour un mouvement en rotation. Les forces extérieures sont principalement constituées de la force de gravité et de la force de réaction du sol. Les autres forces telles que les forces de frottement de l'air, de l'eau, etc., sont ici supposées négligeables.

En termes biologiques, le principe de l'action et de la réaction exprime le fait que les individus ont besoin d'un appui matériel pour générer des forces de réaction. Sans cet appui, offert par le milieu extérieur, ils ne peuvent maintenir leur équilibre ou se déplacer dans leur environnement. Ainsi, selon le principe de l'action et de la réaction (ou principe des actions réciproques), deux solides en contact exercent l'un sur l'autre des forces égales en intensité et de sens contraire. Un corps ayant un unique contact avec le sol exerce des forces sur ce sol qui lui restitue à son tour une force opposée. Dans ce cas, seul le poids du corps agit sur le sol (\vec{F} poids/sol) ; ce dernier exerce donc une force équivalente au poids (\vec{F} sol/poids).

$$\vec{F} \text{ sol/poids} = - \vec{F} \text{ poids/sol}$$

1.1.3. Stabilité posturale et modèle du pendule inversé

L'existence de perturbations *endogènes* (par exemple, l'activité des pompes cardiaques et respiratoires, les fluctuations de la commande moto-neuronale et le péristaltisme - Bouisset et Maton 1995) et *exogènes* (par exemple, les forces gravitaires) perturbent en permanence l'équilibre. En position orthostatique, les individus doivent donc nécessairement créer des forces de réaction (ou des moments) pour compenser ces

perturbations. Le rôle de l'action musculaire est de faire naître, dans l'environnement, ces forces de réaction. Dans la mesure où la gravité est hors du champ d'action du système nerveux central, ce dernier ne peut pas agir directement sur le centre des masses. Le maintien de l'équilibre du corps implique donc un contrôle des forces de réaction au sol. La création de ces dernières engendre en effet une modulation de la position du centre des pressions qui, par réaction, va générer un déplacement de la position du centre des masses. Ainsi, le système nerveux central contrôle le centre des masses (variable dite « contrôlée ») de façon indirecte grâce aux déplacements du centre des pressions (variable dite « de contrôle »).

Ce processus postural est particulièrement bien expliqué par le *modèle du pendule inversé*. Comme son nom l'indique, cette modélisation assimile le comportement moteur à un pendule inversé (Winter 1990 ; Winter 1995 ; Prince et al. 1997 ; Gage et al. 2004). Le corps en position orthostatique se comporte alors comme un solide oscillant autour d'un point central : l'articulation de la cheville (figure 2).

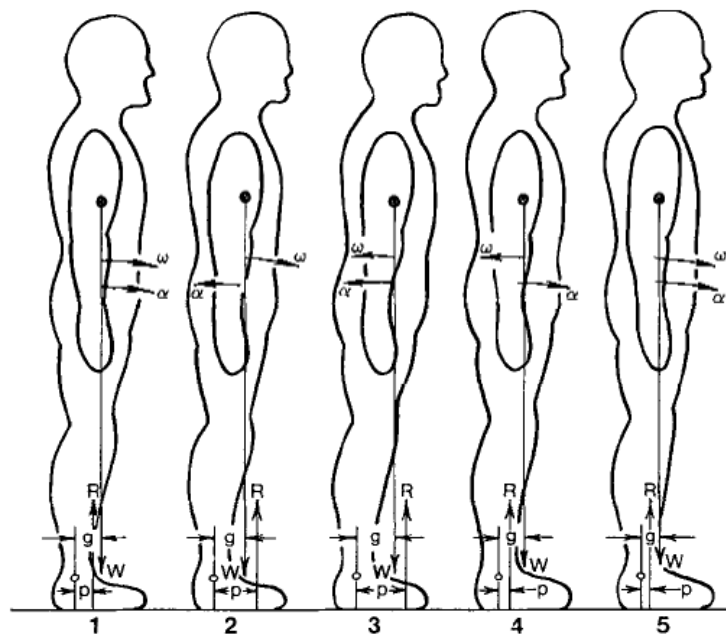


Figure 2 : Modèle du pendule inversé appliqué à la position orthostatique (Winter 1990).

R correspond à la résultante des forces de réaction qui s'applique au centre des pressions ; *W* est le poids de l'individu qui s'applique au centre des masses du corps. **1)** le centre des pressions se situe en arrière de la projection du centre des masses sur le sol, ce qui provoque une accélération (α) et une vitesse (ω) du corps vers l'avant. **2)** Pour corriger le déplacement du corps vers l'avant, l'individu déplace le centre des pressions antérieurement au centre des masses, ce qui induit une accélération du corps vers l'arrière. **3)** Grâce à l'inertie, quelques secondes après le déplacement du centre des pressions, la vitesse du corps s'inverse et se dirige vers l'arrière. **4)** Lorsque le corps commence à basculer vers l'arrière, le centre des pressions est de nouveau déplacé postérieurement au centre des masses afin d'accélérer le centre des masses vers l'avant. **5)** Ce déplacement induit une vitesse du corps dans la même direction. Ces mouvements, décrits ici selon l'axe antéro-postérieur, sont aussi retrouvés sur l'axe médio-latéral (Rougier 2007a).

Selon ce modèle, un déplacement du centre des pressions dans une direction génère une accélération du centre des masses dans la direction opposée (Brenière et al. 1987 ; Winter 1995). Le couplage entre le centre des pressions et le centre des masses permet ainsi de maintenir l'équilibre malgré les perpétuelles perturbations endogènes ou exogènes de l'équilibre. Il est nécessaire pour répondre aux conditions d'équilibre considérées comme « stables ». Notons ici que l'équilibre d'un corps peut-être qualifié de stable dès lors que ce dernier revient à sa position initiale après l'application de perturbations. Pour qu'un équilibre soit stable il faut effectivement que la projection du centre des masses au sol reste aux abords de la position du centre des pressions (Borelli 1680 ; Patla et al. 1990 ; Kuo 1995).

La modélisation du comportement moteur par un pendule inversé met en exergue la grande différence de mobilité entre le centre des masses et le centre des pressions. Alors que le centre des masses (éloigné de l'articulation de la cheville) peut être soumis à de grandes variations de position, le centre des pressions (proche de l'articulation de la cheville) est limité à une zone réduite (Pai et Patton 1997 ; Hof et al. 2005). Cette zone, appelée *base posturale* ou *polygone de sustentation*, correspond à la surface au sol sur laquelle le corps repose en équilibre. Par exemple, en position unipodale (l'individu n'a aucun autre contact avec l'extérieur que celui de la sole plantaire de son pied d'appui) la base posturale est limitée à la surface du pied d'appui. En position orthostatique (appui bipodal), la base posturale correspond à l'aire de la surface des pieds additionnée à la surface interpodale (figure 3). Bien que disposant de toute la surface de la base posturale, les déplacements du centre des pressions se limiteraient à une surface inférieure à 1 cm² lors du maintien de la position orthostatique (Winter 1995).

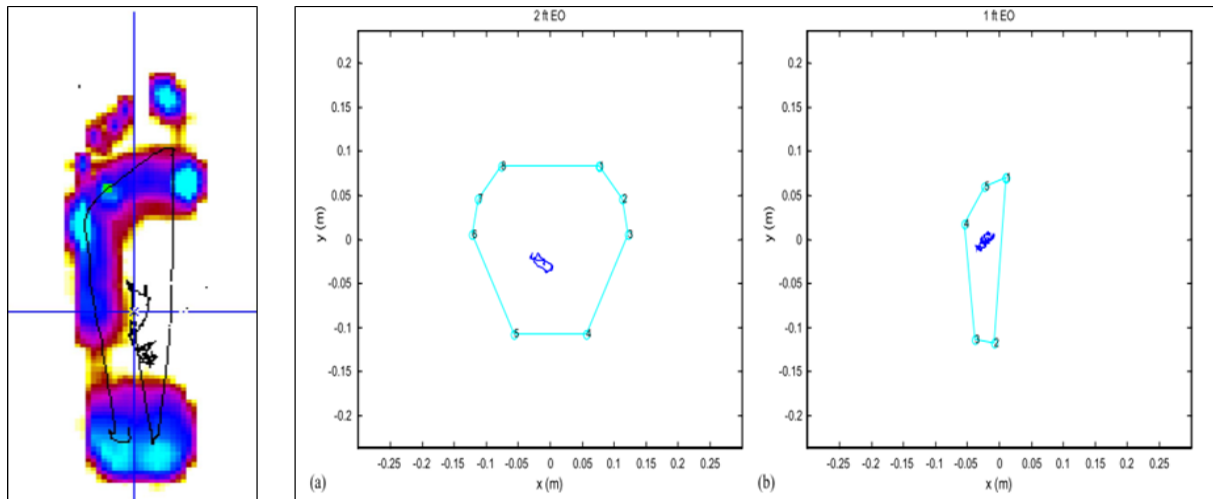


Figure 3 : Détermination expérimentale de la base de sustentation lors d'un appui unipodal et représentation des déplacements du centre des masses au sein de la base de sustentation (Hof et al. 2005).

Cadre de gauche : La pression maximale du pied a été enregistrée alors que le participant se penchait aussi vite que possible dans toutes les directions. Les limites de la base de sustentation sont données par le tracé du déplacement du centre des pressions schématisé par les lignes noires. **Cadre de droite** : La trajectoire du centre des masses (lignes bleues foncées) et la limite de la base de sustentation (lignes bleues claires) ont été enregistrées lors d'une tâche de maintien de l'équilibre bipodal (a) puis unipodal (b), les yeux ouverts.

Dans la mesure où les perturbations exogènes et endogènes sont permanentes, les positions du centre des pressions et du centre des masses évoluent constamment. L'équilibre statique au sens strict n'existe donc pas chez l'être humain. Ainsi, en posture érigée comme en posture assise, des oscillations permanentes du centre des masses et du centre des pressions sont observables (Romberg 1953 ; Murray et al. 1967 ; Bouisset et Duchêne 1994). Ces oscillations reflètent à la fois les perturbations de la posture et les « contre-perturbations » (partielles) générées par le système neuromusculaire. Ces oscillations posturales sont classiquement utilisées dans la littérature pour quantifier le degré de stabilité de l'équilibre dans une posture donnée. Par extension, elles permettent de rendre compte de la *stabilité posturale* qui correspond à la capacité d'un système à revenir à l'équilibre lorsqu'il en est écarté.

Notons que lors du maintien d'une posture, la vitesse du centre des masses est généralement considérée comme négligeable. En revanche, lors d'un mouvement (condition dynamique), celle-ci n'est plus négligeable et doit être estimée (Hof et al. 2005). Par conséquent, le maintien de la projection du centre des masses au sol à l'intérieur de la base posturale n'est plus une condition suffisante pour atteindre un état d'équilibre stable (par exemple, Pai et Patton 1997 ; Patton et al. 1999 ; Hof et al. 2005). Par ailleurs, le déplacement des segments corporels, les uns par rapport aux autres, lors du mouvement constitue une

perturbation de l'équilibre (Bouisset 1991). Ces paramètres doivent donc être considérés pour évaluer la stabilité de l'équilibre en condition dynamique.

1. 2. Mouvement, perturbation posturale et ajustements posturaux

Il existe de nombreuses situations où l'initiation du mouvement n'est pas générée par l'individu lui-même. Par exemple, un déplacement brusque de la surface sur laquelle un individu est érigé entraîne un déplacement des appuis podaux engendrant ainsi un déplacement du corps (McIlroy et Maki 1993). L'effet de la gravité peut aussi être utilisé pour initier un déplacement : un individu, initialement incliné, peut en effet laisser son corps chuter vers l'avant pour initier la marche (Do et al. 1982). Dans ces situations, l'initiation de la marche est induite par une perturbation extérieure (surface mobile, gravité) : le programme moteur est alors déclenché pour réagir au déséquilibre et pour rattraper l'équilibre rompu. Cependant, dans la majorité des cas, le mouvement est initié volontairement. Dans ce cas, le système nerveux central doit créer des forces suffisantes (grâce à l'activation musculaire) pour initier le mouvement volontaire. Dans le cadre de cette Thèse nous ne nous intéresserons qu'aux mouvements initiés de façon volontaire.

1.2.1. Perturbations posturales inhérentes au mouvement volontaire

Selon les lois de la mécanique précédemment énoncées, tout mouvement, même segmentaire, constitue une perturbation transitoire de la posture et de l'équilibre postural (Bouisset 1991). Lorsqu'un segment corporel est déplacé, la position initiale du centre des masses du corps est modifiée puisque celle-ci dépend de la position des centres des masses partiels de chaque segment. Par la suite, les segments corporels déplacés seront appelés *membres focaux*. Tout déplacement du centre des masses du corps implique alors l'établissement de nouvelles conditions d'équilibre postural. Par ailleurs, le corps humain est constitué de la juxtaposition de segments corporels articulés les uns par rapport aux autres. L'accélération d'un membre focal génère donc, en vertu du principe de l'action et de la réaction, des forces internes. Ces dernières s'appliquent au niveau de l'extrémité du segment corporel adjacent au membre focal déplacé et sont de sens opposé au mouvement. Ces forces internes sont transmises quasi-instantanément et proximo-distalement le long des segments corporels, jusqu'aux surfaces d'appui où les forces de réaction sont générées. En d'autres termes, les phénomènes dynamiques ne se limitent pas au niveau du membre focal déplacé :

ils se répercutent nécessairement au niveau des segments corporels éloignés de ce membre. Ainsi, ces phénomènes se retrouvent au niveau de chaque segment corporel interposé entre le membre mobilisé et la surface matérielle sur laquelle l'individu prend appui. Par la suite, la chaîne corporelle interposée entre l'appui matériel et le membre focal sera nommée *support postural*.

Par exemple, le décollement du pied lors de l'initiation de la marche génère des forces réactives endogènes, vers le bas et vers l'arrière, au niveau de l'articulation coxo-fémorale (Dietrich et al. 1994). Pour que l'équilibre postural soit maintenu, il est nécessaire de développer des accélérations locales, dirigées vers l'avant et le haut, au niveau du tronc et des épaules. Outre ces perturbations générées par le déplacement d'un membre focal (ici, la jambe oscillante), la réduction de la taille de la base posturale lors du décollement du pied représente une perturbation importante de l'équilibre. Prenons l'exemple, de la flexion de la cuisse ou d'élévation latérale de la jambe, à partir de la position orthostatique. Ces tâches entraînent le passage d'un appui bipodal à un appui unipodal et génèrent donc une réduction drastique de la base posturale suivant la direction latérale (pour quelques exemple, Do et al. 1991 ; Mouchnino et al. 1992 ; Mouchnino et al. 1993 ; Mouchnino et al. 1998 ; Yiou et al. 2011a ; Yiou et al. 2012b). Si aucune action sur le centre des masses n'est entreprise, ce changement des conditions d'appui entraînera un découplage entre le centre des pressions (localisé sous le pied d'appui) et le centre des masses. Cela aura pour effet de déséquilibrer le sujet du côté de la jambe oscillante. Dans ces conditions, le sujet ne pourra pas se maintenir en posture unipodale.

Afin de pallier l'ensemble des perturbations engendrées par le mouvement lui-même, le système nerveux central est capable de générer des ajustements contre-perturbateurs. Nous allons maintenant décrire ces ajustements, plus spécifiquement appelés *ajustements posturaux*.

1.2.2. Concept d'ajustement postural

Le maintien de l'équilibre postural nécessite le développement de phénomènes dynamiques qui vont s'opposer aux différentes sources de perturbation de l'équilibre. Le concept d'*ajustement postural* fait historiquement référence à ces phénomènes dynamiques contre-perturbateurs qui surviennent au niveau du support postural. Dans le cadre de cette

Thèse, nous nous attacherons à décrire exclusivement les ajustements posturaux associés au mouvement volontaire.

En 1489, Léonard de Vinci écrivait : « *Je maintiens que, lorsqu'un homme se tient immobile sur ses pieds, s'il étend son bras devant sa poitrine, un déplacement naturel du corps vers l'arrière doit s'opérer afin de contrer son déplacement, naturel et accidentel, vers l'avant* » (citation extraite de Gahéry 1987). Ce déplacement du support postural vers l'arrière, associé au mouvement volontaire d'élévation du bras, correspond à ce que l'on appelle aujourd'hui les ajustements posturaux. Autre exemple, Babinski (1899) décrivait l'existence de mouvements automatiques des genoux et de la hanche pour compenser un mouvement vers l'arrière de la tête et du tronc. Grâce à cet ajustement postural, le centre des masses pouvait rester dans les limites de la base posturale et l'équilibre postural pouvait être maintenu. Babinski observait également que l'absence de cet ajustement postural chez les sujets cérébelleux engendrait une chute vers l'arrière. Cette observation témoigne ainsi de l'implication du cervelet dans le contrôle de l'équilibre.

La nécessité de développer des ajustements posturaux afin d'exécuter efficacement le mouvement volontaire a été explicitée de façon imagée par Hess (1943). Dans son *modèle classique d'organisation du mouvement volontaire*, Hess distinguait trois composantes de l'exécution du mouvement volontaire, chacune symbolisée par un personnage (figure 4). Un sauteur, juché sur les épaules d'un porteur, et un supporteur empêchant le porteur de basculer en arrière au moment du bond du sauteur. L'activité orientée du sauteur, qualifiée de *téléocinétique*, était distinguée des activités posturales des deux autres personnages, désignées sous le terme d'*éreismatiques*. La posture initiale à l'état d'équilibre est symbolisée par le complexe stable sauteur-porteur-supporteur. Le mouvement volontaire est alors symbolisé par le saut. Pour effectuer son saut, le sauteur prend impulsion sur le porteur qui bascule vers l'arrière. Pour empêcher la chute du porteur, le supporteur compense son mouvement vers l'arrière en maintenant et poussant son buste vers l'avant. Pour que le saut puisse être réalisé efficacement, il est nécessaire que le sauteur puisse prendre appui sur un porteur stable. L'action contre-perturbatrice du supporteur doit donc être suffisante pour garantir le maintien du porteur. Ce faisant, Hess s'appuyait sur deux notions. La première était que le bond du sauteur est perturbateur de l'équilibre. La deuxième consistait en la dichotomie des réactions d'équilibration en une composante *statique* (le porteur) et une composante *dynamique* (le supporteur). Ces réactions d'équilibration ont alors pour rôle de s'opposer à la perturbation

induite par le mouvement. Cette conception originale de l'organisation du mouvement volontaire illustre clairement les notions de *support postural*, de *segment focal* et d'*ajustement postural*. Elle illustre également la nécessité de coordonner les différentes composantes du mouvement volontaire afin que la tâche puisse être réalisée efficacement.

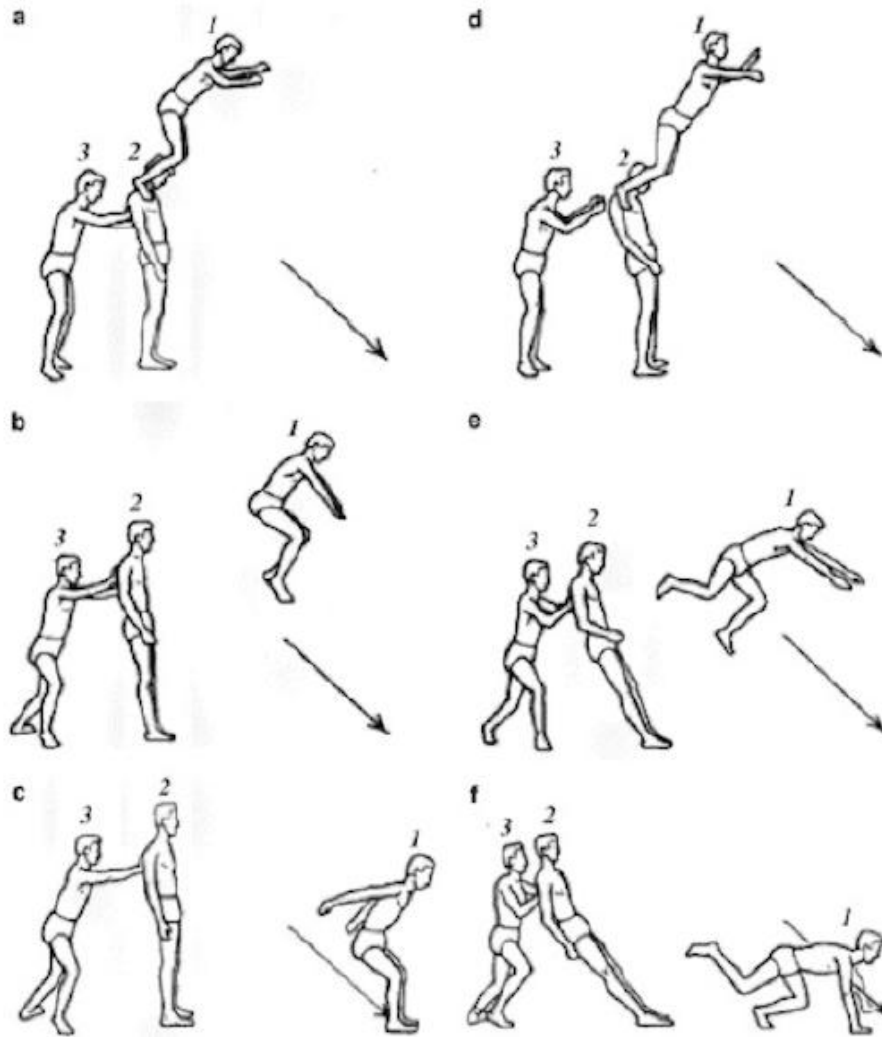


Figure 4 : Modèle d'organisation du mouvement volontaire (Hess 1943).

Les personnages représentent un sauteur (1) juché sur les épaules d'un porteur (2) maintenu par un supporteur (3). Le sauteur représente le mouvement volontaire alors que le porteur et le supporteur symbolisent respectivement les réactions d'équilibration statique et dynamique. **Dans la colonne de gauche** (a, b, c) les trois personnages effectuent leur rôle de façon synchronisée permettant ainsi la bonne exécution du saut. Au contraire, **dans la colonne de droite** (d, e, f), l'action des trois personnages n'est pas simultanée. Le supporteur n'apporte pas suffisamment de stabilité au porteur qui n'est donc pas capable de contrer la perturbation générée par le sauteur. Le saut est donc défectueux.

À la même époque, le neurologue André-Thomas (1940) considérait que les activités motrices sous-tendant le contrôle de l'équilibre postural pouvaient être scindées en deux

catégories : l'*équilibration-action* (ou *équilibration* à proprement parler) et l'*équilibration-réaction* (ou *rééquilibration*). L'*équilibration-action* correspond aux mécanismes neurophysiologiques d'équilibration intervenant par anticipation ou simultanément à la perturbation posturale. Ce type de mécanisme est mis en jeu lorsque la perturbation est prévisible (c'est le cas lors du mouvement volontaire). Au contraire, l'*équilibration-réaction* correspond aux mécanismes réflexes consécutifs à la survenue de la perturbation. Ce type de mécanisme survient, par exemple, lors d'un déplacement brusque de la surface d'appui.

Au fil des années, on retrouve dans la littérature la description de plusieurs types d'ajustements posturaux relevant de ces mécanismes d'équilibration-action. Généralement, trois types d'ajustements posturaux sont déclinés en fonction de leur chronologie d'apparition (Gahéry 1987) :

- 1) les ajustements posturaux *préparatoires* correspondant à un positionnement du corps adapté à la tâche à réaliser. Ces ajustements apparaissent au cours d'une phase précoce et ne se distinguent pas, dans leur effet, par une modification de la posture initiale. Ils seraient à évolution lente. Le but de ceux-ci serait de placer le corps dans une position favorable à l'exécution de la tâche. Ainsi, lors de l'élévation du membre supérieur, de l'initiation d'un pas rapide ou du départ en sprint, le centre des masses est porté préalablement vers l'avant ;
- 2) les ajustements posturaux *d'accompagnement*, apparaissant lors de la réalisation du mouvement focal. Lorsqu'ils débutent avant même l'initiation du mouvement, ils sont alors qualifiés d'*anticipateurs* (ajustements posturaux anticipateurs, APA). Par opposition, ceux qui accompagnent le mouvement sont appelés *contemporains* ou *simultanés* ;
- 3) les ajustements posturaux *correcteurs* (APC), *réactionnels*, ou encore *consécutifs*, apparaissent lors du maintien d'un équilibre instable, lors du retour à l'équilibre après l'exécution du mouvement focal ou encore après l'apparition d'une perturbation extérieure. Ces ajustements posturaux, d'origines diverses, peuvent être à courte ou à longue latence (par exemple, Friedli et al. 1984 ; Bouisset et Zattara 1987 ; Crenna et al. 1987 ; Oddsson 1990 ; Massion 1992 ; Latash et al. 1995a ; Latash et al. 1995b ; Le Bozec et al. 2008 ; Santos et al. 2010 ; Krishnan et Aruin 2011).

1.2.3. Concept de capacité posturo-cinétique

Cette notion d'ajustement postural a été intégrée dans le concept de *capacité posturo-cinétique* développé par Bouisset et ses collaborateurs (Bouisset et Zattara 1981 ; Bouisset et Zattara 1987 ; Bouisset 1991 ; Bouisset et Le Bozec 2002 ; Bouisset et Do 2008 ; Yiou et al. 2012a). La capacité posturo-cinétique est définie comme la capacité du système nerveux à développer des phénomènes posturaux contre-perturbateurs face à une contrainte posturale donnée. Ces phénomènes permettent d'atténuer les effets négatifs de la perturbation posturale sur la stabilité du corps. Ils interviennent à différents niveaux du système moteur (figure 5). Pour que la décision de réaliser une tâche (prescrite) s'accomplisse en une tâche effective (réelle), le système nerveux central commande le système musculaire qui mobilise ensuite le système ostéo-articulaire. Cette mobilisation se traduit par l'exécution du mouvement permettant la réalisation de la tâche. À chacun de ces niveaux, si la capacité posturo-cinétique est insuffisante, la sortie du sous-système correspondant sera elle-même modifiée. Cette sortie se traduit par des grandeurs accessibles à la mesure : électromyographiques, biomécaniques (cinématique, dynamique) et comportementales (performance).

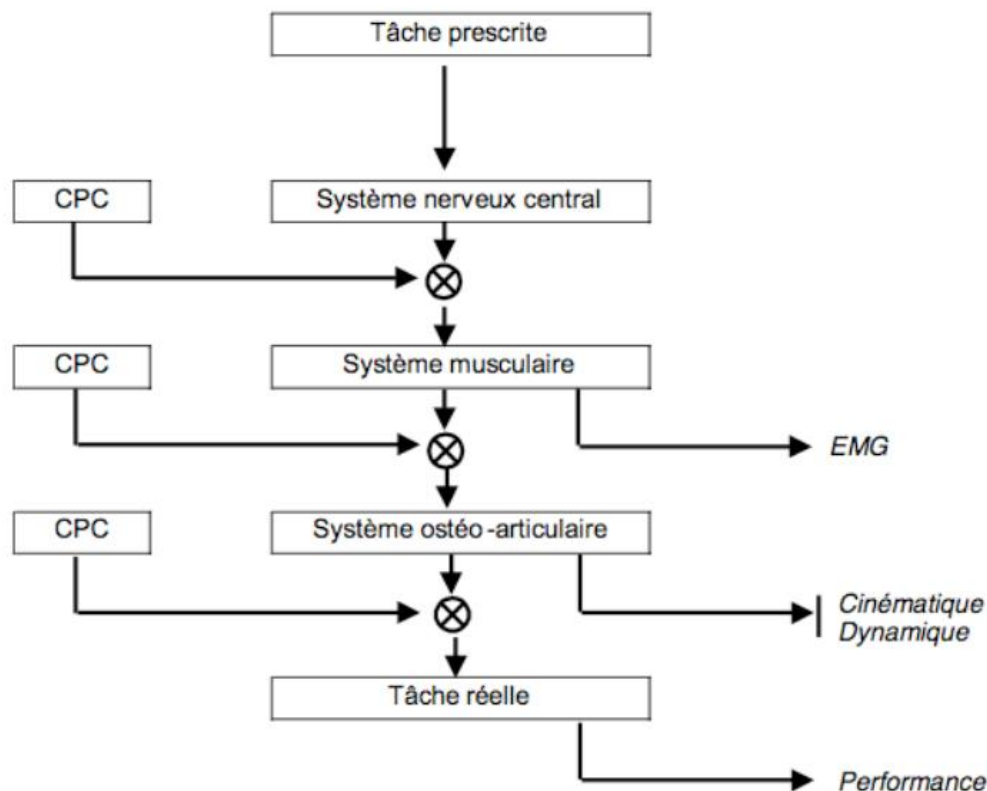


Figure 5 : Capacité posturo-cinétique et réalisation d'une tâche (Bouisset 2002).
 Avec CPC : capacité posturo-cinétique ; EMG : électromyographie

La capacité posturo-cinétique se rapporte originellement aux phénomènes posturaux associés aux mouvements volontaires. Cependant, elle peut être étendue aux phénomènes posturaux associés aux mouvements compensateurs liés à des perturbations exogènes (par exemple, un déplacement brusque de la surface d'appui) et endogènes « non volontaires » (respiration, battements cardiaques et mouvements péristaltiques).

Le concept de capacité posturo-cinétique met l'accent sur le fait que les ajustements posturaux constituent un processus dynamique impliquant la mobilité de la chaîne posturale. Ainsi, tout facteur altérant la dynamique posturale aurait un impact négatif sur la stabilité posturale et sur la performance motrice elle-même. Ce lien étroit entre la dynamique posturale et la performance motrice est en accord avec le modèle classique du mouvement volontaire développé par Hess (1943), précédemment décrit. C'est par exemple ce qui a été démontré lors des expérimentations manipulant le degré de mobilité du bassin grâce à la modulation de la surface de contact ischio-fémoral avec le siège en position assise (Lino et al. 1992 ; Teyssède et al. 2000 ; Le Bozec et Bouisset 2004). Dans ces études, les participants devaient effectuer diverses tâches motrices mobilisant le ou les membres supérieurs en condition de faible ou de forte mobilité du bassin. Lorsque la mobilité du bassin était augmentée, la vitesse maximale de pointage vers une cible (Lino et al. 1992 ; Teyssède et al. 2000) ainsi que la force de poussée isométrique maximale d'une barre dynamométrique (Le Bozec et Bouisset 2004) étaient plus élevées. Ces résultats ont par ailleurs été confirmés lors d'une tâche consistant à se lever à partir de la posture assise et lors de la flexion du tronc à vitesse maximale (Diakhaté et al. 2009). Ainsi, la diminution de la mobilité du bassin génère une diminution de la dynamique posturale anticipatrice (en termes de vitesse du centre des masses et de déplacement du centre des pressions). Dans la même veine, il a été démontré que la perturbation chronique de la mobilité posturale, chez le sujet lombalgique, s'accompagnait d'une amplification des oscillations posturales lors du maintien de la position orthostatique (Hamaoui et al. 2004). Des résultats analogues ont été obtenus chez le sujet sain : la réduction de la mobilité posturale était alors expérimentalement générée grâce à une contraction isométrique volontaire des muscles du torse (Hamaoui et al. 2011). L'ensemble de ces études montre que la réduction de la mobilité posturale réduit la capacité du système postural à s'opposer aux effets perturbateurs de l'équilibre (par exemple, la respiration), ce qui se répercute sur la performance motrice.

Par ailleurs, le concept de capacité posturo-cinétique met l'accent sur l'optimisation de l'efficacité des phénomènes posturaux contre-perturbateurs s'ils sont développés avant même la survenue de la perturbation. L'accent est donc mis sur l'importance des APA qui sont intimement liés à la notion d'équilibration-action d'André-Thomas (1940). Il a ainsi été montré que l'altération de la mise en place des APA par un blocage articulaire était associée à la réduction de la performance motrice (Friant 2011). Autrement dit, la performance finale du mouvement focal (par exemple, en termes de vitesse maximale d'exécution, de force maximale) et la stabilité posturale dépendraient de la « qualité » des ajustements posturaux et plus particulièrement de celle des APA.

La présence d'APA n'exclut évidemment pas l'existence de phénomènes posturaux survenant *pendant* (ajustements posturaux contemporains) et *après* (ajustements posturaux consécutifs) la survenue de la perturbation. En effet, survenant, par définition avant le début du mouvement volontaire, les APA ne peuvent être déclenchés de façon réflexive par l'exécution du mouvement : ils sont donc « préprogrammés », faisant l'objet d'une commande par anticipation. Dans la mesure où les APA résultent d'une estimation (nécessairement approximative) des perturbations mécaniques à venir, ils ne suffisent généralement pas à prendre « en charge » la totalité de la perturbation posturale (par exemple Aruin 2002 ; Santos et al. 2010 ; Krishnan et Aruin 2011). Dans ce cas, les APC permettent de renforcer l'action contre-perturbatrice des APA en constituant une « seconde ligne de défense ». Les APC peuvent même remplacer l'action des APA lorsque ces derniers sont inexistantes. C'est ce qu'ont par exemple démontré Krishnan et Aruin (2011) en perturbant, de façon prévisible (condition avec vision) ou non (condition sans vision), la posture orthostatique des participants grâce à un lâché de pendule sur leur poitrine. Les résultats ont montré que le déplacement du centre des pressions (vers l'arrière) au moment de l'impact était significativement plus grand en condition de vision que sans vision. Ce déplacement permettait de rendre compte de la dynamique posturale anticipatoire des participants. Lorsque les participants étaient privés de vision, aucune anticipation n'était possible : les APA n'étaient donc pas ou peu présents ce qui se traduisait par l'absence de déplacement du centre des pressions au moment de l'impact. Ce déplacement anticipatoire était négativement corrélé au déplacement maximal du centre des pressions lors des APC. Ces derniers étaient alors mesurés pendant une échelle temporelle de 500 ms après l'impact du pendule. Autrement dit, dans cette étude, plus l'amplitude des APA était faible, plus l'amplitude des APC était élevée. Les auteurs ont reproduit cette expérimentation, de façon « extrême », avec des participants

aveugles ne pouvant alors pas prédire l'instant de la perturbation. Dans ce cas, les sujets ne développaient pas d'APA, mais uniquement des APC. Dans la même veine, l'étude de Kanekar et Aruin (2014) a démontré l'importance des APC chez les séniors. Lors d'une tâche de réception d'impact de pendule avec les mains, une diminution des APA était associée à une augmentation des APC chez les séniors comparés à des jeunes. Intervenant après la perturbation, les APC permettaient alors de compenser le manque d'anticipation des séniors pour garantir l'équilibre après l'impact.

Considérant le statut privilégié des APA et l'importance donnée à leur rôle dans le contrôle postural, nous nous intéresserons spécifiquement à ces APA lors de cette Thèse. L'analyse des caractéristiques biomécaniques des APA (et de leur modulation) permet d'évaluer la capacité de la commande posturale à s'adapter aux contraintes appliquées au système postural. Les caractéristiques et la modulation des APA seront ainsi abordées dans la partie suivante après avoir spécifié leurs rôles fonctionnels.

1. 3. Focus sur les Ajustements Posturaux Anticipateurs (APA)

1.3.1. Rôles fonctionnels des APA

Les APA ont deux rôles majeurs : stabiliser le corps et assister la performance motrice. Ces fonctions des APA sont classiquement différenciées selon que le mouvement volontaire implique ou non une modification de la base posturale. Les exemples de l'élévation du membre supérieur en position orthostatique (base posturale fixe) et du processus d'initiation de la marche (base posturale changeante) permettent d'illustrer cette distinction fonctionnelle.

1.3.1.1. Stabiliser le corps lors d'un mouvement volontaire

La première fonction classiquement associée aux APA est celle de s'opposer à la perturbation posturale induite par le mouvement volontaire. Cette fonction a été mise en évidence grâce au paradigme, devenu classique, d'élévation du membre supérieur à partir de la position orthostatique (Belen'Kii et al. 1967 ; Bouisset et Zattara 1981 ; Friedli et al. 1984 ; Bouisset et Zattara 1987 ; Bouisset 1991). En vertu du principe de l'action et de la réaction, l'élévation du membre supérieur à partir de la position orthostatique génère, dès le début du mouvement volontaire, des forces de réaction internes. Appliquées au niveau de l'épaule, ces

forces - dirigées vers l'arrière et vers le bas - s'appliquent au niveau du support postural jusqu'à générer des forces de réaction au niveau de la surface d'appui, dans la même direction (Bouisset et Zattara 1981 ; Bouisset et Zattara 1987 ; Bouisset 1991). Comme l'ont démontrés Ramos et Stark (1990), sur la base d'une modélisation biomécanique du corps humain, ces forces de réaction déstabilisent l'ensemble du corps et doivent être contrebalancées. Selon eux, si les forces générées par l'élévation rapide du membre supérieur - à partir de la position orthostatique - n'étaient pas contrebalancées, elles entraîneraient une chute du sujet. Afin de compenser ce déséquilibre, les APA ont donc une dynamique posturale à l'exact opposé des forces générées par le mouvement volontaire. En effet, les APA se caractérisent par une accélération du centre des masses du corps vers l'avant et vers le haut. Ce mécanisme de compensation par avance garantirait ainsi le maintien du centre des masses à l'intérieur de la base posturale.

Ce rôle stabilisateur des APA, proposé par (Bouisset et Zattara 1981 ; Bouisset et Zattara 1987), a été retrouvé dans de nombreuses études lors de tâches de mobilisation de(s) membre(s) supérieur(s) à partir de postures variées (exemple de quelques études pionnières : Cordo et Nashner 1982 ; Friedli et al. 1984 ; Lee et al. 1990) mais aussi d'inclinaison du tronc et de la tête vers l'arrière (Crenna et al. 1987). Crenna et al. (1987) ont ainsi démontré qu'un mouvement d'inclinaison (du tronc et de la tête) de 30° vers l'avant ou vers l'arrière était accompagné d'un déplacement simultané en direction opposé de la hanche et du genou. Cette coordination multi-segmentaire entraînait, un déplacement de la projection au sol du centre de gravité de 2 cm seulement ; alors même que la modélisation de ce mouvement prévoyait un déplacement de 12 cm dans l'axe antéro-postérieur. Selon ce modèle, l'absence d'ajustements posturaux aurait entraîné une perte d'équilibre lors du mouvement.

Pour répondre à leur fonction stabilisatrice, il a été montré que les APA étaient spécifiques du mouvement à venir. Ainsi, les caractéristiques des APA (durée, amplitude) varient en fonction de la stabilité posturale initiale (Cordo et Nashner 1982 ; Do et al. 1991 ; Nouillot et al. 1992 ; Aruin et al. 1998) et de l'intensité de la perturbation, c'est-à-dire de la vitesse, de la précision, de la force, de la charge et de l'inertie des segments corporels mobilisés (Zattara et Bouisset 1983 ; Horak et al. 1984 ; Zattara et Bouisset 1986b ; Zattara et Bouisset 1986a ; Lee et al. 1987 ; Bouisset et al. 2000). Par exemple, plus la vitesse ou l'inertie du segment mobilisé augmente, plus la durée et l'amplitude des APA sont importantes (Zattara et Bouisset 1983 ; Horak et al. 1984 ; Lee et al. 1987 ; Bouisset et al.

2000). Plus spécifiquement, il a été démontré que les APA n'apparaissent qu'à partir d'un certain seuil de vitesse et que leur amplitude augmente de façon proportionnelle au carré de la vitesse maximale d'élévation du membre supérieur (Zattara et Bouisset 1983 ; Bouisset et al. 2000). Il est à noter que les APA sont présents même pour des tâches mobilisant des segments de faible inertie telles que des mouvements de doigts (Bolzoni et al. 2015) ou du poignet (Chabran et al. 2002).

Cette conception du rôle contre-perturbateur des APA a été confirmée par Crenna et al. (1987) grâce au paradigme classique d'inclinaison du tronc et de la tête vers l'arrière. Ces auteurs ont montré que ce mouvement d'inclinaison de 30° vers l'avant ou vers l'arrière était accompagné d'un déplacement simultané en direction opposée de la hanche et du genou. Cette coordination multi-segmentaire entraînait un déplacement de la projection au sol du centre de gravité de 2 cm seulement, alors même que la modélisation de ce mouvement prévoyait un déplacement de 12 cm dans l'axe antéro-postérieur. Selon ce modèle, le mouvement aurait entraîné une perte d'équilibre sans le développement d'ajustements posturaux.

Bien que les APA soient programmés au regard de l'intensité de la perturbation posturale du mouvement volontaire à venir, ils ne la contrent pas totalement. Les APC associés au mouvement volontaire restent donc nécessaires (et complémentaires) au maintien de l'équilibre postural.

Lors du mouvement focal des membres supérieurs, tel que mentionné ci-dessus, la base de sustentation reste fixe. Au contraire, les tâches impliquant le(s) membre(s) inférieur(s) induisent une réduction de la base posturale. C'est par exemple le cas des tâches d'élévation sur la pointe des pieds ou de balancement sur les talons (Lipshits et al. 1981 ; Clément et al. 1984 ; Nardone et Schieppati 1988) qui induisent une réduction de la base posturale sur l'axe antéro-postérieur ; ou encore d'initiation de la marche (Brenière et al. 1987 ; Dietrich et al. 1994), d'élévation latérale de la jambe (Mouchnino et al. 1992 ; Mouchnino et al. 1993) et de flexion de la jambe (Rogers et Pai 1990 ; Do et al. 1991 ; Nouillot et al. 2000 ; Yiou et al. 2011a) qui induisent une réduction de la base posturale sur l'axe médio-latéral. Pour l'ensemble de ces mouvements, la fonction d'opposition à la perturbation de l'équilibre des APA est également retrouvée.

L'étude du maintien de l'équilibre médio-latéral est un réel enjeu de santé publique. En effet, chez les personnes âgées, les chutes latérales augmentent le risque de fracture de la hanche, comparées aux chutes des autres directions, c'est-à-dire antéro-postérieures (Maki et al. 2000 ; Maki et McIlroy 2006). Le passage d'un appui bipodal à unipodal est particulièrement éprouvant pour l'équilibre médio-latéral. Dans ce cas, un déplacement du centre des pressions sous le pied d'appui, désormais unique base posturale s'opère. Si aucune action n'est entreprise, un découplage est créé entre le centre des pressions et le centre des masses (qui maintient alors sa position initiale) et entraîne un déséquilibre du corps vers le côté de la jambe oscillante (figure 6). Pour éviter ce déséquilibre, voire une chute latérale, des forces inertielles sont donc générées vers la jambe d'appui avant l'instant du décollement du pied (Jian et al. 1993 ; Lyon et Day 1997). Ces forces sont créées grâce au déplacement du centre des pressions vers la jambe oscillante au cours des APA et permettent de propulser le centre des masses aux abords de la base posturale lors de l'élévation de la jambe oscillante (Mouchnino et al. 1992 ; Jian et al. 1993 ; Lyon et Day 1997 ; Zettel et al. 2002). Ce déplacement, souvent considéré comme l'expression d'une poussée sur le sol (Mouchnino et al. 1992 ; Lyon et Day 1997), garantit ainsi la stabilité lors du mouvement.

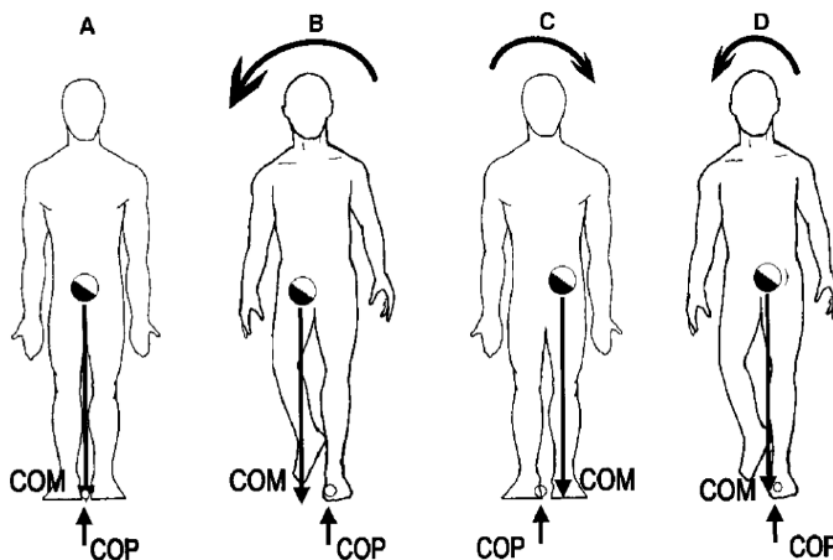


Figure 6 : Illustration de la fonction stabilisatrice des APA lors de l'initiation de la marche (Rogers et al. 2001). **A** - Durant la position orthostatique, avec le poids équitablement réparti entre les deux appuis, la projection du centre des masses au sol est pratiquement confondue avec le centre des pressions. **B** - Si une jambe est rapidement soulevée pour exécuter un pas, alors qu'aucun ajustement postural n'a lieu, le centre des pressions et le centre des masses seront découplés dans le plan frontal et le corps chutera vers le côté du membre oscillant. **C** - Durant une initiation volontaire du pas, cette instabilité latérale potentielle est minimisée grâce au déplacement initial du centre des pressions vers la jambe oscillante avant le décollement du pied oscillant. **D** - Lorsque la jambe oscillante, le centre des masses est situé au plus proche du pied d'appui, où se trouve le centre des pressions, et donc la chute latérale du corps est minimisée.

Lorsque cette poussée est suffisante, le couple de déséquilibre entre le centre des pressions et le centre des masses au moment du décollement du pied oscillant est atténué. La chute latérale du centre des masses vers la jambe oscillante, lors de son élévation, est donc limitée (Jian et al. 1993 ; Lyon et Day 1997). Au contraire, si elle est insuffisante, un moindre déplacement du centre des masses vers la jambe d'appui sera généré, maximisant ainsi la chute vers la jambe oscillante (figure 7).

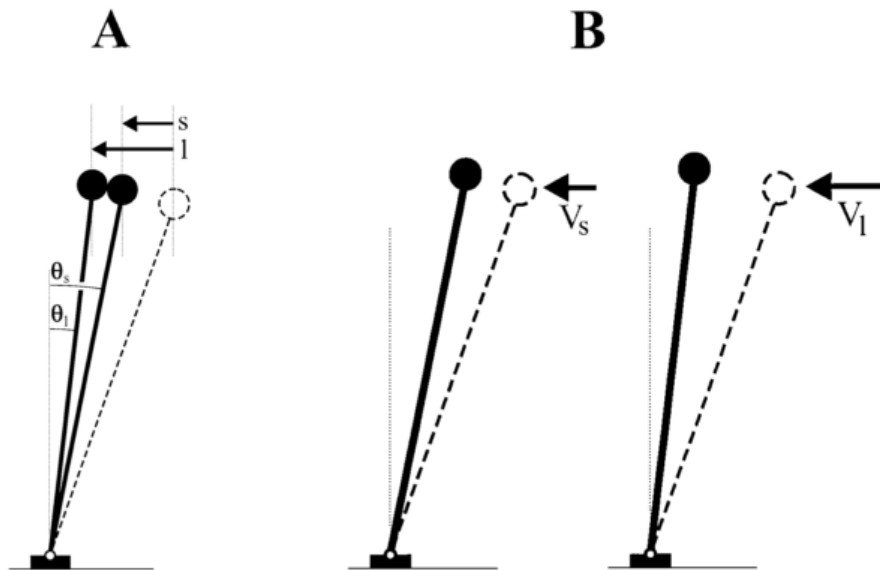


Figure 7 : Représentation des processus de régulation du déplacement médio-latéral du centre des masses au moment du levé du pied oscillant (Lyon et Day 1997).

Représentation du plan frontal du centre des masses et de la jambe d'appui en position initiale (cercle et lignes discontinues) puis au moment de l'élévation du pied oscillant (cercle plein et lignes continues épaisses). La ligne continue fine représente la verticale gravitaire. **A** - Une faible préparation au déplacement latéral lors des APA (s) engendre un grand angle entre la verticale et la jambe d'appui (θ_s) ; au contraire, lors d'une grande préparation au déplacement latéral (l) l'angle formé avec la jambe d'appui est faible (θ_l). Dans le second cas, le corps est donc moins enclin à la chute du côté de la jambe d'élévation (non représentée ici). **B** - Une faible vitesse latérale du centre des masses à la fin des APA (V_s) engendrera un moindre déplacement vers la jambe d'appui ; au contraire, une grande vitesse médio-latérale du centre des masses au moment du levé du pied (V_l) engagera davantage le centre des masses au-dessus de la jambe d'appui.

Cette poussée est classiquement analysée grâce à l'étude biomécanique des forces de réaction au sol. Comme le montre la figure 8, le moment de l'élévation d'une jambe oscillante à 45° (t_2), à partir d'une position orthostatique stable (avant t_1), est précédé par un déplacement du centre des pressions vers la jambe oscillante. Cette poussée se produit lors de la courte fenêtre temporelle (entre t_1 et t_2) correspondant aux APA.

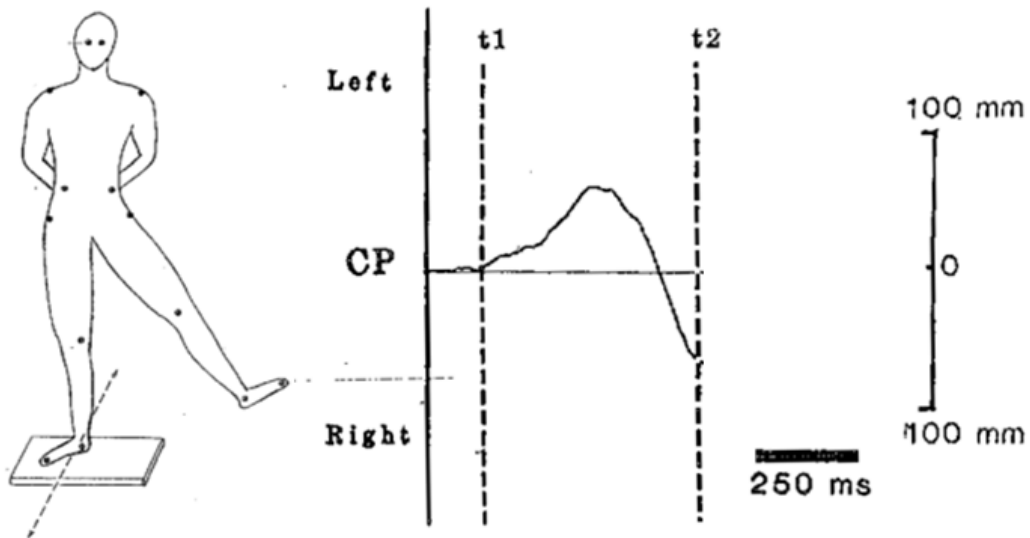


Figure 8 : Déplacement du Centre des pressions (CP) selon l'axe médio-latéral lors de l'initiation d'un mouvement d'élévation de la jambe à 45° (adapté de Mouchnino et al. 1991).

A gauche, vue de face de la position finale d'un mouvement d'élévation de la jambe gauche à 45°. A droite, déplacement du centre des pressions au cours du temps avec t1 : le début des APA ; t2 : le début de l'exécution du mouvement correspondant au décollement du pied d'élévation.

1.3.1.2. Assister la performance motrice

En plus de stabiliser la position du centre des masses dans la base posturale, les APA permettent d'accompagner le mouvement. Dès lors, la seconde fonction des APA contribue directement à la réalisation du mouvement volontaire et, *in extenso*, à la performance motrice. Bouisset et al. (2000) ont en effet démontré que, durant la tâche classique d'élévation du bras, la dynamique anticipatrice de certains segments corporels s'opposait à la perturbation posturale alors que celle d'autres segments allait dans le sens de cette perturbation. La fonction d'accompagnement de la performance motrice a aussi été retrouvée dans des tâches nécessitant un déplacement du corps dans son ensemble. C'est par exemple le cas des tâches de saisie manuelle d'objet au sol (Stapley et al. 1998 ; Stapley et al. 1999 ; Commissaris et al. 2001), de saut (Le Pellec et Maton 1999 ; Le Pellec et Maton 2002) ou d'initiation de la marche (Dietrich et al. 1994).

Par ailleurs, les APA permettent de créer les conditions dynamiques favorables à la propulsion du centre des masses dans la direction désirée. L'initiation de la marche est un modèle classiquement utilisé pour illustrer cette fonction. Elle est définie comme étant la phase transitoire comprise entre la position orthostatique et l'instant du posé du pied oscillant

sur le sol (Brenière et al. 1981 ; Brenière et al. 1987 ; Nissan et Whittle 1990). Le processus d'initiation de la marche se compose de deux phases : une phase *posturale* et une phase d'*exécution*. La phase posturale correspond aux APA. Elle a notamment été mise en évidence grâce à des mesures électromyographiques et biomécaniques, c'est-à-dire grâce aux forces de réaction au sol (Carlsöö 1966 ; Herman et al. 1973 ; Cook et Cozzens 1976 ; Mann et al. 1979 ; Brenière et al. 1987). Cette phase est comprise entre le début des phénomènes dynamiques et/ou électromyographiques et l'instant du décollement du talon. La phase d'exécution est quant à elle comprise entre l'instant du décollement du talon et l'instant du posé du pied oscillant au sol. Notons que le moment du posé du pied oscillant au sol correspond, à quelques dizaines de millisecondes près, au moment du pic de vitesse du centre des masses (Brenière et al. 1981 ; Brenière et al. 1987). Ce dernier est donc aussi utilisé pour déterminer la fin de la phase d'exécution lors de l'initiation de la marche.

Selon l'axe de progression du corps, c'est-à-dire l'axe antéro-postérieur, les APA ont pour rôle de générer les forces propulsives nécessaires à la progression du centre des masses vers l'avant (Brenière et al. 1987). Cette propulsion du centre des masses est conditionnée par la position relative du centre des pressions et du centre des masses. L'équation établie par Brenière et al. (1987) permet de synthétiser les conditions posturo-dynamiques nécessaires pour générer des forces propulsives. Cette équation, issue des lois de la mécanique est la suivante :

$$Kx''M = W(xM - xP)$$

Où K est une constante intégrant les paramètres biomécaniques du sujet (moment d'inertie et masse) ; $x''M$ est l'accélération du centre des masses ; W est le poids du sujet ; xM est la projection au sol de la position du centre des masses et xP la position du centre des pressions.

Notons que les paramètres anthropométriques du sujet sous-tendus par la variable K se détaillent de la façon suivante :

$$K = \frac{IG}{h} + mh$$

où IG est le moment d'inertie du corps autour du centre des masses ; m est la masse du sujet et h est la hauteur du centre des masses.

La relation montre que l'accélération du centre des masses (\ddot{x}_M) et le différentiel ($\dot{x}_M - \dot{x}_P$) ont le même signe. Or, du fait de son inertie, l'accélération du centre des masses ne peut produire immédiatement un déplacement significatif du centre des masses (Lepers et Brenière 1995). Le déplacement du centre des masses est donc généré par le déplacement du centre des pressions qui est un point sans masse. A l'instar des processus de régulation de l'équilibre lors du maintien de la position orthostatique précédemment énoncés (voir partie 1.1.3 relative au modèle du pendule inversé), l'initiation du mouvement est orchestrée par les positions relatives du centre des masses et du centre des pressions ($x_M - x_P$). Ainsi, un déplacement du centre des masses vers l'avant, est satisfait grâce au déplacement du centre des pressions vers l'arrière, c'est-à-dire vers les talons (Carlsöö 1966 ; Herman et al. 1973 ; Yamashita et Katoh 1976 ; Mann et al. 1979 ; Brenière et al. 1981 ; Jian et al. 1993).

La création d'un *couple de déséquilibre* (découplage entre le centre des pressions et le centre des masses), à partir d'une posture stable, est donc à l'origine de l'initiation du mouvement volontaire. En effet, de la rupture momentanée de l'équilibre en découlent des *forces propulsives* nécessaires à l'initiation d'un mouvement. Ainsi, lors de l'initiation de la marche, le recul du centre des pressions lors des APA génère une accélération du centre des masses vers l'avant. Lorsque cette accélération est suffisante elle initie alors le premier pas (Brenière et al. 1987 ; Jian et al. 1993 ; Winter 1995). Dès lors, la performance motrice du pas (par exemple, vitesse du centre des masses, longueur du pas) est conditionnée par les APA (Lepers et Brenière 1995). Brenière et al. (1987) ont ainsi démontré que plus le pas est rapide, plus la durée des APA est longue, et plus la durée de la phase d'exécution courte.

Ce processus d'initiation du mouvement intentionnel serait programmé par le système nerveux central (Brenière et al. 1987 ; Crenna et Frigo 1991 ; Brunt et al. 1999 ; Couillandre 2008). Les phénomènes dynamiques anticipateurs surviennent environ 300 à 500 millisecondes (selon la vitesse de progression du pas) avant le décollement du talon du pied oscillant. Le recul du centre des pressions vers le pied d'appui est régi par l'activité de deux groupes musculaires. Sur l'axe antéro-postérieur, l'inhibition bilatérale des muscles soléaires (muscles extenseurs de la cheville) suivie de l'activation bilatérale des muscles tibiaux antérieurs (muscles fléchisseurs de la cheville) permettent le recul du centre des pressions vers les talons (Carlsöö 1966 ; Cook et Cozzens 1976 ; Brenière et al. 1981 ; Crenna et Frigo 1991 ; Elble et al. 1994). Sur l'axe médio-latéral, le déplacement du centre des pressions vers

la jambe oscillante est principalement dû à l'activation des muscles abducteurs de la hanche de la jambe oscillante (Winter 1995 ; Elble et al. 1996). La flexion du genou de la jambe d'appui contribue aussi à ces modifications posturales (Mickelborough et al. 2004). Notons que la contribution des muscles gastrocnémiens de la jambe oscillante dans le déplacement du centre des pressions vers la jambe oscillante a été démontré lors d'une tâche d'élévation latérale de la jambe (Mouchnino et al. 1992 ; Mille et Mouchnino 1998). Le décollement du talon est initié par une brusque activation du soléaire de la jambe oscillante et marque la fin des APA et le début de la phase d'exécution. A partir de ce moment, l'activité du tibial antérieur de la jambe d'appui cesse et le pas est comparé à une chute balistique autour de la cheville (Leperc et Brenière 1995). L'activité du soléaire de la jambe d'appui aurait pour rôle de contrôler la chute du centre des masses sous l'effet des forces gravitaires. Par là même, cette activité permettrait d'ajuster la longueur du pas (Michel et Do 2002 ; Honeine et al. 2014).

1.3.2. Origine centrale des APA

Les structures nerveuses à l'origine des APA font encore l'objet de nombreuses études. Cependant, ces structures, leur organisation et leur rôle ne sont pas encore très bien connues.

Selon Massion (1992), les réseaux de neurones principalement impliqués dans le contrôle des APA seraient localisés à un niveau sous-cortical (tronc cérébral, moelle épinière). Cela n'a cependant jamais été démontré chez l'Homme. En effet, cette hypothèse s'appuie essentiellement sur les travaux réalisés chez le chat (par exemple, Luccarini et al. 1990 ; Schepens et Drew 2003 ; Schepens et Drew 2006). Ces études ont montré que les réseaux de neurones réticulo-spinaux interviendraient dans la régulation du tonus antigravitaire et le contrôle des APA. De récentes études chez l'Homme (sain et atteint de la maladie de Parkinson) suggèrent que l'organisation des APA soit notamment régulée par trois zones cérébrales : le cortex frontal (Mihara et al. 2008), le cervelet (Bruttini et al. 2015), et les ganglions de la base (Viallet et al. 1987 ; Massion 1992 ; Tagliabue et al. 2009). La littérature recense ainsi un certain nombre d'études ayant proposé que l'organisation des APA serait notamment régulée par : l'aire motrice supplémentaire (Viallet et al. 1992 ; Jacobs et al. 2009), l'aire pré-motrice (Massion 1992 ; Viallet et al. 1992 ; MacKinnon et al. 2007 ; Monjo et Forestier 2014), le globus pallidum interne (Rocchi et al. 2012), la substance Nigra pars

reticula (Chastan et al. 2009), le thalamus (Ng et al. 2011 ; Ng et al. 2013), le noyaux sous-thalamique (Crenna et al. 2006 ; Liu et al. 2006 ; Rocchi et al. 2012) et le noyau pédonculopontin – qui se situe dans la région locomotrice mésencéphalique - (Mazzone et al. 2014 ; Welter et al. 2015). Les régions cérébrales impliquées dans le contrôle de l'équilibre sont schématiquement représentées dans la figure 9 suivante.

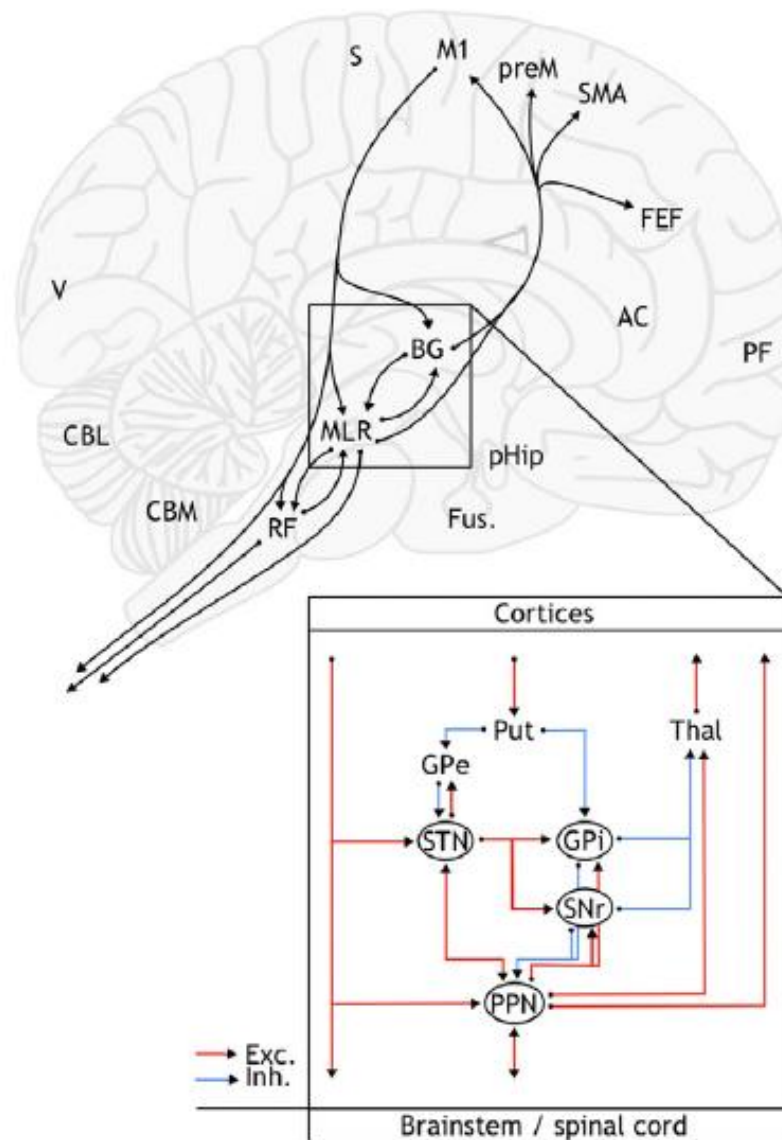


Figure 9 : Représentation schématique de la structure du réseau anatomique et neural cortico-sous cortical impliqué dans le contrôle du pas et de l'équilibre chez les humains (figure adaptée de Collomb-Clerc et Welter 2015). Avec AC : cingulaire antérieur ; BG : ganglion de la base ; CBL : cortex cérébelleux ; CBM : vermis cérébelleux ; FEF : champs oculo-moteur frontal ; Fus : gyrus fusiforme ; GPe : globus pallidus externe ; GPi : globus pallidus interne ; M1 : cortex moteur primaire ; MLR : région motrice mésencéphalique ; PF : cortex préfrontal ; pHip : gyrus para-hippocampique ; PreM : cortex prémoteur ; SMA : aire motrice supplémentaire ; RF : formation réticulaire ; STN : noyau sous-thalamique ; Put : putamen ; PPN : noyau pédonculopontin ; SNr : substantia nigra pars reticulata ; S : cortex somato-sensoriel ; Thal : thalamus ; V : cortex visuel.

Les paramètres spatiaux (amplitude des APA) et temporeux (durée des APA) des APA ne seraient pas régis de la même façon. Alors que la durée des APA serait majoritairement sous l'action des ganglions de la base et de l'aire motrice supplémentaire (Jacobs et al. 2009 ; Rocchi et al. 2012), l'amplitude des APA (mesurée grâce aux déplacements du centre des pressions sur les axes antéro-postérieur et médio-latéral) serait contrôlée par le noyau pédunculo-pontin (Mazzone et al. 2014 ; Collomb-Clerc et Welter 2015). Cependant la simultanéité des paramètres spatio-temporels ne permet pas toujours d'identifier précisément l'engagement spécifique et différencié des réseaux neuronaux. Ainsi, la contribution des ganglions de la base, l'aire motrice supplémentaire et le noyau pédunculo-pontin peut être attribuée à la fois aux modifications de l'amplitude et de la durée des APA (Crenna et al. 2006 ; Rocchi et al. 2012 ; Collomb-Clerc et Welter 2015).

1.3.3. Organisation des APA

Selon MacKinnon et al. (2007), les APA seraient progressivement assemblés au niveau sous-cortical avant le début du mouvement volontaire ($\pm 1,5$ seconde). Ils seraient ensuite maintenus dans un état d'excitabilité jusqu'au moment de leur déclenchement par des excitations cortico-spinales. La programmation des APA se ferait en tenant compte du contexte dans lequel le mouvement est réalisé. La configuration des segments corporels et la position relative du corps par rapport au sol sont quelques exemples des éléments clés qui pourraient être pris en compte (Mouchnino et Blouin 2013). Ce processus est vraisemblablement basé sur des signaux sensoriels et pourrait impliquer des informations proprioceptives, cutanées, visuelles et vestibulaires (Mille et Mouchnino 1998 ; Timmann et Horak 1998).

Il est généralement admis que le contrôle des APA s'effectue en « boucle ouverte » (Forget et Lamarre 1990 ; Massion 1992). Cela signifie que la commande motrice ne tient pas compte des afférences et donc que les APA ne peuvent être rectifiés durant leur exécution. Toutefois, de récentes études ont mis en évidence la capacité du système nerveux central à actualiser les APA avant (Ruget et al. 2008) et même durant leur exécution (Mouchnino et al. 2012). Ces résultats laissent penser que la commande centrale en boucle ouverte des APA peut être mise à jour, probablement via des « boucles de rétroaction » rapides (Mouchnino et al. 2012).

Selon Massion (1992), il existerait deux modes de coordination entre les APA et le mouvement volontaire (figure 10) : un mode *hiérarchique* et un mode *parallèle*. Dans le mode hiérarchique, les APA et le mouvement focal sont les conséquences d'une seule commande motrice. Ainsi, les voies contrôlant le mouvement émettent des collatérales qui agissent sur les réseaux posturaux responsables des APA. Dans ce mode de coordination, le début du mouvement focal et le début des APA sont synchrones. Plusieurs arguments vont dans le sens de ce mode de coordination entre la posture et le mouvement. Par exemple, l'existence d'une corrélation entre l'action motrice et les APA (Aruin et Latash 1995) ou encore l'apparition d'APA après une stimulation électrique du cortex moteur chez le chat (Gahéry et Massion 1981) justifieraient l'existence de ce modèle. Dans le mode parallèle, le mouvement volontaire et les APA résultent de commandes motrices séparées. Dans ce cas, le début des APA et le début de l'activité du mouvement volontaire peuvent être dissociés. Ce mode d'organisation expliquerait ainsi la présence des APA avant même le début du mouvement focal (par exemple, Belen'Kii et al. 1967 ; Bouisset et Zattara 1981 ; Bouisset et Zattara 1987). Par ailleurs, ce mode de coordination entre la posture et le mouvement est appuyé par la possibilité de moduler les APA sans affecter les paramètres du mouvement focal (Slijper et al. 2002 ; Robert et al. 2007 ; Ilmane et LaRue 2011).

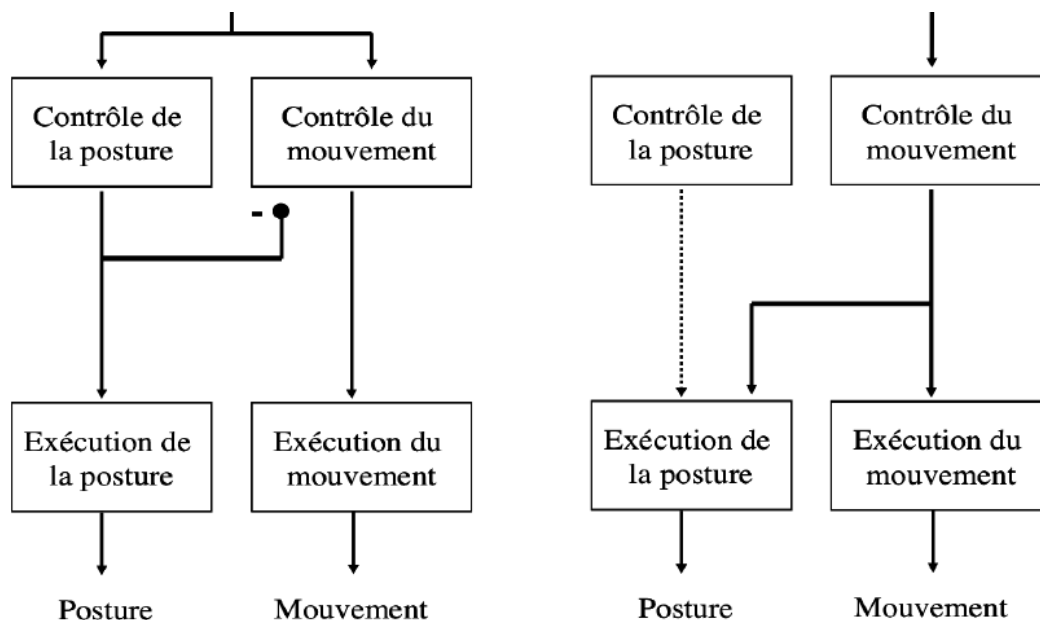


Figure 10 : Schématisation des deux modes d'organisation entre posture et mouvement.
À gauche : le modèle parallèle. À droite : le modèle hiérarchique (Massion 1992)

Des arguments plaident ainsi en faveur des deux modes de coordination entre la posture et le mouvement. Les résultats de la littérature suggèrent que le mode de coordination diffère en fonction : de la tâche réalisée et des conditions dans lesquelles celle-ci est réalisée. Par exemple en présence ou non d'une pression temporelle (par exemple, Ilmane et LaRue 2008 ; Ilmane et LaRue 2011).

1.3.4. Adaptabilité des APA

Les APA ont donc la capacité de s'adapter aux paramètres du mouvement volontaire à venir (vitesse, précision, force etc.). Comme nous le décrivons dans les paragraphes qui suivent, les APA ont également comme caractéristique de s'adapter aux contraintes biomécaniques qui peuvent être imposées au système postural (pour une revue voir Yiou et al. 2012a). Ces contraintes peuvent être de nature exogène (par exemple, la charge additionnelle, la contrainte temporelle) ou endogène (par exemple, la stabilité posturale, la fatigue musculaire, le vieillissement).

1.3.4.1. Contraintes posturales exogènes

1.3.4.1.1. APA et charge additionnelle

Comme nous l'avons évoqué plus tôt (voir partie 1.3.1.1), les APA évoluent en fonction de l'inertie des segments focaux mobilisés. Ainsi, la réalisation d'un mouvement avec une charge additionnelle (par exemple de 1 kg) engendre des modifications de l'organisation des APA (Bouisset et Zattara 1987 ; Zattara et Bouisset 1988). Lors de l'initiation de la marche, il a été démontré que l'ajout d'une charge additionnelle au niveau des hanches n'avait pas d'effet sur l'amplitude des APA. En revanche, la durée des APA était augmentée. L'allongement du temps des APA permettait ainsi la création d'une vitesse de progression du centre des masses équivalente à celle obtenue en condition « sans charge » (Caderby et al. 2013a).

1.3.4.1.2. APA et contrainte temporelle

De nombreux travaux se sont intéressés aux effets de la contrainte temporelle sur les APA. Une contrainte temporelle correspond à une restriction du temps donné aux participants

pour exécuter une tâche. Ainsi, une « forte » contrainte temporelle qualifie les situations où les participants doivent exécuter une tâche motrice le plus rapidement possible après un signal de départ (situation de temps de réaction). Au contraire, une « faible » contrainte temporelle correspond aux situations où la tâche motrice est librement initiée par les participants (situation auto-initiée). La littérature récente de nombreuses tâches motrices testées en situation de contrainte temporelle telles que : la flexion d'une épaule (Nougier et al. 1999) ou des deux épaules (Benvenuti et al. 1997), l'extension de l'épaule lors d'un mouvement de tir au handball (Ilmane et LaRue 2008), l'initiation d'un pas (Delval et al. 2005) ou encore la flexion de la cuisse (Yiou et al. 2012b). Toutes ces études ont démontré que la présence d'une forte contrainte temporelle, comparativement à une faible contrainte, engendre une diminution de la durée des APA. Ceux-ci commencent alors quasiment en même temps que le mouvement focal alors qu'en condition de faible contrainte temporelle les APA apparaissent bien avant le début du mouvement volontaire (Horak et al. 1984 ; Benvenuti et al. 1997 ; De Wolf et al. 1998 ; Nougier et al. 1999 ; Slijper et al. 2002). Cette diminution de la durée des APA en condition de forte contrainte temporelle permet alors de commencer le mouvement volontaire plus tôt et est notamment compensé par une augmentation de l'amplitude des APA (Yiou et al. 2012b). Au contraire, en condition de faible contrainte temporelle, les sujets disposent de tout leur temps pour préparer leur mouvement : la durée des APA est donc augmentée pour optimiser l'exécution du mouvement. Il est à noter que la modification de la durée des APA semble ne pas modifier la performance motrice.

1.3.4.2. Contraintes posturales endogènes

1.3.4.2.1. APA et stabilité posturale

L'influence de la stabilité posturale (initiale) dans l'organisation des APA a largement été étudiée. Les résultats ont montré qu'une augmentation de la stabilité de la position orthostatique, grâce à un support thoracique (Cordo et Nashner 1982) ou un appui contre un mur (Friedli et al. 1984), induisait une diminution des APA (en termes, par exemple, d'activation musculaire, d'amplitude du centre des pressions lors des APA et/ou de durée des APA). Il en est de même lorsque les individus doivent exécuter un mouvement en position assise ou allongée (van der Fits et al. 1998). Dans ces conditions, la stabilité est telle que les APA ne sont pas essentiels pour le maintien de l'équilibre durant le mouvement ; ils sont donc considérablement réduits par mesure d'« économie ».

Au contraire, la stabilité posturale peut-être diminuée, notamment par une réduction de la base posturale qui entraîne alors une diminution forcée de l'amplitude des déplacements du centre des pressions (Couillandre et al. 2002 ; Couillandre et Brenière 2003). Afin de compenser cette réduction de la mobilité, le système nerveux central est capable de mettre en place des stratégies anticipatrices compensatoires. Par exemple, lors de l'initiation de la marche à partir d'une position orthostatique sur la pointe des pieds, la possibilité de recul du centre des pressions lors des APA est réduite (comparativement à une position orthostatique « classique » où les pieds sont entièrement en contact avec le sol). Ce moindre recul est alors compensé par un allongement de la durée des APA. Cette compensation permet d'obtenir une vitesse du centre des masses - au moment du décolllement du pied oscillant et lors du pas - comparable à celle obtenue en condition d'appui « classique ». La diminution de l'amplitude peut aussi être compensée par une atténuation de la vitesse du centre des masses à la fin des APA (Nouillot et al. 1992 ; Aruin et al. 1998 ; Yiou et al. 2007a). Cette atténuation semblerait alors être une stratégie protectrice visant à réduire l'effet déstabilisateur des APA eux-mêmes. Ces exemples illustrent bien la capacité du système nerveux central à exploiter la redondance du système moteur pour garantir la performance de la tâche.

1.3.4.2.2. APA et fatigue

Afin d'adapter au mieux les APA, le système nerveux central semblerait prendre en compte la fatigue des muscles posturaux des membres inférieurs (Vuillerme et al. 2002 ; Morris et Allison 2006 ; Strang et Berg 2007 ; Kanekar et al. 2008 ; Strang et al. 2009) ou de l'ensemble de la musculature (Strang et al. 2008). Dans ces études, le niveau d'excitation musculaire au cours des APA était drastiquement diminué en situation de fatigue. Dans cette situation de fatigue, comparativement à la situation de non fatigue, l'apparition des APA était plus précoce. La durée des APA était augmentée alors même que la dynamique anticipatrice (représentée par le déplacement du centre des pressions durant les APA) restait identique. Cette augmentation de la durée des APA venait ainsi compenser la diminution de la production de force des muscles posturaux. Contrairement à ces études, Mezaour et al. (2010) ont récemment montré que la fatigue des muscles posturaux ne modifiait pas la durée des APA lors d'une tâche de poussée symétrique d'une barre vers l'avant. En revanche, en condition de fatigue comparée à la condition de non fatigue, ces auteurs ont observé une diminution du pic de déplacement du centre des pressions et de l'accélération du centre des

masses durant les APA. La différence de résultats obtenus avec les études précédentes pourrait être due à l'intensité de la fatigue. En effet, les premières études génèrent une fatigue musculaire beaucoup plus faible que l'étude de Mezaour et al. (2010) : une moindre fatigue des muscles posturaux pourrait donc induire de plus faibles perturbations des informations proprioceptives utilisées pour contrôler la posture et l'équilibre.

L'applicabilité de ces résultats a récemment été testée dans une tâche impliquant les membres inférieurs, à savoir l'initiation de la marche (Yiou et al. 2011b). Les résultats ont montré qu'en condition de fatigue, comparativement à la condition de non fatigue : la dynamique posturale anticipatoire (recul du centre des pressions et vitesse du centre des masses vers l'avant) et la performance motrice lors des APA (pic de vitesse du centre des masses à la fin du pas) diminuaient alors que la durée des APA et de celle de la phase d'exécution du pas augmentaient. Selon les auteurs, ces changements ne seraient pas directement associés à la faiblesse musculaire (induite par la fatigue) mais seraient plutôt le reflet d'une stratégie de protection ayant pour but de préserver l'intégrité des muscles fatigués.

L'ensemble de ces études suggère que l'adaptabilité des APA à la fatigue dépende de la tâche motrice réalisée et de la manière dont la fatigue est induite (force de la fatigue, nature des muscles fatigués, etc.).

1.3.4.2.3. APA et vieillissement

Le vieillissement physiologique (c'est-à-dire non pathologique), s'accompagne inexorablement d'une altération du contrôle postural (Maki et al. 2000 ; Rogers et Mille 2003 ; Mille et al. 2005 ; Hyodo et al. 2012 ; Singer et al. 2013). Cette altération pourrait être associée à une modification ou une dégradation structurelle et fonctionnelle du système sensori-moteur (Shaffer et Harrison 2007). L'effet du vieillissement sur les APA a notamment été démontré lors d'une tâche de flexion de l'épaule (Bleuse et al. 2006). L'exécution rapide de cette tâche par les seniors engendrait une diminution de l'amplitude des APA, comparativement aux jeunes participants. Cette différence organisationnelle des APA disparaissait pour des mouvements à vitesses lente et normale. D'après les auteurs, le maintien des caractéristiques des APA lors des mouvements lents ou normaux (à vitesse naturelle) serait lié à la mise en place d'une stratégie musculaire (de la hanche) permettant de

maintenir la stabilité. À vitesse rapide, cette stratégie n'est plus suffisante : la diminution de l'amplitude des APA serait ainsi une conséquence d'une stabilité posturale amoindrie.

1.3.4.2.4. APA et émotions

L'influence des émotions sur les APA a été démontrée par de nombreux travaux. Classiquement, ces études utilisent deux types de protocoles expérimentaux : les protocoles utilisant l'International Affective Pictures System (IAPS) et les protocoles utilisant une menace posturale. Alors que le premier type de protocole induit des émotions plaisantes ou déplaisantes (pour quelques exemple, Lang 1995 ; Chen et Bargh 1999 ; Bradley et al. 2001 ; Azevedo et al. 2005 ; Stins et Beek 2007 ; Lang et Bradley 2008a ; Lang et Bradley 2010 ; Naugle et al. 2011), le second induit de la peur de chuter (pour quelques exemple, Adkin et al. 2002 ; Brown et al. 2002 ; Carpenter et al. 2004 ; Adkin et al. 2008 ; Huffman et al. 2009 ; Yiou et al. 2011a). La question de l'adaptabilité des APA aux émotions est au cœur de ce travail doctoral : nous détaillerons donc spécifiquement ce point un peu plus tard (voir partie 3).

2. Définition et conceptualisation de la notion d'Émotion

2.1. Définition du concept d'émotion

Le phénomène émotionnel tente d'être expliqué depuis l'Antiquité grecque (Channouff et Rouan 2002 ; Luminet 2004). Depuis, de nombreuses théories émotionnelles ont vu le jour, considérant alternativement les phénomènes adaptatifs, le caractère hédonique, les processus d'évaluation ou de catégorisation, l'origine, les causes et les conséquences associées aux émotions (Kleinginna et Kleinginna 1981). Les définitions de l'émotion sont si nombreuses qu'il est difficile de pouvoir les recenser de façon exhaustive. Dans cette Thèse, nous considérerons l'émotion comme « *un ensemble de variations épisodiques dans plusieurs composantes de l'organisme en réponse à des événements évalués comme importants pour l'organisme* » (Scherer 2001, p 93). Selon cette définition, l'émotion est constituée de cinq composantes : cognitive (incluant l'évaluation du stimulus), physiologique (incluant le système autonome), motivationnelle (incluant les tendances à l'action), comportementale (incluant l'expression motrice) et subjective (incluant les sentiments). L'épisode émotionnel débiterait avec la synchronisation de ces différentes composantes émotionnelles et finirait avec leur retour à un fonctionnement indépendant. Ainsi, la notion d'*épisode émotionnel* plutôt que d'*état* émotionnel semble être plus adaptée pour définir le vécu émotionnel (Sander et Scherer 2009).

Ainsi, la définition de Scherer (2001) envisage une approche intégrative des différentes composantes des émotions. L'émotion est en effet un « *phénomène motivationnel complexe* » (Izard 1971) dans lequel un lien fort existerait entre chaque réponse (Cacioppo et al. 1992 ; Cacioppo et al. 1999 ; Van den Stock et al. 2007). Ainsi, la compréhension des émotions passe par la considération et l'évaluation de l'ensemble des composantes émotionnelles.

2.1.1. Étude de la composante physiologique des émotions

Les études physiologiques des émotions tentent d'identifier les manifestations somatiques et cérébrales impliquées lors d'un épisode émotionnel. La composante physiologique des émotions peut être distinguée en trois catégories : les manifestations liées

au système endocrinien, les manifestations liées au système nerveux autonome (système nerveux sympathique et parasympathique), et celles liées à l'activité cérébrale.

Ainsi, les modifications du système endocrinien générées par les stimuli émotionnels se manifesteraient par :

- 1) des modifications du taux de sécrétion hormonale (Mason 1975 ; Yehuda et al. 1993 ; Öhman 1995) ;
- 2) des modifications de l'activité du système nerveux autonome. Ainsi, le réflexe de sursaut (*startle reflex* - réflexe qui survient lors de l'émission d'un signal aversif soudain), le rythme cardiaque, la conductance thermique (Ekman et al. 1983 ; Lang et al. 1990 ; Davis 1992 ; Lang et al. 2000 ; Bradley et al. 2001) sont affectés par la présence de stimuli émotionnels ;
- 3) l'implication spécifique de certaines structures cérébrales et de patterns neuronaux (Papez 1937 ; Mogenson et al. 1980 ; Pribram 1980 ; Rinn 1984 ; MacLean 1993). L'une des premières structures cérébrales impliquée dans le processus émotionnel est le système limbique (Broca 1878 ; McLean 1952). Les éléments qui composent ce système font partie du lobe temporal et sous-cortical. Elles comprennent l'hypothalamus, l'hippocampe, le thalamus, l'amygdale, le septum, la substantia Nigra et l'insula. D'autres structures (par exemple, le putamen et le cervelet) sont impliquées lors d'un épisode émotionnel (Morris et al. 1996 ; Lane et al. 1997 ; Sprengelmeyer et al. 1998) ; cependant l'amygdale (Davis 1992 ; Öhman et Mineka 2001 ; de Gelder et al. 2004 ; Öhman 2005) semble être une structure clé. Elle agirait comme un détecteur de pertinence, et serait activée par les stimuli pouvant influencer, de manière positive ou négative, les buts, les besoins ou le bien-être de l'individu (Grafman et al. 2003).

2.1.2. Étude de la composante cognitive des émotions

Les études cognitivistes s'attachent davantage à comprendre la relation entre les émotions et les fonctions cognitives (Arnold 1960 ; Schachter et Singer 1962 ; Schachter 1964 ; Zajonc 1980 ; Lazarus 1982 ; Lazarus 1984 ; Zajonc 1984) telle que les évaluations du stimulus émotionnel (Chen et Bargh 1999 ; Lang et Bradley 2008a ; Bargh 2009 ; Brosch et

al. 2010), de la pertinence du stimulus (favorable ou nuisible à l'individu) et de l'urgence de la situation (Frijda 1986 ; Scherer 2009 ; Harmon-Jones et al. 2013). L'analyse des temps de réaction permet, par exemple, de rendre compte de cette composante (Chen et Bargh 1999 ; Rotteveel et Phaf 2004 ; Eder et Rothermund 2008 ; Eder et Hommel 2013 ; Laham et al. 2014).

2.1.3. Étude de la composante subjective des émotions

L'expression subjective des émotions est identifiée grâce à l'auto-évaluation, orale ou écrite, de l'affect, du ressenti, des sentiments, de l'humeur, etc. (Plutchik 1980 ; Scherer et al. 1986 ; Frijda et al. 1995 ; Feldman Barrett 2006). Les résultats ont par exemple démontré l'existence de douze termes fréquemment mentionnés pour définir les émotions (Frijda et al. 1995). Les équivalents linguistiques (l'enquête a été menée dans onze pays différents) de la joie, la tristesse, la colère, la peur et l'amour y figuraient.

2.1.4. Étude de la composante motivationnelle des émotions

L'étude de la composante motivationnelle se base sur l'expression des *motivations à l'approche et à l'évitement* (Elliot et al. 2006 ; Elliot 2006 ; Eder et al. 2013a ; Elliot et al. 2013). Ces motivations sont respectivement organisées autour des *systèmes motivationnels appétitif et défensif* (Lang 2000). Ces systèmes motivationnels seraient eux-mêmes médiés par deux circuits neuronaux : appétitif et défensif (Bradley et al. 1990 ; Lang 1995 ; Lang et al. 1997 ; Bradley et al. 1999 ; Lang 2000 ; Bradley et al. 2001 ; Lang et Bradley 2008b ; Bargh 2009 ; Lang et Bradley 2010). L'activation spécifique des systèmes motivationnels est influencée par le contexte environnemental. Ainsi, le système appétitif serait engagé dans des contextes plaisants et favorisant la survie de l'espèce ; au contraire, le système défensif serait engagé dans des contextes déplaisants et menaçants.

Les motivations à l'approche ou à l'évitement engendrent alors des *tendances à l'action* vers (c'est-à-dire tendance à l'approche) ou à l'encontre (c'est-à-dire tendance à l'évitement) des stimuli émotionnels, respectivement. Ces tendances à l'action sont définies comme des états de préparation « *dans le but d'exécuter un certain type d'action* » (Frijda 1986, p. 70). Il est important de noter que, même si ces tendances à l'action sont généralement associées aux comportements d'approche et d'évitement associés (voir ci-dessous, partie

2.1.5), elles n'en sont pas forcément synonymes (Eder et al. 2013a ; Elliot et al. 2013 ; Förster et Friedman 2013 ; Harmon-Jones et al. 2013).

2.1.5. Étude de la composante comportementale des émotions

Les études s'intéressant à la composante comportementale des émotions cherchent à identifier des réactions prototypiques de l'épisode émotionnel. Ces réactions peuvent être de différentes natures telles que la tonalité de la voix (Scherer 2003), les expressions faciales (Ekman et al. 1972 ; Ekman 1984 ; Ekman 1992 ; Ekman 1993 ; Ekman 2003), les postures et le mouvement - automatique ou volontaire - du corps (pour quelques exemples, Mehrabian 1968 ; Carpenter et al. 1999 ; Frijda et al. 2000 ; Pollick et al. 2001 ; Adkin et al. 2002 ; Atkinson et al. 2004 ; Atkinson 2005 ; Azevedo et al. 2005 ; Atkinson et al. 2007 ; Van den Stock et al. 2007 ; Davis et al. 2009 ; Dael et al. 2012). Les *comportements d'approche et d'évitement* - en lien avec la motivation à l'approche et à l'évitement - sont des comportements souvent étudiés. Alors que les comportements d'approche mènent à la récompense et à l'absence de punition ; les comportements d'évitement, tels que la fuite, l'évasion et le retrait, permettent de faire face à la menace, le conflit ou la punition (Lang et al. 1990 ; Lang et al. 1997 ; Bradley et al. 1999 ; Bradley et Lang 2000 ; Lang 2000 ; Bradley et al. 2001 ; Marsh et al. 2005 ; Eder et Rothermund 2008 ; van Dantzig et al. 2008 ; Bargh 2009 ; Corr 2013 ; Eder et Hommel 2013 ; Harmon-Jones et al. 2013 ; Dignath et Eder 2015).

Ces comportements d'approche et d'évitement sont généralement interprétés au regard du processus de *régulation de la distance* (Lavender et Hommel 2007 ; Seibt et al. 2008 ; Krieglmeier et al. 2010 ; Krieglmeier et al. 2011 ; Förster et Friedman 2013 ; Balcetis 2015). Ainsi, les stimuli plaisants induiraient chez les individus une tendance à diminuer la distance physique qui les sépare des stimuli ; alors que les stimuli émotionnels déplaisants les inciteraient à augmenter cette distance. La régulation de la distance par rapport à un stimulus émotionnel se ferait de façon automatique à partir du moment où le mouvement (spatial) est rendu saillant par la tâche (Krieglmeier et al. 2013). Cette régulation de la distance est notamment étudiée grâce à : l'analyse biomécanique des déplacements du centre des masses et du centre des pressions - par rapport au stimulus émotionnel - en position orthostatique (pour quelques exemples, Hillman et al. 2004 ; Azevedo et al. 2005 ; Stins et Beek 2007 ; Stins et al. 2011b) ; l'analyse du temps de réaction pour initier un déplacement du membre supérieur au regard d'un stimulus émotionnel (par exemple lors d'une tâche consistant à

pousser ou tirer un joystick - Chen et Bargh 1999 ; Duckworth et al. 2002 ; Rinck et Becker 2007 ; Eder et Rothermund 2008) ; l'analyse posturo-cinétique du déplacement du corps - par rapport au stimulus émotionnel - lors la marche ou l'initiation de la marche, (pour quelques exemples, Naugle et al. 2011 ; Stins et Beek 2011 ; Gélat et al. 2011 ; Naugle et al. 2012).

Dans le cadre de cette Thèse nous nous intéresserons principalement à cette composante comportementale des émotions. Cependant, interpréterons nos résultats en considérant les relations avec les autres composantes émotionnelles. Afin de mieux considérer et caractériser les émotions (modalités d'expression, situations déclenchantes, etc.), la littérature recense deux types de classifications des émotions que nous allons maintenant décrire.

2.2. Classification des émotions

2.2.1. Conception dimensionnelle des émotions

2.2.1.1. Dimensions de valence et d'activation : théorie biphasique des émotions

Dans le cadre de la conception dimensionnelle, les états émotionnels sont décrits grâce à un nombre restreint de dimensions. L'objectif de la conception dimensionnelle est d'établir une analogie entre l'expression émotionnelle (mesurable, observable) et les caractéristiques des émotions (processus émotionnel, modélisation théorique). Les dimensions de *valence* et d'*activation* sont les deux dimensions principalement retenues.

La dimension de valence correspond à la « qualité positive ou négative » associée au vécu émotionnel (Charland 2005). Elle se trouve sur le continuum bipolaire allant du plaisant au déplaisant (Lang et al. 1990) et serait la catégorie de base utilisée par le cerveau pour organiser les informations. Dans ce sens, des études ont montré que des stimuli totalement nouveaux et inconnus seraient directement évalués en termes de valence plaisante ou déplaisante (Duckworth et al. 2002). Cette dimension de valence serait effective pour tous types de stimuli tels que des mots (Osgood et Suci 1955 ; Bradley et Lang 1999 ; Leveau et al. 2011), des images (Lang et Bradley 2008a), des textes (Bradley et Lang 2007a) ou encore des sons (Bradley et Lang 2007b). Ces stimuli émotionnels peuvent être concrets et observables (par exemple, des objets, des événements) ou abstraits et de représentation interne (par

exemple, des éventualités, des possibilités - Elliot 2006). L'évaluation de la dimension plaisante ou déplaisante des stimuli serait un processus automatique (Osgood 1953 ; Bargh 1997 ; Bargh 2009). Ce caractère automatique a notamment été mis en avant de façon empirique grâce au biais de négativité (Ito et Cacioppo 2000). Ce biais correspond à la présence systématique et immédiate de réponses neurales d'alerte chez des participants exposés à des stimuli déplaisants. Cette réaction est expliquée par son « *utilité adaptative (...) permettant à l'organisme d'éviter des dommages* » (Ito et Cacioppo 2000, p. 674). La notion d'utilité adaptative de l'évaluation automatique des stimuli soutient l'idée que les émotions seraient apparues au gré de l'évolution.

La *dimension d'activation* est quant à elle « une charge » affective (Charland 2005) allant de la faible activation à la forte activation. Aussi appelée *éveil*, cette dimension peut être considérée comme un facteur d'intensité de l'effet de valence (Lang 1995). Autrement dit, la dimension de valence permettrait de qualifier l'émotion (évaluation hédonique : plaisant/déplaisant) alors que la dimension d'activation permet de la quantifier (force de l'évaluation).

L'existence de ces deux dimensions est caractéristique de la *théorie biphasique des émotions* (pour quelques études principes voir, Schneirla 1959 ; Lang 1995 ; Lang et al. 1997 ; Lang 2000 ; Lang et Bradley 2010). En effet, les dimensions de valence et d'activation des stimuli émotionnels seraient intimement liées à l'engagement (en termes de qualité et de quantité) des circuits neuronaux défensif et appétitif, et donc des motivations à l'approche et à l'évitement (Bradley et al. 2001). Ainsi, une émotion plaisante (forte valence) serait la conséquence de l'engagement du circuit appétitif lors d'une situation environnementale favorisant la survie. Au contraire, une situation nuisible engagerait le circuit défensif et génèrerait une émotion déplaisante (faible valence). Bradley et al. (2001) ont par ailleurs démontré l'existence d'un lien entre la « force » du stimulus émotionnel (forte activation) et l'engagement du système motivationnel (figure 11).

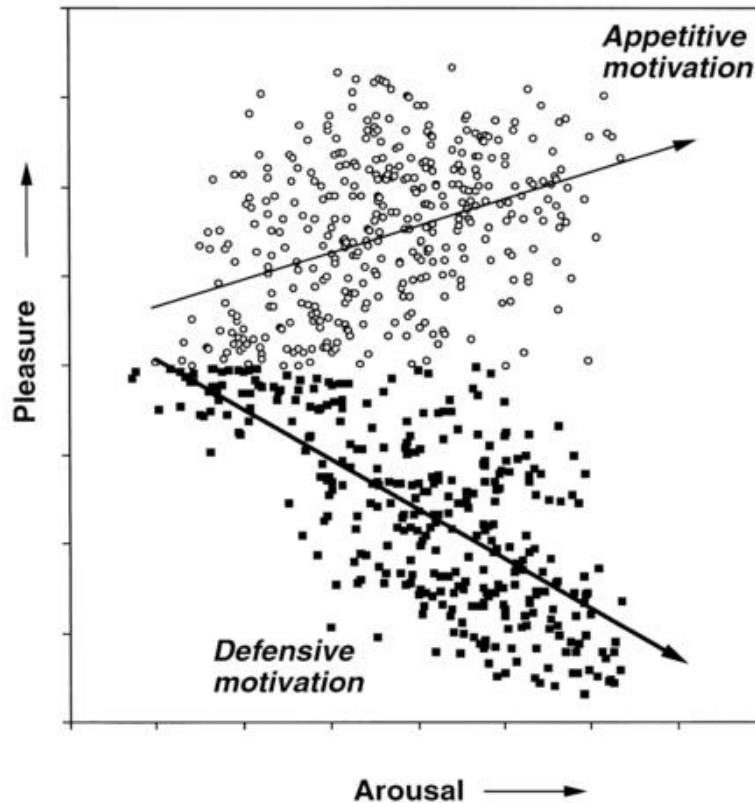


Figure 11 : Relation entre évaluation des stimuli émotionnels et motivation à l'approche et l'évitement (Bradley et al. 2001). Représentation de l'évaluation de stimuli émotionnels (images issues de l'International Affective Pictures System) sur la base des dimensions de plaisir (du moins plaisant au plus plaisant - en abscisse) et d'activation (du plus engageant au moins engageant - en ordonnée). Chaque cercle représente l'évaluation d'un stimulus. Les lignes de régression associées aux stimuli plaisants (cercle vide) et déplaisants (cercle plein) sont supposées refléter les systèmes motivationnels sous-jacents. Le système motivationnel appétitif engageant une motivation à l'approche et le système motivationnel défensif induisant une motivation à l'évitement.

2.2.1.2. Modélisation des émotions : modèle de l'affect central

Considérées comme indépendantes l'une par rapport à l'autre, les deux dimensions sont à l'origine de la représentation circulaire du *modèle dimensionnel de l'affect central et des émotions* (figure 12 - Russell 1980 ; Russell et Barrett 1999). L'affect central (*core affect* - Russell et Barrett 1999) étant un « *processus primitif (...) accessible à la conscience par de simples sentiments non réfléchis : se sentir bien ou mal, léthargique ou actif* » (Russell 2009). Ce modèle propose l'existence d'un espace affectif bidimensionnel représenté par un cercle comprenant deux axes ; un premier axe correspondant à la *dimension de valence*, borné par le caractère plaisant et déplaisant de l'affect ; un second axe composé de la *dimension d'activation* allant de l'état affectif désactivé à l'état affectif activé. Ainsi, l'état affectif « stressé », de valence fortement déplaisante et de moyenne activation, est en opposition à

l'état affectif « serein », de valence fortement plaisante et de moyenne activation. Ces états affectifs peuvent également se combiner. Par exemple, la peur serait la combinaison de deux états affectifs de forte activation et de faible valence : la tension et la nervosité.

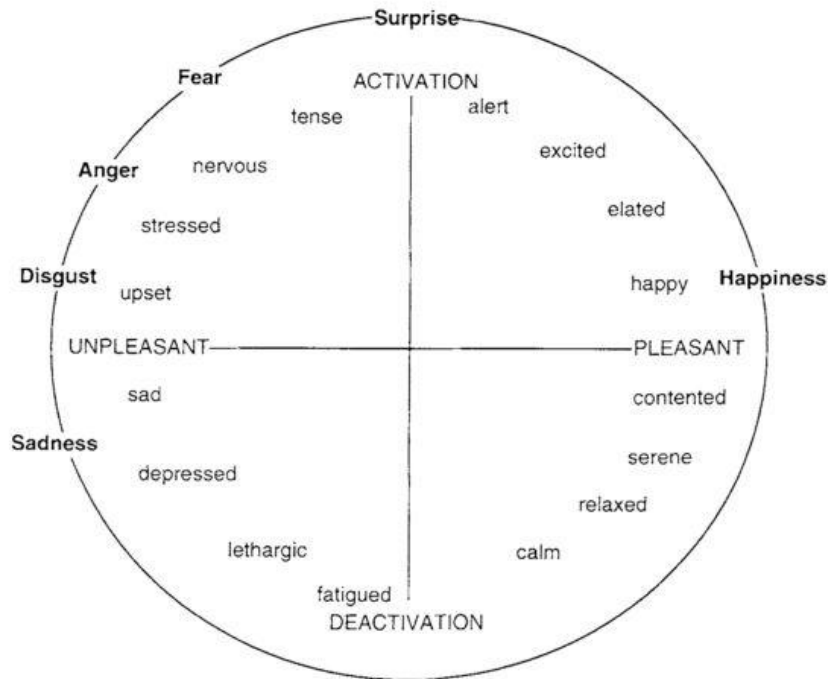


Figure 12 : représentation circulaire du modèle de l'affect central et des émotions (Russell et Barrett 1999). L'intérieur du cercle représente la structure schématique de l'affect central. Le cercle externe présente plusieurs émotions prototypiques en relation avec leurs caractéristiques affectives.

2.2.1.3. Hypothèse de la direction motivationnelle

Les études s'ancrant dans cette conception dimensionnelle des émotions se sont largement intéressées à la composante comportementale des émotions et, plus spécifiquement, aux comportements d'approche et d'évitement. Le lien entre les stimuli émotionnels et les comportements d'approche et d'évitement est fait grâce à l'hypothèse de la direction motivationnelle (Lang et al. 1990 ; Lang 1995 ; Bradley et al. 2001). Selon cette dernière, les stimuli émotionnels engendreraient des comportements d'approche et d'évitement par le biais du système motivationnel activé. Autrement dit, la dimension de valence des stimuli émotionnels engagerait le système motivationnel adéquat et induirait un comportement dans une orientation précise. Par contre, la dimension d'activation des stimuli émotionnels traduirait l'impulsion initiale qui guide l'organisme dans l'orientation donnée (Elliot 1997). Le système motivationnel pourrait donc déterminer la direction et la vigueur des comportements (Hebb 1949). Dans ce sens, l'hypothèse de la direction motivationnelle suppose que :

- 1) les stimuli émotionnels plaisants favorisent les comportements d'approche ;
- 2) les stimuli émotionnels déplaisants favorisent les comportements d'évitement ;
- 3) plus la dimension d'activation des stimuli est forte, plus les comportements d'approche ou d'évitement sont exprimés.

2.2.1.4. Protocoles utilisant l'International Affective Picture System

Classiquement, les protocoles de recherche considérant la conception dimensionnelle émotions induisent (de façon expérimentale) les émotions grâce à l'*International Affective Pictures System* (IAPS - Lang et al. 1997 ; Lang et Bradley 2008a). Cet outil validé et particulièrement exhaustif, catégorise une batterie d'images émotionnelles de différentes natures (menace, mutilation, baby face, érotique, etc...) selon leur valence et leur activation (figure 13). Les participants sont alors exposés à ces images qu'ils doivent ensuite évaluer de façon subjective.

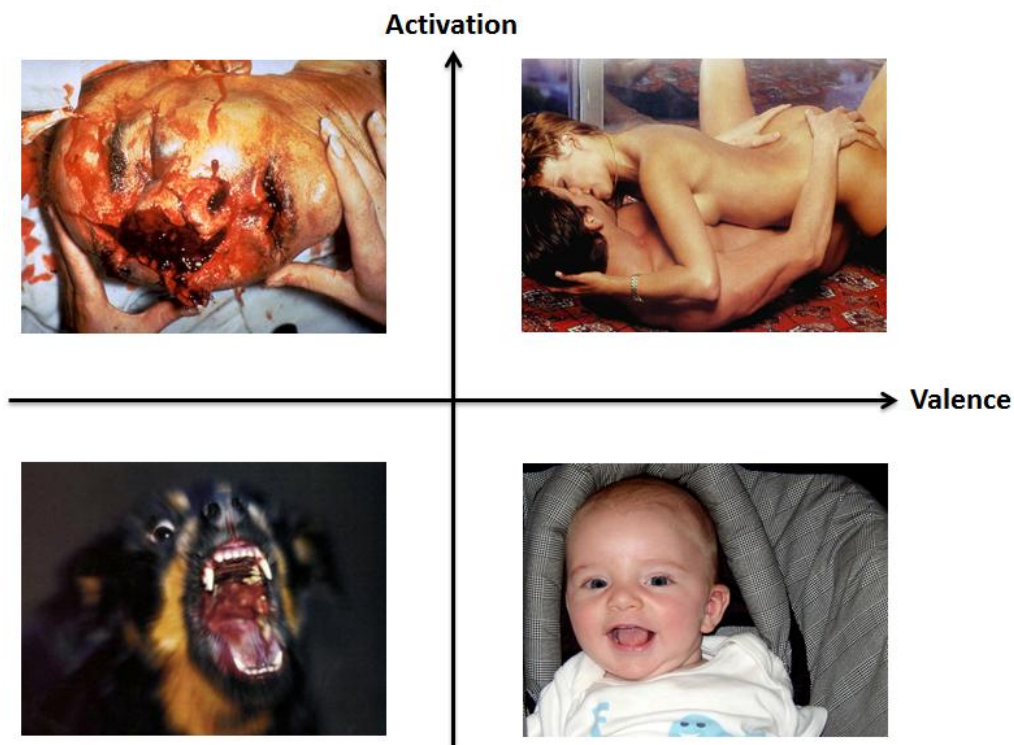


Figure 13 : Images de natures différentes issues de l'IAPS (Lang et Bradley 2008a).

De gauche à droite et de haut en bas : image de mutilation (image n° 3060 ; valence moyenne : 1.79 ± 1.56 ; activation moyenne : 7.12 ± 2.09) ; image érotique (image n° 4668 ; valence moyenne : 6.67 ± 1.69 ; activation moyenne : 7.13 ± 1.62) ; image d'attaque (image n° 1304 ; valence moyenne : 3.37 ± 1.58 ; activation moyenne : 6.37 ± 1.93) ; image de bébé (image n° 2045 ; valence moyenne : 7.87 ± 1.19 ; activation moyenne : 5.47 ± 2.34).

Cette évaluation se fait grâce au *Self Assessment Manikin* (SAM - figure 14). Le SAM se compose de deux échelles distinctes, notées de 1 à 9, représentant d'une part la dimension de valence, d'autre part la dimension d'activation. Ainsi, les images plaisantes ont des scores de valence élevée (de 6 à 9) alors que les images jugées déplaisantes ont des valences faibles (1 à 4). Les images neutres, considérées comme des images *non émotionnelles*, ont alors une valence moyenne (score de 5). De la même façon, la dimension d'activation des images peut prendre un score allant de 1, quand il n'y a qu'une faible activation, à 9 pour une forte activation. Les images neutres se situent alors dans des faibles scores d'activation. Notons que ce SAM est aussi utilisé pour l'évaluation de toutes sortes de stimuli (mots, sons, etc.).

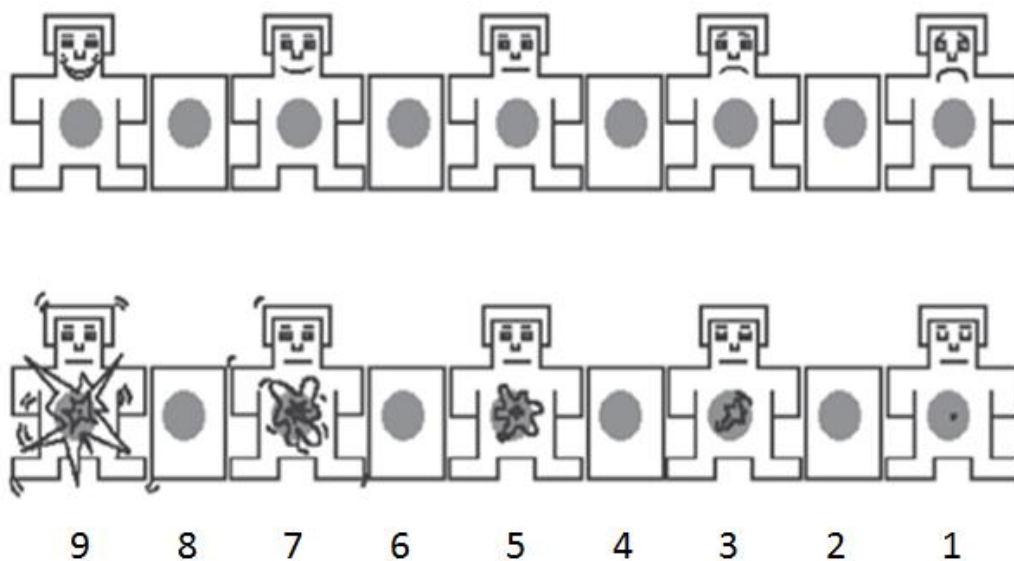


Figure 14 : Exemple de SAM version papier-crayon utilisé pour évaluer les images de l'IAPS.

En haut : échelle de valence du plus plaisant au plus déplaisant (de gauche à droite).

En bas : échelle de l'activation du plus activant au moins activant (de gauche à droite).

2.2.1.5. Limites majeures de la conception dimensionnelle des émotions

La construction d'une conception dimensionnelle des émotions a été argumentée à de nombreuses reprises. Cette approche présente le fort avantage de représenter les émotions sans chercher à les dénommer, ce qui laisse la place à des émotions complexes, qu'elles soient définissables ou non. En contrepartie, une des critiques majeures de cette approche, est justement la perte d'informations concernant certaines émotions (Izard 1971 ; Ekman 1984 ; Ekman 1989). Par exemple, la peur et la colère se situent plus ou moins à la même place sur

le cercle de l'affect central et des émotions. En effet, ces émotions sont toutes deux particulièrement négatives et intenses. Cependant, aux niveaux subjectif, expressif et comportemental, ces deux émotions s'expriment très différemment (Ekman 2003 ; Wacker et al. 2003 ; Marsh et al. 2005 ; Carver et Harmon-Jones 2009).

En outre, le nombre de dimensions semble dépendre du choix de l'outil de départ. Il est difficile de savoir si les dimensions obtenues correspondent à un matériel spécifique, à la nature des émotions ou aux limites du vocabulaire dont nous disposons pour exprimer le ressenti et les émotions (Scherer 1984).

Par ailleurs, bien que la plupart des auteurs se focalisent sur les deux dimensions que sont la valence et l'activation, le nombre de dimensions, comme leur dénomination, varient selon les auteurs et les variables étudiées. Les analyses des expressions faciales (Woodworth 1938 ; Osgood 1952 ; Schlosberg 1952 ; Schlosberg 1954 ; Osgood 1966) et verbales (Russell et Mehrabian 1977) ont par exemple démontré l'existence d'une troisième dimension : la dimension de *contrôle*, aussi appelée dimension de *dominance*. Cette dernière se rapporterait davantage à l'évènement qui a provoqué la réaction plutôt qu'à la réaction elle-même (Russell 1978 ; Russell et Barrett 1999). Malgré tout, selon Russell (2003, p. 153) « *L'observation de deux dimensions générales [de valence et d'activation] est tellement omniprésente, et les modèles descriptifs actuels tellement similaires, que le mot consensus apparaît désormais dans les écrits sur ce sujet (Watson et Tellegen 1985) ».*

Malgré ces limites, cette approche reste largement utilisée et permet de rendre compte, en partie, de l'influence des stimuli émotionnels.

2.2.2. Conception catégorielle des émotions

2.2.2.1. Émotions basiques et complexes

Selon la conception catégorielle, les processus émotionnels sont expliqués grâce à un petit ensemble d'émotions *basiques*, aussi appelées *primaires* ou *fondamentales*. Celles-ci seraient innées, non réductibles et communes à toute l'espèce humaine (Ekman et Friesen 1971 ; Ekman 1992). Ces émotions basiques auraient été façonnées au gré de l'évolution

(Ekman 1992 ; LeDoux 1996 ; Plutchik 2005) et seraient devenues un processus organisateur de niveau supérieur permettant la mise en place de programmes nécessaires à l'activité de l'organisme (Cosmides et Tooby 2000). La communauté scientifique s'accorde généralement sur cinq émotions basiques : la *colère*, la *peur*, la *joie*, la *tristesse* et le *dégoût*.

Les émotions basiques se différencient d'autres états affectifs tels que les *humeurs*, les *attitudes*, les *dispositions affectives* (pour une revue voir, Piolat et Bannour 2008), notamment grâce à leur caractère universel, leur spontanéité, leur brièveté, leur automaticité et leur expressivité (Ekman 1992 ; Ekman 1999). Par ailleurs, les émotions basiques se différencient des émotions *complexes*, aussi appelées *dérivées* ou *secondaires*. Ces émotions complexes seraient des nuances de l'expérience émotionnelle issues de la combinaison des émotions basiques (Plutchik 1977 ; Plutchik 1980 ; Plutchik 1984). Alors que les émotions basiques seraient issues de processus automatiques et réflexifs, les émotions complexes nécessiteraient la mise en place d'opérations cognitives, conscientes ou inconscientes (Damasio 1995). Ces processus cognitifs seraient nécessaires pour l'adaptation de l'individu à son environnement, notamment social.

2.2.2.2. Modélisation des émotions : modèle de Plutchik

Selon le modèle de Plutchik (1980), les émotions complexes seraient, métaphoriquement, un mélange d'émotions primaires et pourraient varier en intensité. Ainsi, les émotions pourraient être organisées selon trois dyades : primaire, secondaire et tertiaire. Dans la dyade primaire, les émotions ne sont pas combinées, ce sont les émotions basiques. Au contraire, les dyades secondaire et tertiaire correspondent aux combinaisons de deux niveaux émotionnels issus de la dyade précédente. Par exemple, l'association de la colère et du dégoût donnerait le mépris (figure 15).

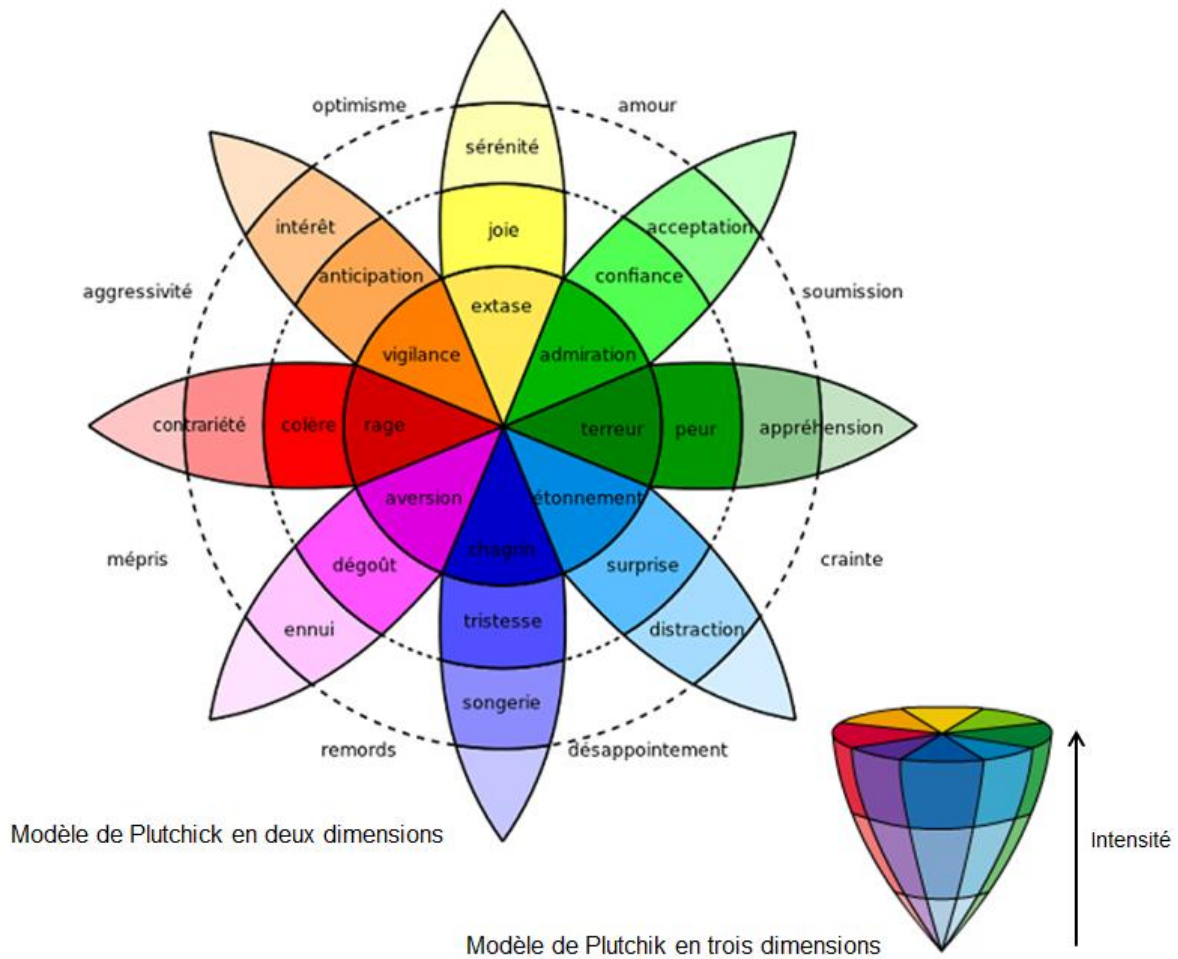


Figure 15 : Les émotions basiques et complexes selon le modèle de Plutchik (1977, 1984). Schématisation de ce modèle en version 2D (à gauche) et en (3D à droite).

2.2.2.3. Cas spécifique de la peur

Une des émotions basiques la plus ambiguë est la peur. En effet, les émotions basiques sont censées être caractérisées par un pattern stable d'expressions émotionnelles ; cependant, dans le cas de la peur, ces expressions ne sont pas toujours prédictibles. Le grand nombre d'études recensées dans la littérature témoigne de l'intérêt porté aux comportements contradictoires associés à la peur : les comportements de fuite et d'attaque (*flight and fight* - Frijda et al. 1989 ; Blanchard et Blanchard 1990a ; Blanchard et Blanchard 1990b ; Gray et McNaughton 2000 ; Blanchard et al. 2001 ; Corr 2004 ; McNaughton et Corr 2004 ; de Gelder et al. 2004 ; Eder et Rothermund 2013).

L'étude spécifique de la peur, grâce aux travaux de conditionnement de Pavlov (1927) et de LeDoux (LeDoux et al. 1983, 1988 ; LeDoux 1990 ; Ramirez et al. 2015), a donné lieu à

la *théorie du double circuit émotionnel* (figure 16). Selon cette théorie, il existerait deux « chemins de la peur » dans le cerveau : la voie basse aussi appelée la voie thalamique, et la voie haute ou voie corticale. La voie basse correspond au besoin de réagir dans l'urgence pour lutter pour la survie de l'espèce. Cette voie est rapide et ne nécessite pas de traitement lourd de l'information. Les réponses aux stimuli émotionnels menaçants peuvent en effet être réduites à leur plus simple expression grâce à des connexions privilégiées de la voie basse avec le système nerveux autonome (sympathique et parasympathique). Les informations émotionnelles présentes peuvent être comparées, de façon très rapide, avec des stimuli mémorisés plus anciens et ainsi permettre une réaction plus rapide. Au contraire, la voie haute traite les informations de manière cognitive et consciente. C'est une voie réfléchie, qui ne suscite pas l'activation du système nerveux autonome avec la même force que la voie basse. Dès lors, cette voie est presque deux fois plus lente que la voie basse. Les signaux des stimuli sont envoyés de manière parallèle dans les deux voies.

Selon ces considérations, il est nécessaire de dissocier deux types de peur. La première est basique et correspond au circuit rapide et réflexif de la peur : thalamus-amygdale. Cette peur dite *fonctionnelle de base* correspond à des situations de surprise sensorielle, qu'elle soit visuelle, auditive, tactile ou proprioceptive. Cette émotion de peur interne induirait des réactions à l'évitement et à la fuite et pourrait s'accompagner d'une inhibition de la pensée (Öhman 1995 ; Öhman 2000). La seconde est plus cognitive, elle correspond à une incompréhension d'un stimulus externe et emprunte le chemin long : thalamus-néocortex-amygdale. Celle-ci peut être induite par la narration, mais aussi par une situation environnementale hostile ou jugée irrationnelle. Lorsqu'une situation est perçue incontrôlable ou inévitable la peur, alors consciente, peut devenir de l'anxiété (Öhman 2000).

De nombreux facteurs environnementaux ou contextuels peuvent induire l'émotion de peur et peuvent faire écho à des peurs ancestrales comme la peur de l'inconnu (Acquas et al. 1996), de la maladie ou de la mort. En effet, selon les théories de l'évolution, la peur est spécifiquement générée pour éviter ces dernières situations. De cette peur naîtrait alors des comportements stéréotypés de protection de soi et de son intégrité physique (Blanchard et Blanchard 1990b ; Öhman 2000 ; Öhman et Mineka 2001).

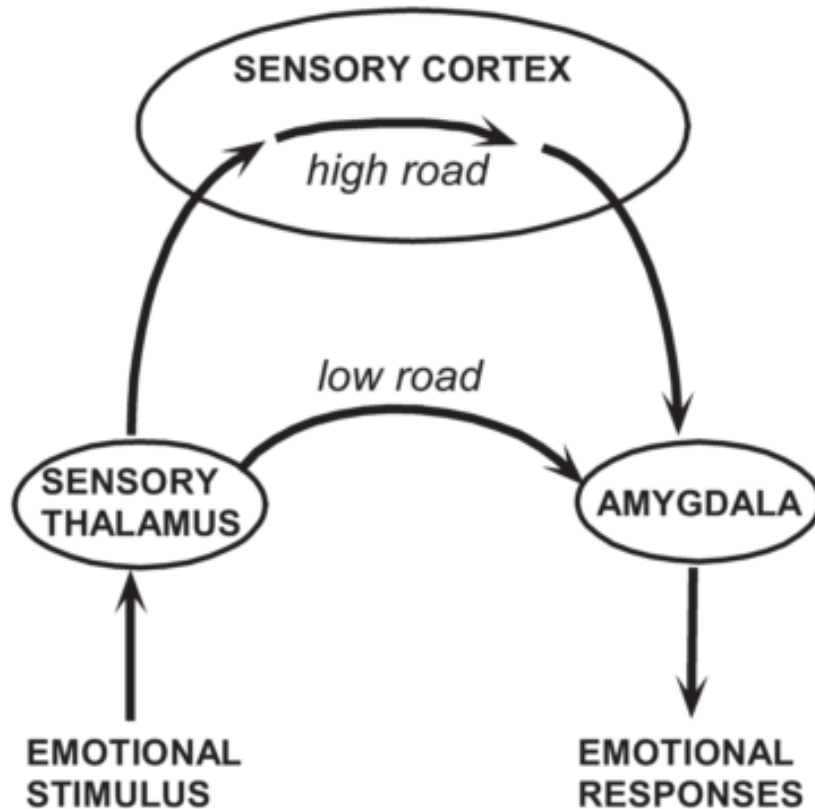


Figure 16 : Théorie du double circuit émotionnel : représentation des deux chemins de la peur dans le système nerveux central (LeDoux et Phelps 1995).

L'amygdale reçoit des informations des régions du traitement sensoriel via le thalamus et le cortex. La voie thalamique ou voie basse (low road), prévoit une représentation rapide, mais brut du stimulus menaçant. La voie corticale ou voie haute (high road) est plus lente mais fournit des représentations plus élaborées. Alors que la voie basse permet un accès direct à l'amygdale, la voie haute s'appuie sur un processus de traitement initial.

2.2.2.4. Protocoles utilisant une menace posturale

La plupart des auteurs adhérant à la conception catégorielle des émotions étudient la composante comportementale des émotions, grâce à l'utilisation d'une *menace posturale*. Ce type de protocole consiste à placer des participants sur une plateforme surélevée afin d'induire une peur de chuter. Dans ce contexte, la *menace posturale* est représentée par la hauteur. Plus largement, tout évènement (ou objet) susceptibles de perturber l'équilibre des participants

placés en situation de hauteur est qualifié de menace posturale. Dans cette situation, la menace posturale peut être augmentée en :

- 1) augmentant la hauteur de la plateforme (Adkin et al. 2000 ; Carpenter et al. 2004 ; Brown et al. 2006a ; Adkin et al. 2008 ; Yiou et al. 2011a) et/ou
- 2) rapprochant les participants du bord de la plateforme - et donc en augmentant la proximité avec le vide - (Carpenter et al. 1999 ; Carpenter et al. 2001 ; Adkin et al. 2002 ; Brown et al. 2006b) et/ou
- 3) ajoutant une perturbation exogène, par exemple grâce à une surface rotative ou des poussées dans le dos (Carpenter et al. 2004 ; Adkin et al. 2008)

L'induction de la peur de chuter grâce à ce protocole a été démontrée à de nombreuses reprises grâce à des questionnaires et des mesures physiologiques telles que la conductance électrique de la peau. Les résultats ont montré que plus la menace posturale était forte, plus la peur de chuter était grande (Adkin et al. 2002 ; Adkin et al. 2008 ; Davis et al. 2009 ; Huffman et al. 2009 ; Yiou et al. 2011a ; Davis et al. 2011 ; Zaback et al. 2015).

2.2.2.5. Limites majeures de la conception catégorielle des émotions

La notion d'émotions basiques a donné lieu à d'importantes discussions (pour une revue, voir Coppin et Sander 2005). Ainsi, quand certains auteurs pensent que se restreindre à un nombre limité d'émotions n'aurait pas de sens (Mandler 1984), d'autres nient l'existence même de catégories (Ortony et Turner 1990). Le manque d'homogénéité dans la classification des émotions selon les cultures (Russell 1991) et l'absence de consensus sur le nombre des émotions basiques sont des arguments permettant de s'opposer à la pertinence de cette classification. En effet, le nombre et la qualité des émotions basiques évoluent selon les auteurs, leur ancrage théorique et les motifs d'inclusion considérés (pour quelques exemples, voir tableau 1). Malgré un manque de consensus notable et de nombreuses controverses (notamment pour la *surprise*) les cinq émotions basiques (la *colère*, la *peur*, la *joie*, la *tristesse* et le *dégoût*) font généralement consensus. Malgré ces limites, cette conception catégorielle garde une grande validité théorique et empirique (Niedenthal et al. 1999).

Auteurs	Emotions basiques	Théories	Motifs d'inclusion
Ekman (1973) Ekman et al (1982)	Colère (anger), dégoût (disgust), peur (fear), joie (joy), tristesse (sadness), surprise (surprise)	Evolutionniste	Expressions faciales universelles
Izard (1971 ; 1972 ; 1977)	Colère (anger), mépris (contempt), dégoût (disgust), détresse (distress), peur (fear), culpabilité (guilt), curiosité (interest), joie (joy), honte (shame), surprise (surprise)	Neurophysiologique	Dispositions innées
Panksepp (1982)	Espérance (expectancy), peur (fear), fureur (rage), panique (panic)	Neurophysiologique	Dispositions innées
Plutchik (1962 ; 1980)	Résignation (acceptance), colère (anger), anticipation (anticipation), dégoût (disgust), joie (joy), peur (fear), honte (shame), surprise (surprise)	Evolutionniste	Relation aux processus biologiques adaptatifs
Tomkins (1962 ; 1963 ; 1984)	Colère (anger), curiosité (interest), mépris (contempt), dégoût (disgust), détresse (distress), peur (fear), joie (joy), honte (shame), surprise (surprise)	Neurophysiologique	Densité de la réponse neurale

Tableau 1 : Sélection d'une liste d'émotions basiques

Classement selon les auteurs, leur motif d'inclusion et leur ancrage théorique. Tableau inspiré et traduit à partir des tableaux « Primary emotions proposed in recent theories » (Kemper 1987) et « A selection of lists of "basic" emotions » (Ortony et Turner 1990).

NB : Les références des auteurs cités sont disponibles dans les deux articles d'origine.

3. Influence des émotions sur le contrôle postural et moteur

Après avoir introduit les bases de l'organisation biomécanique du mouvement volontaire et du concept émotionnel, intéressons-nous désormais à décrire l'influence des émotions sur l'organisation biomécanique du mouvement volontaire. Les études pionnières traitant de cette problématique ont commencé par s'intéresser à des tâches de maintien de la position orthostatique. Puis, les études se sont davantage intéressées à des mouvements volontaires grâce aux protocoles de l'IAPS ou de la menace posturale. Nous allons maintenant décrire l'ensemble de ces études qui nous ont mené à nous intéresser à l'influence des émotions sur l'organisation biomécanique des mouvements volontaires engageant un déplacement du corps dans son ensemble.

3.1. Influence des émotions selon le concept dimensionnel des émotions

Avant de détailler l'ensemble des études utilisant l'IAPS, nous tenons à rappeler la nécessité de mieux comprendre l'impact des émotions sur l'initiation de la marche. Tâche quotidiennement effectuée dans la vie de tous les jours, l'initiation de la marche est essentielle à tout individu. Comme nous l'avons rappelé précédemment (voir parties 1.2 et 1.3), cette tâche est particulièrement exigeante pour le système de commande motrice. L'exigence est telle qu'il est fréquent d'observer une altération de la performance de l'initiation de la marche chez les séniors ou les individus atteints de pathologies, notamment les patients parkinsoniens (pour quelques exemples, Balzalgette et al. 1987 ; Crenna et al. 1990 ; Tonolli et al. 2000 ; Crenna et al. 2006 ; Tagliabue et al. 2009 ; Dalton et al. 2011). La maladie de Parkinson est une maladie neurodégénérative progressive caractérisée par des troubles moteurs (et des troubles émotionnels). Ces troubles se caractérisent, entre autres, par une réduction voire une absence des APA, une augmentation du temps de préparation du mouvement, une lenteur des mouvements (Balzalgette et al. 1987 ; Crenna et al. 1990 ; Burleigh-Jacobs et al. 1997 ; Halliday et al. 1998). En particulier, l'amplitude et la vitesse de déplacement initial du centre des pressions (vers les talons et la jambe oscillante) lors des APA ainsi que la longueur et la vitesse du premier pas sont plus faibles chez les patients parkinsoniens que chez les individus sains (Crenna et al. 1990). Par ailleurs, la recherche a montré que les paramètres du pas lors de la marche des personnes atteintes de la maladie de Parkinson (par rapport à des témoins sains) sont plus petits, plus lents, et moins énergiques (par exemple, Balzalgette et al. 1987 ;

Johnsen et al. 2010 ; McNeely et al. 2011 ; Vallabhajosula et al. 2015). Plus la maladie progresse, plus ces anomalies de la marche sont prononcées, réduisant ainsi la qualité de vie (Morris et al. 2000). Bien que l'instabilité posturale et le dysfonctionnement de la marche puissent être améliorés par les thérapies pharmacologiques et chirurgicales, l'efficacité des traitements à diminuer ces troubles moteurs restent limités (pour une revue de littérature, voir Collomb-Clerc et Welter 2015). De façon intéressante, les études de Naugle et al. (2012) ont démontré que les émotions plaisantes et déplaisantes (via l'exposition à des images de l'IAPS) pouvaient en partie améliorer l'initiation de la marche chez les patients Parkinsoniens. Ainsi, il a été proposé par ces auteurs que les émotions puissent constituer une stratégie efficace pour assister voir compléter les effets des thérapies actuelles.

3.1.1. Étude de la position orthostatique

L'influence des images de l'IAPS sur la composante comportementale des émotions a d'abord été investiguée grâce à des tâches de maintien de la position orthostatique (Hillman et al. 2004 ; Azevedo et al. 2005 ; Stins et Beek 2007). Des images de l'IAPS étaient alors projetées en face des participants qui devaient maintenir leur équilibre. L'influence de ces images sur les comportements posturo-cinétiques était alors analysée grâce aux déplacements du centre des pressions. Les résultats de ces études ont démontré une réduction de l'amplitude de déplacement du centre des pressions sur l'axe médio-latéral (Azevedo et al. 2005 ; Stins et Beek 2007) et l'axe antéro-postérieur (Hillman et al. 2004 ; Azevedo et al. 2005 ; Stins et Beek 2007), ainsi qu'une augmentation de la fréquence de déplacement du centre des pressions (Azevedo et al. 2005) lorsque les participants se trouvaient face à des images déplaisantes, comparativement à des images plaisantes ou neutre (figure 17). La diminution de l'amplitude et l'augmentation de la fréquence de déplacement du centre des pressions sont des comportements biomécaniques, appelés *freezing* ou *phénomène de rigidification* (Fanselow 1994 ; Bradley et al. 2001 ; Carpenter et al. 2004), caractéristiques des comportements d'évitement. Ce phénomène de rigidification est un comportement prototypique classiquement retrouvé lors de situations menaçantes. Il est lié à une rigidification des articulations et une co-contraction des muscles des jambes, du tronc et du pelvis (Carpenter et al. 2004 ; Brown et al. 2006 ; Carpenter et al. 2006 ; Stins et al. 2011b). Par ailleurs, les résultats ont montré un recul du centre des pressions lorsque les participants faisaient face à des stimuli déplaisants, comparativement à des stimuli neutres ou plaisants (Hillman et al. 2004). Au regard du processus de régulation de la distance, ce déplacement du

centre des pressions est interprété comme comportement d'évitement. En effet, lors du maintien de la position orthostatique, un déplacement du centre des pressions (et donc du centre des masses) vers les talons, équivaut à une augmentation de la distance entre l'individu et le stimulus lui faisant face.

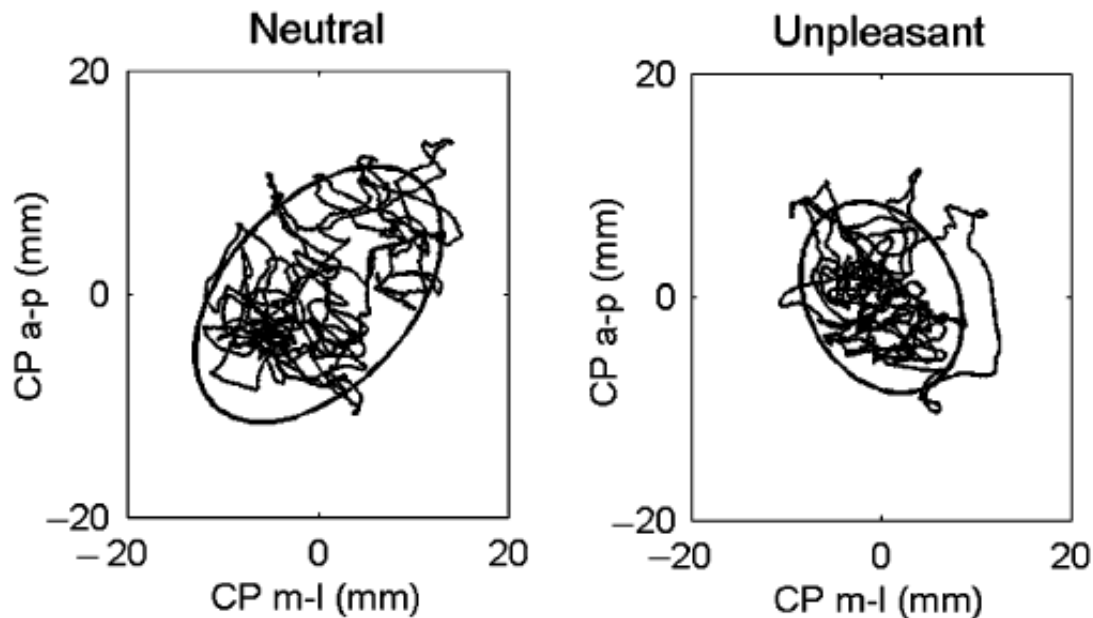


Figure 17 : Représentation du déplacement du Centre des Pressions d'un participant soumis à des images de l'IAPS (adapté de Azevedo et al. 2005)

À gauche : les participants faisaient face à des images neutres. À droite : les participants faisaient face à des images déplaisantes. Les cercles correspondant aux aires décrites par les déplacements du centre des pressions avec CP : centre des pressions, m-l : direction médio-latérale et a-p : direction antéro-postérieure

Lors de la position orthostatique, les déplacements du centre des pressions se limitent à la surface de la base posturale : l'analyse des comportements d'approche et d'évitement semble donc être limitée. De plus, les processus de maintien de l'équilibre postural lors du maintien de la position orthostatique ne rendent pas compte de l'influence des émotions sur les APA et la performance motrice. L'étude des comportements d'approche et d'évitement s'est alors étendue à l'analyse de mouvements volontaires.

3.1.2. Étude des mouvements focaux : interprétation des comportements d'approche et d'évitement

Les premières études à analyser la composante comportementale des émotions grâce à des mouvements volontaires ont utilisé des tâches motrices simples : flexion ou extension du

bras (Solarz 1960), poussée ou tirée de joystick (Chen et Bargh 1999 ; Rotteveel et Phaf 2004 ; Eder et Rothermund 2008) ou encore pression de touche (van Dantzig et al. 2008). Les participants étaient alors exposés à des images issues de l'IAPS qu'ils devaient classer, selon leur valence (plaisant/déplaisant), grâce à un mouvement du bras. Lorsque les participants devaient classer les images grâce à une tâche d'extension du bras (ou action de pousser), leur bras avançait vers le stimulus émotionnel leur faisant face. Ce mouvement était donc symboliquement associé à un comportement d'approche puisque la distance entre le bras de l'individu et le stimulus émotionnel diminuait. Au contraire, lorsque les participants devaient classer les images grâce à une tâche de flexion du bras (ou action de tirer) leur bras s'éloignait du stimulus. Cette tâche était donc associée à un comportement d'évitement. La régulation de la distance était donc ici inhérente à la tâche (à la consigne) or, les comportements d'approche et d'évitement peuvent difficilement être inférés grâce à l'analyse d'un mouvement qui est supposé l'expliquer (Eder et al. 2013a). Dès lors, les comportements d'approche et d'évitement étaient plutôt interprétés grâce à la relative facilitation (ou perturbation) du mouvement imposé. Les temps de réaction des participants pour déclencher leur mouvement étaient alors mesurés. La facilitation du mouvement était alors marquée par la diminution du temps de réaction ; alors que la perturbation du mouvement correspondait à l'augmentation de ce temps de réaction. Conformément à l'hypothèse de la direction motivationnelle, les résultats ont montré que les mouvements d'approche étaient facilités par les stimuli plaisants, comparativement aux stimuli déplaisants. Par ailleurs, les mouvements d'évitement étaient facilités par les stimuli déplaisants, comparativement aux stimuli plaisants. Par contre, les comportements d'approche et d'évitement étaient perturbés par les images déplaisantes et plaisantes, respectivement.

Cette notion de facilitation/perturbation du mouvement introduit la notion de *congruence* entre le système motivationnel et le comportement émis. Au regard de l'hypothèse de la direction motivationnelle, une situation est « congruente » lorsque la tâche requière d'approcher d'un stimulus plaisant ou d'éviter un stimulus déplaisant. Au contraire, une situation est « non congruente » lorsque la tâche demande 1) d'approcher d'un stimulus déplaisant ou 2) d'éviter un stimulus plaisant (pour quelques exemples, van Dantzig et al. 2008 ; Stins et al. 2011a ; Gélât et al. 2011 ; Laham et al. 2014). Ainsi, dans les études précédentes, les comportements étaient facilités lors des conditions congruentes (« approche-plaisant » et « évitement-déplaisant »). Au contraire, les situations non congruentes

(« approche-déplaisant » et « évitement-plaisant ») perturbaient le déclenchement du mouvement des participants (en termes d'augmentation du temps de réaction).

Bien qu'intéressante, l'interprétation des comportements d'approche et d'évitement (en termes de processus de régulation de la distance) lors de mouvements de flexion (ou action de tirer) et d'extension (ou action de pousser) du bras porte à débat. En effet, l'interprétation de ces mouvements ne dépendrait que du cadre de référence que l'on se donne (Eder et Rothermund 2008 ; Seibt et al. 2008 ; Eder et Hommel 2013). En effet, si le cadre de référence n'est plus le stimulus (la distance considérée est l'espace entre le membre focal du participant et le stimulus) mais le corps du participant (la distance considérée est l'espace entre le membre focal et le corps de l'individu) alors l'interprétation du mouvement focal s'inverse. En effet, lorsque l'on considère le mouvement focal par rapport au corps du participant : un mouvement de flexion (ou action de tirer) est associé à un comportement d'approche (le participant ramène son bras vers lui) ; au contraire, un mouvement d'extension (ou action de pousser) est symboliquement associé à un comportement d'évitement (le participant écarte son bras de lui - Eder et Rothermund 2008). L'étude d'Eder et Rothermund (2008) a ainsi démontré qu'un mouvement de flexion de bras peut aussi bien être facilité (diminution du temps de réaction) face à un stimulus plaisant que face à un stimulus déplaisant. Alors même que les résultats sont en totale contradiction, ils sont pourtant tous en accord avec l'hypothèse de la direction motivationnelle. La valeur symbolique attribuée au mouvement focal prend alors toute son importance.

Par ailleurs, la composante posturale du mouvement volontaire n'est pas prise en compte dans ces études. Contrairement à la composante focale qui ne concerne que les membres mobilisés intentionnellement, la composante posturale concerne les autres parties du corps impliquées dans l'activité posturale associée aux mouvements volontaires (Gelfand et al. 1966). Les APA font partie de cette composante posturale et ne sont que peu ou pas présents lors de mouvements simples comme les mouvements du bras. De plus, l'étude des temps de réaction ne permettait qu'une analyse limitée de la mise en place du mouvement. Par exemple, l'influence des émotions sur la performance motrice du mouvement (en termes de vitesse de déplacement du membre focal) n'était pas évaluée dans ces études. Au regard de ces différentes limites des auteurs se sont donc intéressés au processus de la marche, engageant l'ensemble du corps. Dès lors, seule la distance entre le corps du participant et le stimulus émotionnel était considérée (réduisant ainsi le problème du référentiel). De plus,

l'analyse biomécanique de la marche permettait de rendre compte de la performance motrice du mouvement volontaire.

3.1.3. Étude de la marche

La marche est le premier mouvement volontaire impliquant le déplacement de l'ensemble du corps à avoir été analysé par les protocoles utilisant l'IAPS. Dans l'étude de Naugle et al. (2010), les participants étaient exposés à des images de l'IAPS durant leur marche. La longueur et la vitesse des pas suivant l'apparition des images étaient alors évaluées. Les résultats ont montré que la longueur des deux premiers pas était plus courte lorsque les participants marchaient vers des images déplaisantes, comparativement à des images plaisantes. Par ailleurs, la vitesse des deux premiers pas était plus grande lorsque les participants avançaient vers des images plaisantes plutôt que déplaisantes. Dans la mesure où la marche impose une réduction de la distance entre l'individu et le stimulus émotionnel lui faisant face, elle est considérée comme un comportement d'approche. Ces résultats suggèrent donc que le comportement d'approche est facilité (augmentation de la vitesse du pas) par les images plaisantes et perturbé (diminution de la longueur du pas) par les images déplaisantes.

Grâce à l'analyse de la longueur et de la vitesse du pas, cette étude a rendu compte de l'influence des images émotionnelles sur la performance motrice. Cette étude a ensuite été enrichie grâce à l'étude de l'initiation de la marche. L'analyse des coordinations entre la posture et le mouvement volontaire permettait ainsi de rendre compte de l'influence spécifique des émotions sur l'organisation posturo-cinétiques des APA associés à un mouvement volontaire.

3.1.4. Étude de l'initiation de la marche

L'initiation de la marche est donc le modèle expérimentale utilisé pour rendre compte de l'influence des émotions sur la mise en place du mouvement volontaire. Dans l'étude de Naugle et al. (2011), les participants devaient initier la marche après avoir été exposés à des images plaisantes ou déplaisantes. Le temps de réaction pour initier la marche, la longueur et la vitesse des deux premiers pas, le déplacement et la vitesse du centre des pressions sur les axes antéro-postérieur et médio-latéral lors de la phase d'APA étaient alors mesurés. Les résultats de cette étude ont montré une diminution du temps de réaction lorsque les

participants initiaient la marche vers des images déplaisantes, comparées à des images plaisantes. Par ailleurs, comparativement aux images déplaisantes, les images plaisantes induisaient : une augmentation de la vitesse et de l'amplitude du recul du centre des pressions lors des APA ainsi qu'une augmentation de la vitesse de progression du premier pas. Autrement dit, l'initiation de la marche était facilitée à la fois par les images déplaisantes (augmentation de la réactivité) et par les images plaisantes (amélioration de la préparation et de l'exécution du pas). Il est à noter que cet effet des émotions sur l'organisation du pas s'atténuait au fil du temps : aucun résultat significatif n'était retrouvé sur le deuxième pas. Les auteurs expliquent l'augmentation de la réactivité des participants en réponses aux images déplaisantes par la capacité des stimuli menaçants à stimuler les comportements d'approche et d'évitement (Bradley et al. 2001). En effet, les stimuli déplaisants impliqueraient, de façon automatique, le système défensif (Gray 1990 ; Öhman et Soares 1998) ; ce dernier engagerait alors le comportement, quelle que soit sa direction (Crenna et Frigo 1991).

Ces résultats sont en grande partie retrouvés par Gélat et al. (2011). Dans leur étude les participants devaient exécuter une tâche de classement des images de l'IAPS (neutres/plaisantes/déplaisantes) en initiant ou non la marche. Les participants devaient alors initier la marche lorsque des images plaisantes ou déplaisantes apparaissaient et rester stables lorsque des images neutres se présentaient. La marche devait alors être initiée le plus rapidement possible après l'apparition d'images. En accord avec l'étude précédente, les résultats ont montré que la marche était facilitée par les images plaisantes. L'amplitude du recul du centre des pressions lors des APA était diminuée en présence d'images déplaisantes, comparées aux images plaisantes. Les auteurs attribuaient alors ce résultat au conflit émotionnel que génère la situation consistant à s'approcher d'un stimulus déplaisant. En revanche, contrairement à l'étude de Naugle et al. (2011), le pic de vitesse du centre des masses atteint à la fin du premier pas et la longueur de ce pas n'étaient pas affectés par les images émotionnelles. De plus, le temps de réaction augmentait lorsque l'initiation de la marche se faisait vers des images déplaisantes, comparativement à des images plaisantes. Ainsi, selon l'étude de Gélat et al. (2011) la réactivité et la phase des APA sembleraient perturbées par des images déplaisantes. Pour expliquer ce résultat, les auteurs proposent une argumentation de nature neurophysiologique. Ainsi, les réseaux sous-corticaux - supposés être responsables de l'élaboration des caractéristiques spatio-temporelles des APA (Massion 1992 ; Grillner et al. 2005 ; MacKinnon et al. 2007) -, seraient affectés par le conflit émotionnel généré par une situation non congruente (« approche-déplaisant »). Cependant, il

est probable que ce conflit n'affecte que les paramètres posturaux de l'initiation de la marche. Ainsi, la perturbation de la réponse motrice induite par un conflit émotionnel ne serait que transitoire : la longueur du pas et la vitesse du centre des masses atteint à la fin du premier pas ne seraient pas affectés.

En étudiant l'initiation de la marche, les travaux de Naugle et al. (2011) et de Gélat et al. (2011) ne s'intéressent qu'à une partie de l'hypothèse de la direction motivationnelle. En effet, comme nous l'avons déjà évoqué, l'initiation de la marche (et plus largement la marche) est symboliquement associée à un mouvement d'approche. Dans ces études le comportement d'évitement est alors assimilé à une moindre approche ou à un comportement de défense (perturbation du mouvement). Le comportement d'évitement n'est donc pas étudié à proprement parler. Or, l'hypothèse de la direction motivationnelle met en avant l'existence d'un lien entre les stimuli plaisants et les comportements d'approche, mais aussi entre les stimuli déplaisants et les comportements d'évitement.

3.1.5. Étude de l'initiation du pas vers l'avant et vers l'arrière

C'est dans le but de compléter ces précédents travaux que des chercheurs se sont intéressés à l'initiation du pas vers l'avant et vers l'arrière (Stins et Beek 2011). Alors que le pas vers l'avant s'apparente à un comportement d'approche, le pas vers l'arrière est symboliquement assimilé à un comportement d'évitement. En effet, un pas en arrière induit une augmentation de la distance entre le participant et l'image émotionnelle lui faisant face.

A l'instar des travaux précédents, Stins et Beek (2011) ont mis en place des situations congruentes (« approche-plaisant » et « évitement-déplaisant ») et des situations non congruentes (« approche déplaisant » et « évitement-plaisant »). Ils faisaient alors les hypothèses que l'initiation du pas serait facilitée lors des conditions congruentes et perturbée lors des conditions non congruentes.

Le temps de réaction, le déplacement et la vitesse de déplacement du centre des pressions (lors des APA et de la phase d'exécution) et la longueur du pas étaient alors analysés. En accord avec leurs hypothèses, les résultats ont montré une augmentation du temps de réaction lorsque les participants devaient initier un pas en avant vers des images déplaisantes (condition non congruente). Ce résultat n'était cependant pas retrouvé dans

l'autre condition non congruente (« évitement-plaisant »). Les auteurs expliquaient ce résultat par l'existence d'un court phénomène de rigidification lors de l'apparition des stimuli déplaisants. En effet, lors des 400 ms après l'apparition du stimulus, une diminution de l'amplitude des déplacements du centre des pressions est observée. Cette « immobilité » passagère traduirait une augmentation de l'attention et du contrôle conscient du mouvement qui engendrerait une diminution de la réactivité. Contrairement aux études de Naugle et al. (2011) et de Gélat et al. (2011), les résultats de Stins et Beek (2011) n'ont montré aucune influence des images émotionnelles sur les paramètres posturo-cinétiques des APA (en termes de durée, de vitesse et de déplacement du centre des pressions) ni sur la performance motrice (en termes de longueur et de vitesse du pas) et ce, quelle que soit la direction du pas.

3.1.6. Bilan et limites des études utilisant l'IAPS

L'ensemble de ces études permet de rendre compte, de façon générale, de l'influence des émotions sur le comportement moteur. Cette vision globale semble nécessaire à la compréhension de l'adaptabilité posturale aux émotions. Lors de cette Thèse, nous nous intéressons spécifiquement à l'influence des émotions sur l'organisation biomécanique du mouvement volontaire ; nous nous limiterons donc ici à l'analyse et à la comparaison des études traitant de l'initiation de mouvements volontaires.

Les résultats de ces études sont parfois divergents, voire contradictoires (en rouge dans le tableau 2). Ces différences peuvent notamment provenir du choix des images émotionnelles. Par exemple, les images choisies par Stins et Beek (2011) pour la condition fortement déplaisante correspondent (en termes de valence et d'activation) davantage aux images de la condition faiblement déplaisante des travaux de Naugle et al. (2011), plutôt qu'à celles de leur condition fortement déplaisante. Or, comme le suggère l'hypothèse de la direction motivationnelle, les dimensions de valence et d'activation influenceraient directement la direction et la force du comportement émis. Il est donc important de considérer cette différence expérimentale.

Par ailleurs, la variabilité des résultats pourrait être expliquée par certaines limites méthodologiques. En effet, la longueur du pas et la performance motrice, classiquement exprimées en terme de pic de vitesse du centre des masses (Brenière et al. 1987 ; Yiou et Do 2010 ; Yiou et Do 2011), n'étaient pas quantifiées dans les études de Stins et Beek (2011) et

Naugle et al. (2011). Seul un indice composite de l'organisation posturale, en l'occurrence le centre des pressions, était considéré dans l'analyse du mouvement. L'absence de ces informations posturo-cinétiques ne permet donc qu'une interprétation limitée des résultats. De plus, la comparaison des études est en partie compromise par le manque d'homogénéité des variables dépendantes considérées. Par exemple, la durée des APA n'est considérée que par Gélât et al. (2011). Or, cette variable semble être une variable particulièrement importante pour caractériser la qualité des APA et plus largement de la capacité posturo-cinétique (rapport entre les APA et la performance motrice - Bouisset 2002). En outre, seule l'étude de Gélât et al. (2011) évalue l'influence des images émotionnelles sur les paramètres posturaux lors de la position initiale, avant même l'apparition des APA. Aucune différence significative n'a été observée entre les différentes conditions. Notons ici que le phénomène de rigidification observé dans l'étude de Stins et Beek (2011) était mesuré lors des 400 ms « post-stimulus ». Une étude très récente a cependant démontré que les images déplaisantes ou plaisantes engendraient respectivement un déplacement du centre des pressions vers les talons ou vers les orteils lors de la position initiale, avant l'exécution du mouvement volontaire (Fawver et al. 2015). Or, il est connu que la stabilité initiale influence l'organisation des APA (voir partie 361.3.4.2). Ces informations semblent donc manquer pour pouvoir expliquer l'ensemble des phénomènes posturo-cinétiques survenant en réponse aux images émotionnelles.

À cela s'ajoutent d'autres limites, inhérentes aux choix des protocoles et des outils expérimentaux utilisés. Considérons, par exemple, le protocole de Stins et Beek (2011) que nous considérons le plus complet, parmi les études citées ci-dessus, pour tester l'hypothèse de la direction motivationnelle. En effet, ce protocole est le seul à tester à la fois les comportements d'approche et d'évitement. Dans cette étude, les participants étaient initialement placés au centre d'une plateforme d'un mètre de long seulement. La longueur du pas, qu'il soit vers l'avant ou vers l'arrière, était donc vraisemblablement contrainte : la mise en place des processus de régulation de la distance pourrait donc avoir été compromise. Par ailleurs, il est probable que la variabilité des protocoles, notamment liée à la consigne, puisse influencer les résultats. Par exemple, dans les études de Stins et Beek (2011) et Gélât et al. (2011), le pas devait être initié le plus rapidement possible après l'apparition de l'image. Au contraire, dans l'étude de Naugle et al. (2011), le pas devait être initié le plus rapidement possible après la disparition de l'image. Dans cette dernière étude, les participants étaient donc exposés plus longuement aux images émotionnelles. Or, comme le soulignent les

travaux de Naugle et al. (2010), il semblerait que l'influence émotionnelle sur les paramètres posturo-cinétiques diminue au cours du temps (le premier pas est davantage perturbé par les images émotionnelles que le second pas). Par ailleurs, la très récente étude de Gélat et Ferrel Chapus (2015) a démontré que le temps d'exposition aux images, et notamment aux images déplaisantes, modifiait l'évaluation des participants. Ainsi, des images déplaisantes seraient évaluées moins déplaisantes lors d'une « longue » exposition (3000 ms), comparativement à une « courte » exposition (500 ms). Ce résultat était alors accompagné d'une diminution du temps de réaction lors d'une courte exposition aux images déplaisantes. Ainsi, cette étude démontre l'existence d'un lien entre les changements affectifs et les processus de régulation des émotions. Dans ce sens, les résultats des études de Naugle et al. (2011), de Stins et al. (2011b) et de Gélat et al. (2011), notamment ceux concernant la réactivité face aux images fortement déplaisantes, peuvent être discutés.

De façon plus générale, l'utilisation des images de l'IAPS présente des limites. L'induction d'émotions grâce à des images émotionnelles est discutée au regard des comportements émis (ou à émettre). En effet, les images de l'IAPS ne permettraient d'induire des émotions que faiblement en lien avec les comportements d'approche ou d'évitement (Stins et Beek 2007). L'interprétation émotionnelle des comportements ne serait possible que si la sémantique des stimuli a un rapport avec la symbolique du comportement. Autrement dit, l'interprétation d'un comportement (d'approche ou d'évitement) ne pourrait être effective que si ce comportement était en lien direct avec le stimulus présenté. Or, ceci n'est pas toujours finement contrôlé ni contrôlable. La consigne, qui impose la direction du mouvement, rend difficile l'affirmation d'un lien de causalité entre l'émotion induite et le comportement émis. En effet, la régulation de la distance ne se ferait que si la direction du mouvement est rendu saillante par la tâche (Krieglmeyer et al. 2010 ; Krieglmeyer et al. 2011 ; Krieglmeyer et al. 2013). Par ailleurs, le caractère virtuel des images pourrait jouer un rôle limitant dans la force des réponses émotionnelles. En effet, l'intégrité physique des participants n'étant pas affectée lors de la projection d'images, cette situation ne créerait pas de situation d'urgence. Cette situation d'urgence semble pourtant nécessaire à la mise en place des motivations, et donc des comportements d'approche ou d'évitement (Scherer 2001 ; Harmon-Jones et al. 2013).

Outre l'attention portée aux choix des stimuli, la pertinence du choix du mouvement peut être discutée. En effet, l'organisation de l'initiation d'un pas vers l'avant est relativement différente de celle d'un pas vers l'arrière, notamment pour des raisons anatomiques :

l'asymétrie fonctionnelle des pieds et des jambes le long de l'axe antéro-postérieur impose différentes contraintes biomécaniques en fonction de la direction du pas (Grasso et al. 1998). Ainsi, les pas vers l'avant et vers l'arrière diffèrent dans leurs patterns d'activation musculaire (Thorstensson 1986 ; Winter et al. 1989 ; Grasso et al. 1998 ; Ivanenko et al. 2008), dans la commande neurale (van Deursen et al. 1998) ou encore dans les paramètres spatio-temporels (Nadeau et al. 2003 ; Laufer 2005). Ces différences sont d'autant plus marquées que la marche n'entraînerait pas les mêmes bienfaits thérapeutiques selon sa direction. Ainsi, la marche vers l'arrière aurait davantage d'effets bénéfiques que la marche vers l'avant chez des enfants atteints de déficit de l'attention avec hyperactivité (Viggiano et al. 2015), les patients atteints d'accident vasculaire cérébral (Yang et al. 2005 ; Kim et al. 2014) ou encore de pathologies vestibulaires (Davalos-Bichara et al. 2014). Bien que discutable, l'initiation du pas vers l'avant et vers l'arrière semble être la tâche la plus appropriée pour tester l'influence des images sur les comportements d'approche et d'évitement, en relation avec l'hypothèse de la direction motivationnelle. En effet, les images de l'IAPS étant projetées en face des participants, la régulation de la distance par un déplacement du corps dans l'axe antéro-postérieur semble être le plus pertinent.

En somme, bien que l'IAPS soit majoritairement utilisé pour induire des émotions, les comportements d'approche et d'évitement peuvent être inférés grâce à d'autres stimuli. Ainsi, les effets des émotions (plaisantes et déplaisantes) sur l'initiation de la marche sont retrouvés lorsque ces dernières sont induites par l'observation d'expressions faciales (Stins et al. 2011a) ou encore par la remémoration d'émotions vécues (Fawver et al. 2015).

Auteurs	Tâche	IAPS			Position initiale du centre des pressions / centre des masses	Temps de réaction	APA				Performance motrice		
		Condition	Valence	Activation			Durée	Amplitude du centre des pressions	Vitesse du centre des pressions	Vitesse du centre des masses	Durée d'exécution	Vitesse du mouvement	Amplitude du mouvement
Naugle et al. (2011)	Initiation de la marche	Fortement plaisante (FP)	7	6,2	/	FD < FP FD < fd FD < fp	/	Déplacement vers les talons : fd < fp fd < FP	FD < fd fd < fp	/	/	Vitesse du premier pas : FD < fp fd < FP fd < fp	Longueur du pas : Pas de différence
		Fortement déplaisante (FD)	2,6	5,8									
		Faiblement plaisante (fp)	7	5									
		Faiblement déplaisante (fd)	2,4	5									
Gélat et al. (2011)	Initiation de la marche	Fortement plaisante (FP)	7,4	5,7	Pas de différence	FD > FP	Pas de différence	Déplacement vers les talons : FD < FP	/	FD < FP	/	Pas de différence	Longueur du pas : Pas de différence
		Fortement déplaisante (FD)	2,3	5,9									
Stins et al. (2011)	Initiation du pas vers l'avant et vers l'arrière	Fortement plaisante (FP)	6,2	3,2	/	Pas vers l'avant : FD > FP Pas vers l'arrière : Pas de différence	/	Pour FD : Freezing pour des temps inférieur à 400 ms	/	/	Pas de différence	/	Longueur du pas : Pas de différence
		Fortement déplaisante (FD)	1,7	4,6									

Tableau 2 : Bilan des études traitant de l'influence des images de l'IAPS sur les APA et la performance motrice lors de l'initiation de mouvements volontaires.

En rouge, les différences de résultats observées (pour une même variable dépendante) entre les études.

3.2. Influence des émotions selon le concept catégoriel des émotions

L'influence d'une menace posturale sur le contrôle de l'équilibre est un thème émergeant de la littérature, abordé dans une perspective fondamentale mais aussi clinique (pour quelques exemples, Adkin et al. 2002 ; Carpenter et al. 2004 ; Carpenter et al. 2006 ; Brown et al. 2006b ; Davis et al. 2009). Il s'agit alors de mieux comprendre les mécanismes psychologiques à l'origine de la chute chez la personne âgée. En effet, la littérature a déjà démontré l'effet de la peur de chuter sur le contrôle postural, notamment chez les séniors (par exemple, Yardley 1998 ; Yardley 2004). Par exemple, cette émotion aurait pour effet de diminuer la performance lors d'une tâche de maintien de la position orthostatique bipodal (yeux fermée, ouverts) et unipodal (Maki et al. 1991) ou encore de modifier les paramètres du pas (diminution de la longueur et de la vitesse du pas, augmentation du temps du double appui) lors de la marche (Maki 1997 ; Rochat et al. 2010 ; Donoghue et al. 2013). De façon similaire, les patients atteints de la maladie de Parkinson qui rapportent une peur de chuter ont une dégradation du contrôle postural (évalué grâce à des tests cliniques d'équilibre) comparativement aux patients ne reportant pas de peur de chuter (Adkin et al. 2003).

La principale limite de ces études réside dans la difficulté de distinguer les effets de l'émotion sur le contrôle postural de ceux des facteurs physiologiques, psychologiques ou encore cognitifs associés à la progression de l'âge (Horak et al. 1989 ; Lord et al. 1991) ou de la maladie (Adkin et al. 2003). Afin de se départir de ces effets de l'âge ou de la maladie, nous testerons ici l'effet de la peur de chuter chez des individus jeunes et en bonne santé. La peur de chuter sera alors induite grâce à la présence d'une menace posturale (hauteur et/ou proximité du vide).

Notons que, chez les individus jeunes et sains, la présence d'une menace posturale génère des réponses neurophysiologiques (composante physiologique des émotions) telles que le réflexe H (Sibley et al. 2007) ou le réflexe vestibulaire (Horslen et al. 2014). Cependant, conformément à notre problématique, nous nous focaliserons plus spécifiquement sur les réponses posturo-cinétiques (composante comportementale des émotions) en réponse à une menace posturale. Nous évoquerons les liens entre ces différentes réponses lors de la discussion.

3.2.1. Étude de la position orthostatique

La tâche de maintien de la position orthostatique a d'abord été investiguée pour rendre compte des effets de la menace posturale sur la composante comportementale des émotions (Brown et Frank 1997 ; Carpenter et al. 1999 ; Adkin et al. 2000 ; Carpenter et al. 2001 ; Carpenter et al. 2004 ; Brown et al. 2006b ; Adkin et al. 2008 ; Stins et al. 2011b ; Zaback et al. 2015). Les études ont démontré la présence d'un phénomène de rigidification lorsque les participants étaient soumis à de fortes hauteurs, comparativement à de faibles hauteurs ou au niveau du sol. Cette rigidification se traduisait alors, sur le plan biomécanique, par l'augmentation de la fréquence de déplacement du centre des masses ou du centre des pressions et par la diminution de leur vitesse de déplacement (Brown et Frank 1997 ; Carpenter et al. 1999 ; Adkin et al. 2000 ; Carpenter et al. 2001 ; Carpenter et al. 2004 ; Carpenter et al. 2006 ; Davis et al. 2009 ; Zaback et al. 2015). De plus, la présence d'une forte menace posturale induisait un déplacement de la position moyenne du centre des pressions vers les talons (à l'encontre de la menace posturale alors située en face des participants) comparativement à une faible menace posturale (Carpenter et al. 1999 ; Carpenter et al. 2001 ; Carpenter et al. 2006 ; Brown et al. 2006b ; Zaback et al. 2015). Par ailleurs, lorsque les participants étaient positionnés en hauteur - comparativement à de faible hauteur - un contrôle plus strict (notamment diminution de l'amplitude) du déplacement du centre des masses ou du centre des pressions était observé avant et après une perturbation exogène (de type poussée dans le dos - Brown et Frank 1997 ; Carpenter et al. 2004).

Ces différentes adaptations posturales traduiraient notamment la mise en place de stratégies *proactive* (ou anticipatoire) et *réactive* (Brown et Frank 1997). Ainsi la stratégie proactive consisterait à réduire le risque de chute en augmentant la distance du centre des masses (et/ou du centre des pressions) avec le bord de la plateforme surélevée. La stratégie réactive consisterait quant à elle à réduire le déplacement du centre des masses afin de garantir son maintien dans la base posturale. Cette dernière stratégie serait notamment mise en place grâce à un phénomène de rigidification articulaire et musculaire (Carpenter et al. 1999 ; Carpenter et al. 2001 ; Brown et al. 2006b).

Ces études posturo-cinétiques du maintien de la position orthostatique se sont ensuite étendues à l'analyse du contrôle postural en situation dynamiques.

3.2.2. Étude de l'élévation des talons

Adkin et al. (2002) sont les premiers à étudier l'influence de la menace posturale sur le contrôle postural d'un mouvement volontaire. L'organisation des APA et la performance motrice lors d'une tâche de levé de talon sont alors analysées.

Dans cette étude, des participants, jeunes et en bonne santé, avaient pour consigne d'exécuter une série de levé de talon sur une plateforme de force. Ils étaient positionnés à 0,5 m (faible proximité) ou au bord (forte proximité) de la plateforme qui était elle-même à 0,4 m (faible hauteur) ou 1,6 m (forte hauteur) du sol. Quatre conditions expérimentales étaient donc testées : de la plus menaçante (forte proximité/forte hauteur) à la moins menaçante (faible proximité/faible hauteur), en passant par des conditions intermédiaires (forte proximité/faible hauteur et faible proximité/forte hauteur).

Les résultats indiquaient que la performance à la tâche de levé de talon était significativement modifiée lorsque les participants étaient positionnés à proximité du bord de la plateforme hautement surélevée. Dans cette situation, l'amplitude de déplacement du centre des pressions (vers l'arrière) et le pic de vitesse du centre des pressions lors des APA étaient alors significativement diminués. En revanche, la durée des APA ne s'en trouvait pas changée. Par ailleurs les résultats ont montré une diminution de la performance motrice des participants avec l'augmentation de la menace posturale. Ainsi, en condition de hauteur et au bord de la plateforme, comparée à toutes les autres situations, les résultats montraient : une augmentation de la durée de l'exécution du mouvement, une diminution du pic de vitesse de déplacement du centre des pressions vers l'avant, une diminution du pic d'accélération du déplacement du centre des masses vers l'avant, ainsi qu'une diminution des déplacements du centre des pressions et du centre des masses vers l'avant. Les réorganisations posturales lors des phases anticipatrices et d'exécution ont été interprétées par les auteurs comme une stratégie de protection. Par exemple la moindre avancée du centre des pressions (lors des APA et de l'exécution du mouvement) et du centre des masses (lors de l'exécution du mouvement) permettrait d'augmenter la « marge de sécurité » entre le participant et le bord de la plateforme. Le risque de chute vers l'avant serait alors minimisé par le recul relatif du corps par rapport au vide. Cependant, comme le souligne les auteurs, cette stratégie « poussée à l'extrême » serait inadaptée en empêchant l'accomplissement de la tâche. En effet, les résultats ont montré que le taux d'essais infructueux (essais pour lesquels les participants

n'ont pas réussi à maintenir la position finale) était plus élevé dans la condition la plus menaçante (forte proximité/forte hauteur). Dans ce cas, une trop grande restriction du déplacement du centre des pressions lors des APA aurait alors compromis la production de forces propulsives nécessaires à l'exécution du mouvement. Les participants retombaient alors sur les talons.

Les résultats concernant l'organisation des APA lors de l'élévation des talons ont été très récemment confirmés par les travaux de Zaback et al. (2015). La performance posturale lors de l'exécution du mouvement n'a pas été étudiée dans ces travaux. Les participants étaient placés à 0,8 m ou 3,2 m du sol et devaient exécuter des mouvements d'élévation des talons. L'analyse biomécanique a ainsi montré une diminution de l'amplitude et de la vitesse de déplacement du centre des pressions lors de la phase anticipatrice lorsque les participants étaient en présence d'une forte menace posturale.

Bien qu'intéressant, le choix d'une tâche de levé de talons limite la généralisation de ces travaux par deux points. Premièrement, le contrôle de l'équilibre se fait ici exclusivement sur l'axe antéro-postérieur. La généralisation à des mouvements impliquant des déplacements médio-latéraux (comme c'est le cas de la majorité des mouvements) est donc impossible. Or, comme il a été souligné dans la partie 1.3.1.2 de cette Thèse, l'étude du contrôle de l'équilibre suivant cette direction semble particulièrement nécessaire, notamment chez la personne âgée. Deuxièmement, cette tâche implique des rotations simultanées autour des deux chevilles ; le mouvement recrute donc les deux jambes de façon symétrique. La généralisation à des mouvements plus complexes, par exemple mobilisant un nombre de degré de liberté plus important, et asymétriques est donc difficile. Afin de compléter ces travaux, des chercheurs se sont intéressés à l'influence de la menace posturale sur des tâches motrices exigeant un mouvement asymétrique des membres inférieurs. L'asymétrie implique alors des recrutements séquentiels de plusieurs degrés de liberté sur les axes antéro-postérieur et médio-latéral.

3.2.3. Étude de la flexion du membre inférieur

Yiou et al. (2011a) sont ainsi les premiers à s'intéresser spécifiquement à l'effet de la peur de chuter sur le contrôle de l'équilibre médio-latéral. Ils ont alors utilisé une tâche asymétrique de flexion du membre inférieur. Dans leur étude, les participants jeunes et en bonne santé étaient placés à 0,06 m (faible menace posturale) ou à 0,6 m (forte menace

posturale) du sol. La tâche consistait à exécuter, le plus rapidement possible, un mouvement de flexion de la cuisse à 90°. Le mouvement devait être initié le plus tôt possible après un signal sonore. En présence d'une forte menace posturale, comparativement à une faible menace, les résultats ont montré une diminution du pic d'accélération du centre des masses pendant les APA ainsi qu'une diminution de la vitesse de déplacement du centre des pressions à la fin des APA. Cette diminution de l'amplitude des forces inertielles sur l'axe médio-latéral lors de la phase anticipatrice était compensée par l'augmentation de la durée des APA. L'augmentation de la durée des APA en situation menaçante permettait alors de favoriser significativement le déplacement du centre des masses vers la jambe d'appui au moment du levé de la jambe. Selon les auteurs, ce déplacement anticipé du centre des masses semblerait traduire la mise en place d'une stratégie protectrice. En effet, l'organisation séquentielle de l'équilibre et du mouvement assurerait l'équilibre des participants avant l'exécution du mouvement volontaire. Le positionnement du centre des masses au plus près de la jambe d'appui permettrait ainsi d'atténuer les forces inertielles latérales lors de l'élévation de la jambe oscillante.

Cette étude est donc la première à mettre en évidence les effets de la peur de chuter sur les paramètres posturo-cinétiques sur l'axe médio-latéral. (Yiou et al. 2011a) suggèrent alors que la position du stimulus émotionnel par rapport aux participants puisse majorer (ou non) l'effet de ce stimulus sur le mouvement. Ainsi, les auteurs supposent que les changements de l'organisation des APA spécifiquement dans l'axe médio-latéral sont dus à la présence de la menace posturale sur l'axe de progression du corps, c'est-à-dire dans l'axe médio-latéral. Autrement dit, lors d'une élévation sur les talons (Adkin et al. 2002 ; Zaback et al. 2015) ou d'une flexion de la cuisse (Yiou et al. 2011a), le déplacement du corps se fait majoritairement sur l'axe antéro-postérieur ou l'axe médio-latéral, respectivement. Les effets des stimuli émotionnels sur ces axes respectifs seraient donc majorés. Ainsi, Yiou et al. (2011a) sont les premiers à considérer le rôle de la direction du mouvement par rapport aux stimuli émotionnels dans l'étude de l'influence de la menace posturale sur l'organisation biomécanique du mouvement volontaire.

3.2.4. Étude des facteurs psychologiques

En parallèle de son influence sur les variables biomécaniques du mouvement volontaire, l'influence de la menace posturale est généralement testée sur la perception que se

font les participants de la situation expérimentale (composante cognitive des émotions). Les variables psychologiques classiquement considérées sont alors la confiance en l'équilibre, la peur de chuter, l'anxiété perçue et la stabilité perçue.

Les résultats ont montré que la confiance en l'équilibre des participants diminuait lorsque la menace posturale augmentait (Adkin et al. 2002 ; Adkin et al. 2008 ; Davis et al. 2009 ; Yiou et al. 2011a). Par ailleurs, plus la menace posturale était forte, plus la peur de chuter était grande (Adkin et al. 2008 ; Davis et al. 2009 ; Huffman et al. 2009 ; Yiou et al. 2011a ; Davis et al. 2011 ; Zaback et al. 2015). Dans la même logique, les résultats de l'évaluation de cette anxiété perçue démontrent que les participants se jugent de plus en plus anxieux lorsque la menace posturale augmente (Adkin et al. 2002 ; Adkin et al. 2008 ; Davis et al. 2009). Enfin, les résultats montrent que les participants perçoivent leur stabilité posturale plus faible dans les conditions fortement menaçantes, comparativement aux conditions faiblement menaçantes (Adkin et al. 2002 ; Adkin et al. 2008 ; Huffman et al. 2009).

La peur de chuter est particulièrement importante à évaluer car elle influencerait l'organisation posturo-cinétique des mouvements volontaires en réponse à une menace posturale (Davis et al. 2009). Dans l'étude de Davis et al. (2009), la peur de chuter perçue par les participants a permis de former deux groupes : un groupe de participants reportant une peur de chuter (« peureux ») et un autre groupe ne rapportant pas de peur de chuter (« non peureux¹ »). Les participants devaient maintenir la position orthostatique sur une plate-forme surélevée. Cette plateforme prenait quatre hauteurs différentes (du moins menaçant au plus menaçant : niveau du sol ; 0,8 m ; 1,6 m et 3,2 m). L'analyse classique des paramètres biomécaniques (déplacement, fréquence et amplitude du centre des pressions) permettait d'évaluer l'influence de la menace posturale sur les paramètres posturo-cinétiques du maintien de la position orthostatique. Chez les participants non peureux, les résultats ont démontré un recul du centre des pressions à l'encontre du bord de la plateforme, une augmentation de la fréquence du centre des pressions, ainsi qu'une réduction de l'amplitude de déplacement du centre des pressions lorsque la menace augmentait. Les réponses du groupe de participants peureux semblaient quelque peu diverger. Pour ce groupe comme pour

¹ Notons ici que les modifications posturales chez les participants « non peureux » dans les conditions menaçantes, seraient alors attribuées à la perturbation du champ visuel périphérique induite par la hauteur plutôt qu'à l'émotion.

le premier, les résultats ont montré un recul du centre des pressions et une augmentation de la fréquence du centre des pressions. Par contre, contrairement au groupe précédent, l'amplitude de déplacement du centre des pressions augmentait en condition de forte menace posturale – comparativement à une faible menace posturale. Ces résultats mettent ainsi en évidence des différences de stratégie de régulation du contrôle postural en fonction de la peur de chuter des participants. Autrement dit, pour une menace posturale donnée, la perception de la menace posturale (c'est-à-dire la peur de chuter) varie d'un individu à l'autre ; ces différences de perception engendrent alors des organisations biomécaniques différentes.

L'étude de Davis et al. (2009) montre donc l'importance de considérer les différences interindividuelles dans la perception que se font les participants de la menace posturale. À notre connaissance, cette étude est la seule à avoir testé, de façon « directe », le rôle de la perception de la menace posturale sur l'adaptabilité du contrôle postural aux émotions. Les autres études se limitent à étudier les corrélations (ou les médiations) entre les réponses psychologiques et les variables biomécaniques lors de la présence d'une menace posturale. Ainsi, en présence d'une menace posturale, des corrélations positives ont été démontrées entre : l'anxiété perçue et les pics d'accélération et de vitesse du centre des masses lors d'un mouvement d'élévation des talons en situation de menace posturale (Adkin et al. 2002) ; l'anxiété perçue et le déplacement du centre des pressions lors du maintien de la posture orthostatique (Huffman et al. 2009) ; la peur de chuter et le déplacement du centre des pressions vers les talons lors du maintien de la posture orthostatique (Zaback et al. 2015). Des corrélations négatives ont été démontrées entre : la stabilité perçue et le déplacement du centre des pressions vers les talons ; la confiance en l'équilibre et la fréquence de déplacement du centre des pressions lors du maintien de la posture orthostatique (Huffman et al. 2009).

Ces différences de perception de la menace posturale peuvent notamment être expliquées par des dispositions individuelles (ou la personnalité). Les travaux de Zaback et al. (2015) ont en effet démontré le rôle des dispositions individuelles dans l'influence d'une menace posturale sur l'organisation biomécanique du maintien de la position orthostatique et de l'élévation des talons. Les résultats ont montré que la disposition des participants à prendre des risques influençait la perception de la peur de chuter des participants. Cette peur de chuter influençait à son tour l'organisation posturale du maintien de la position orthostatique (la position du centre des pressions). Autrement dit, la perception de la menace posturale était ici considérée comme un médiateur de l'influence des dispositions individuelles sur

l'organisation biomécanique du maintien de la position orthostatique. Cet effet de la prise de risque n'a pas été retrouvé lors d'une tâche d'élévation des talons. Bien que limités, ces résultats sont prometteurs et ouvrent le champ à un nouveau domaine d'investigation : la contribution des dispositions individuelles dans l'adaptabilité des APA aux émotions.

3.2.5. Bilan et limites des études utilisant une menace posturale

À notre connaissance, les études d'Adkin et al. (2002), de Yiou et al. (2011a) et de Zaback et al. (2015) sont les seules à avoir testé l'influence de la présence d'une menace posturale, c'est-à-dire l'influence d'une peur de chuter, sur les APA associés à un mouvement volontaire. Les résultats de ces trois études ont démontré l'existence de différents processus de régulation du contrôle postural (tableau 3).

Ces différences peuvent notamment être expliquées par le choix des tâches expérimentales : alors que la tâche de levé de talon est unidirectionnel (axe antéro-postérieur), la tâche de flexion de la jambe est bidirectionnel (axes antéro-postérieur et médio-latéral). Or, il est connu que les stratégies posturales dépendent de l'axe recruté lors du mouvement volontaire (Winter et al. 1996 ; Rougier 2007b). Par exemple, le maintien de l'équilibre sur l'axe antéro-postérieur serait principalement sous le contrôle de la musculature de la cheville et en particulier des muscles fléchisseurs plantaires (essentiellement le soléaire). Cette stratégie de contrôle de l'équilibre est qualifiée de *stratégie de cheville*. Par contre, selon l'axe médio-latéral, la position du centre des pressions serait principalement contrôlée par les muscles adducteurs et abducteurs de la hanche. Cette *stratégie de hanche* utilise alors un processus de charge et de décharge des appuis. L'étude de Yiou et al. (2011a) est la seule à tester l'influence des émotions sur le contrôle de l'équilibre selon l'axe médio-latéraux, il semble donc nécessaire de compléter et d'approfondir leurs travaux.

En outre, les différences peuvent être expliquées par la variabilité des protocoles expérimentaux. Par exemple, la forte menace posturale dans l'étude de Yiou et al. (2011a) correspond davantage - en termes de hauteur et de proximité du vide - à une faible menace posturale qu'à une forte menace posturale dans les études d'Adkin et al. (2002) et de Zaback et al. (2015). Par ailleurs, la différence de hauteur entre les conditions de forte menace posturale et de faible menace posturale est de 0,54 m dans l'étude de Yiou et al. (2011a), de 0,80 m dans l'étude de Zaback et al. (2015) et de 1,20 m dans l'étude d'Adkin et al. (2002).

Ces différences notables peuvent influencer la perception de la peur de chuter et doivent donc être considérées lors de la comparaison des résultats. Notons par ailleurs que, pour des questions éthiques, l'augmentation drastique de la hauteur nécessite un harnachement des participants : les participants des études d'Adkin et al. (2002) et de Zaback et al. (2015) sont munis de harnais de sécurité contrairement aux participants de l'étude de Yiou et al. (2011a) qui n'en ont pas. Bien que les détails des études ne permettent pas d'identifier les effets du port de harnais (sur les variables biomécaniques ou psychologiques, par exemple) cette précaution expérimentale est susceptible d'expliquer, en partie, la différence de résultats observée.

L'étude de Davis et al. (2009) est la première à démontrer l'existence de variabilités interindividuelles dans la régulation des comportements (biomécaniques) en réponse à une menace posturale. Les résultats de cette étude révèlent que ces variabilités peuvent être expliquées par les différences de perceptions que se font les participants de la menace posturale (ici, auto-perception de la peur de chuter). Ces travaux innovants ne rendent cependant pas compte de l'influence de la confiance en l'équilibre, de la stabilité perçue ou encore de l'anxiété perçue (variables psychologiques classiquement évaluées en présence d'une menace posturale) dans la relation entre la menace posturale et les réponses posturo-cinétiques. Par ailleurs, les auteurs utilisent une tâche de maintien de la position orthostatique qui ne permet pas d'évaluer les APA. Dès lors il semblerait intéressant de compléter ces travaux en étudiant plus largement le rôle de la perception de la menace posturale (c'est-à-dire, le rôle des autres variables psychologiques) sur l'initiation de mouvements volontaires. En outre, afin de mieux comprendre l'existence de variabilités dans l'organisation posturale des individus (exposés à une menace posturale), il semblerait pertinent d'investiguer le rôle de leur personnalité et/ou leurs dispositions individuelles. En effet, ces dernières influenceraient la mise en place des comportements en réponse à des situations menaçantes (Carver et White 1994 ; Gray et McNaughton 2000 ; Blanchard et al. 2001 ; Perkins et Corr 2006 ; Pickering et Corr 2008 ; Corr et McNaughton 2012) et contribueraient à expliquer l'existence de différences interindividuelles dans la perception de la menace d'une part et dans l'organisation biomécanique d'autre part.

Auteurs	Tâche	IAPS			Position initiale du centre des pressions / centre des masses	Temps de réaction	APA					Performance motrice			
		Condition	Hauteur	Proximité			Durée	Amplitude du centre des pressions	Vitesse du centre des pressions	Vitesse du centre des masses	Pic d'accélération du centre des masses	Durée d'exécution	Vitesse du centre des pressions	Amplitude du mouvement	Vitesse du segment focal
Adkin et al. (2002)	Elévation des talons	Forte menace posturale (F)	1,6 m	0 m	Déplacement vers les talons : F > MF F > mf F > f	/	Pas de différence	Déplacement vers les talons : F < MF F < mf F < f	/	/	F > MF F > mf F > f	F < MF F < mf F < f	Déplacement vers la pointe des pieds : F < MF F < mf F < f	/	
		Menace posturale moyenne à forte (MF)	1,6 m	0,5 m											
		Menace posturale moyenne à faible (mf)	0,4 m	0,5 m											
		Faible menace posturale (f)	0,4 m	0 m											
Zaback et al. (2015)	Elévation des talons	Forte menace posturale (F)	1,6 m	0 m	/	/	/	Déplacement vers les talons : F < f	/	/	/	/	/		
		Faible menace posturale (f)	0,8 m	0 m											
Yiou et al. (2011)	Flexion de la jambe à 45°	Forte menace posturale (F)	0,6 m	0 m	Pas de différence	F > f	F > f	/	/	Au décollement du pied : F < f	F < f	/	/	Déplacement du centre des masses vers la jambe d'appui : F < f	Vitesse de la jambe : Pas de différence
		Faible menace posturale (f)	0,06 m	0 m											

Tableau 3 : Bilan des études traitant de l'influence de la menace posturale sur les APA et de la performance motrice lors de l'initiation de mouvement volontaire. **En rouge**, les différences de résultats observées (pour une même variable dépendante) entre les études.

PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

1. Problématique

Ce travail de Thèse s'intéresse à l'influence des émotions sur l'organisation biomécanique des mouvements volontaires complexes, c'est-à-dire mobilisant l'ensemble du corps et induisant une perturbation posturale substantielle.

L'organisation biomécanique du mouvement est abordée par le biais du concept de **capacité posturo-cinétique**. Selon ce concept, la stabilité posturale et la performance d'une tâche motrice (en termes de précision, force, vitesse, etc.) dépendent de la capacité du système nerveux central à générer des APA convenables en durée et en amplitude. Tout facteur altérant cette capacité posturo-cinétique a un impact négatif sur la stabilité posturale et/ou sur la performance motrice. A l'inverse, l'amélioration de cette capacité posturo-cinétique améliorerait ces deux composantes du mouvement. Par ailleurs, comme il est souligné dans la littérature (pour des revues, Bouisset et Do 2008 ; Yiou et al. 2012a), une meilleure connaissance des facteurs susceptibles d'influencer la capacité posturo-cinétique est un enjeu majeur autant sur le plan fondamental que clinique. En effet, cette connaissance est importante pour valider ou développer des outils ou des méthodes d'amélioration de la performance motrice ou de la stabilité posturale. Cette perspective semble aussi particulièrement pertinente dans les domaines sportif, ergonomique (par exemple, Hamaoui et al. 2015 ; Hassaine et al. 2015). Dans ce cadre, l'influence de facteurs biomécaniques sur le contrôle postural, et en particulier sur les APA associés aux mouvements volontaires, a fait l'objet de nombreuses études (pour une revue, voir Yiou et al. 2012a). Ces facteurs biomécaniques (par exemple, fatigue musculaire, mobilité articulaire, stabilité posturale initiale/finale, pression temporelle) et leur modalité d'action sur la capacité posturo-cinétique sont aujourd'hui relativement bien identifiés. L'influence des facteurs a été décrite dans la revue de littérature.

Ces études ne prennent cependant jamais en compte la dimension psychologique liée à la production du mouvement et, en particulier, l'état émotionnel des participants. L'influence des émotions sur les APA est une thématique émergente qui n'a fait l'objet que d'un nombre

relativement restreint de recherches. Le présent travail de Thèse vise donc à apporter des éléments de réponse à cette problématique. Dans cette perspective, l'influence des émotions sur les APA est abordée sous l'angle de l'**hypothèse de la direction motivationnelle**. Cette théorie, élaborée par des psychologues théoriciens des émotions (pour les travaux pionniers, voir Lewin 1935 ; Schneirla 1959 ; Frijda et al. 1989 ; Lang et al. 1990 ; Cacioppo et al. 1993 ; Lang 1995 ; Elliot 1999 ; Lang 2000 ; Bradley et al. 2001 ; Centerbar et Clore 2006 ; Frijda 2009 ; Lang et Bradley 2010) suppose que les stimuli plaisants favorisent les comportements d'approche alors que les stimuli déplaisants favorisent les comportements d'évitement. Le processus de régulation de la distance étant alors au cœur de la mise en place de ces comportements d'approche et d'évitement.

Comme cela a été développé dans l'état de l'art, ces dernières études princeps n'utilisaient dans leurs paradigmes expérimentaux que des mouvements très simples, c'est-à-dire mono-articulés, et de faible inertie, impliquant exclusivement le membre supérieur. Ces mouvements ne perturbent pas ou du moins très peu la posture et l'équilibre et ne génèrent donc pas d'APA substantiels. L'analyse du mouvement était donc restreinte au temps de réaction. Ainsi l'augmentation de la réactivité du mouvement marquait la congruence entre le comportement émis (d'approche ou d'évitement) et le stimulus émotionnel (plaisant ou déplaisant) ; alors que la diminution de cette réactivité marquait leur incongruence (par exemple, « approche-déplaisant »). Par ailleurs, la régulation de la distance entre les stimuli émotionnels et les participants était limitée à des mouvements d'extension ou de flexion du bras. Ces études se sont très récemment élargies à l'analyse des mouvements complexes, mobilisant l'ensemble du corps. Le déplacement du corps dans son ensemble permet ainsi de mieux rendre compte des processus de régulation de la distance. Aussi, l'initiation d'un déplacement vers ou à l'encontre de stimuli émotionnels permet l'analyse des relations entre émotion, contrôle postural et performance motrice.

Traditionnellement, les études testant l'hypothèse de la direction motivationnelle s'appuient sur la présentation d'images, de sons, de mots ou de textes (Bradley et Lang 1999 ; Bradley et Lang 2007a ; Bradley et Lang 2007b ; Lang et Bradley 2008a ; Leveau et al. 2011) qui constituent autant de stimuli « virtuels ». Ces derniers sont qualifiés de virtuels dans la mesure où ils n'engagent pas l'intégrité physique des participants. Autrement dit, ces stimuli émotionnels ne représenteraient pas une « urgence motivationnelle » (Scherer 2001 ; Harmon-Jones et al. 2013) et ne seraient que faiblement liés aux comportements d'approche ou

d'évitement (Stins et Beek 2007). La production de réponses motrices, au regard de ces stimuli émotionnels, est donc probablement atténuée par rapport à des situations « réelles ». Dans ces situations dites réelles, les participants sont dans des situations qui nécessitent l'engagement de comportements d'approche ou d'évitement (par rapport aux stimuli émotionnels) afin de garantir leur intégrité physique. C'est par exemple le cas lorsque des participants sont placés à proximité du vide. Ainsi, nous prendrons soin au cours de cette Thèse de considérer cette notion de stimuli virtuels et réels.

Afin de mieux déterminer l'influence des émotions sur l'organisation biomécanique du mouvement volontaire, nous chercherons à identifier les facteurs susceptibles de l'influencer. Nous nous intéresserons ainsi à l'existence de différences interindividuelles dans l'organisation posturo-cinétique du mouvement volontaire en réponse aux émotions. Par ailleurs, nous tenterons d'expliquer ces différences interindividuelles, grâce aux dispositions individuelles des participants. Le rôle de ces dernières dans l'explication de la variabilité des réponses émotionnelles (psychologiques ou biomécaniques) semble d'autant plus intéressant à considérer qu'il a déjà été démontré dans la mise en place des motivations à l'approche et à l'évitement (Carver et White 1994 ; Carver 2004 ; Perkins et Corr 2006 ; Pickering et Corr 2008 ; Corr et McNaughton 2012 ; Corr et al. 2013) et, très récemment, dans l'organisation posturale (lors du maintien de la position orthostatique) en réponse à une menace posturale (Zaback et al. 2015).

L'**objectif principal** de cette Thèse est de tester l'influence des émotions sur l'organisation biomécanique d'un mouvement volontaire complexe sous l'angle de la théorie motivationnelle. Dans cette perspective, deux conceptions des émotions ont été abordées. Selon la **conception dimensionnelle**, les émotions sont définies grâce à un certain nombre de dimensions, notamment la dimension de valence et d'activation (entre autres, Lang et al. 1990 ; Lang 1995 ; Bargh 1997 ; Duckworth et al. 2002 ; Charland 2005 ; Lang et Bradley 2008b). Les études adhérant à cette conception des émotions induisent des émotions plaisantes ou déplaisantes grâce aux images de l'IAPS. Selon la **conception catégorielle** des émotions, il existerait un nombre limité d'émotions dites basiques (par exemple, la peur, la joie, le dégoût, la tristesse, la colère). Ces émotions auraient alors des patterns d'expressions reconnaissables, stables et universels (entre autres, Ekman et Friesen 1971 ; Plutchik 1980 ; Pribram 1980 ; Ekman 1992 ; Scherer 1993 ; LeDoux 1996 ; Ekman 1999 ; Cosmides et

Tooby 2000 ; Keltner et Ekman 2000 ; Scherer 2005). En induisant de la peur de chuter, les protocoles utilisant une menace posturale adhère à cette conception catégorielle des émotions.

L'utilisation de ces deux conceptions émotionnelles complémentaires (pour cette idée de complémentarité, voir la notion de *structure dimensionnelle des émotions catégorielle* d'Adolphs 2002) permet ainsi une approche globale et intégrative de l'influence des émotions sur l'organisation biomécanique du mouvement volontaire. Sur cette base, deux situations expérimentales ont été testées. Dans une première situation expérimentale (**étude 1**), les effets de la présentation d'images émotionnelles sur l'organisation biomécanique de l'initiation du pas ont été examinés. L'initiation du pas vers l'avant ou vers l'arrière matérialisait respectivement un comportement d'approche ou d'évitement. Dans une deuxième situation expérimentale (**étude 2**), les effets de la menace posturale sur l'organisation biomécanique d'un mouvement d'élévation latérale rapide de la jambe ont été examinés. Les participants étaient placés au bord latéral d'une plateforme surélevée (1 m) : la menace posturale que représentait la proximité du vide induisait alors une peur de chuter. Selon les conditions expérimentales, les APA associés à l'élévation de la jambe étaient dirigés vers la menace posturale (matérialisant ainsi un comportement d'approche) ou à son encontre (matérialisant un comportement d'évitement). L'existence de différences interindividuelles dans l'organisation biomécanique du mouvement volontaire en réponse à une menace posturale (**étude 3**) sera spécifiquement recherchée dans le cadre de cette deuxième situation expérimentale. Enfin nous chercherons à expliquer ces différences interindividuelles grâce aux dispositions individuelles (personnalité) des participants (**étude 4**).

Au regard de cette problématique, nous émettons les hypothèses suivantes :

- 1) les comportements d'approche sont facilités par les émotions plaisantes (favorisant la survie de l'individu) et perturbés par les émotions déplaisantes (nuisibles à l'individu) ;
- 2) les comportements d'évitement sont facilités par les émotions déplaisantes et perturbés par les émotions plaisantes ;
- 3) des différences interindividuelles existent dans la mise en place de ces comportements en réponse aux émotions ;
- 4) les dispositions individuelles de participants expliquent une partie de ces différences interindividuelles.

2. Méthodologie générale

Dans le cadre de ce travail de Thèse, l'analyse biomécanique du processus d'initiation de la marche et de l'élévation latérale de la jambe ont été réalisées en utilisant la méthode dite « globale » développée par Brenière et collaborateurs (pour quelques exemple, voir Brenière et al. 1981 ; Brenière et al. 1987 ; Brenière et Do 1991). Cette méthode utilise les principes de la mécanique pour calculer - sur la base des données enregistrées sur plateforme de force - l'accélération du centre des masses ainsi que les positions instantanées du centre des pressions. Les déplacements du centre des masses et du centre des pressions sont alors l'expression globale propre du mouvement. Ainsi, le centre des masses est l'expression instantanée des mouvements de tous les segments corporels en rapport avec l'objectif du mouvement (par exemple la vitesse maximale de progression du corps). Le centre des pressions est quant à lui l'expression des conditions d'appui nécessaires à cet objectif. La plateforme de force constitue la technique appropriée à ce modèle puisqu'elle permet de mesurer directement les forces extérieures qui agissent au niveau des appuis lors du mouvement. En outre, elle permet la réalisation des mouvements sans les entraver et ne nécessite aucune préparation particulière. Par ailleurs, elle permet de déterminer les accélérations du centre des masses avec une précision que ne peuvent atteindre la plupart des autres systèmes d'analyse du mouvement. Ces plateformes permettent d'enregistrer les forces de réaction au sol selon les trois directions de l'espace (antéro-postérieure, médio-latérale et verticale) ainsi que les moments associés.

Les détails sur la méthodologie propre à chaque expérience sont donnés dans les différentes études contenues dans la partie expérimentale.

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES

1. Étude 1 - Influence des images plaisantes et déplaisantes sur l'organisation biomécanique de l'initiation du pas vers l'avant et vers l'arrière

Cette étude a donné lieu à la publication suivante (voir annexe 12) :

Yiou E, **Gendre M**, Deroche T, Le Bozec S (2014) Influence of Emotion on the Biomechanical Organization of Backward and Forward Step Initiation. *Motor Control*, 18(4), 368–382.

1. 1. Introduction

Step initiation has been defined as the transient period between an upright stance and the time of swing-foot contact with the ground (Brenière et al. 1987). It is a functional task that is classically used in the literature to investigate the coordination between posture and movement. It is commonly broken down into a postural phase (the so-called “anticipatory postural adjustment,” APA) followed by an execution phase. During APA associated with forward step initiation, the centre of pressure (centre of pressure, point of application of the vertical ground reaction forces) is displaced behind the vertical projection of the centre of mass (centre of mass) onto the ground. This decoupling of the centre of mass and centre of pressure provides the initial propulsive forces necessary to reach the intended forward centre of mass velocity at the end of the execution phase (Brenière et al. 1987).

Recent studies revealed that the biomechanical features of forward step initiation could be modulated by psychological factors such as an individual's emotional state (Stins et al. 2011a; Naugle et al. 2011; Stins and Beek 2011; Gélat et al. 2011). Authors have even proposed that emotion-based interventions could be relevant to maximize step initiation improvement for neurological patients, such as those with Parkinson's disease (Naugle et al. 2012). In all these studies, the emotional state was typically manipulated by exposing individuals to pleasant (e.g., erotic, baby faces) and unpleasant (e.g., mutilation, sad people) pictures extracted from the International Affective Picture System (IAPS - Lang et al. 1997). Most of these studies found that at least one component of forward step initiation was

facilitated by the presentation of pleasant images, i.e., the APA amplitude (in terms of anticipatory centre of pressure shift/velocity and anticipatory centre of mass velocity) and/or the centre of pressure progression velocity were found to increase in comparison with unpleasant images. Overall, these results were thought to provide support for the “motivational direction hypothesis” according to which pleasant emotions facilitate approach behaviors (Lang et al. 1990; Bradley et al. 2001). Thus, it was proposed that the motivational direction hypothesis, which was initially substantiated by experimental data based only on reaction time measures and very simple upper extremity movements (Chen and Bargh 1999; Eder and Rothermund 2008) could be extended to complex movements involving whole-body displacement.

It is noteworthy that the motivational direction hypothesis further predicts that unpleasant emotions facilitate avoidance behavior. To date, only two studies have investigated this aspect of the motivational direction hypothesis with a whole-body movement that could be assimilated to an avoidance response, i.e., backward step initiation (Stins et al. 2011a; Stins and Beek 2011). In contrast to the prediction of the motivational direction hypothesis, the authors found that neither the reaction time nor the biomechanical organization of backward step initiation was facilitated by the presentation of unpleasant pictures as opposed to pleasant ones. These authors also investigated the effects of emotion on forward step initiation and found that, surprisingly, the biomechanical organization of the forward step initiation was not facilitated by the presentation of pleasant pictures as compared with unpleasant pictures either, which seemed a priori to contradict the above mentioned studies. In contrast, these authors found that the reaction time for forward step initiation was shortened when pleasant pictures were presented as compared with unpleasant ones. Therefore, pleasant images sped up motor response preparation, which was the sole result in agreement with the motivational direction hypothesis.

Their contribution to the literature notwithstanding, the latter two studies present some methodological limitations that should be highlighted. First, the participants were required to initiate stepping from the middle of a force plate that was just one meter long, which may have constrained step length and therefore step velocity. Such a constraint could potentially annihilate any facilitating effect of emotion on the biomechanical organization of both forward and backward step initiation. Second, the motor performance of step initiation, classically expressed in terms of peak centre of mass velocity (Brenière et al. 1987; Yiou and

Do 2010; Yiou and Do 2011) was not quantified in these studies, despite the possibility that this biomechanical variable might be a relevant indicator of step initiation (dis)facilitation. Third, these studies, like most studies investigating the relationship between emotion and step initiation organization, considered only the centre of pressure in the biomechanical analysis of step initiation (cf. Gélat et al. 2011) for an exception). This point could be stressed as a limitation since, as stated above, understanding the posturo-kinetics mechanisms underlying step initiation classically requires an analysis of the interactions between the centre of pressure and centre of mass (e.g., Bouisset and Zattara 1987; Brenière et al. 1987; Yiou and Do 2010; Yiou and Do 2011). Moreover, under dynamical conditions, the centre of mass can be considered as more representative of whole-body movement than the centre of pressure (which reflects stance conditions), and may therefore be more relevant to reflect approach/avoidance behaviors in response to emotional stimuli.

Taking these limitations into consideration, the current study aimed to test whether the biomechanical organization of both the whole-body approach and avoidance responses is modulated by the emotional state of individuals in accordance with the motivational direction hypothesis. As in the experiments of Stins and Beek (2011) and Stins et al. (2011a), whole-body approach and avoidance responses were modeled with forward and backward step initiation, respectively. Based on the motivational direction hypothesis, the following results were expected: 1) unpleasant pictures facilitate backward step initiation and disfacilitate forward step initiation; 2) in contrast, pleasant pictures facilitate forward step initiation and disfacilitate backward step initiation. Approach and avoidance behaviors will be considered to be facilitated by the affective pictures if: 1) at least one component of the classical biomechanical step initiation measures (including anticipatory centre of pressure shift/centre of mass velocity, peak centre of mass velocity and step length) is increased and/or 2) the reaction time is shortened in comparison with the control condition (presentation of neutral pictures).

1. 2. Methods

Experimental population

Thirty one young healthy participants (16 males, 15 females; 8 left-handed; 26 ± 6 years; 71 ± 9 kg; 172 ± 8 cm) participated in the present experiment. All of them gave written

consent after having been informed as to the nature and purpose of the experiment, which had been approved by local ethics committees (cf annex 1). The study complied with the standards established by the Declaration of Helsinki. No participants reported any lower extremity injuries in the previous 6 months.

Initial posture

Participants initially stood barefoot in a natural upright posture on a large force plate (120*60 cm, 6012–15–4000, Bertec Corp, Columbus, OH), feet shoulder-width apart, and arms alongside the trunk (figure 18). The location of each foot was marked on millimetric paper placed on the force plate. These marks were used as a visual reference on which the participants positioned themselves under the experimenters' supervision. The participants were instructed to distribute their weight evenly between their legs, and centre of pressure was visually confirmed by two independent experimenters to be approximately central in the ML and AP directions.

Motor task

To manipulate emotional state, the experimenters exposed the participants to a series of pictures². selected from the International Affective Picture System (IAPS; Lang et al. 1997). These pictures (86*67 cm) were projected onto a screen (2m*1.5m) facing the participant (figure 18).

Erotic and mutilation pictures were selected to elicit pleasant and unpleasant emotions, respectively, and were chosen to induce a high degree of arousal. Neutral pictures depicted familiar objects and landscapes. In the initial posture, the participant's gaze was directed toward a black cross (projected on the white screen) positioned at eye level and in the middle of the subsequent picture. A webcam connected to a PC was positioned at the top of the

² *Erotic pictures for forward condition: 4800, 4697, 4659, 4698, 4680, 4695, 4643, 4653, 4692, 4604 ; Erotic pictures for backward condition: 4687, 4690, 4650, 4693, 4660, 4611, 4658, 4694, 4645, 4669 ; Mutilation pictures for forward condition: 3060, 3030, 3071, 3059, 3064, 3100, 3000, 3150, 9253, 3051 ; Mutilation pictures for backward condition: 3069, 3131, 3130, 3068, 3261, 3010, 3100, 3225, 3015, 3080, 3195 ; neutral pictures for forward condition: objects 7004, 7009, 7000, 7006, 7017, 7020, 7090, 7021, 7175, 7010, landscapes 5780, 5800, 5725, 5870, 5833, 5781, 5250, 5825, 5760, 5210) ; neutral pictures for backward condition: objects 5764, 5830, 5829, 5811, 5820, 5814, 5720, 5711, 5700, 5600, landscapes 5764, 5830, 5829, 5811, 5820, 5814, 5720, 5711, 5700, 560 (cf annexes 1 and)*

screen to allow experimenters to check on-line that the participants kept their gaze fixed on the picture. Once the participant had met the conditions of initial posture and gaze direction, the cross disappeared and the emotion-eliciting picture was projected on the screen. The participant was asked to initiate a step (forward or backward, depending on the experimental condition; see below) at a self-selected speed and as soon as possible after mentally classifying the picture as pleasant, unpleasant or neutral. As in our previous studies (e.g., Yiou et al. 2007b; Yiou and Do 2011), the participant was instructed to make a single step in each condition, i.e., the final position had to be the same as the initial position with the feet parallel. The participant was instructed to fixate the picture until it vanished. Only then he/she could return to the initial posture. The picture remained five seconds on the screen. During this delay, the participant had time to step and reach a stable final posture (as visually checked on line by the experimenters). The participant was repeatedly reminded of the task execution instructions.

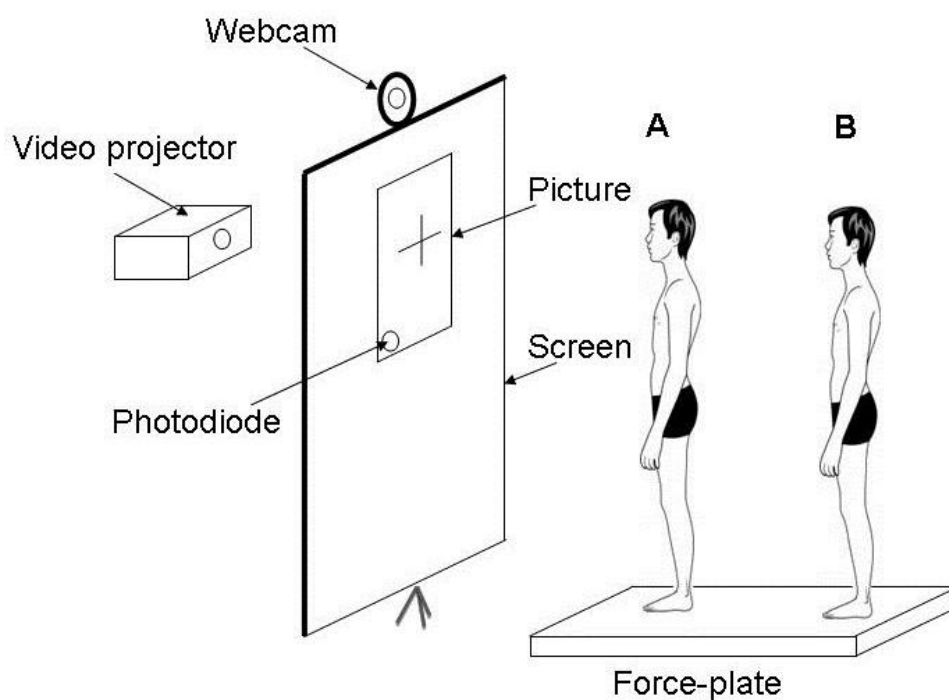


Figure 18 : Experimental set up and initial positioning of participants with respect to the screen and force-plate. **A.** Participant's positioning before stepping backwardly. **B.** Participant's positioning before stepping forwardly.

Pilot study and determination of the preferred and non preferred leg

A pilot study (with seven subjects different from those in the reported experiment) showed that when no instruction was provided by the experimenter regarding the stepping leg, participants very often anticipated the presentation of the picture by slowly shifting their weight toward the forthcoming stance leg (referred to as the non-preferred leg) in the initial posture to discharge the forthcoming stepping leg (preferred leg). The participants also tended to initiate stepping before any possible classification of the visual stimuli, as revealed with an excessively short reaction time (< 150 ms). To limit such anticipation, the participants in the present experiment were required to initiate stepping either with their preferred or with their non preferred leg, depending on the valence of the picture (pleasant, unpleasant or neutral). As the participants could not predict this valence, the percentage of trials with postural anticipation was thus significantly reduced with respect to the pilot study. In addition, the participants were repeatedly reminded not to anticipate the picture's appearance. With these precautions, the percentage of anticipated trials was less than 5 % of all trials, with no significant difference across the conditions. The anticipated trials were excluded from further analysis. The preferred leg was determined using classical motor tasks including stair ascent, ball kicking and spontaneous step initiation (Yiou and Do 2011). To avoid redundancy in the presentation of the results, only the data obtained when stepping was initiated with the preferred leg are reported in the present experiment.

Experimental conditions

All participants were involved in the following four conditions (test conditions):

- 1) Stepping forward with the preferred leg when a pleasant picture is presented and with the non preferred leg when an unpleasant picture is presented;
- 2) Stepping forward with the preferred leg when an unpleasant picture is presented and with the non preferred leg when a pleasant picture is presented;
- 3) Stepping backward with the preferred leg when an unpleasant picture is presented and with the non preferred leg when a pleasant picture is presented;
- 4) Stepping backward with the preferred leg when a pleasant picture is presented and with the non preferred leg when an unpleasant picture is presented.

All participants were also involved in the two following conditions (control conditions):

- 1) Stepping forward with the preferred leg when a picture of an object (neutral picture) is presented and with the non preferred leg when a picture of a landscape (neutral picture) is presented;
- 2) Stepping backward with the preferred leg when a picture of a landscape is presented and with the non preferred leg when a picture of an object is presented.

The participants initiated stepping with the wrong leg in fewer than 5 % of trials. These trials were excluded from further analysis. In the four test conditions, only pleasant or unpleasant pictures were presented. In the control conditions, only neutral pictures were presented. In the forward step initiation conditions, the participants were placed at the very back of the force plate so as to limit any step length restriction as much as possible (figure 18). The distance between the participant and the screen was then 160 cm. In the backward step initiation conditions, the participants were placed at the very front of the force plate. The distance between the participant and the screen was then 60 cm. The participants performed series of 20 step initiations in each of the six conditions. The step initiation trials made with the preferred leg ($N = 10$) and the non preferred leg ($N = 10$) were randomized within each condition to avoid anticipations. The conditions were also counterbalanced between subjects to avoid a ranking effect. A ten-second rest between trials and a 5-min rest between conditions were provided to avoid the effect of fatigue. Two practice trials were performed at the beginning of the session (not recorded).

Data recordings

The force plate recorded ground reaction forces and moments. Instantaneous acceleration of the centre of mass (centre of mass) along the progression axis (antero-posterior axis) was obtained using the ratio [ground reaction forces/subject's mass] following Newton's second law:

$$\Sigma F = m \cdot x''M$$

where ΣF : sum of external forces applied to whole-body, m : body mass, $x''M$: centre of mass acceleration.

The centre of mass velocity was obtained through simple integration of the centre of mass acceleration trace (e.g., Yiou and Do 2010; Yiou and Do 2011). Instantaneous displacement of the centre of pressure (centre of pressure) along the antero-posterior direction (x_P) was calculated using the formula:

$$x_P = \frac{M_y}{R_z}$$

where M_y : moment along the mediolateral direction, R_z : vertical ground reaction force.

Instantaneous centre of pressure displacement in the mediolateral direction (y_P) was calculated using the formula:

$$y_P = \frac{M_x}{R_z}$$

where M_x : moment along the antero-posterior direction.

Data acquisition was triggered 200 ms before picture onset (Go signal), which allowed post-hoc calculation of the centre of mass position in the initial posture. Biomechanical data were sampled at 250 Hz and stored on a hard disk for off-line analysis.

Experimental variables

The initial centre of mass position in the mediolateral and antero-posterior direction corresponded to the mean centre of pressure value computed during the 200 ms time window before picture onset. The reaction time corresponded to the time between picture onset and the onset rise of the antero-posterior centre of mass acceleration trace (t_0). Picture onset was detected by a photodiode (opt301, Burr-Brown) affixed to the screen. t_0 corresponded to the time when the centre of mass acceleration trace exceeded the mean trace value (± 2 SD) calculated in the quiet standing posture. APA duration corresponded to the time between t_0 and the time of swing foot-off. APA amplitude was estimated using the centre of mass velocity at the foot-off time and using the peak of centre of pressure displacement during APA (Yiou et al. 2011b). Swing phase duration corresponded to the time between swing foot-off and swing-foot contact. Swing foot-off and foot-contact instants were detected using the vertical reaction force and mediolateral centre of pressure trace (see Caderby et al. 2013b) and

using foot switches (FSR pressure captor, 1 cm² surface) affixed under the heel and big toe of the swing foot. Motor performance was quantified with the peak of centre of mass velocity in the antero-posterior direction (Brenière et al. 1987). Step length corresponded to the difference in the antero-posterior centre of pressure position between the initial and the final postures (Yiou and Do 2011).

Picture valence and arousal ratings

The nine-points version of the self-assessment manikin (SAM - Lang et al. 1997, cf annex 4) was used at the end of the stepping conditions to obtain subjective ratings of picture valence and arousal.

Statistics

Overall, the reported descriptive statistics are means \pm 1 SD for all subjects. Repeated measures (RM) ANOVAs were performed on both biomechanical parameters and psychological ratings (SAMs) with picture category (erotic vs. mutilation vs. neutral) as within-participant factors. RM ANOVAs were conducted separately on the reaction time and biomechanical parameters related to the forward and backward step initiation. When necessary, follow-up analyses were done using the Newman-Keuls test. The level of statistical significance was set at $\alpha = .05$.

1. 3. Results

Description of the Biomechanical Traces

The time course of the biomechanical traces was globally similar in the different picture category conditions. These traces were reversed in the forward and backward step initiation conditions (figure 19). Details on the effect of the picture category on the reaction time and biomechanical organization of forward and backward step initiation are reported below. Swing foot-off was systematically preceded by dynamic phenomena corresponding to APA. In the forward step initiation conditions, these APAs included backward centre of pressure displacement concomitant with forward centre of mass acceleration. The centre of

mass velocity increased progressively until it reached a maximum value a few milliseconds after the time of swing-foot contact.

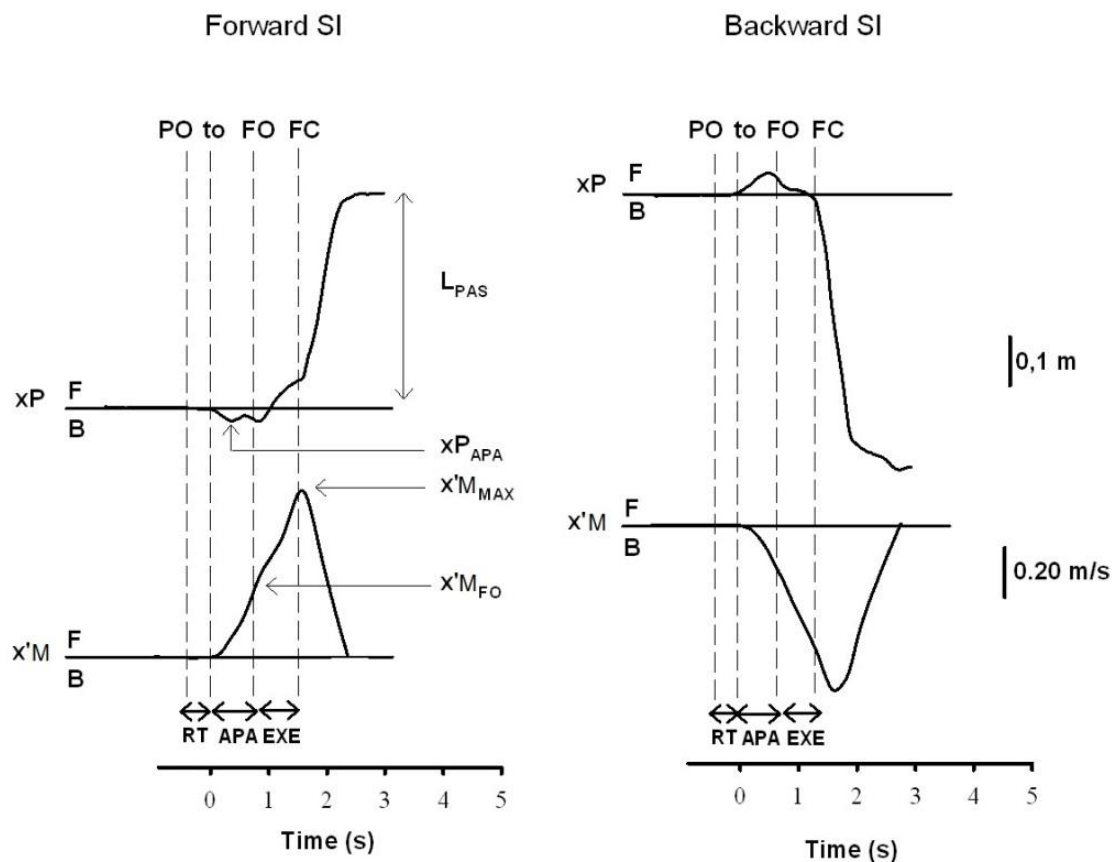


Figure 19 : Typical biomechanical traces associated with forward and backward stepping initiation following the presentation of a neutral picture (one trial in one representative subject), along with the presentation of the main experimental variables. xP , $x'M$: centre of pressure displacement along the anterior-posterior axis and anterior-posterior velocity of the centre of mass, respectively ; PO , $t0$, FO , FC : picture onset, onset variation of the xP trace, swing foot-off and swing foot-contact, respectively ; F , B : backward and forward, respectively. RT , APA , EXE : reaction time for stepping initiation, anticipatory postural adjustments and execution phase, respectively; L_{PAS} , xP_{APA} , $x'M_{FO}$, $x'M_{MAX}$: Step length, peak of anticipatory centre of pressure shift, centre of mass velocity at the swing foot-off time, and peak of centre of mass velocity, respectively.

Pictures rating

Statistical analysis revealed a main effect of picture category on valence ($F_{2,60} = 257.07$, $p < .001$) and arousal ratings ($F_{2,60} = 101.70$, $p < .001$). Specifically, post-hoc tests showed that erotic pictures were assigned a significantly higher valence score than both neutral ($p < .05$) and mutilation pictures ($p < .001$ - figure 20). In addition, neutral pictures were assigned a significantly higher valence score than mutilation pictures ($p < .001$). Post hoc tests further showed that mutilation pictures received a significantly higher arousal score

than both erotic ($p < .001$) and neutral pictures ($p < .001$). In addition, neutral pictures received a significantly lower arousal score than erotic pictures ($p < .001$). These ratings values are in agreement with those reported in the literature (e.g., Stins and Beek 2011).

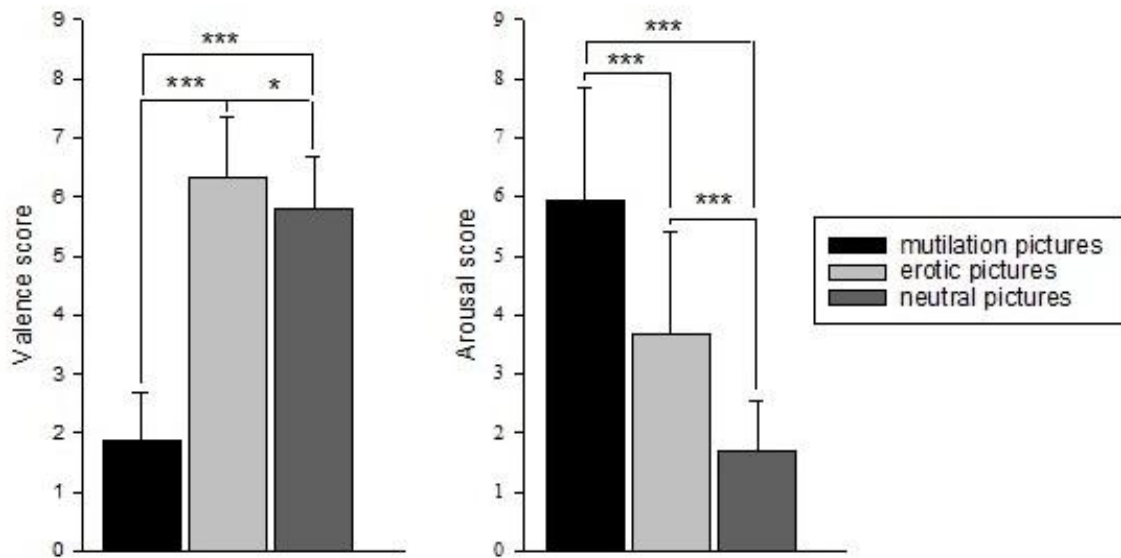


Figure 20 : Influence of picture category on valence and arousal ratings.

*, ***: significant difference with $p < .05$ and $p < .001$, respectively. Values given are means \pm 1 SD (all subjects)

Reaction time

Statistical analyses revealed a main effect of picture category on the reaction time for stepping forward ($F_{2,60} = 5.17, p < .01$). Specifically, post-hoc tests revealed that the reaction time was significantly shorter when participants were exposed to erotic pictures as compared with mutilation pictures ($p < .01$ - figure 21). In contrast, there was no significant effect of picture category on the reaction time for stepping backward.

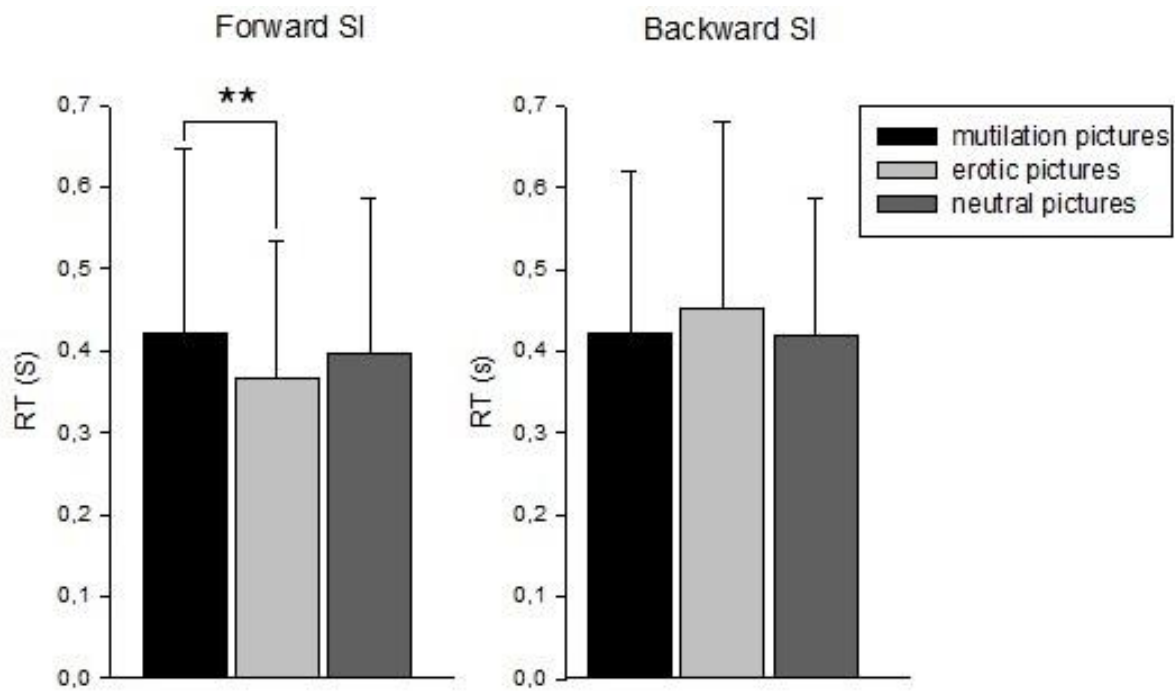


Figure 21 : Influence of picture category on the reaction time for the forward and backward stepping initiation (step initiation).

** : significant difference with $p < .01$. Values given are means ± 1 standard deviation (all subjects together)

Biomechanical parameters for step initiation

Statistical analysis showed that there was no significant effect of picture category on the initial centre of pressure position, either in the forward or in the backward step initiation condition. Thus, any further differences in the biomechanical step initiation parameters could not be ascribed to any change in body weight distribution in the initial posture.

In the forward step initiation conditions, statistical analysis revealed a main effect of picture category on the peak of centre of mass velocity ($F_{2,60} = 3.77$, $p < .05$). Specifically, post-hoc tests showed that this peak reached a significantly lower value when participants were exposed to erotic pictures as compared with neutral pictures ($p < .05$ - figure 22). Although this peak was also lower when participants were exposed to mutilation pictures as compared with neutral pictures, the difference was not significant ($p > .05$). In addition, there was no effect of picture category on the other spatio-temporal parameters for the forward step initiation (i.e., APA duration and amplitude, execution phase duration and step length).

In the backward step initiation conditions, statistical analysis revealed a main effect of picture category on the centre of mass velocity at the time of swing foot-off ($F_{2,60} = 5.12$, $p < .01$). Specifically, post-hoc tests showed that this backward-oriented velocity was significantly lower when participants were exposed to erotic pictures as compared with neutral pictures ($p < .01$ - figure 22). There was no effect of picture category on the other spatio-temporal parameters for the backward step initiation.

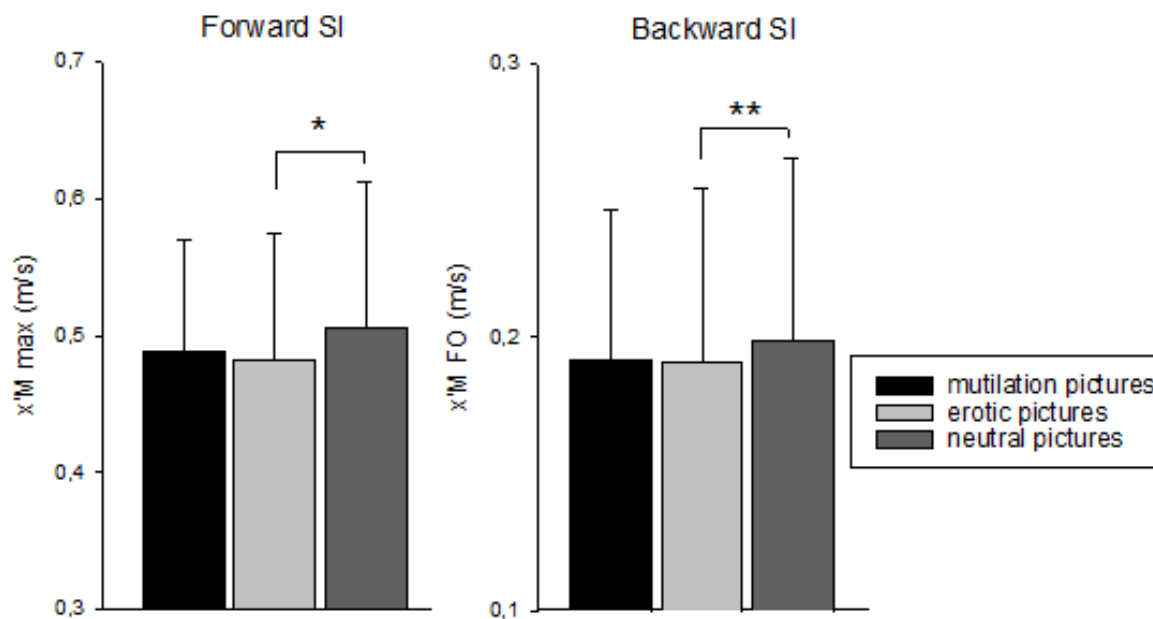


Figure 22 : Influence of picture category on selected biomechanical parameters of forward and backward stepping initiation.

$x'M_{MAX}$, $x'M_{FO}$: peak velocity of the centre of mass and centre of mass velocity at the foot-off time, respectively.

*, **: significant difference with $p < .05$ and $p < .01$, respectively. Values given are means \pm 1 standard deviation (all subjects together).

1. 4. Discussion

The present study aimed to test whether the biomechanical organization of forward and backward step initiation is modulated by the emotional state of individuals in accordance with the motivational direction hypothesis. Specifically, it was hypothesized that unpleasant (mutilation) pictures would facilitate backward step initiation and disfacilitate forward step initiation, and that pleasant (erotic) pictures would facilitate forward step initiation and disfacilitate backward step initiation.

Three main observations were made in the course of our experiment:

- 1) the reaction time for forward step initiation was shortened when individuals were exposed to pleasant pictures as compared with mutilation pictures;
- 2) the centre of pressure measures outcomes revealed no effect of the picture category on either the forward or backward step initiation;
- 3) in contrast, the anticipatory centre of mass velocity associated with the backward step initiation and the peak of centre of mass velocity associated with the forward step initiation both reached a lower value when individuals were exposed to pleasant pictures as compared with neutral pictures.

Most studies on the relationship between emotion and step initiation organization have focused on a comparison between the effects of pleasant vs. unpleasant pictures. We believe that facilitation or disfacilitation of affective pictures should also be considered with respect to the effects of neutral pictures, which represent a reference level for evaluation (control condition). In comparison with the mean reaction time in the control condition, the mean reaction time in the pleasant and the unpleasant conditions was lower and greater, respectively (the difference was not significant). Now, a significant difference in reaction time was observed only for unpleasant vs. pleasant images, i.e., when “opposite” emotions were elicited. This result is in agreement with previous data from the literature on forward step initiation (Stins et al. 2011a; Stins and Beek 2011; Gélat et al. 2011) and on an upper limb flexion/extension task (Chen and Bargh 1999), and it has been proposed that this provides support for the motivational direction hypothesis. In contrast to the forward step initiation conditions, our results showed that the picture category did not influence the reaction time for the backward step initiation conditions. Therefore, the influence of emotion on the motor preparation for step initiation appears to be direction dependent, with a greater impact on forward step initiation than on backward step initiation. Such an asymmetrical effect of emotion had previously been reported in the studies of Stins and Beek (2011) and Stins et al. (2011a).

As stated in the introduction, the participants in these two latter studies were required to initiate stepping from the middle of a force plate measuring just one meter in length, which may have constrained step length and velocity. Such a constraint on step length has the potential to offset any facilitating effect of emotion on the biomechanical organization of both

forward and backward step initiation, i.e., participants would limit step length to avoid stepping off the force plate. When step length was not constrained by the length of the force plate, the participants in the current study did indeed step further both forward (45 cm vs. 34 cm on average) and backward (47 cm vs. 33 cm on average) than in the previous studies. Now, the fact that the centre of pressure measures did not change with the emotional state of individuals despite unconstrained step length, confirms the result of Stins and Beek (2011) and Stins et al. (2011a) that emotion influenced neither the forward nor backward step initiation-related centre of pressure measures. Based on this result, the latter authors concluded that once a step has been selected and initiated, the subsequent unfolding of the step proceeds in a highly stereotypic manner, and would therefore not be subject to individuals' emotional states.

The centre of mass analysis done in the current study extends these previous studies and provides a different picture of the relationship between emotion and step initiation biomechanical organization. Indeed, our results showed that, in contrast to centre of pressure measures, both the backward centre of mass velocity reached at the end of the APA associated with the backward step initiation and the peak of forward centre of mass velocity reached at the end of the forward step initiation reached a lower value in the pleasant condition as compared with the control condition. Based on these results, it can be suggested that the presentation of the pleasant images actually disfacilitated the biomechanical organization of both the forward and backward step initiation. Though significant, this difference was small in terms of percentage of variation. The disfacilitation of forward step initiation clearly contradicts the motivational direction hypothesis which predicts that pleasant pictures should instead facilitate approach behaviors. Also contradicting the motivational direction hypothesis, our results showed that the presentation of unpleasant pictures did not change any parameters of backward step initiation while, conversely, the motivational direction hypothesis predicted that avoidance behaviors should be facilitated. Finally, the sole result regarding the biomechanical analysis of step initiation which could be seen as being in accordance with the motivational direction hypothesis was the disfacilitation of backward step initiation when the participants were exposed to pleasant pictures. According to the motivational direction hypothesis, the development of backward step initiation is expected to be hindered by the spontaneous tendency to step toward a pleasant picture.

Thus, overall, the present results show that viewing emotion-eliciting pictures did influence the reaction time and the biomechanical organization of step initiation. But, globally, these results poorly substantiated the hypotheses stated in the introduction, thus providing mitigated support to the motivational direction hypothesis.

The present results along with the results of Stins and Beek (2011) and Stins et al. (2011a) contrast markedly with other studies in the literature (Naugle et al. 2011; Gélat et al. 2011; Naugle et al. 2012). These latter studies reported that the presentation of pleasant (happy faces, erotic) pictures facilitated the biomechanical organization of forward step initiation as compared with unpleasant (mutilation, sad faces) pictures, thus substantiating the motivational direction hypothesis. As stated in the introduction, these studies did not focus on backward step initiation. So, no comparison could be made with the current study. Step initiation facilitation was claimed based on the findings that the anticipatory centre of pressure shift, anticipatory centre of pressure/centre of mass velocity and centre of pressure velocity at the time of swing-foot contact with the ground all reached a higher value in the pleasant condition as compared with the unpleasant condition. Thus, it appears that when details of the experimental conditions change (e.g., the distance to the picture, single stepping vs. multistepping, duration of exposure to the picture), the relationship between emotion and step initiation biomechanical organization may also change, in or not in accordance with the motivational direction hypothesis. For example, Gélat et al. (2013) recently reported that the duration of the picture presentation to participants influenced the relationship between RT and emotional state. More specifically, when participants had to step as soon as possible following picture appearance (Stins et al. 2011a; Stins and Beek 2011; Gélat et al. 2011) or following picture disappearance from the screen after a short time exposure (500 ms in Gélat et al. 2013), the RT for stepping forward was shorter for pleasant pictures compared with unpleasant pictures, as in the current study. In contrast, when participants initiated stepping once the picture disappeared from the screen after a longer exposure time (e.g., ranging between 2 s and 4 s in Naugle et al., 2011 or equal to 3 s in Gélat et al., 2013), the opposite result was observed for the RT.

It is also possible that the use of different motor outcome measures used to quantify the biomechanical organization of stepping initiation partly accounted for these contrasts with the literature. For example, Naugle et al. (2011, 2012) exclusively focused their analysis on centre of pressure measures. We believe that the centre of pressure is not the variable that is

mostly representative of approach/avoidance behaviors. The centre of mass seems more appropriate since it represents the expression of all body segments movements in relation with the intended goal, i.e., to approach or to go backward, while the centre of pressure reflects the postural conditions required to reach this goal (e.g., Brenière et al. 1987). Future studies will investigate these aspects.

Interestingly, Facchinetti et al. (2006) reported that unpleasant pictures (mutilation) induced a freezing-like reaction during quiet standing posture, consisting of a mediolateral decrease in the amplitude of sway (immobility) and an increase in the mean power frequency of the centre of pressure signal (rigidity). Similar results were obtained by Azevedo et al. (2005). Pleasant pictures also induced immobility and rigidity behavior but solely in the anterior–posterior axis. Such freezing reactions potentially disfacilitate movement production which requires efficient joint mobility (e.g., Le Bozec and Bouisset 2004). Applied to the current study, it seems likely that, in the pleasant condition, a freezing reaction exerting its effect specifically along the progression axis (antero-posterior axis) during step initiation could be responsible for the decrease in centre of mass velocity. The result that centre of mass velocity decreased despite the peak of anticipatory centre of pressure shift remaining unchanged across the conditions is in line with this hypothesis. Indeed, centre of mass velocity is known to result from the interaction between centre of mass and centre of pressure shift, i.e., the greater the distance between these two points, the greater the centre of mass velocity (Brenière et al. 1987; Yiou et al. 2007a). Therefore, the result that centre of mass velocity was decreased in the pleasant condition despite the peak of centre of pressure shift remaining unchanged implies that the centre of mass was not optimally shifted in either forward or backward step initiation. Freezing of body segments involved in body progression (e.g., trunk, hip), by restraining dynamical mobility, may have contributed to this effect.

Hence, based on the results of Azevedo et al. (2005) and Facchinetti et al. (2006), we cannot exclude that, in the current study, the presentation of unpleasant pictures may have induced changes in the postural dynamic of step initiation, and specifically in the mediolateral axis. However, we did not investigate this aspect in the current study since the focus was to test the motivational direction hypothesis predictions based on approach/avoidance behaviors.

Finally, it is interesting to recall here that the presentation of erotic pictures sped up motor preparation for forward step initiation (as revealed by reaction-time analysis). Thus,

erotic pictures seem to have generated an opposite effect on reaction time (facilitation) and motor execution (disfacilitation) for forward step initiation. We propose that reaction-time facilitation reflects a spontaneous tendency for individuals to approach the erotic stimulus to satisfy sexual arousal (Porges 2003) but, because the social context of the experiment was not appropriate for satisfaction of sexual arousal (presence of experimenters, laboratory environment, supervision by the webcam, etc.), this spontaneous tendency to step forward rapidly was inhibited, which was manifested with the follow-up disfacilitation of motor execution. Similarly, a recent brain imaging study (Bühler et al. 2008), investigating sexual arousal via the presentation of erotic pictures, reported increased activation in the right inferior frontal gyrus, known to be of utmost importance in response inhibition. According to the authors, increased activation in this brain area would reflect the need for increased inhibitory control of spontaneous erectile responses, which participants would consider inappropriate in the context of the experiment. Similarly, in the current study, the influence of the social context induced by the experiment's conditions may have masked the spontaneous facilitating effect of erotic pictures on the biomechanical organization of forward step initiation.

It is also noteworthy that the emotion eliciting pictures such as used in the IAPS may have induced numerous behavioral, psychological (e.g., mutilation pictures may have induced empathy) and physiological changes (e.g., in heart rate, skin conductance, muscle activity and so forth) that we did not control for. These changes undoubtedly form part and parcel of the full emotional response. With these limitations in mind, it can be concluded that the present results provide mitigated support for the motivational direction hypothesis. Our results replicate and extend the study of Stins and Beek (2011) and Stins et al. (2011a), but markedly contrast with other studies in the literature which substantiate the motivational direction hypothesis (Naugle et al. 2011; Gélat et al. 2011; Naugle et al. 2012). Taken together, these results suggest that when the experiment's conditions are changed, the relationship between emotion and step initiation biomechanical organization may also change, in or not in accordance with the motivational direction hypothesis.

2. Etude 2 : Influence de la menace posturale sur l'organisation biomécanique de l'initiation d'un mouvement d'élévation latérale de la jambe

Cette étude a donné lieu à la publication suivante (voir annexe 12) :

Gendre M, Yiou E, Gélat T, Honeine J L, Deroche T (2015) Directional-specificity of postural threat on anticipatory postural adjustments during lateral leg raising. *Experimental Brain Research*. In press

2.1. Introduction

Recently, researchers in motor control have made considerable efforts to understand the relationship between emotion and postural control during both static (e.g. Hillman et al. 2004; Azevedo et al. 2005; Facchinetti et al. 2006; Stins and Beek 2007; Roelofs et al. 2010) and dynamic tasks (e.g., Naugle et al. 2011; Stins and Beek 2011; Gélat et al. 2011; Naugle et al. 2012; Yiou et al. 2014; Fawver et al. 2015; Stins et al. 2015). In most of these studies, the theoretical framework used to predict the influence of emotion on postural control was based on the “Motivational Direction Hypothesis” established by emotion theorists (Lang et al. 1990; Lang 1995; Bradley and Lang 2000; Lang 2000; Bradley et al. 2001; Lang et al. 2005; Lang and Bradley 2008b). According to this “Motivational Direction Hypothesis”, unpleasant events facilitate avoidance behaviours and impede approach behaviours, whereas pleasant events facilitate approach behaviours and impede avoidance behaviours. In these studies, emotion was typically manipulated by exposing participants to standardized pictures extracted from the International Affective Picture System (IAPS). These showed an unpleasant (e.g., mutilation, attacks), pleasant (e.g., erotica, baby faces) or neutral (e.g., usual objects, landscapes) valence (cf. also Fawver et al. 2014; Kang and Gross 2015) for endogenous manipulations of emotional states). At the onset or completion of the picture presentation, depending on the study, participants had to initiate gait or to perform a single step forward or backward from the quiet standing posture so as to reduce (approach behaviour) or increase (avoidance behaviour) the distance between the self and the stimulus (cf. also Kang and Gross 2015 on sit-to-walk movement).

In these studies, postural control was investigated through so-called “Anticipatory Postural Adjustments” (APA), which correspond to the posturo-kinetic phenomena that occur before the triggering of a voluntary movement (cf. Bouisset and Do 2008; Yiou et al. 2012a

for recent reviews). It is admitted that their function counters in advance the postural disturbance elicited by the voluntary movement itself and/or provides the dynamic conditions for whole-body progression. For example, during motor tasks that involve lateral leg raising (Mouchnino et al. 1992), leg flexion (Nouillot et al. 2000; Yiou et al. 2012b) or gait initiation (Lyon and Day 1997; Caderby et al. 2014; Yiou et al. 2015), the act of lifting the swing foot from the ground induces a drastic reduction in the base of support. If the centre of mass is not repositioned above (or closer to) the limits of the new base of support (the stance foot), the body tends to topple towards the swing leg side. This tendency is invariably counterbalanced in advance by a centre of pressure shift towards the swing leg during APA, which promotes the acceleration of the centre of mass in the opposite direction, i.e., towards the stance leg. As emphasized in the literature, mediolateral APA are essential to maintain postural stability (Lyon and Day 1997; McIlroy and Maki 1999; Caderby et al. 2014). APA also serve to provide the dynamic conditions for whole-body progression in the desired direction. For example, during gait or step initiation, APA along the anteroposterior direction include a backward centre of pressure shift that promotes the forward propulsive forces necessary to reach the intended centre of mass velocity (Brenière et al. 1987).

Exposing participants to affective pictures has been shown to induce disparate effects on anticipatory postural control. In comparison to pictures with an unpleasant valence, pictures with a pleasant valence have been shown to have no effect (Stins and Beek 2011), to have a facilitative effect (Naugle et al. 2011; Naugle et al. 2012) and to have an impeding effect on APA associated with gait or single step initiation (cf. Yiou et al. 2014 for erotic pictures). These disparate results may be ascribed to the fact that affective pictures may not evoke a unitary response of the postural system. For example, Naugle et al. (2011, 2012) emphasized that unpleasant pictures may elicit the activation of a “fight or flight” response, potentially invoking a conflict of motivations in humans. Participants may indeed engage and fight (approach motivation) or take flight and flee (avoidance motivation), probably depending on the nature of the aversive image (e.g., scenes of attack, violence and mutilation). In addition, Stins and Beek (2007) suggested that the viewing of unpleasant images may only be weakly coupled to posture, because images solely induce a “virtual” threat.

It is noteworthy that the above-reported studies on the relationship between emotion and APA have solely focused on the postural dynamics along the anteroposterior direction

and related motor performance. In fact, the gait initiation model used to investigate motivation-oriented behaviours favours such a restriction, because APA along this direction serve to advance or withdraw the self from the affective stimulus presented to the participants. Hence, the question as to whether and how APA along the mediolateral direction and the related postural stability are modulated by emotion remains to be investigated.

It is well established that standing over an elevated surface provokes a unitary response of the emotion-posture system, i.e., a fear of falling. In this situation, people perceive the height of the surface as a “real” threat to posture because of the increased consequences of falling (e.g., Adkin et al. 2000; Carpenter et al. 2001; Carpenter et al. 2004; Carpenter et al. 2006; Brown et al. 2006b; Adkin et al. 2008; Hauck et al. 2008; Davis et al. 2009; Yiou et al. 2011a). This fear of falling paradigm may offer a relevant alternative to the emotion-inducing pictures used to test the “Motivational Direction Hypothesis”. Thus, in our study, we asked participants to perform a whole-body movement towards or away from the edge of the elevated surface. To date, only three studies have used this paradigm to investigate the influence of fear of falling on APA associated with a voluntary whole-body task, namely through rise-to-toes (Adkin et al. 2002; Zaback et al. 2015) and leg flexion (Yiou et al. 2011a) tasks. These studies reported that fear of falling induces a reduction in APA amplitude that may (Yiou et al. 2011a) or may not (Adkin et al. 2002) be compensated for by APA of longer duration. However, these studies did not investigate the effect of the direction of the whole-body movement relative to the postural threat location (edge of the surface) on APA, because movements were systematically oriented in the same direction, i.e., towards the threat. For example, in Yiou et al. (2011a), participants stood over an elevated surface with the lateral side of their stance foot positioned at the edge of that surface and with the toes at the forward edge. The postural threat was therefore mainly bi-directional (i.e. directed laterally toward the stance leg side and anteriorly). But, because the surface was relatively narrow (44*30 cm), it is not excluded that the postural threat was, in fact, multidirectional i.e. simultaneously directed toward the swing/stance leg side and anteriorly/backwardly. Because, the APA for leg flexion were systematically directed laterally towards the same surface side, the relationship between APA direction and postural threat location, if any, could not be revealed. To date, similar remark can be formulated in regards to all previous studies focusing on the influence of postural threat on postural control (e.g. Adkin et al. 2000; Carpenter et al. 2001; Adkin et al. 2002; Carpenter et al. 2006; Brown et al. 2006b; Adkin et al. 2008; Hauck et al. 2008; Davis et al. 2009). Therefore, it is not known from these studies whether APA

parameters are dependent on the direction of the whole-body movement relative to the postural threat location - as would be expected from the “Motivational Direction Hypothesis” - or, conversely, whether APA are direction-independent, being solely sensitive to specific environmental parameters (e.g., surface height and edge proximity).

As stressed in the literature (e.g. Brown and Frank 1997; Carpenter et al. 1999; Carpenter et al. 2001; Adkin et al. 2002; Yiou et al. 2011a), understanding the modalities of fear of falling effects on postural control is clinically relevant, because it may, in part, explain the postural changes observed in people with balance deficits. For example, an fear of falling might be more important when injured or elderly people move their body laterally towards their affected or most frail side (e.g., due to a unilateral hip or shoulder fracture, or hemiparesis) or towards the side affected by a history of falls, than when they move towards their unaffected side. Such a directional effect might potentially exacerbate postural asymmetries during motor tasks that involve a sideways shift (e.g., locomotion), with negative consequences on postural stability. In addition, it is known that sideways falls are more common in older adults compared with falls in other directions and are associated with an elevated risk of hip fracture (e.g., Maki et al. 2000; Maki and McIlroy 2006). The influence of fear of falling on the control of lateral stability may thus be an important area for fall-preventative intervention in this population.

Thus, this study aimed to investigate the directional specificity of fear of falling effects on the stabilizing function of APA during a lower limb task. Participants purposely performed series of lateral leg raising at different positions on an elevated surface: in the middle (“Control condition”) and with the swing or stance foot at the edge of the surface. These two latter conditions are referred to as the “Edge conditions”. When the stance foot was positioned at the edge of the surface, raising the leg required a lateral whole-body centre of mass shift towards the surface edge during APA (i.e., APA are directed towards the threat) in order to maintain stability in the final posture: this condition was therefore termed the “Approach condition”. In contrast, when the swing foot was positioned at the edge of the surface, raising the leg required a lateral whole-body centre of mass shift away from that edge during APA: this condition was therefore termed the “Avoidance condition”. Based on the “Motivational Direction Hypothesis”, APA are expected to be more impeded in the “Edge conditions” than in the “Control condition” (attenuation of the peak lateral centre of pressure shift). This impeding effect of postural threat on APA is expected to be more pronounced in the

“Approach condition” than in the “Avoidance condition”, thus revealing a directional specificity of fear of falling effect.

2.2. Methods

Experimental population

Two separate experiments were carried out with two different groups of participants ($N = 71$). Forty participants were involved in a preliminary experiment (17 males; 23 females; 25 ± 7 years; 65 ± 14 kg; 172 ± 10 cm) that aimed to ensure that the experimental set-up could effectively prime a fear of falling. Thirty-one participants were involved in the main experiment (15 males; 16 females; 24 ± 6 years; 67 ± 12 kg; 172 ± 7 cm), through which we collected kinetic and kinematic data. Different participants were involved in the preliminary and main experiments in order to bring about the most implicit motor response possible in the main experiment and to avoid any potential biasing influence of the questionnaires on motor behaviour. There is indeed available data in the literature showing that describing features of the task to be performed might influence the performance of that task (e.g. Chauvel et al. 2013). By doing so, our goal was thus to obtain the most “natural” behaviour as possible in the main experiment. All participants were healthy, active young adults. They gave written consent after having been informed as to the nature and purpose of the experiment, which was approved by local ethics committees (cf annex 5). They completed a medical history and physical activity questionnaire. Exclusion criteria included any self-reported neurological, balance, musculoskeletal disorders and any history of falls in the past six months. None of the participants were regularly involved in height-related activities (e.g., rock climbing and skydiving). The study conformed to the standards set by the Declaration of Helsinki.

Induction of fear of falling, experimental set-up

In order to induce fear of falling, all participants ($N = 71$) were placed over a force-plate (AMTI, OR6-5, 50 cm x 50 cm) embedded in an elevated modular surface especially designed for the experiment. The environmental conditions were thus the same in the preliminary and the main experiments. However, the force-plate was active only in the main experiment to collect kinetics data. The surface was made of wood (8 cm thick) and its distance to the ground was 1 m. The lateral borders of the wooden surface could be raised to

horizontal or lowered thanks to hinges (figure 23a). When these lateral borders were raised, the dimensions of the surface on which participants stood were maximal (150 cm long x 150 cm wide; unfolded surface). In this position, the force-plate was located in the middle of the surface. The distance between the four sides of the force-plate and the four edges of the surface was thus 100 cm in all directions (backward, forward, leftward, rightward). When one of the two lateral borders was lowered (folded surface), the surface dimensions were 150 cm long x 100 cm wide. One side of the force-plate was then located at the edge of the surface. The distance between the three other sides of the force-plate and the corresponding surface edge was the same as for the unfolded surface (100 cm). According to this experimental set-up, participants could be positioned in the middle of the unfolded surface or at the edge, depending on the condition (cf. below). This set-up thus allowed us to vary the distance between the participant's stance/swing foot and the lateral edge of the surface, and thus to modulate the level of fear of falling.

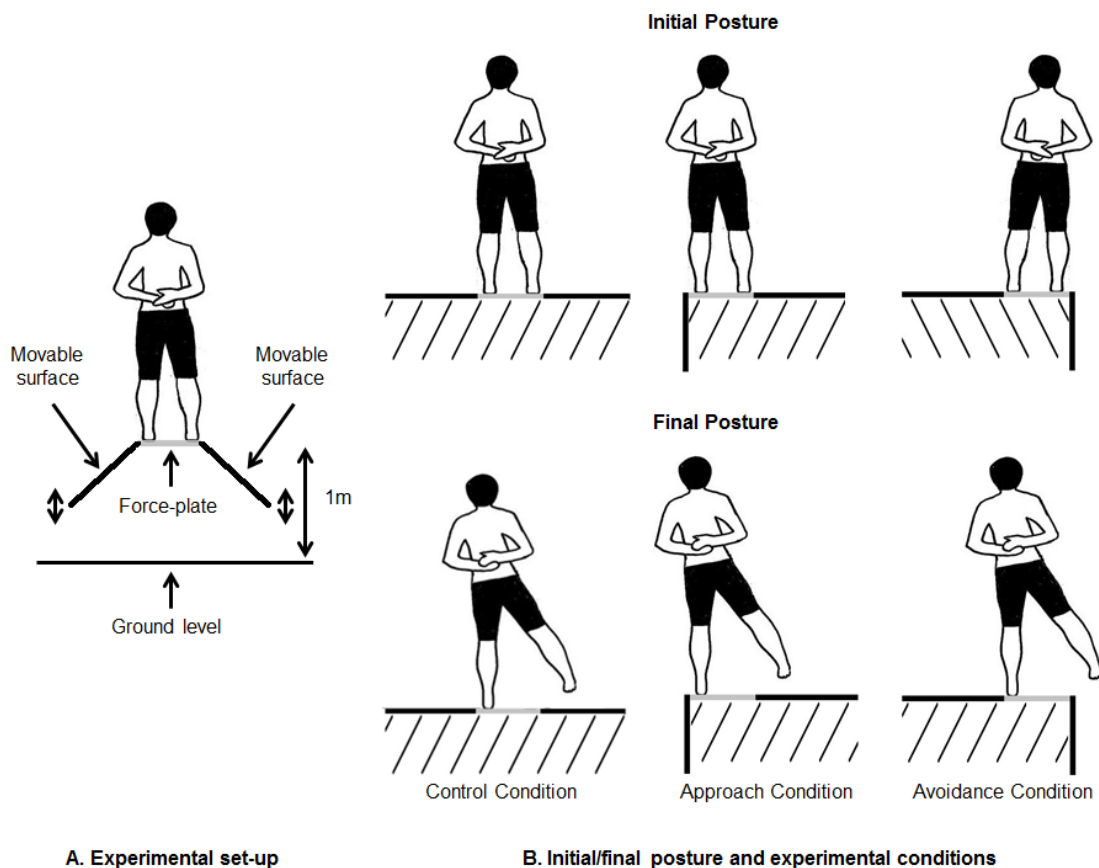


Figure 23 : Experimental set up (**A**), initial/final posture and experimental conditions (**B**)

Task and conditions

A similar task and conditions were used in the preliminary and main experiment. In the main experiment, only biomechanical data were recorded, whilst in the preliminary experiment, only psychological measures were evaluated. All participants ($N = 71$) performed a series of 10 lateral raises with their preferred leg at maximal velocity and as soon as possible after an auditory GO signal (reaction time situation). In the final posture, the angle between the stance leg and the elevated leg was approximately 45° . This angle was maintained for 5 sec before participants returned to their initial posture. Unsuccessful trials correspond to trials where participants could not maintain the final unipedal posture for 5 seconds. These unsuccessful trials were discarded from analysis and immediately repeated. The motor task was performed in three conditions, which differed only in terms of the position of the participant on the elevated surface (figure 23b). In the “Control condition”, participants stood over the force-plate located in the middle of the unfolded surface. As stated above, the distance between the sides of the force-plate and the edge of the surface was 100 cm in all directions (this distance was obviously slightly larger when considering the distance between the feet and the edge). This distance allowed participants to safely step over the surface in all directions to recover balance if necessary. In the “Approach condition”, the lateral border of the surface beneath the stance foot side was lowered. The lateral side of the stance foot was then located at the edge of the surface. The distance between the lateral side of the stance foot and the lateral edge of the surface was approximately 2 cm. In the “Avoidance condition”, the lateral border of the surface beneath the swing foot side was lowered. The lateral side of the swing foot was then located at the edge of the surface. These two latter conditions corresponded to the “Edge conditions”. As stated in the Introduction, raising the leg required that the centre of mass be shifted towards the lateral edge of the surface in the “Approach condition”; however, in the “Avoidance condition”, it is shifted away from the lateral edge during APA.

In order to avoid the effect of practice on movement production, each participant first performed a series of 20 lateral leg raises at ground level (not recorded) before experimental conditions were put in place. The instructions provided for these practice trials were the same as described above for the experimental conditions. A two-minute rest was imposed between the “Control” and “Edge” conditions. No harness system was used; however, two spotters were present to prevent any actual falls (Carpenter et al. 2006; Yiou et al. 2011a).

All 71 participants performed the “Control condition”. In order to avoid the effects of fatigue, and to further avoid the practice effect, only half of the participants involved in the main experiment ($N = 15$; 8 males; 7 females; 25 ± 7 years; 174 ± 6 cm; 67 ± 11 kg) performed the “Approach condition”; the other half of the participants ($N = 16$; 8 males; 8 females; 24 ± 5 years; 171 ± 8 cm; 68 ± 13 kg) performed the “Avoidance condition” only. Similarly, only half of the participants involved in the preliminary experiment performed the “Approach condition” ($N = 20$; 9 males; 11 females; 21 ± 3 years; 172 ± 10 cm; 62 ± 10 kg) the other half performed the “Avoidance condition” only ($N = 20$; 8 males; 12 females; 29 ± 7 years; 172 ± 9 cm; 67 ± 17 kg).

Initial posture

In each condition, participant stood barefoot with feet shoulder width apart and arms crossed behind their backs (figure 23b). The location of each foot was marked on the platform. These marks were used as a visual reference for participants to position themselves under the supervision of the experimenters. For each participant, these marks were the same in the “Control condition” and the two “Edge conditions”. Participants were required to evenly distribute their weight between the legs. In each condition, participants directed their gaze ahead towards a target (4 cm in diameter), which was placed at eye level 5 m in front of the participants. The participants were repeatedly reminded of the task constraint instructions.

Biomechanical recordings

We used the force-plate to record the ground reaction forces and moments for 31 participants in the main experiment. Leg raises were directed along the mediolateral direction; thus, only this direction was considered. Instantaneous acceleration of the centre of mass along the mediolateral direction ($y''G$) was obtained with the ratio [ground reaction force/subject’s mass] following Newton’s second law :

$$\Sigma F = m \cdot y''M$$

where ΣF : sum of external forces applied to the whole body, m : body mass

The centre of mass velocity was obtained through simple numerical integration of the centre of mass acceleration using integration constants equal to zero, i.e., initial velocity and displacement null (Brenière et al. 1987). Instantaneous displacement of the centre of pressure along the mediolateral direction (y_P) was computed using the formula:

$$y_P = \frac{M_x + F_y \times dz}{F_z}$$

where M_x is the moment around the anteroposterior direction; F_y and F_z are the mediolateral and vertical ground reaction forces, respectively; dz is the distance between the surface of the force-plate and its origin.

A reflective skin marker (9 mm in diameter) was placed on the malleolus of the swing leg. A V8i VICON eight-camera (Mcam2) motion capture system (Oxford Metrics Ltd., UK) was used to record swing foot kinematics along the vertical direction. Kinematic and kinetic data were collected simultaneously at a rate of 500 Hz. Data acquisition were controlled by a custom-made program written in MatlabTM (Version 5.3 - R11 ; The MathWorks Inc., USA). Data acquisition was triggered 4 sec prior to the acoustic GO signal, which allowed post-hoc calculation of the centre of mass position in the initial posture.

Biomechanical dependent variables

We considered variables related to the initial and final posture, APA and focal movement performance. The mediolateral position of the centre of mass in the initial quiet standing posture was estimated with the mean centre of pressure position during a 250 ms time-window prior to the GO signal (McIlroy and Maki 1999; Yiou et al. 2011a). The reaction time of the motor task corresponded to the time between the GO signal and the onset-rise of the mediolateral centre of pressure displacement trace (t_0 - figure 24). This onset-rise corresponded to the time when the centre of pressure displacement trace exceeded the mean baseline trace value (± 2 standard deviations). The duration of APA corresponded to the time between t_0 and foot-off time (t_1) and t_1 corresponded to the instant when the mediolateral centre of pressure trace reached a plateau. APA amplitude was estimated with the peak of mediolateral centre of pressure displacement during the APA time window and with the centre of mass velocity at foot-off (e.g. Hussein et al. 2013). The performance of the focal leg movement was estimated with the peak velocity of the swing malleolus, the duration of the swing leg execution and the position of the swing leg in the final posture (estimated with the

swing malleolus marker). The shorter the duration of swing leg execution and the greater the peak swing malleolus velocity are, the higher the focal movement performance is. The duration of swing leg execution corresponded to the delay between t_1 and the instant when the trace of the swing foot shift reached a plateau (t_2). Finally, the position of the centre of mass in the final posture was computed as the mean centre of pressure position during a time window of 4 sec following t_2 ; postural stability in the final posture was estimated as the mean velocity of the centre of pressure during this time window (total centre of pressure shift along the mediolateral direction/4 sec). The larger this velocity is, the lower the postural stability is (Raymakers et al. 2005).

Evaluation of fear of falling, balance confidence and coping efficacy

There is evidence that psychological measures relating to gait and balance are task-specific (Carpenter et al. 1999) and that there is a need to involve independent evaluation tools to measure balance confidence and fear of falling. As such, task-specific tools have been developed, which are sensitive to change in postural threat and related to concomitant change in postural control (Carpenter et al. 2006). Self-reported perceptions were assessed in each experimental condition. Balance confidence and fear of falling were assessed prior to the task. Participants rated how confident they felt and how fearful they felt using a 100 mm visual analogue Scale (VAS) anchored by two labels: low levels of confidence and fear on the left side, and high levels of confidence and fear on the right side (cf annex 6). By using an incremental scale between 0 % (“not at all”) and 100 % (“completely”), participants were also required to estimate their coping efficacy through their ability to avoid a fall, maintain concentration, overcome worry and reduce nervousness about balancing or falling during the experimental task (cf annex 7).

Statistics

A mixed model 2 x 2 ANOVA was conducted with edge Proximity (Control vs. Edge) as a within-subjects factor and edge Direction (Approach vs. Avoidance) as a between-subjects factor. When necessary, follow-up analyses were carried out using Tukey’s test. The level of statistical significance was set at $\alpha = .05$.

2.3. Results

Unsuccessful trials

There was no significant effect of Proximity, Direction and Proximity x Direction interaction on the percentage of unsuccessful trials. This percentage was 18 ± 1 % (mean value for all conditions together).

Description of the biomechanical traces

The biomechanical traces obtained from the force-plate and from the motion capture system were globally similar in the three experimental conditions (figure 24). Therefore, only the traces in one condition (“Approach condition”) were reported. Swing foot-off was systematically preceded by dynamic phenomena along the mediolateral direction that corresponded to APA. These APA included centre of pressure displacement toward the swing leg side, which promoted centre of mass acceleration in the opposite direction, i.e., toward the stance leg side (not shown in figure 24). The mediolateral centre of mass velocity increased progressively until it reached a peak value of a few milliseconds before the time of swing foot-off. Swing malleolus velocity sharply increased before stabilization in the final posture.

Influence of fear of falling on the postural and focal components of leg raising.

Initial and final posture. Statistical analysis showed that there was no significant effect of Proximity, Direction or Proximity x Direction interaction on the initial and final centre of pressure position, nor on the final postural stability.

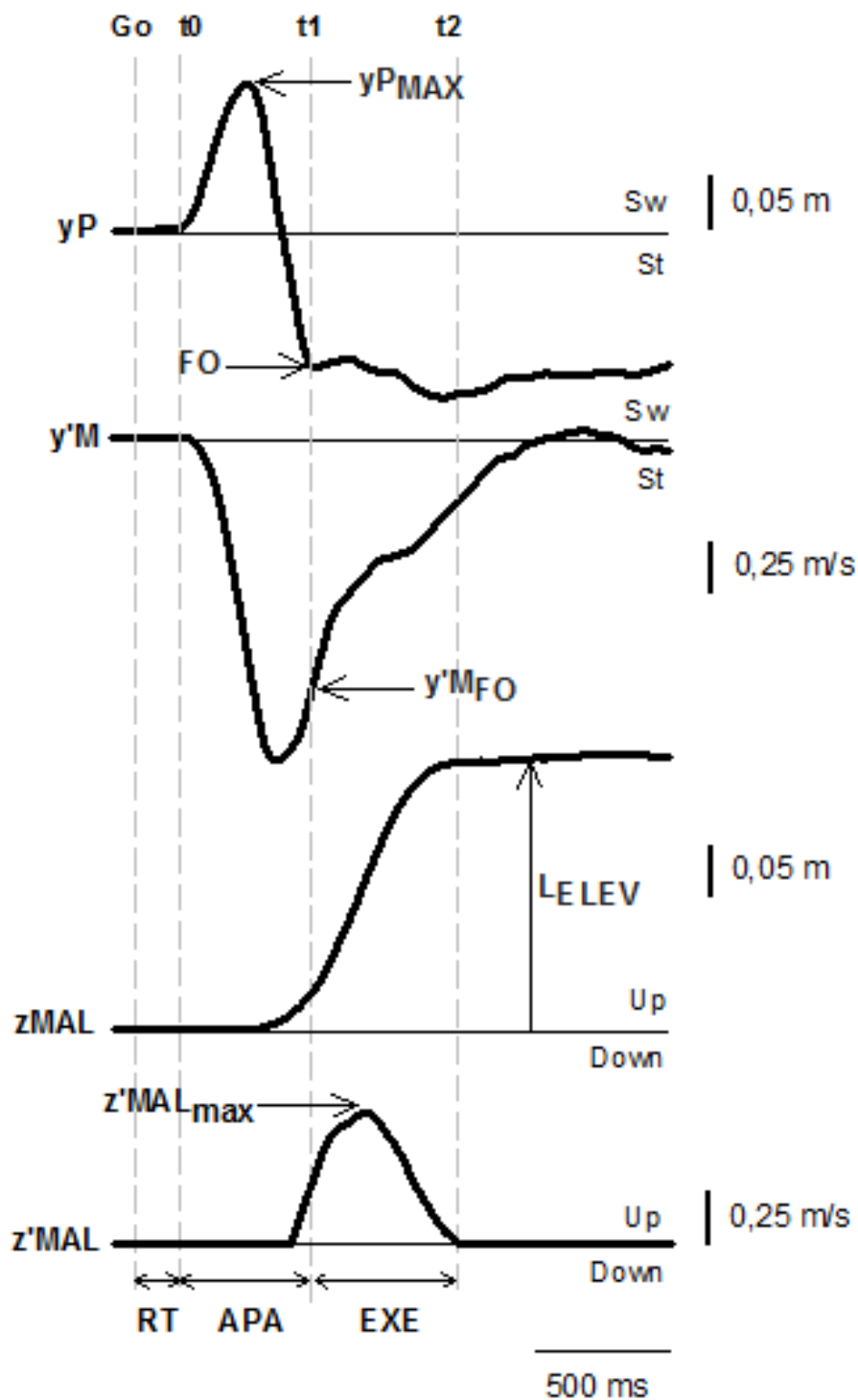


Figure 24 : Typical biomechanical traces of the lateral leg raising task and presentation of the main variables (one representative participant in the “Approach condition”).

Legends of traces. y_P , $y'M$: mediolateral displacement of the centre of pressure and mediolateral velocity of the centre of mass; Sw, St: swing and stance leg-side. **Main variables.** z_{MAL} , $z'MAL$: vertical displacement and velocity of the malleolus; $y_{P_{MAX}}$, FO, $y'M_{FO}$, L_{ELEV} , $z'MAL_{max}$: peak of mediolateral centre of pressure shift, Foot-off, mediolateral centre of mass velocity at foot-off, leg elevation, and peak of vertical malleolus velocity. RT, APA, EXE: reaction time, anticipatory postural adjustments, and leg execution phase. **Vertical lines.** GO, t_0 , t_1 , t_2 : onset of acoustic signal, onset of biomechanical traces variation, foot-off and onset of leg stabilisation.

Anticipatory postural adjustments. Statistical analysis revealed a significant Proximity x Direction interaction on APA duration $F_{1,29} = 7.35, p < .01$). Specifically, a post-hoc test revealed that the APA duration was significantly longer in the “Approach condition” than in the “Control condition” ($p < .05$ - figure 25). In contrast, APA duration was not significantly different between the “Avoidance condition” and the “Control condition”. There was also a significant main effect of Direction on the peak of anticipatory mediolateral centre of pressure shift $F_{1,29} = 7.67, p < .01$). A post-hoc test revealed that this peak was smaller in the “Approach condition” than in the “Control condition” ($p < .01$). In contrast, there was no difference between the “Avoidance condition” and the “Control condition”. There was no significant effect of Proximity, Direction or Proximity x Direction interaction on the reaction time and on the centre of mass velocity at swing foot-off.

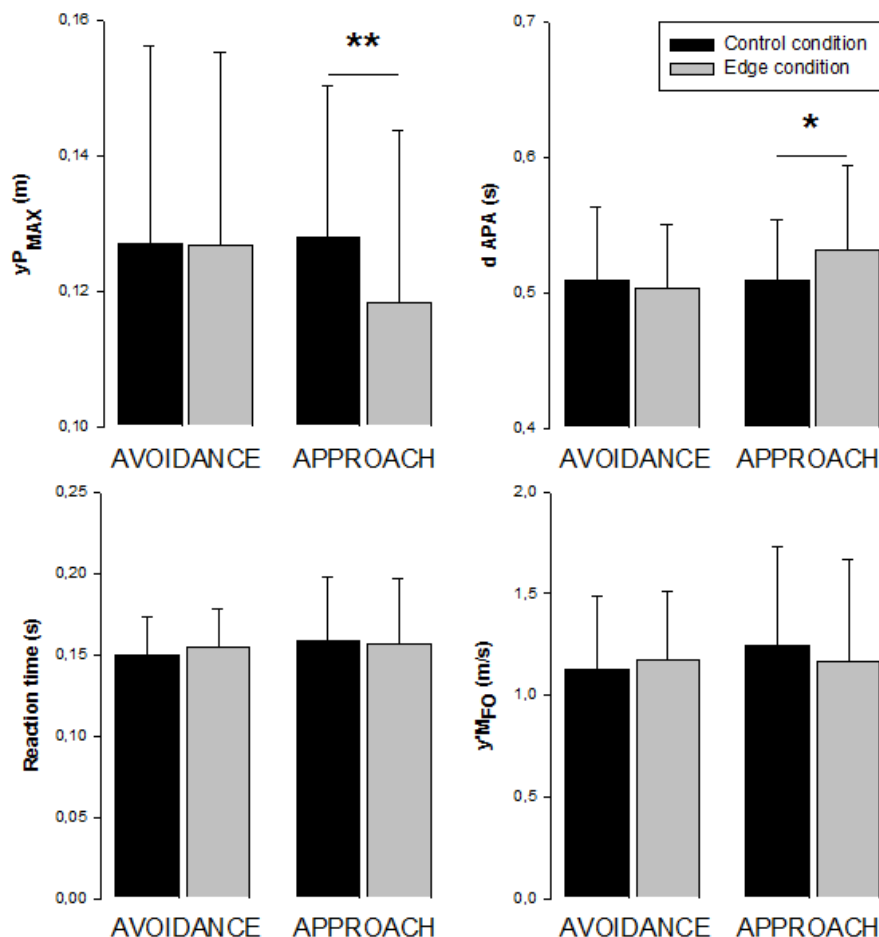


Figure 25 : Comparison of spatiotemporal parameters of anticipatory postural adjustments (APA) between the “Control condition” and each “Edge condition”.

yP_{MAX} , $y'MFO$, $dAPA$: peak of mediolateral centre of pressure shift, mediolateral centre of mass velocity at foot-off and APA duration. *, **: significant difference with $p < .05$ and $p < .01$.

Focal movement performance. There was no significant main effect of Proximity, Direction or Proximity x Direction interaction on the duration of focal leg movement duration, final leg position and peak velocity of the swing malleolus (figure 26).

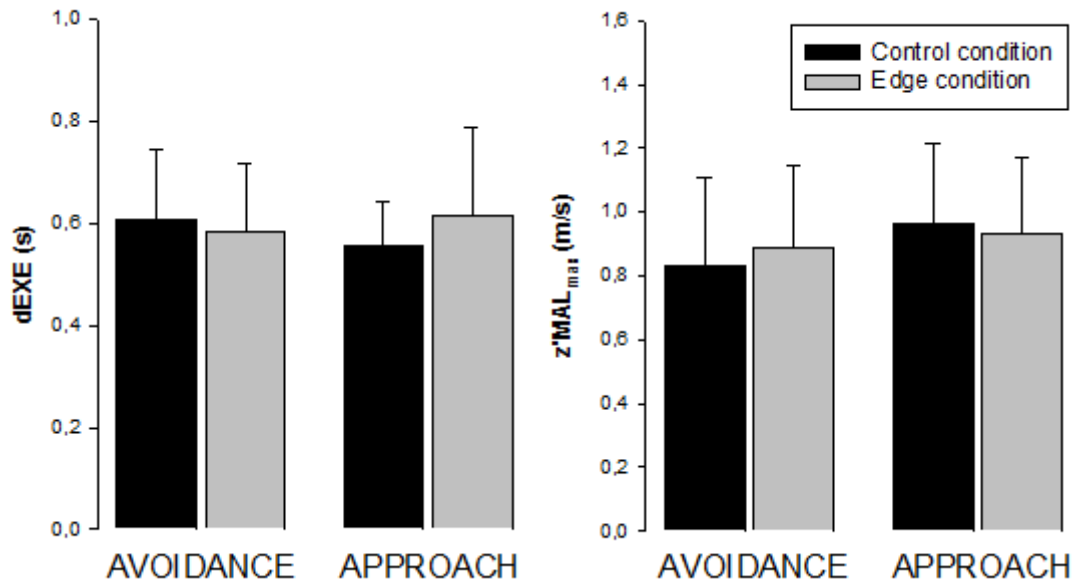


Figure 26 : Comparison of spatiotemporal parameters of focal movement between the “Control condition” and each “Edge condition”.

dEXE, z'MAL_{max}: duration of leg elevation and peak vertical malleolus velocity.

Perceived balance confidence, fear of falling and coping efficacy. There was a significant main effect of Proximity on perceived balance confidence ($F_{1,38} = 44.01$, $p < .001$). Participants evaluated their balance confidence as being weaker when standing at the edge than when standing in the middle of the surface (“Control condition”). Similarly, edge Proximity decreased participants’ coping efficacy in terms of their ability to overcome worry ($F_{1,38} = 10.20$, $p < .01$) and reduce nervousness about balancing or falling during the experimental task ($F_{1,38} = 5.68$, $p < .05$). In contrast, coping ability in terms of their ability to maintain concentration was not significantly influenced by edge Direction. Of particular interest, a significant Proximity x Direction interaction was found for the perceived fear of falling ($F_{1,38} = 4.09$, $p < .05$) and coping efficacy in terms of the ability to avoid a fall ($F_{1,38} = 8.84$, $p < .01$). Participants reported a higher fear of falling ($p < .001$) and a lower ability to avoid a fall ($p < .001$) in the “Approach condition” (but not in the “Avoidance condition”) compared with the “Control condition” (figure 27).

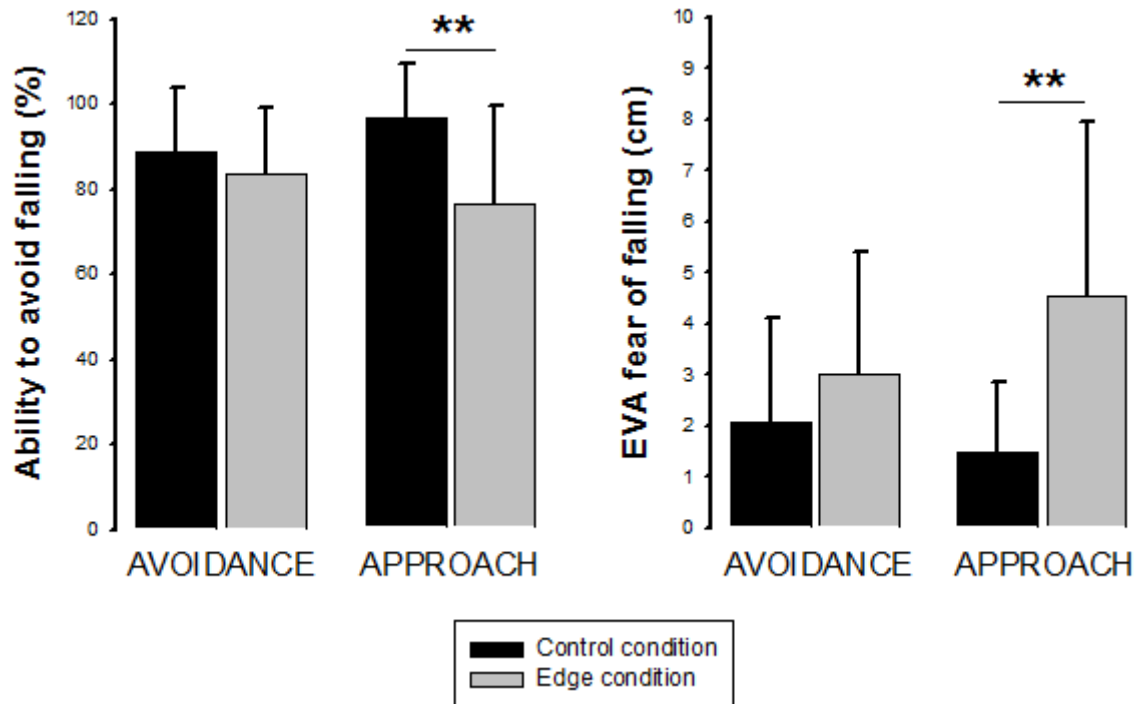


Figure 27 : Comparison of coping efficacy in terms of ability to avoid falling and self-report of fear of falling between the “Control condition” and each “Edge condition”.

***: significant difference with $p < .01$.

2.4. Discussion

This work investigated the directional specificity of fear of falling effects on the stabilizing function of APA during rapid lateral leg elevation. Based on the “Motivational Direction Hypothesis”, APA were expected to be impeded to a greater extent in both “Edge conditions” (i.e., the “Approach condition” and the “Avoidance condition”) compared with the “Control condition”. With specific reference to this study, this impeding effect was expected to be more pronounced in the “Approach condition” than in the “Avoidance condition”.

Adaptability of spatio-temporal APA features to fear of falling

To our knowledge, the effect of edge proximity on APA associated with a voluntary whole-body movement has only been investigated in one study (Adkin et al. 2002). In this study, participants performed a series of rise-to-toe movements at the edge of an elevated surface (“high edge condition”) or 0.5 m away from the edge (“high away condition”; participants also performed the same task at ground level). This motor task implies a

whole-body centre of mass shift towards the edge of the surface. The “high edge condition” can be compared with the “Approach condition” and the “high away condition” can be compared with the “Control condition”. Adkin et al. (2002) found that the amplitude of the anticipatory backward centre of pressure shift was reduced in the “high edge condition” compared with the “high away condition”. Thus, our finding that the peak of anticipatory mediolateral centre of pressure shift was reduced in the “Approach condition” compared with the “Control condition” is in line with this previous study. It reinforces the idea that, in the initial posture, the proximity of the surface edge has an impeding effect on APA through its influence on fear of falling. We further found that this reduction of APA amplitude in the “Approach condition” was accompanied by a lengthening of APA duration. Therefore, the propulsive forces that act on body centre of mass were applied for a longer time than in the “Control condition”. During this additional time, the centre of mass velocity at foot-off (which is proportional to the time integral of these propulsive forces during the APA time window) could remain the same as in the “Control condition”. Thus, we can propose that this lengthening of APA reflects the adaptation of the central nervous system to the reduced APA amplitude. APA along the mediolateral direction are directed towards maintaining stability in the final unipodal posture. Our finding that both the centre of mass position and postural stability in the final posture were similar in the “Control condition” and the “Approach condition” further supports the existence of an adaptive lengthening of APA duration. This concomitant increase in APA duration and decrease in APA amplitude may reflect tighter control of the centre of mass so as to minimize the risk of fall. Note, however, that more time was consequently required to reach the same initial velocity, which further highlights the impeding effect of postural threat on APA. This statement is in line with Bouisset and Do (2008) who proposed to estimate the efficiency of APA with the ratio [motor performance/APA duration], with a lower ratio indicating a decreased APA efficiency.

Interestingly, a similar adaptive strategy for APA lengthening was reported in Couillandre et al. (2002) and Couillandre and Brenière (2003) when gait initiation was performed from an initial standing posture on the toes. Compared with normal standing, the capacity to shift the centre of pressure backwards during APA to generate forward propulsive forces was reduced due to the diminution in size of the anteroposterior base of support. In this constrained posture, the authors found that the duration of APA increased, as was the case in our study. As a consequence, the forward centre of mass velocity reached at foot-off remained the same as in normal standing. Thus, participants could reach the same step length and peak

forward centre of mass velocity at the end of the gait initiation process. A similar effect of support base reduction on spatiotemporal features of anteroposterior APA was also reported in Yiou et al. (2009). In their study, a bilateral pushing task was performed with the upper arms in a unipodal (constrained posture) or bipodal standing posture. In our study, however, the lower peak centre of pressure shift found in the “Approach condition” cannot be ascribed to any reduction in the size of the support base, although the adaptive mechanisms for compensation between APA amplitude and duration may very well be similar.

It is important, however, to stress that the compensations between APA duration and amplitude are not systematically found in the literature. For example, Adkin et al. (2002) reported that the attenuation of APA amplitude in the “high edge condition” was not accompanied by a lengthening of APA duration, as was the case in the “high away condition”. Because these APA serve to propel the whole-body forwardly above the new base of support, the percentage of unsuccessful rise-to-toes trials (trials in which participants could not maintain the final posture on their toes) was greater, and the percentage of whole-body elevation on the toes was lower in the former condition. This was not the case in our study, i.e., the percentage of unsuccessful trials and the angle of leg elevation in the final posture were both unchanged across conditions. Based on their results and on the observation that individuals with Parkinson’s disease (Diener et al. 1990; Frank et al. 2000) or cerebellar dysfunction (Diener et al. 1990; Diener et al. 1992) demonstrate alterations in both the amplitude and timing of APA, Adkin et al. (2002) proposed that the alteration of APA amplitude may reflect an fear of falling effect, while changes in the timing of postural adjustments may reflect an underlying pathology. Our findings, together with those of our earlier study on the effect of fear of falling on APA (Yiou et al. 2011a) suggest, however, that changes in APA timing, especially APA lengthening, may reflect an adaptive strategy to compensate for a reduction in APA amplitude. In the study by Adkin et al. (2002), this discrepancy in the effect of fear of falling or postural threat on APA duration may possibly be ascribed to a greater level of fear of falling or postural threat induced by the “high edge condition”. In their study, participants stood 3 m above the ground, whereas in our study, participants stood 1 m above the ground. The greater potential danger incurred by participants may thus have constrained the approach behaviour (i.e., the rise-to-toes) toward the postural threat to a greater extent than in our study. In such a situation, safety may have been detrimental to task execution.

Directional specificity of fear of falling effects on the postural and focal components of leg raising.

The finding that the effects of edge proximity on both fear of falling and APA parameters vanished in the “Avoidance condition” (i.e., when the centre of mass was shifted away from the threat) is in line with the existence of a directional specificity of fear of falling effects, which supports the Motivational Direction Hypothesis. Note that this change in the direction of APA relative to the threat location was sufficient to completely offset the fear generated by edge proximity while a simple attenuation was, in fact, expected as stated in the hypotheses. The effects of fear of falling are therefore not solely dependent on the initial environmental conditions (e.g., surface height and edge proximity); they are also strongly dependant on the direction of APA relative to the threat location.

This directional specificity of fear of falling effects only relates to postural response; the focal response (expressed in terms of peak leg velocity, movement duration and final leg position) remained unchanged across conditions. In other words, it seemed that the postural and focal components of the motor task were sensitive to fear of falling in a different way. A functional explanation may be given to interpret this apparent difference. It is noteworthy that raising the leg towards the edge of the surface (or away) does not represent a risk of imbalance because of the central nervous system’s capacity to generate in fine efficient APA to counter the disturbance elicited by the focal movement, as argued above. Because this capacity is preserved in each condition the focal performance may remain optimal whatever the direction of the leg movement. This statement is in line with the concept of posturo-kinetics capacity (Bouisset and Do 2008), according to which “voluntary movement involves a perturbation of body balance and a counter-perturbation has to be developed to limit the perturbation effects, which is a condition necessary to perform the movement efficiently” (Le Bozec and Bouisset 2004). A similar finding was revealed in our earlier study (Yiou et al. 2011a), where a leg flexion task was performed at both ground level and on an elevated surface, i.e., fear of falling effects were not observed on the focal movement parameters, but on APA only. The nature of the threat used in our study may thus not have been suited to inducing a motivated directional response of the focal component, e.g., a response in the form of a decrease in peak of leg velocity in the condition where the swing foot pointed towards the threat (“Avoidance condition”). In contrast, displacing the whole-body centre of mass towards the edge of the elevated surface represents a greater threat for body integrity than does

displacing the centre of mass away from this edge, because it is associated with an elevated risk of moving the centre of mass over the surface. Thus, the threat used in our study was well-suited to inducing a motivated directional response of the postural component only. The directional effects of fear of falling are, therefore, not globally applied to all components of the motor task by the central nervous system; instead, these effects are selectively applied to the task component that is most functionally linked to the threat, i.e., in our study, the postural component. This selective effect allows an optimal focal performance to be maintained even under the most threatening condition. Although not directly connected with our study, this latter result may be discussed with regard to the different models of coordination between posture and movement that are put forward in the literature (e.g., Massion 1992) for review): 1) the “hierarchical model”, in which APA and focal movement are the results of a single motor command; and 2) the “parallel model”, in which there are two independent motor commands. According to the hierarchical model, the effect of a fear of falling might be expected to extend to both the postural and focal components of the task. The observed decoupling of these effects on the two components of the leg elevation task thus clearly favors the parallel model. This statement is in line with conclusions drawn in recent studies (e.g., Robert et al. 2007; Ilmane and LaRue 2011) which were based on various whole-body movements (e.g., ball throwing, reaching beyond arm’s length). Now, it can be recalled that each participant of the present study first performed a series of 20 lateral leg raises at ground level (not recorded) before experimental conditions were put in place (cf. methods). It is not excluded that the postural and focal component of the task would be both affected by fear of falling if no practice trials were provided. Change in the control of complex movements with practice has indeed been reported in the literature (e.g. Yiou and Do 2011). Future studies will investigate the influence of task repetition on the relationship between fear of falling and the control of posture and movement.

Conclusion

In conclusion, our study suggests the existence of a directional specificity of fear of falling effects on the stabilizing function of APA associated with rapid lateral leg raising. This directional effect was in line with the predictions made by the Motivational Direction Hypothesis, i.e., APA amplitude was more depressed in the “Approach condition” than in the “Control condition” and this effect completely vanished in the “Avoidance condition”. The impending effect on APA amplitude in the “Approach condition” was compensated for by a

longer duration of APA so that the level of initial propulsive forces required to maintain final stability could be reached. Our results further showed that, in contrast to APA, leg performance was not sensitive to threat location, i.e., the directional fear of falling effects were selectively applied to the sole postural component of the motor task, thus suggesting that control of posture and movement remains independent during leg raising. The results of this study provide new insight into the relationship between fear of falling and balance control. They may contribute to a better understanding of the balance disorders in individuals with increased fear of falling, e.g. the elderly. They may also contribute to the prevention of the risks of fall in young healthy adults performing tasks on an elevated surface, e.g. professional or recreational workers.

3. Etude 3 : Rôle de la confiance en l'équilibre dans l'influence de la menace posturale sur l'organisation biomécanique de l'initiation d'un mouvement d'élévation latérale de la jambe

3.1. Introduction

Les résultats de l'étude 2 ont montré que les comportements d'approche (vers la menace posturale), comparativement aux comportements d'évitement (à l'encontre de la menace posturale), étaient perturbés par la présence d'une menace posturale. À notre connaissance, notre étude 2 est la première à tester l'hypothèse de la direction motivationnelle grâce à l'utilisation d'une menace posturale. Le fait que nos résultats soient conformes à cette hypothèse suggère que le processus de régulation de la distance (entre le stimulus et les participants) soit au cœur de la régulation comportementale et ce, quelle que soit la nature des stimuli émotionnels (images de l'IAPS ou menace posturale). Ces résultats témoignent donc de l'importance de considérer 1) la position du stimulus émotionnel par rapport au participant et 2) la direction du mouvement par rapport à ce stimulus lors de l'étude de l'influence des émotions sur l'organisation biomécanique du mouvement volontaire. Cependant, l'absence d'effet significatif concernant les comportements d'évitement - contrairement à ce que suppose l'hypothèse de la direction motivationnelle - suggère que la régulation de la distance ne soit pas suffisante à expliquer l'ensemble des processus sous-jacents à l'influence émotionnelle.

Afin d'améliorer les connaissances de ces processus, Davis et al. (2009) se sont proposés de tester l'existence de différences interindividuelles dans la relation entre les émotions et le contrôle postural (voir partie 3.2.4. de l'état de l'art). Ces chercheurs ont ainsi démontré que, dans la condition de forte menace posturale (comparativement à la condition de faible menace posturale), les individus reportant une forte peur de chuter étaient davantage sujets aux effets de la menace posturale que les individus reportant une faible peur de chuter. Ces résultats suggèrent que l'évaluation de la menace posturale par les participants explique, en partie, leurs comportements biomécaniques en réponse à cette menace posturale. Pour étudier ces comportements, Davis et al. (2009) ont utilisé une tâche de maintien de la position orthostatique. Cette tâche ne permettant pas de rendre compte de l'organisation des APA, nous nous proposons ici de compléter ces travaux en investiguant l'existence des différences

interindividuelles dans l'organisation posturo-cinétique du mouvement volontaire : l'élévation latérale de la jambe.

De nombreuses études, s'intéressant aux effets de la présence d'une menace posturale, ont reporté l'existence d'un lien entre les réponses biomécaniques et la peur de chuter mais aussi avec la confiance en l'équilibre, la stabilité perçue et l'anxiété perçue (Adkin et al. 2002 ; Carpenter et al. 2004 ; Adkin et al. 2008 ; Davis et al. 2009 ; Huffman et al. 2009 ; Yiou et al. 2011a ; Davis et al. 2011 ; Zaback et al. 2015). Dans un premier temps, nous avons donc considéré l'ensemble de ces variables psychologiques. Dans la mesure où nous cherchons à déterminer l'influence de l'évaluation de la menace posturale (variable psychologique) sur l'organisation posturo-cinétique du mouvement volontaire en réponse à cette menace posturale (variable biomécanique), nous avons tenté d'identifier la variable psychologique la mieux corrélée aux différentes variables biomécaniques (par exemple, durée des APA, vitesses de déplacement du centre des pressions et du centre de gravité, etc.). Ainsi, nous avons cherché à optimiser l'observation des variabilités dans l'organisation biomécanique du mouvement volontaire en réponse à une menace posturale. Une fois la variable psychologique d'intérêt déterminée, nous avons procédé selon le modèle expérimental de Davis et al. (2009). Nous avons créé deux groupes de participants avant de comparer l'organisation posturo-cinétique de leur mouvement volontaire en réponse à la menace posturale.

Nos hypothèses étaient alors les suivantes :

- 1) il existe des différences interindividuelles dans l'influence des émotions sur l'organisation des APA lors de l'élévation latérale de la jambe ;
- 2) ces différences interindividuelles peuvent être expliquées par la perception que le participant se fait de la menace posturale (variable psychologique), notamment, la peur de chuter, la confiance en l'équilibre, l'anxiété perçue ou la stabilité perçue.

Au regard des résultats de l'étude de Davis et al. (2009), nous supposons plus spécifiquement que les participants reportant une forte peur de chuter et/ou une faible confiance en leur équilibre et/ou une forte anxiété perçue ou une faible stabilité perçue soient davantage perturbés par la présence d'une menace posturale que les participants reportant une

faible peur de chuter ou une forte confiance en l'équilibre ou une faible anxiété perçue et/ou une forte stabilité perçue. Par ailleurs, la considération des résultats de la deuxième étude de cette Thèse, laisse supposer que les perturbations induites par la menace posturale se traduiront notamment par l'augmentation de la durée des APA et la réduction de l'amplitude des APA.

3.2. Méthodes

Population expérimentale

Vingt jeunes adultes en bonne santé ont participé à cette étude (9 hommes ; 11 femmes ; 21 ± 3 ans ; 62 ± 10 kg ; 172 ± 10 cm). Le recrutement a été fait grâce à des annonces, orales ou par emails, sur l'ensemble du campus universitaire de Paris Saclay. Les participants rapportant une blessure aux membres inférieurs de moins de six mois ont été exclus du recrutement. L'ensemble des participants a signé un consentement éclairé après avoir été informé de la nature et du but de l'expérience (voir annexe 3). Cette étude, conforme aux normes établies par la Déclaration d'Helsinki, a été approuvée par le comité d'éthique universitaire.

Evaluation des variables psychologiques et formation des groupes

Le but de cette étude est de mieux comprendre les différences interindividuelles dans l'influence d'une menace posturale sur les APA. Les paramètres psychologiques qui ont été étudiés lors de cette étude sont : la confiance en l'équilibre, la peur de chuter, l'anxiété perçue et la stabilité perçue (Adkin et al. 2002 ; Carpenter et al. 2004 ; Adkin et al. 2008 ; Davis et al. 2009 ; Huffman et al. 2009 ; Yiou et al. 2011a ; Davis et al. 2011 ; Zaback et al. 2015). L'évaluation de la confiance en l'équilibre et de la peur de chuter se sont fait, à l'instar de l'étude 2, grâce à des échelles visuelles analogiques de 100 mm, avant l'exécution de la tâche (voir annexe 6). La mesure de la stabilité perçue, évaluée grâce à une échelle visuelle analogique de 100 mm, était reportée par les participants après l'exécution de la tâche. L'anxiété perçue a été mesurée, après l'exécution de la tâche, grâce à un questionnaire (voir annexe 8). Ce questionnaire se basait sur le questionnaire modifié de Hauck et al. (2008), utilisé dans les études d'Adkin et al. (2008), de Davis et al. (2009) et de Yiou et al. (2011). Le

questionnaire se concentrait alors sur trois éléments distincts de l'état d'anxiété : la dimension somatique (6 items), l'inquiétude (4 items) et la concentration ou la perturbation (6 items).

Le lien de chacune de ces variables psychologiques avec les variables posturo-cinétiques a été testé. La confiance en l'équilibre semblait être, *a priori*, la variable psychologique la plus corrélée aux différentes variables biomécaniques. Dès lors, des groupes ont donc été créés grâce à l'auto-évaluation de la confiance qu'avaient les participants en leur équilibre.

Une médiane-split sur l'évaluation moyenne de la confiance en l'équilibre (moyenne des valeurs rapportées sur les conditions « contrôle » et « approche », pour chacun des participants) a permis la création de deux groupes de dix participants : un groupe « forte confiance en l'équilibre » (5 hommes ; 5 femmes ; 21 ± 2 ans ; 63 ± 11 kg ; 173 ± 10 cm) et un autre groupe « faible confiance en l'équilibre » (4 hommes ; 6 femmes ; 21 ± 4 ans ; 62 ± 10 kg ; 170 ± 12 cm).

Protocole et conditions expérimentales

La posture initiale, la détermination de la jambe dominante, les enregistrements biomécaniques, les variables dépendantes étaient strictement identiques à l'étude 2. À l'instar de l'étude précédente, les participants étaient placés au centre (condition « contrôle ») ou au bord d'une plateforme surélevée de 1 m (conditions « menace »). Cependant, seule une des deux conditions « menace » était testée : la condition « approche » (figure 28). Ce choix est notamment justifié par la volonté de maximiser les effets de la menace posturale. Les participants réalisaient deux fois dix mouvements d'élévation latérale de leur jambe dominante : dix mouvements en condition « contrôle » (au centre de la plateforme de force/surface) et dix autres mouvements en condition « approche » (au bord de la plateforme).

Statistiques

Prédiction des changements posturo-cinétiques grâce aux variables psychologiques. Afin de déterminer si les variables psychologiques (peur de chuter, confiance en l'équilibre, anxiété perçue et stabilité perçue) sont liées aux variables posturo-cinétiques, des corrélations entre ces variables psychologiques et biomécaniques ont été effectuées. Les variables

psychologiques classiquement évaluées en présence d'une menace posturale (la peur de chuter, la confiance en l'équilibre, l'anxiété perçue, la stabilité perçue) ont été incluses comme variables multivariées ; les variables posturo-cinétiques (temps de réaction, déplacement et vitesses de déplacement du centre des masses et du centre des pressions lors des APA, durée des APA et de la phase d'exécution et vitesse de la jambe oscillante pendant la phase d'exécution) ont été incluses comme variables dépendantes. Afin d'optimiser les résultats, ces corrélations ont été menées sur les données enregistrées lors de la situation la plus menaçante : la condition d'approche. Pour l'ensemble des analyses, le seuil de significativité était fixé à $\alpha = .05$.

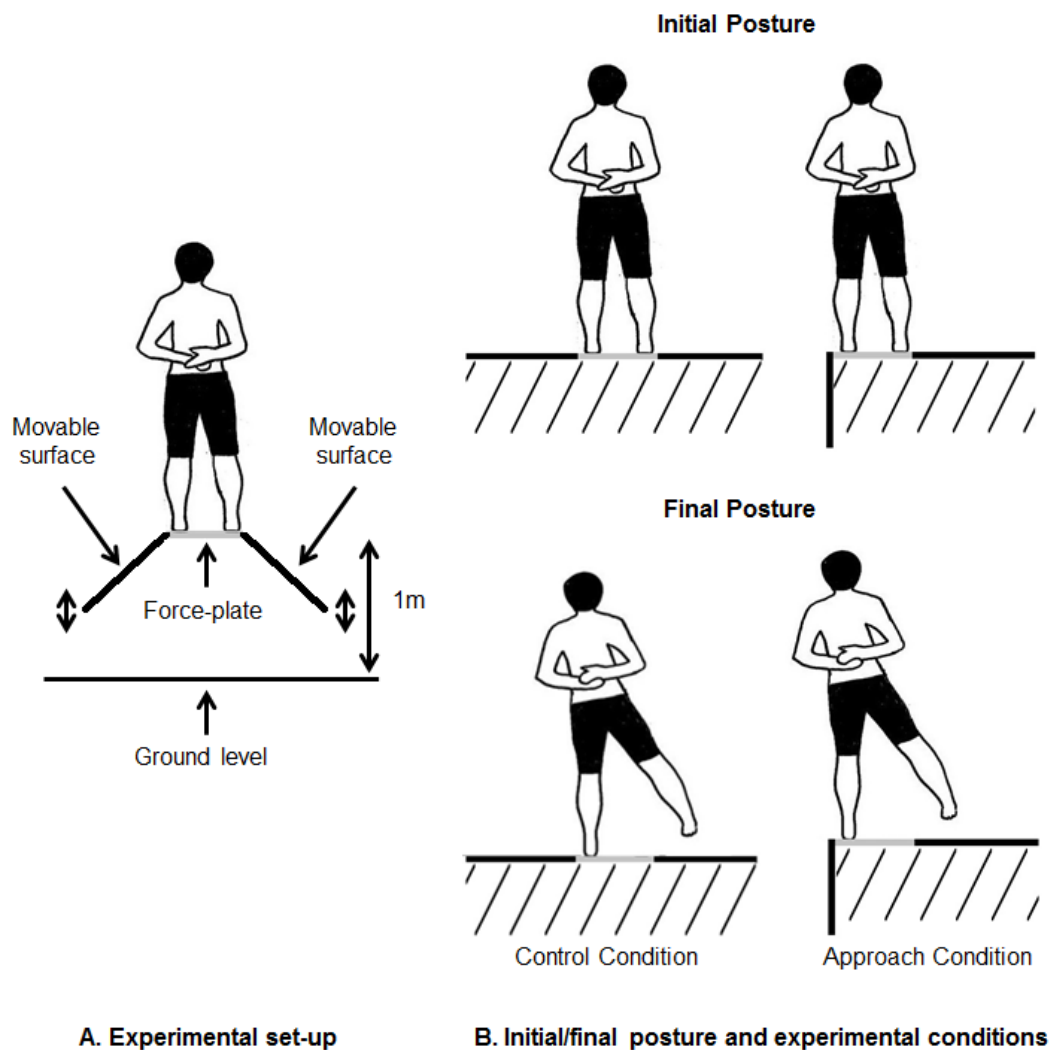


Figure 28 : Représentation du protocole expérimental
A Conditions expérimentales, B Postures initiale/ finale dans les conditions « contrôle » et « approche »

Différences interindividuelles dans l'adaptabilité du contrôle moteur à la menace posturale (proximité du vide). Afin de tester les différences interindividuelles dans l'influence de la menace posturale sur le contrôle moteur, un modèle mixte d'ANOVA 2 x 2 a été réalisé. La Proximité du vide (condition « contrôle » contre « menace ») était alors considérée comme le facteur intra-sujet et la confiance en l'équilibre (groupe « confiant » contre « non confiant ») comme le facteur inter-sujet. Si nécessaire, des analyses post-hoc ont été effectuées en utilisant le test de Newman-Keuls. Le niveau de signification statistique était fixé à $\alpha = .05$.

Essais infructueux. L'analyse du Chi-carré a été faite pour examiner la fréquence des essais infructueux. Un essai était considéré infructueux lorsque le participant ne parvenait pas à maintenir la position finale unipodale (pendant les cinq secondes requises)

3.3. Résultats

Essais infructueux

Aucun effet significatif de la Proximité, du Groupe ou de l'interaction Proximité x Groupe n'a été retrouvé sur le pourcentage d'essais infructueux. Le nombre d'essais infructueux ne varie donc pas d'une condition à l'autre. Le pourcentage total d'essais infructueux était de 13.8 %.

Description des tracés biomécaniques

Les tracés biomécaniques lors de l'élévation latérale de la jambe sont globalement identiques à ceux décrits dans l'étude 2 (figure 24).

Corrélation entre les variables psychologiques et posturo-cinétiques

Les analyses statistiques ont montré des corrélations significatives entre la confiance en l'équilibre et : la durée des APA ($r = -.45$; $p < .05$) ; le pic de vitesse du centre des pressions lors des APA ($r = .66$; $p < .01$) ; la vitesse maximale de la malléole lors de la phase d'exécution ($r = .49$; $p < .05$) ; la durée de stabilisation ($r = .45$; $p < .05$). De plus, des liens corrélationnels ont été trouvés entre la stabilité perçue de son équilibre lors de la réalisation de

la tâche et : l'amplitude des APA ($r = -.48$; $p < .05$) ; le pic de vitesse du centre des pressions lors des APA ($r = .51$; $p < .05$) ; la vitesse du centre des masses à la fin des APA, c'est-à-dire au moment du décollement du pied oscillant ($r = .56$; $p < .01$ - tableau 4).

Variable	Confiance en l'équilibre	Peur de chuter	Stabilité perçue	Anxiété perçue
TR	-.28	.18	-.17	-.03
dAPA	-.45*	.43	-.27	.22
xPmax APA	-.38	.1	-.48*	.08
x'P APA	.66**	-.38	.51*	-.31
x'P FO	.37	-.1	.43	-.17
x'M FO	.32	-.06	.56**	-.14
dEXE	-.31	.3	.01	-.03
x'max MAL	.49*	-.42	.26	-.05
dstab	.45*	-.32	-.02	.02

Tableau 4 : Synthèse des résultats corrélationnels.

ou TR : temps de réaction ; dAPA, dEXE et dstab : durées des phases d'APA, d'exécution et de stabilisation ; xPmax APA : recul maximal du centre des pressions lors des APA (amplitude des APA) ; x'P APA, x'P FO, x'M FO, x'max MAL : vitesse du centre des pressions lors des APA, vitesses du centre des pression et du centre des masses au moment du décollement du pied oscillant et pic de vitesse de la malléole lors de la phase d'exécution.

*, **: différences significatives avec $p < .05$ et $p < .01$.

Différences interindividuelles dans l'influence de la menace posturale sur les composants posturaux et focaux de la jambe levée.

Paramètres psychologiques. Les analyses statistiques ont montré des effets principaux du Groupe pour l'ensemble des variables psychologiques. Ainsi la peur de chuter ($F_{1,18} = 10.06$, $p < .01$) et l'anxiété perçue ($F_{1,18} = 7.59$, $p < .05$) sont plus grandes pour le groupe « faible confiance en l'équilibre » comparativement au groupe « forte confiance en l'équilibre ». Au contraire, la stabilité perçue ($F_{1,18} = 21.44$, $p < .001$) est plus faible pour le groupe « faible confiance en l'équilibre » comparativement au groupe « forte confiance en l'équilibre ». En outre, des effets principaux de la Proximité ont été trouvés pour la peur de chuter, la stabilité perçue et l'anxiété perçue. Plus précisément, la peur de chuter ($F_{1,18} = 21.05$, $p < .001$) et l'anxiété perçue ($F_{1,18} = 4.62$, $p < .05$) sont plus grandes en

condition « approche » qu'en condition « contrôle ». La stabilité perçue ($F_{1,18} = 21.44$, $p < .001$) est quant à elle plus faible en condition « approche » qu'en condition « contrôle ».

Postures initiale et finale. L'analyse statistique a montré qu'il n'y avait aucun effet significatif de la Proximité, du Groupe ou de l'interaction Groupe x Proximité sur les positions initiale et finale du centre des pressions ou sur la stabilité posturale finale.

Ajustements posturaux anticipateurs. L'analyse statistique a révélé un effet principal de la Proximité ($F_{1,18} = 12.90$, $p < .01$) sur la durée des APA (figure 29). Lors des APA, des effets principaux significatifs de la Proximité ont été trouvés sur : le pic de déplacement médio-latéral du centre des pressions (amplitude des APA - $F_{1,18} = 18.60$, $p < .001$), le pic de vitesse de déplacement médio-latéral du centre des pressions ($F_{1,18} = 8.66$, $p < .01$) et sur la vitesse de déplacement médio-latéral du centre des masses au moment du levé du pied ($F_{1,18} = 11.20$, $p < .01$). Ainsi, la durée des APA est plus longue en condition « approche » comparée à la condition « contrôle ». Au contraire, l'amplitude des APA (recul du centre des pressions vers la jambe oscillante), le pic de vitesse des APA et la vitesse du centre des pressions au moment du levé du pied oscillant sont diminués en condition « approche » comparativement à la condition « contrôle ».

Un effet principal du Groupe a été trouvé sur l'amplitude des APA ($F_{1,18} = 4.60$, $p < .05$), le pic de vitesse du centre des pressions lors des APA ($F_{1,18} = 10.06$, $p < .01$), la vitesse du centre des pressions ($F_{1,18} = 4.56$, $p < .05$) et du centre des masses ($F_{1,18} = 8.06$, $p < .01$) au moment du levé du pied oscillant. Ces différences significatives montrent une diminution de l'ensemble de ces variables pour le groupe « faible confiance en l'équilibre », comparativement au groupe « forte confiance en l'équilibre ».

Un effet d'interaction Groupe x Proximité a été trouvé sur la durée des APA ($F_{1,18} = 6.156$, $p < .05$), le pic de vitesse de déplacement du centre des pressions lors des APA ($F_{1,18} = 5.28$, $p < .05$), et la vitesse de déplacement du centre des pressions au moment de l'élévation du pied oscillant ($F_{1,18} = 6.59$, $p < .05$ - figure 29). Les tests post-hoc ont montré que la durée des APA était significativement plus courte en condition « approche », comparée à la condition « contrôle » mais seulement pour le groupe « faible confiance en l'équilibre » ($p < .001$). Le pic de vitesse de déplacement du centre des pressions lors des APA était significativement plus petit en condition « approche », comparé à la condition « contrôle »

mais seulement pour le groupe « faible confiance en l'équilibre » ($p < .001$). Par ailleurs, en condition « approche », ce pic de vitesse de déplacement du centre des pressions lors des APA est significativement plus petit pour le groupe « faible confiance en l'équilibre » comparé au groupe « forte confiance en l'équilibre » ($p < .05$). Ce résultat n'est pas retrouvé dans la condition « contrôle ». Enfin, en condition « approche », la vitesse de déplacement du centre des pressions à la fin des APA (au moment du levé du pied oscillant) est significativement plus petite pour le groupe « faible confiance en l'équilibre » comparée au groupe « forte confiance en l'équilibre » ($p < .05$). Ce résultat n'est une fois de plus pas retrouvé dans la condition « contrôle ».

Aucun effet significatif de la Proximité, du Groupe ou de l'interaction Groupe x Proximité n'a été mis en avant sur le temps de réaction.

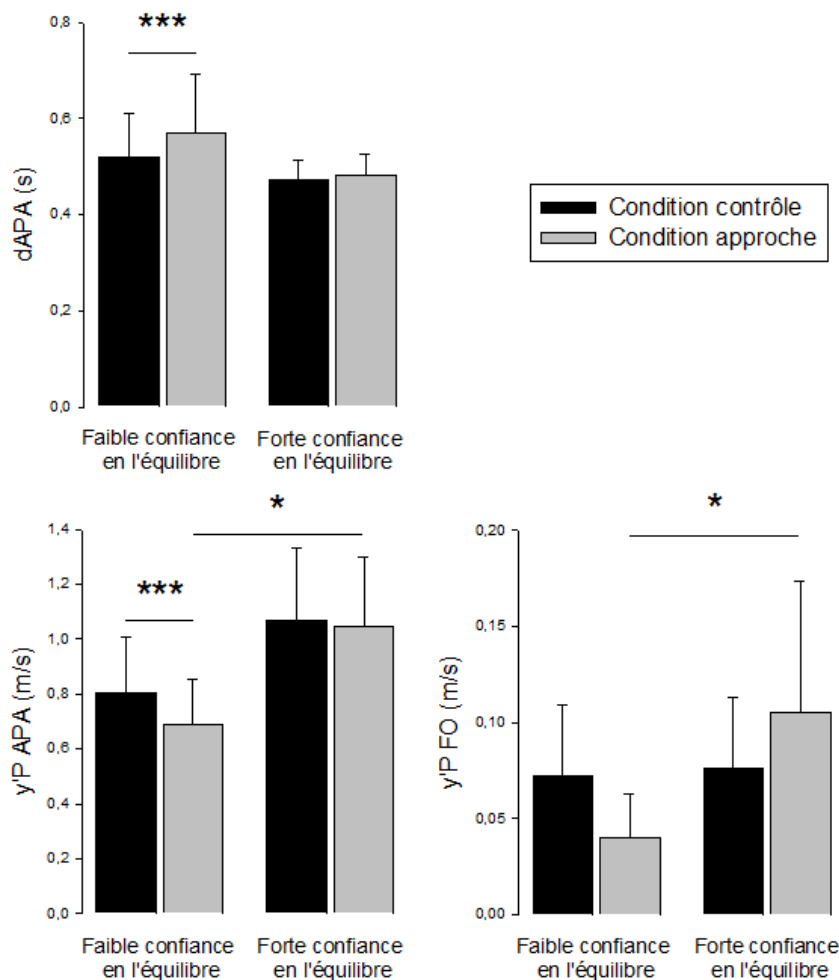


Figure 29 : Comparaison des paramètres spatio-temporels des APA entre les conditions « contrôle » et « approche ».

$y'P_{APA}$, $y'P_{FO}$, $dAPA$: pic de vitesse de déplacement du centre des pressions medio-latéral lors des APA, vitesse du centre des pressions au moment du décollage du pied, et durée des APA. *, *** ; différences significatives avec $p < .05$ et $p < .001$.

Performance du mouvement focal. Aucun effet significatif de la Proximité, du Groupe ou de l'interaction Groupe x Proximité n'a été mis en avant sur : la durée du mouvement focal de la jambe, la position finale de la jambe ou la vitesse maximale de la jambe lors de son élévation (figure 30).

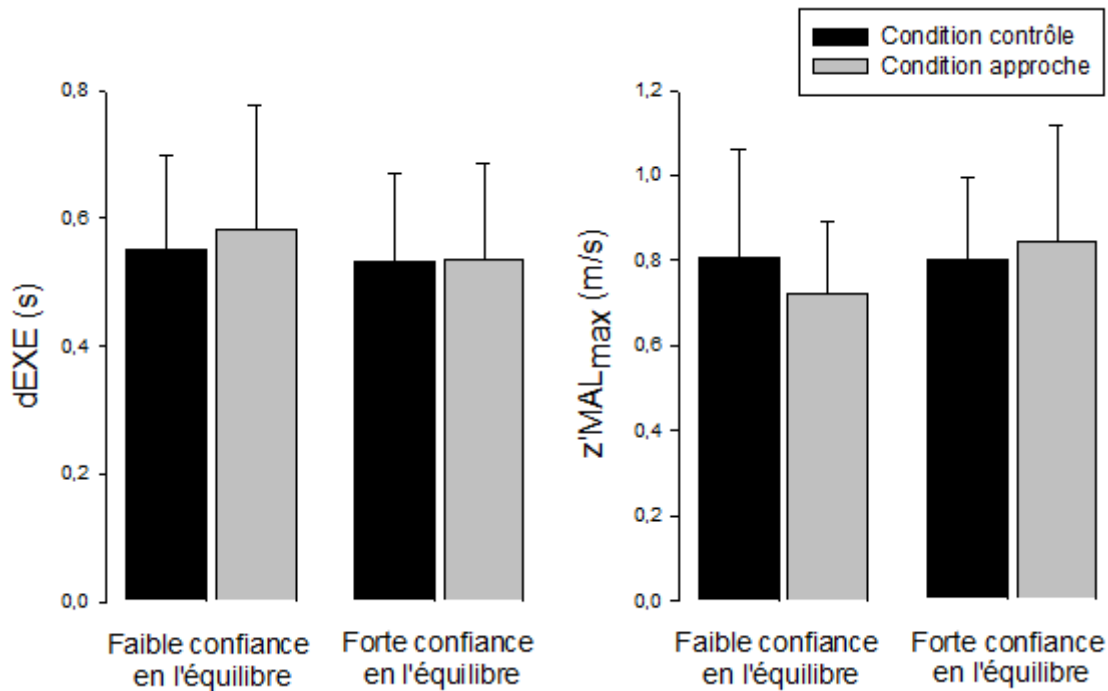


Figure 30 : Comparaison des paramètres spatio-temporels du mouvement focal entre les conditions « contrôle » et « approche ». $dEXE$, $z'MAL_{max}$: durée de la phase d'exécution et pic de vitesse verticale de la malléole lors de la phase d'exécution.

3.4. Discussion

Ce travail a investigué l'existence de différences interindividuelles dans l'influence de la menace posturale sur l'organisation des APA associés à l'élévation latérale de la jambe. Conformément à nos hypothèses, les résultats de cette étude ont montré que la confiance qu'ont les participants en leur équilibre contribuait à expliquer l'existence de variabilités dans l'organisation posturo-cinétique du mouvement volontaire en réponse à la menace posturale. Ainsi, en présence d'une forte menace posturale, les participants reportant une faible confiance en leur équilibre étaient davantage perturbés (en termes de vitesse de déplacement du centre des pressions lors des APA et au moment du décollage de la jambe) que les participants reportant une forte confiance en leur équilibre. Par ailleurs, pour les participants reportant une faible confiance en leur équilibre (comparativement à une faible menace

posturale), la présence d'une forte menace posturale engendre une augmentation de la durée des APA et une diminution de la vitesse de déplacement du centre des pressions lors des APA. Au contraire, les participants reportant une forte confiance en leur équilibre sembleraient ne pas être affectés par la présence de la menace posturale. La confiance en l'équilibre semble donc être ici un facteur protecteur aux effets de la menace posturale.

Lien entre les paramètres psychologiques et posturaux

Les études s'intéressant aux effets de la menace posturale sur l'organisation biomécanique du mouvement volontaire ont déjà démontré l'existence d'un lien entre les réponses biomécaniques et psychologiques des participants. Les variables psychologiques généralement évaluées dans ces études sont : la peur de chuter, la confiance en l'équilibre, la stabilité et l'anxiété perçues (Adkin et al. 2002 ; Carpenter et al. 2004 ; Adkin et al. 2008 ; Davis et al. 2009 ; Huffman et al. 2009 ; Yiou et al. 2011a ; Davis et al. 2011 ; Zaback et al. 2015).

Contrairement aux travaux d'Adkin et al. (2002), les analyses corrélationnelles de la présente étude n'ont montré aucun lien entre l'anxiété perçue et les paramètres biomécaniques associés au mouvement volontaire. Par contre, en accord avec les résultats des études précédentes (voir partie 3.2.4 de l'état de l'art - Adkin et al. 2002 ; Adkin et al. 2008 ; Davis et al. 2009 ; Huffman et al. 2009 ; Yiou et al. 2011a ; Davis et al. 2011 ; Zaback et al. 2015), nos résultats ont révélé une corrélation entre la stabilité perçue, la confiance en l'équilibre et certains paramètres biomécaniques. Plus précisément, nos résultats ont montré que la stabilité perçue était positivement corrélée au pic de vitesse du centre des pressions lors des APA et à la vitesse du centre des masses au moment du décollement du pied. Par ailleurs, une corrélation négative a été observée entre la stabilité perçue et l'amplitude des APA. De façon intéressante, le taux de corrélation le plus fort relatif à la stabilité perçue concerne la vitesse du centre des masses à la fin des APA. Dès lors, il semblerait que l'évaluation de la stabilité posturale soit davantage liée à la performance motrice (lors de la phase d'exécution) qu'à la composante posturale (lors de la phase des APA) du mouvement volontaire.

Les résultats de cette étude ont révélé une corrélation positive entre la confiance en l'équilibre et le pic de vitesse du centre des pressions lors des APA, la vitesse maximale de la jambe lors de la phase d'exécution et la durée de la stabilité finale. Par contre, la confiance en

l'équilibre était négativement corrélée à la durée des APA. Il semblerait donc que la confiance en l'équilibre soit associée aux paramètres biomécaniques de l'ensemble des phases du mouvement d'élévation de la jambe (anticipation, exécution et stabilisation). Dans la mesure où la confiance en l'équilibre est évaluée avant la tâche, elle pourrait être un facteur à l'origine des changements du comportement posturo-cinétique.

Contrairement aux résultats trouvés par Zaback et al. (2015) lors d'une tâche de maintien de la position orthostatique, nos résultats ne montrent aucune corrélation entre la peur de chuter et les paramètres posturo-cinétiques du mouvement volontaire.

La contradiction entre nos résultats et ceux d'Adkin et al. (2002) et de Zaback et al. (2015) semble pouvoir être expliquée par l'utilisation d'une tâche de maintien de la position orthostatique d'une part et d'une tâche d'initiation du mouvement volontaire d'autre part. En effet, une tâche de maintien de la posture orthostatique permettrait de rendre compte de patterns de réactions « réflexes » en réponse aux stimuli émotionnels (*vision réflexe du comportement* - Lang et Bradley, 2010). Dès lors, la simple présence d'un stimulus émotionnel suffirait à générer des réponses comportementales en lien avec ce stimulus. Au contraire, l'analyse de mouvements volontaires permettrait davantage de sonder des mécanismes « intentionnels » d'orientation et de poursuite de buts (*vision du comportement orienté vers les buts* - Carver & Scheier, 1998 ; Elliot, 1999). Ainsi, la représentation des buts et l'anticipation des futures conséquences associées à la tâche motrice seraient centrales à la production du comportement (Eder et al. 2013a). Le comportement aurait alors un rôle instrumental permettant d'atteindre des conséquences désirées ou de prévenir des conséquences non désirées. Dès lors, le besoin de performance influencerait davantage le comportement que la présence du stimulus émotionnel (Eder et Hommel 2013). Ainsi, il se peut que l'analyse du maintien de la position orthostatique (comportements « réflexes ») ne rende pas compte des mêmes mécanismes que l'analyse du mouvement volontaire (comportements « intentionnels »). Selon cette considération, il semble probable que le passage d'un mécanisme à l'autre modifie les relations entretenues entre les variables biomécaniques et psychologiques en réponse à un stimulus émotionnel. De ce fait, malgré une apparente contradiction, nos résultats pourraient être complémentaires à ceux d'Adkin et al. (2002) et de Zaback et al. (2015).

Influence de la confiance en l'équilibre sur la relation entre la menace posturale et l'organisation des APA

À notre connaissance, seule une étude a testé le rôle spécifique des différences de perception de la menace posturale dans l'influence de cette menace sur l'organisation biomécanique du comportement (Davis et al. 2009). Cette étude a procédé à la création de deux groupes contrastés dans leur perception de la peur de chuter : les « peureux » et les « non peureux ». Les résultats ont démontré que la perception de la peur de chuter influençait la mise en place de stratégies posturales (en termes de fréquence et d'amplitude de déplacement du centre des pressions). Cependant, cette tâche de maintien de la posture orthostatique ne permettait pas de rendre compte de l'influence de la peur de chuter sur les APA. Par ailleurs, la contribution d'autre(s) variable(s) psychologique(s) que la peur de chuter (par exemple, la confiance en l'équilibre) n'était pas considérée. Dans ce sens, nos résultats semblent avoir un double apport théorique en démontrant le rôle de la confiance en l'équilibre dans l'influence de la menace posturale sur l'organisation des APA associés à un mouvement volontaire.

L'existence de différences interindividuelles dans la perception de la confiance en l'équilibre est marquée par l'observation de différences intergroupes significatives sur des paramètres posturo-cinétiques lors de la condition « approche ». Ainsi, nos résultats montrent une diminution significative de la vitesse du centre des pressions pendant (x'P APA) et à la fin des APA (x'P FO) pour le groupe « faible confiance en l'équilibre » comparativement au groupe « forte confiance en l'équilibre ». Aucune différence intergroupe n'a été mise en avant pour les conditions neutres ni sur le nombre d'essais infructueux, le temps de réaction ou la durée des phases d'exécution et de stabilisation. Par ailleurs, les effets de la menace posturale ont été démontrés, uniquement pour le groupe « faible confiance en l'équilibre ». Ainsi, une augmentation significative de la durée des APA et une diminution significative du pic de vitesse du centre des pressions lors des APA ont été trouvées en condition d'approche comparativement à la condition neutre. Ce résultat suggère l'existence d'une stratégie adaptative consistant à compenser la diminution du pic de vitesse du centre des pressions lors des APA par l'augmentation de la durée des APA. Cette stratégie compensatrice s'apparente à celle trouvée lors de l'étude 2 de cette Thèse et dans l'étude de Yiou et al. (2011a) où l'augmentation de la durée des APA compensait la diminution de l'amplitude des APA. Ainsi, la durée des APA semble pouvoir compenser aussi bien une diminution de la vitesse du centre des pressions qu'une diminution de l'amplitude des APA. À l'instar des résultats de l'étude 2,

les présents résultats ont montré que la performance motrice de la jambe n'était pas affectée lors de l'exécution du mouvement volontaire. Ces résultats ne sont pas retrouvés pour le groupe « forte confiance en l'équilibre ». Ainsi, il semblerait que les participants reportant une forte confiance en leur équilibre ne soient pas (ou peu) sensibles à la présence de la menace posturale (comparativement aux participants reportant une faible confiance). Ce résultat suggère que la confiance en l'équilibre soit un facteur de protection aux effets de la menace posturale.

La menace posturale semble spécifiquement perturber l'organisation des APA associés au mouvement volontaire (vitesse du centre des pressions pendant et à la fin des APA) mais pas de la performance motrice (en termes, par exemple, de vitesse de déplacement de la jambe oscillante). Ainsi, le système nerveux semble être capable de compenser (ou contre-perturber) les effets de la menace posturale pour garantir l'exécution du mouvement.

Conclusion

Conformément à nos hypothèses, cette étude démontre l'existence de différences interindividuelles dans l'influence de la menace posturale sur l'organisation des APA associés à une élévation latérale de la jambe. La confiance en l'équilibre semble ainsi être une variable psychologique clé de l'influence émotionnelle. Par ailleurs, les résultats de cette étude font écho à ceux de l'étude 2 en rendant compte de la capacité posturo-cinétique. Ainsi, malgré la contrainte émotionnelle, l'équilibre et la performance motrice sont maintenues. Ces résultats pourraient avoir une application clinique importante. En effet, notre étude suggère que l'amélioration de la confiance en l'équilibre puisse amoindrir, voire inhiber, les effets perturbateurs d'une menace posturale et, plus largement de la peur de chuter. Dès lors, l'augmentation de la confiance en l'équilibre des patients déficients moteurs reportant une peur de chuter (par exemple, séniors, patients atteints de la maladie de Parkinson) pourrait minimiser les effets de l'émotion sur le contrôle postural. Des entraînements sportifs et/ou un accompagnement psychologique dans ce sens semblent particulièrement prometteurs.

4. Étude 4 : Rôle de l'estime globale de soi dans la perception de la peur de chuter et de la confiance en l'équilibre lors de la répétition d'un mouvement d'élévation latérale de la jambe

4.1. Introduction

Comme le montre l'étude précédente, la confiance en l'équilibre semble être un facteur clé dans la régulation des comportements d'approche à la menace posturale. Afin d'ajouter un niveau de compréhension aux processus sous-jacents à l'influence des émotions sur l'organisation posturo-cinétique, il semble intéressant d'identifier les facteurs pouvant moduler cette confiance en l'équilibre.

À notre connaissance, seule une étude a révélé (de façon « indirecte ») la contribution des dispositions individuelles dans l'existence de différences de perception de la menace posturale lors de tâches d'initiation de mouvement ou de maintien de la position orthostatique en situation de hauteur (Zaback et al. 2015). Plus précisément, cette étude s'est intéressée au rôle médiateur des variables psychologiques dans le lien entre les dispositions individuelles (et la personnalité) et l'organisation posturo-cinétique en réponse à une menace posturale. Les résultats ont montré que la peur de chuter (paramètre psychologique) était un médiateur de l'influence de la disposition des participants à prendre des risques physiques (disposition individuelle) sur la position moyenne du centre des pressions (paramètre biomécanique) lors d'une tâche de maintien de l'équilibre en présence d'une menace posturale. Cette médiation n'a cependant pas été retrouvée lors d'une tâche volontaire d'élévation des talons. Bien que ces résultats témoignent de l'existence d'une relation entre les dispositions individuelles et la perception de la menace posturale par les participants, ils ne rendent pas compte des effets directs de ces dispositions individuelles sur les variabilités des variables psychologiques (peur de chuter, confiance en l'équilibre) en réponse à la menace posturale.

Ainsi, nous nous proposons ici de tester ce lien (direct) entre les dispositions individuelles des participants et leur évaluation de la menace posturale lors d'une tâche d'élévation de la jambe en hauteur. Notre deuxième étude ayant démontré l'influence de la confiance en l'équilibre dans l'organisation biomécanique du mouvement volontaire en

réponse à la menace posturale, nous avons naturellement cherché à expliquer l'existence de différences interindividuelles dans l'évaluation de la confiance en l'équilibre.

La confiance en l'équilibre est une variable psychologique associée au large concept d'estime globale de soi. En effet, demander aux participants d'évaluer leur confiance en leur équilibre lors d'une tâche, revient à évaluer leur efficacité physique perçue (Bandura 1977). Cette efficacité perçue est étroitement liée avec la compétence physique perçue (Sonstroem et Morgan 1989) elle-même impliquée dans l'amélioration de l'estime globale de soi (Wells et Marwell 1976 ; Harter 1985 ; Sonstroem et Morgan 1989). Selon la modélisation hiérarchique de l'estime globale de soi et du soi physique (Fox et Corbin 1989), il existerait trois niveaux hiérarchiques relatifs à l'estime globale de soi. Le niveau supérieur représenterait l'estime globale de soi. Le niveau intermédiaire comprendrait une dimension générale du soi physique : la valeur physique perçue (Fox et Corbin 1989) qui renvoie notamment à un sentiment général de satisfaction et de confiance dans le soi physique. Le plus bas niveau comprendrait quatre sous-domaines spécifiques à la situation ou à la tâche à réaliser (Marsh et Shavelson 1985 ; Fox et Corbin 1989 ; Page et al. 1993 ; Ninot et al. 2000). Ce type de modèle suggère que le niveau le plus élevé soit le plus général, mais aussi le plus stable, alors que les niveaux les plus bas sont les plus spécifiques et les plus variables. Par exemple, Fox (1997) suppose qu'une forte satisfaction, relative à la réussite dans une tâche donnée, renforce le sous-domaine correspondant. La valeur physique perçue et l'estime globale de soi s'en trouveront renforcées par la suite. À l'inverse, une dépréciation soudaine de l'estime globale de soi est sensée irradier de proche en proche les domaines sous-jacents : la dégradation du domaine physique déterminera donc celle des domaines inférieurs correspondants.

Au regard de l'interconnexion des concepts de confiance en l'équilibre (relative à l'efficacité perçue) et d'estime globale de soi, nous avons considéré cette dernière pour expliquer l'existence de différences interindividuelles dans l'influence de la menace posturale sur les variables psychologiques et donc biomécaniques. Notons ici que nous ne testerons pas seulement le rôle des dispositions individuelles sur la confiance en l'équilibre : nous considérerons aussi leur rôle sur la peur de chuter. En effet, la peur de chuter étant l'émotion cible, induite par la présence d'une menace posturale, il semble judicieux de la considérer. Dans la mesure où les autres variables psychologiques (anxiété posturale et stabilité perçue) n'ont pas démontré d'impact sur les variables biomécaniques lors de la précédente étude, il n'a pas semblé judicieux de les considérer ici. Dans cette étude, le terme « évaluation de la

menace posturale » entend donc l'évaluation de la peur de chuter et de la confiance en l'équilibre seulement. Nous faisons alors l'hypothèse que plus les participants ont une forte estime globale de soi, plus ils rapporteront une forte confiance en leur équilibre et une faible peur de chuter.

4.2. Méthodes

Population expérimentale

Cinquante jeunes adultes en bonne santé ont participé à cette étude (25 hommes ; 25 femmes ; 22 ± 5 ans ; 66 ± 10 kg ; 171 ± 10 cm). Le recrutement a été fait grâce à des annonces, orales ou par emails, sur l'ensemble du campus universitaire Paris Saclay et dans les villes environnantes. Les participants rapportant une blessure aux membres inférieurs de moins de six mois ont été exclus du recrutement. L'ensemble des participants a signé un consentement éclairé après avoir été informé de la nature et du but de l'expérience (voir annexe 9). Cette étude, conforme aux normes établies par la Déclaration d'Helsinki.

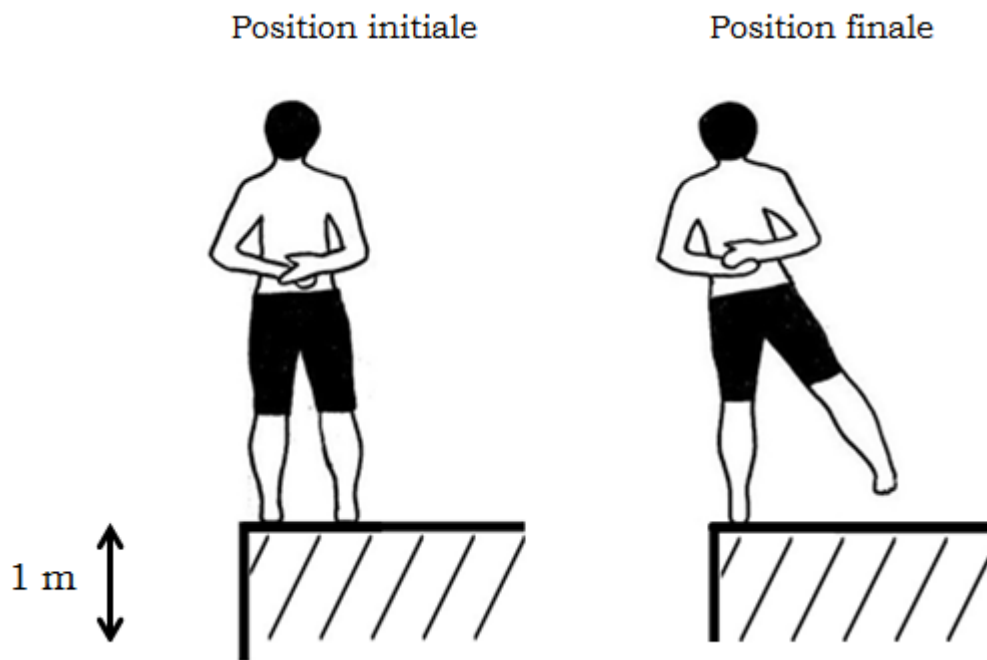
Évaluation des variables psychologiques

La confiance en l'équilibre et la peur de chuter étaient évaluées de la même façon que lors des études 2 et 3 de cette Thèse (Carpenter et al. 1999 ; Carpenter et al. 2006). Ces deux variables psychologiques étaient autoévaluées avant chaque essai.

L'estime globale de soi était évaluée grâce au Questionnaire ISP 10 (adaptation du *Physical Self Inventory* par Ninot et al. 2000 – voir annexe 10). Ce questionnaire de 10 items permettait d'évaluer l'estime globale de soi grâce à l'adhésion des participants aux phrases exprimant des sentiments sur soi, par exemple « j'ai une bonne opinion de moi-même ». L'évaluation se faisait alors grâce à une échelle allant de 1 (pas du tout) à 6 (tout à fait). L'estime globale de soi était aléatoirement évaluée avant ou après la tâche posturale (voir annexe10).

Protocole et conditions expérimentales

La posture initiale, la détermination de la jambe dominante, les enregistrements biomécaniques, les variables dépendantes étaient strictement identiques aux études 2 et 3. Afin de maximiser les effets de la menace posturale sur les variables psychologiques, seule la condition la plus menaçante a été testée. Les participants étaient alors placés au bord d'une plateforme surélevée de 1 m (figure 31) Dans cette condition, les participants effectuaient dix mouvements d'élévation latérale de la jambe.



*Figure 31 : Représentation du protocole expérimental
 À gauche : Position initiale ; À droite : Position finale*

Statistiques

Une première analyse préliminaire a été réalisée pour évaluer la corrélation entre l'évolution de la peur de chuter et de la confiance en l'équilibre au cours des essais. L'analyse statistique corrélationnelle a démontré que l'évolution de la peur de chuter était significativement et inversement corrélée à l'évolution de la confiance en l'équilibre. De ce fait, pour faciliter les analyses, nous avons créé une variable « commune » (Ψ) représentant l'évolution de ces deux variables au cours des essais. Cette dernière correspond à la moyenne des valeurs de la peur de chuter et de l'inverse des valeurs de la confiance en l'équilibre :

$$\Psi = \frac{V_{\text{peur de chuter}} + (10 - V_{\text{confiance en l'équilibre}})}{2}$$

Où Ψ est la variable « commune » représentant l'association de l'évaluation de la peur de chuter et de la confiance en l'équilibre ; $V_{\text{peur de chuter}}$: la valeur issue de l'auto-évaluation de la peur de chuter et $V_{\text{confiance en l'équilibre}}$: la valeur issue de l'auto-évaluation de la confiance en l'équilibre.

Une seconde analyse a ensuite été menée pour rendre compte du rôle de l'estime globale de soi sur l'évaluation de la menace posturale des participants. Dans la mesure où l'évaluation de la menace posturale a été mesurée essai après essai, il semble important de ne pas sous-estimer un potentiel effet de familiarisation. Nous nous sommes ainsi proposés d'analyser le rôle de l'estime globale de soi sur le profil de progression de l'évaluation de la menace posturale. L'étude de cet objet complexe doit donc prendre en considération l'influence de deux variables, la familiarisation au cours des essais et l'estime globale de soi, à différents niveaux, intra-individuel et interindividuel, respectivement. Un modèle multiniveau de croissance semble particulièrement bien adapté à l'analyse de ce type de données incluant différents niveaux de découpage du réel (Bressoux 2008).

Ce modèle, conçu pour modéliser des données ayant une structure hiérarchisée, permet de rendre compte de la variance des données au niveau le plus bas, le plus détaillé (Snijders et Bosker 1999). Le modèle multiniveau de croissance part du principe que les réponses des participants suivent chacune des trajectoires différentes, caractérisées par une pente et une ordonnée à l'origine. L'existence de variabilités sur ces deux caractéristiques peut alors être expliquée par des variables théoriques de différents niveaux (figure 32).

Le premier niveau hiérarchique, également appelé *modèle inconditionnel de croissance*, permet d'identifier l'influence du temps sur la variable dépendante mesurée. Dans le cadre de cette expérience, ce premier niveau correspond à l'évaluation de la menace posturale (c'est-à-dire, Ψ) essai après essai (ESSAI). Ce niveau inconditionnel de croissance rend ainsi compte des différences intra-individuelles existantes dans l'évaluation de la menace posturale par les participants. Autrement dit, il correspond à la familiarisation des participants à la menace posturale, essai après essai. Le deuxième niveau d'analyse, dit *modèle conditionnel de croissance*, introduit des variables explicatives sur le niveau hiérarchique supérieur. Ce second niveau est celui des participants. Autrement dit, ce niveau permet de

rendre compte des différences interindividuelles concernant la familiarisation de chaque participant. Chacun d'eux est alors représenté par une trajectoire (une droite dans le cadre des analyses de cette étude). L'ordonnée à l'origine indique alors, pour un participant, le niveau initial de ses évaluations (Ψ au premier essai). La pente de la droite représente, pour un participant, le rythme de l'évolution de ses évaluations au cours des essais expérimentaux (Ψ au cours des essais). Pour résumer, dans cette étude, le niveau 1 correspond aux essais au cours du temps, et le niveau 2 correspond aux individus, et notamment à leur caractéristique (leur estime globale de soi – EGS (figure 32)).

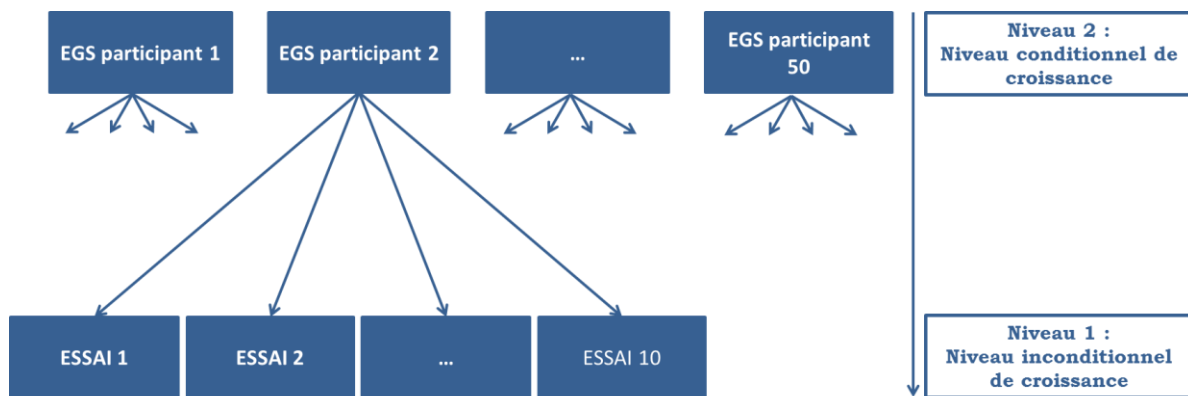


Figure 32 : Schématisation des niveaux hiérarchiques du modèle multiniveau de croissance

Dans le cadre de cette étude de Thèse, un modèle conditionnel de croissance sera réalisé afin d'examiner dans quelle mesure l'estime globale de soi pourrait expliquer les différences interindividuelles tant dans le niveau initial de Ψ que concernant son évolution au cours des essais. Au regard des hypothèses énoncées, le modèle doit alors vérifier :

- 1) s'il est possible de modéliser l'évolution de l'évaluation de la menace posturale par les participants au cours des essais (niveau 1) ;
- 2) l'existence d'une variabilité interindividuelle (niveau 2) grâce aux indicateurs de croissance des droites (ordonnée à l'origine et pente de la droite) ;
- 3) si l'estime globale de soi est liée à ces deux indicateurs de croissance.

Pour chaque niveau d'analyse, l'ajustement global du modèle a été examiné. L'indice de vraisemblance « $-2 \cdot \log \text{likelihood}$ » ($-2 \log L$) peut être utilisé comme base pour juger l'ajustement global d'un modèle par rapport à un autre modèle. La différence entre l'indice de vraisemblance d'un modèle avec celui du modèle vide donne une valeur qui est alors soumise

à un test du Chi-deux. Ce dernier permet alors d'exprimer si le modèle testé est mieux ajusté que le modèle de base. Les différents modèles multiniveaux de croissance ont été réalisés à l'aide du logiciel MLwiN 2.02®.

4.3. Résultats

Modèle inconditionnel de croissance avec pente fixe et ordonnée à l'origine aléatoire

Les résultats démontrent que le modèle inconditionnel de croissance à pente fixe et ordonnée à l'origine aléatoire ajuste mieux les données que le modèle vide (le *modèle vide* n'intègre aucune variable explicative) puisque la diminution du $-2\log L$ est significative, $\Delta = 387.193, p < .001$.

Par ailleurs, ce modèle inconditionnel de croissance indique une contribution significativement négative de la variable ESSAI (c'est-à-dire du temps) sur l'évaluation de Ψ par les participants ($b = -0,107, ETb = .005, p < .001$).

Modèle inconditionnel de croissance avec pente et ordonnée à l'origine aléatoires

Les analyses démontrent que le modèle inconditionnel de croissance avec pente et ordonnée à l'origine aléatoires ajuste mieux les données que le modèle inconditionnel de croissance avec pente fixe et ordonnée à l'origine aléatoires. En effet, la diminution du $-2\log L$ est significative, $\Delta = 180.613, p < .001$.

Par ailleurs, les résultats démontrent que la variabilité interindividuelle est significative au niveau des ordonnées à l'origine ($\sigma^2u_0 = 5.059, ET\sigma^2u_0 = 1.037$) et au niveau des pentes ($\sigma^2u_1 = 0.006, ET\sigma^2u_1 = 0.001$). Ce résultat signifie que les participants diffèrent autant dans leurs évaluation initiale Ψ (c'est-à-dire, ordonnée à l'origine) que dans l'évolution de leur évaluation au cours des essais (c'est-à-dire, pentes). Les analyses révèlent également que 89 % de la variance totale du modèle de croissance se situe au niveau interindividuel (niveau 2), ce qui confirme la nécessité d'aller au-delà de l'analyse intra-individuelle (niveau 1), en examinant les variables (psychologiques) explicatives des différences interindividuelles dans l'évaluation de Ψ par les participants.

Modèle conditionnel de croissance : contribution de l'estime globale de soi dans la variabilité interindividuelle de l'évaluation de Ψ

Lorsque l'EGS est entrée en tant que prédicteur, la diminution significative du maximum de vraisemblance indique un meilleur ajustement des données ($\Delta-2\log L = 15.275$, $p < .001$) que le modèle inconditionnel de croissance avec pente et ordonnée à l'origine aléatoires. Ainsi, l'estime globale de soi explique bien une partie des différences interindividuelles dans l'évaluation de Ψ par les participants.

Par ailleurs, le modèle révèle un effet significatif de l'EGS ($b = -1.013$, $ETb = .244$, $p < .001$), mais ne révèle pas d'effet d'interaction EGS \times ESSAI ($b = .014$, $ETb = .010$, ns) sur l'évaluation de Ψ par les participants. Enfin, l'EGS semble expliquer 26 % $[(5.059-3.728)/5.059]*100$ des différences d'évaluation de Ψ au niveau initial (c'est-à-dire, ordonnée à l'origine) entre chaque individu. En d'autres termes, plus un participant présente un score d'EGS élevé, moins il évalue Ψ comme intense lors du premier essai, (c'est-à-dire, moins il rapporte une forte peur de chuter et plus il rapporte une forte confiance en son équilibre).

4.4. Discussion

L'investigation des dispositions individuelles pour mieux comprendre l'influence de la menace sur les variables psychologiques, lors d'un mouvement volontaire, semble être particulièrement novatrice et porteuse. À notre connaissance aucune étude n'a démontré, de façon « directe », la contribution de ces dispositions individuelles dans l'explication des variabilités de la perception d'une menace posturale (en termes de peur de chuter, confiance en l'équilibre). Le principal objectif de cette étude était donc de rendre compte de la contribution de l'estime globale de soi dans l'évaluation de la menace posturale lors de l'initiation d'un mouvement volontaire en présence de cette dernière.

Variabilités interindividuelles dans la perception de la menace posturale

Nos résultats révèlent que 89 % des variabilités totales dans l'évaluation de la menace posturale se situe à un niveau interindividuel. Ces variabilités interindividuelles s'expriment dans le niveau initial de l'évaluation de la menace posturale (ordonnée à l'origine des droites).

L'estime globale de soi permet d'expliquer une partie (26 %) de ces différences interindividuelles. Plus précisément, nos résultats révèlent que les participants ayant une haute estime globale d'eux, rapportent une plus forte confiance en leur équilibre et une plus faible peur de chuter lors d'une situation menaçante que les participants ayant une faible estime globale d'eux. Ces résultats suggèrent que l'estime globale de soi soit un facteur de protection à la menace posturale. Dans la mesure où aucune variable biomécanique n'a été enregistrée lors de cette étude, nous ne pouvons pas conclure des effets de l'estime globale sur l'organisation posturo-cinétique du mouvement volontaire en réponse à la menace posturale. Cependant, les résultats de l'étude 2 démontrent l'influence de la confiance en l'équilibre sur l'organisation posturo-cinétique du mouvement volontaire en réponse à la menace posturale. Dès lors, il est probable que l'estime globale de soi puisse expliquer - via la confiance en l'équilibre - l'existence de variabilités interindividuelles dans l'influence de la menace posturale sur l'organisation du mouvement volontaire. Des études complémentaires sont nécessaires pour confirmer cette analyse.

Effet de familiarisation

Les résultats de cette étude montrent que le modèle inconditionnel de croissance avec pente aléatoire ajuste mieux les données que le modèle inconditionnel de croissance avec pente fixe. Dès lors, il semblerait qu'un effet de familiarisation à la menace posturale existe. Autrement dit, l'évaluation de la menace posturale par les participants évoluerait au fil des essais. Ces résultats confirment ceux des travaux d'Adkin et al. (2000) qui ont démontré l'existence d'un « effet du premier essai ». Cet effet se traduisait par une organisation biomécanique - lors du maintien de la position orthostatique - significativement différente lorsque les participants étaient exposés pour la première fois à la menace posturale, comparativement aux expositions suivantes. Au regard de ces différents résultats il semblerait pertinent de préciser le lien entre les évolutions de la perception de la menace posturale et de l'organisation biomécanique lors de mouvements volontaires (ou lors du maintien de la position orthostatique) au cours des essais (au cours du temps).

L'estime globale de soi ne semble pas pouvoir expliquer cet effet de familiarisation. Dès lors, l'investigation du rôle d'autres dispositions individuelles et de la personnalité dans

l'évolution de la perception de la menace posturale (par les participants) permettrait d'améliorer les connaissances relatives aux processus de l'influence émotionnelle.

Conclusion

Cette étude suggère que l'estime globale de soi contribue à expliquer l'existence de différences interindividuelles dans l'évaluation de la menace posturale lors d'une tâche d'élévation latérale de la jambe. Plus précisément, l'estime globale de soi serait un facteur protecteur à la menace posturale : plus elle serait forte, plus les participants auraient confiance en leur équilibre et moins ils auraient peur de chuter. Ainsi, dans des perspectives cliniques, l'estime globale de soi semblerait particulièrement intéressante à considérer. En effet, une amélioration de l'estime globale de soi grâce, par exemple, à l'activité physique (le domaine corporel et l'activité physique participant à la construction et à la structuration de l'estime globale de soi - Harter 1988 ; Fox et Corbin 1989 ; Sonstroem et Morgan 1989 ; Biddle et Goudas 1994), pourrait réduire la peur de chuter et donc minimiser ses effets perturbateurs chez les séniors et les patients parkinsoniens. Par ailleurs, l'augmentation de l'estime globale de soi, associée à une augmentation de la confiance en l'équilibre perçue (par les participants), pourrait avoir une influence sur l'organisation du mouvement volontaire. Cependant, des études complémentaires sont nécessaires pour confirmer le lien entre l'estime globale de soi et l'organisation biomécanique des mouvements volontaires.

DISCUSSION GÉNÉRALE, CONCLUSION ET PERSPECTIVES

1. Discussion générale

La compréhension de l'adaptabilité du contrôle postural constitue un véritable enjeu de santé publique de par son implication dans le contrôle de la chute. L'amélioration du contrôle postural, notamment chez les séniors ou les individus atteints de troubles de l'équilibre (par exemple, les patients parkinsoniens ou hémiplésiques), semble nécessaire à la réduction des coûts économiques liés à la prise en charge des soins médicaux post-chutes, à la rééducation ou encore à la dépendance des individus. Une des limites des recherches actuelles dans ce domaine réside dans le cloisonnement des approches méthodologiques adoptées (neurologique, physiologique, biomécanique, clinique, épidémiologique). Or, des recherches très récentes montrent que des facteurs de nature psychologique (l'état émotionnel, l'anxiété, l'affect) peuvent altérer ou, à l'inverse, améliorer le contrôle postural. Ces facteurs sont, par voie de conséquence, potentiellement susceptibles d'améliorer ou de détériorer la stabilité posturale. Une approche multidisciplinaire semble donc requise pour appréhender les déterminants de l'adaptabilité du contrôle postural. C'est dans cette perspective que les travaux de recherche décrits dans cette Thèse ont été élaborés.

Ainsi, l'originalité de ce travail doctoral tient avant tout à ce croisement des champs disciplinaires de la biomécanique et de la psychologie. Par ailleurs, sa singularité se situe au niveau de son approche théorique et intégrative qui croise deux conceptions des émotions : la conception dimensionnelle et la conception catégorielle. Alors que la conception dimensionnelle décrit les émotions selon un certain nombre de dimensions, par exemple les dimensions de valence et d'activation ; la conception catégorielle considère un nombre restreint d'émotions reconnaissables et qualifiables, par exemple la joie, la peur, le dégoût, la colère ou encore la tristesse. La littérature recense deux méthodes spécifiques pour induire des émotions selon l'approche dimensionnelle d'une part et catégorielle d'autre part. Les protocoles utilisant l'International Affective Pictures System (IAPS) utilisent des images de faible ou de forte valence, plus ou moins « forte » (dimension d'activation) pour induire des émotions plaisantes ou déplaisantes, plus ou moins intenses. Les protocoles utilisant une menace posturale consistent à placer des participants en hauteur et/ou proche du vide pour induire une peur de chuter, plus ou moins forte selon les conditions. Notons que, de façon

inhérente aux méthodologies utilisées dans chacun des protocoles, l'originalité de nos études réside aussi dans la confrontation des participants à des stimuli émotionnels virtuels (IAPS) ou réels (hauteur, proximité du vide). Ce travail est également original dans la mesure où il examine l'existence de différences interindividuelles dans les réponses posturo-cinétiques et psychologiques (auto-perception de la peur de chuter, de la confiance en l'équilibre) aux émotions. Enfin, ces différences interindividuelles ont cherché à être expliquées grâce à l'estime globale de soi.

En somme, ces travaux doctoraux présentaient trois objectifs principaux :

- 1) examiner comment les émotions - selon les conceptions dimensionnelle ou catégorielle - influencent le contrôle postural lors de l'initiation de mouvements volontaires (APA et performance motrice) ;
- 2) déterminer le rôle de la direction du mouvement par rapport aux stimuli dans l'influence des émotions sur l'organisation posturo-cinétique du mouvement volontaire ;
- 3) accroître la compréhension des différences interindividuelles présentes dans l'influence des émotions sur le contrôle postural en questionnant la contribution des dispositions individuelles des participants.

L'hypothèse de la direction motivationnelle est centrale dans l'étude de l'influence des émotions sur l'organisation posturo-cinétique d'un mouvement volontaire. Cette hypothèse permet en effet d'expliquer la mise en place des réponses physiologiques, cognitives, motivationnelles, comportementales et subjectives aux stimuli émotionnels. Notre problématique nous a logiquement amenés à considérer spécifiquement les réponses comportementales (études 1, 2 et 3) mais aussi cognitives (étude 3 et 4) aux émotions. Les hypothèses de cette Thèse étaient les suivantes :

- 1) les comportements d'approche sont facilités par les émotions plaisantes (favorisant la survie de l'individu) et perturbés par les émotions déplaisantes (nuisibles à l'individu) ;
- 2) les comportements d'évitement sont facilités par les émotions déplaisantes et perturbés par les émotions plaisantes ;
- 3) des différences interindividuelles existent dans la mise en place de ces comportements en réponse aux émotions.

Les comportements d'approche et d'évitement étaient alors analysés et interprétés au regard des processus de la régulation de la distance. Un comportement d'approche était considéré comme tel si une réduction de la distance entre le participant et le stimulus émotionnel s'opérait. Au contraire, un comportement d'évitement impliquait une augmentation de la distance entre le participant et le stimulus émotionnel. Les comportements étaient analysés grâce aux données posturo-cinétiques, enregistrées sur une plateforme de force (études 1, 2 et 3), et au système de capture de mouvements (études 2 et 3). Dans cette Thèse, l'influence des émotions sur la fonction d'assistance de la performance motrice des APA (APA antéro-postérieurs), a été étudiée grâce à la tâche d'initiation d'un pas vers l'avant ou vers l'arrière. La fonction de stabilisation des APA (APA médio-latéraux) a, quant à elle, été évaluée lors de la tâche d'élévation latérale de la jambe.

Pour défendre cette Thèse, un programme de recherche en quatre études a été réalisé. Les deux premières études ont été mises en place pour répondre aux deux premiers objectifs. La comparaison des protocoles induisant des émotions plaisantes et déplaisantes (conception dimensionnelle des émotions - étude 1) ou de la peur de chuter (conception catégorielle des émotions - étude 2) permettait une approche intégrative de l'influence des émotions sur le contrôle postural. Par ailleurs, les différentes conditions de ces études permettaient de tester l'hypothèse de la direction motivationnelle et rendaient ainsi compte de l'organisation biomécanique des comportements d'approche et d'évitement (et donc de la direction des mouvements par rapport aux stimuli) en présence des stimuli émotionnels. Les troisième et quatrième études répondaient quant à elles au troisième objectif. La troisième étude a permis de mieux définir le rôle de la perception des stimuli émotionnels par les participants (réponse cognitive aux émotions) - plus précisément la confiance en leur équilibre - dans les variabilités de l'organisation biomécanique en réponse à une menace posturale. Enfin, la quatrième étude a permis de questionner dans quelle mesure l'estime globale de soi des participants expliquait ces différences de perception des stimuli émotionnels.

Bilan des résultats au regard des hypothèses

En accord avec nos hypothèses, les résultats de l'étude 1 ont montré que les comportements d'approche étaient facilités par les émotions plaisantes. En effet, le temps de réaction était plus court pour initier un pas vers l'avant, face à des images plaisantes que face à des images déplaisantes. L'augmentation de la réactivité est un résultat typique de la

facilitation du comportement (Chen et Bargh 1999 ; Eder et Rothermund 2008). De plus, les résultats ont montré que les comportements d'évitement étaient perturbés par les émotions plaisantes. En effet, les résultats de l'étude 1 ont montré que la projection d'images plaisantes (comparées à neutre) diminuait la vitesse de déplacement du centre des masses à la fin des APA (au moment du décollement du pied) lors de l'initiation d'un pas vers l'arrière. La réduction de la vitesse du centre des masses pouvait alors être interprétée comme une stratégie motivationnelle consistant à maintenir une proximité avec les stimuli plaisants (c'est-à-dire limiter l'augmentation de la distance avec les stimuli). Notons que la modification de l'organisation des APA ne modifiait pas la performance du pas. Par ailleurs, les résultats de notre étude 2 ont montré que les comportements d'approche étaient perturbés par la présence d'une menace posturale (émotions déplaisantes). Ainsi, l'augmentation de la menace posturale lors de l'initiation de l'élévation latérale de la jambe engendrait une augmentation de la durée des APA et une diminution de leur amplitude (en termes de déplacement du centre des pressions). Aucun effet de la menace posturale n'a été remarqué sur la performance focale du mouvement d'élévation latérale de la jambe. Ce résultat pourrait traduire une stratégie protectrice visant à maximiser le contrôle des déplacements du centre des masses afin de minimiser le risque de chute.

Des résultats vont cependant à l'encontre de nos hypothèses. De façon surprenante, les comportements d'approche sembleraient pouvoir être perturbés par la présence d'émotions plaisantes. En effet, les résultats de l'étude 1 montrent que le pic de vitesse du centre des masses lors de la phase d'exécution d'un pas vers l'avant était diminué en présence d'images plaisantes, comparativement à des images neutres (étude 1). Aucune modification de l'organisation des APA n'était associée à cette perturbation de la performance motrice. Par ailleurs, contrairement à l'hypothèse de la direction motivationnelle, aucune influence des images déplaisantes n'a été démontrée sur les comportements d'approche et d'évitement (étude 1). De plus, la menace posturale ne semble pas faciliter les comportements d'approche.

Enfin, nos résultats ont démontré l'existence de différences interindividuelles dans l'organisation biomécanique en réponse à la menace posturale. L'étude 3 a montré que les variabilités dans les réponses biomécaniques pouvaient être expliquées par la confiance que les participants avaient en leur équilibre. Ainsi, seuls les participants reportant une faible confiance en leur équilibre - comparativement à une forte confiance en leur équilibre - étaient significativement influencés par la menace posturale. Cette influence se traduisait par

l'augmentation de la durée des APA associée à la diminution de la vitesse de déplacement du centre des pressions lors des APA. Aucune influence de la menace posturale n'a été trouvée sur la performance motrice des participants reportant une faible confiance en leur équilibre ni sur l'organisation biomécanique (lors des APA ou de la phase d'exécution) des participants reportant une forte confiance en leur équilibre. Par ailleurs, des effets de la confiance en l'équilibre ont été mis en évidence : nos résultats démontrent que, dans la situation de forte menace posturale, les APA des participants ayant une faible confiance en leur équilibre étaient davantage perturbés (en termes de vitesse de déplacement du centre des pressions durant les APA et à la fin des APA) que ceux des participants ayant une forte confiance en leur équilibre. Ces différences interindividuelles semblent pouvoir être en partie expliquées par l'estime globale de soi des participants (étude 4). Nos résultats ont ainsi révélés que, dans les situations fortement menaçantes, les participants ayant une faible estime globale de soi reportaient une moins forte confiance en leur équilibre et une plus grande peur de chuter que les participants ayant une forte estime globale de soi. L'estime globale de soi serait donc un facteur de protection à la menace posturale.

Influence des émotions sur les composantes posturale et focale

Nos résultats démontrent une différenciation des effets des émotions sur les paramètres posturaux anticipateurs et la performance motrice. Notons ici que, dans l'étude 1, l'influence des émotions plaisantes sur la performance motrice lors du pas vers l'avant n'était pas associée à une modification de l'organisation des APA. Par contre, dès que l'organisation des APA était perturbée (par les images plaisantes lors de l'initiation du pas vers l'arrière dans l'étude 1 ; par la menace posturale lors de l'élévation de la jambe dans les études 2 et 3), la performance motrice était maintenue.

Cette dissociation des effets des émotions sur les paramètres posturaux anticipateurs ou la performance motrice témoigne de l'**efficacité du couple « protection versus performance »**. En effet, le système nerveux central semble être capable de mettre en place des stratégies de protection permettant le maintien de la performance motrice malgré la perturbation des APA par les stimuli émotionnels. Dans nos études, ces stratégies de protection se traduisaient par l'augmentation de la durée des APA lorsque l'amplitude (étude 2) ou la vitesse (étude 3) de déplacement du centre des pressions lors des APA étaient diminuées. L'existence de stratégies de protection avait déjà été reportée par l'équipe de Yiou

et al. (2011a) où la performance focale lors d'une flexion de jambe était maintenue malgré l'augmentation de la menace posturale. Le maintien de l'efficacité des APA quelles que soient les situations (c'est-à-dire quels que soient le stimulus émotionnel et la direction du mouvement par rapport à ce stimulus), traduit la capacité du système nerveux central à conserver la capacité posturo-cinétique lors de l'initiation du mouvement volontaire. Dans ces conditions, le déplacement du corps vers ou à l'encontre du stimulus émotionnel ne représenterait qu'un faible risque de déséquilibre. La performance focale peut donc rester optimale.

Par ailleurs, cette dissociation semble pouvoir renseigner sur l'**organisation des APA**. Si l'on considère les modèles de coordination entre la posture et le mouvement (voir partie 0), les APA seraient le résultat d'une commande motrice unique (modèle hiérarchique) ou indépendante (modèle parallèle). Selon le modèle hiérarchique, un effet simultané des émotions sur les composantes posturale et focale serait attendu lors de la tâche. Par contre, dans le modèle parallèle, l'existence de commandes motrices distinctes permettrait un découplage des effets des émotions sur la posture et le mouvement. Les résultats obtenus au cours des études 1 et 2 semblent favoriser ce dernier modèle.

En outre, cette dissociation semblerait pouvoir améliorer les connaissances sur l'**origine des APA**, c'est-à-dire sur les processus neuro-anatomiques sous-jacents à l'influence émotionnelle. Comme nous l'avons détaillé dans l'état de l'art (partie 0), les ganglions de la base sont impliqués dans l'organisation des APA. Or, cette structure reçoit de nombreuses afférences en provenance de l'amygdale (Haber 2003 ; Richard et Orsal 2007). Cette dernière est une structure sous corticale connue pour être impliquée dans la reconnaissance et l'évaluation des stimuli émotionnels (voir les parties 2.1.1 et 2.2.2.3 de l'état de l'art). Les études en imagerie cérébrale ont en effet démontré une augmentation de l'activation de l'amygdale lors de la perception d'images fortement plaisantes ou déplaisantes (Lang et Bradley 2010) et, plus particulièrement, lors de situations menaçantes induisant de la peur (Davis 1992 ; Calder et al. 2001 ; Öhman et Mineka 2001 ; Phelps et al. 2001 ; de Gelder et al. 2004 ; Öhman 2005 ; Adolphs 2008). Ainsi, les modifications de l'organisation des APA (en présence de stimuli émotionnels) rencontrées lors de nos études pourraient être médiées par cette relation neuro-anatomique entre l'amygdale et les ganglions de la base. Dès lors, nos résultats suggèrent que la mise en place des comportements d'approche et d'évitement puisse être liée à ces deux structures nerveuses. Les très récents travaux de Ramirez et al. (2015)

semblent confirmer cette hypothèse. Cette étude a effectivement démontré le rôle essentiel des afférences de l'amygdale vers les ganglions de la base dans les comportements d'évitement, notamment lors des phénomènes de rigidification. De façon intéressante, la récente revue de littérature de Collomb-Clerc et Welter (2015) suggère une spécialisation de certaines structures nerveuses des ganglions de la base au regard de la tâche posturale ou motrice. Ainsi, le globus pallidum interne et le noyau sous thalamique auraient un rôle majeur dans le contrôle postural (en position orthostatique) et la locomotion. Par contre, la substance Nigra pars reticulata et le noyau pédonculopontin seraient davantage engagés dans l'organisation des APA et de la dynamique posturale lors de l'initiation du mouvement volontaire (par exemple, lors de l'exécution du premier pas). Cette spécialisation des structures nerveuses, suggèrent que les processus émotionnels (action de l'amygdale sur les ganglions de la base) puissent différer lors des tâches de maintien de la position orthostatique, de tâche locomotrice ou d'initiation du mouvement volontaire (générant des APA). Selon cette considération et au vu de nos protocoles de recherche (utilisant des tâches d'initiation du mouvement), il semblerait que les émotions aient une action spécifique - via l'amygdale - sur la substance Nigra pars reticulata et le noyau pédonculopontin. Les effets différenciés des émotions sur la phase des APA et sur la phase d'exécution du mouvement laissent suggérer un autre niveau de régulation émotionnelle. À notre connaissance aucune étude ne s'est intéressée à l'implication spécifique des structures nerveuses dans la relation entre les émotions et l'organisation des APA ou de la performance des mouvements d'approche et d'évitement.

Enfin, cette dissociation des effets des émotions sur les APA ou la performance motrice semble pouvoir être discutée au regard de la problématique de la **symbolique accordée aux comportements d'approche et d'évitement**. Comme nous l'avons abordé dans l'état de l'art (voir partie 3.1.2), le choix du cadre de référence (par exemple, le membre focal ou le corps) peut complètement inverser l'interprétation des comportements d'approche et d'évitement. Dans nos études, nous avons toujours considéré le corps (centre des masses du corps) comme notre référence. Dans ce sens, l'interprétation de nos données biomécaniques (déplacement/vitesse du centre des masses et du centre des pressions) semble être, malgré quelques nuances, majoritairement en accord avec l'hypothèse de la direction motivationnelle. Cependant, lors de l'élévation de la jambe (études 2, 3 et 4), le déplacement du membre focal (la jambe oscillante) est de direction opposée à celui du corps des participants. Ainsi, lorsque la menace posturale se trouve aux abords de la jambe d'appui, le corps se déplace vers la menace (comportement d'approche du corps) lors de l'élévation de la jambe alors que la

jambe oscillante s'en écarte (comportement d'évitement du membre focal). Ainsi, au regard de l'hypothèse de la direction motivationnelle et du processus de régulation de la distance, la menace posturale perturberait le déplacement du corps et, dans un même temps, faciliterait le déplacement du membre focal. L'interprétation dissociée des déplacements du corps et du membre focal pourrait donc contribuer à expliquer nos résultats. Dans la condition inverse, lorsque la menace posturale se trouve aux abords de la jambe oscillante, le déplacement du corps est associé à un comportement d'évitement et le déplacement du membre focal à un comportement d'approche. Selon ces considérations, il est probable que la facilitation du comportement d'évitement du corps par la menace posturale ait été minimisée par la perturbation qu'elle générerait sur le comportement d'approche du membre focal. Autrement dit, l'opposition des directions des déplacements du corps et du membre focal pourrait créer un « conflit » qui atténuerait l'expression des comportements d'approche et d'évitement.

Nature des stimuli émotionnels et comportements d'approche et d'évitement

La nature virtuelle des images de l'IAPS a l'énorme avantage de pouvoir induire, de façon contrôlée et interchangeable, des émotions plaisantes et déplaisantes. Des images de forte valence (par exemple, les images représentant des scènes érotiques) ou de faible valence (par exemple, les images représentant les scènes de mutilation) induiront, respectivement, des émotions plaisantes ou déplaisantes. Cependant, comme l'a fait remarquer Stins et Beek (2007), la nature virtuelle de ces images peut atténuer les comportements d'approche et d'évitement. Cette atténuation des comportements peut notamment être expliquée par le manque de lien entre le stimulus émotionnel et le mouvement émis. En effet, hormis les scènes qu'elles représentent, les images elles-mêmes ne représentent pas de menace pour l'intégrité de l'individu ou ne favorisent pas la survie de l'individu. Cette condition semble cependant primordiale à la mise en place des motivations et des comportements d'approche et d'évitement (Schneirla 1959 ; Frijda 1987 ; Frijda et al. 1989 ; Cacioppo et al. 1993 ; Lang 1995 ; Elliot 1999 ; Bargh 2009 ; Frijda 2009). La notion d' « urgence motivationnelle » évoquée par Harmon-Jones et al. (2013) met d'ailleurs en avant ce besoin de lien fort entre un stimulus émotionnel et les comportements d'approche ou d'évitement. Ce manque de lien pourrait ainsi expliquer l'absence d'effet des images déplaisantes (par rapport aux images neutres ou plaisantes) sur l'organisation biomécanique de l'initiation du pas vers l'avant ou vers l'arrière lors de notre première étude. Ce dernier résultat a participé à notre volonté de

passer à un protocole utilisant un stimulus non virtuel (que l'on qualifiera abusivement de stimulus « réel ») tel qu'une menace posturale, c'est-à-dire la hauteur et la proximité du vide.

La présence de la menace posturale permettait ainsi d'induire un lien fort entre l'émotion (la peur de chuter) et l'action. En effet, l'exécution d'un mouvement en présence d'une menace posturale représente un risque de chute qui menace l'intégrité physique des participants. Dès lors, la présence d'une menace posturale justifierait d'elle-même un comportement d'évitement. Au contraire, au regard de l'hypothèse de la direction motivationnelle, les comportements d'approche vers cette menace seraient perturbés.

La comparaison des résultats de nos études 1 et 2 semble justifier la pertinence du passage à un protocole utilisant des stimuli virtuels à réels. Notons ici que la comparaison de l'influence de la menace posturale (étude 2) est uniquement possible avec l'influence des images déplaisantes (étude 1). Alors que les images déplaisantes n'entraînent aucune facilitation ou perturbation des comportements d'évitement ou d'approche, respectivement, la menace posturale perturbe les comportements d'approche, conformément à nos hypothèses. Cette comparaison des résultats suggère que la menace posturale soit plus apte à induire des motivations et des comportements d'évitement que les images. Sans vouloir minimiser l'influence des images de l'IAPS, il semblerait que le caractère virtuel des stimuli diminue la force des comportements enregistrés, comparativement aux stimuli réels. Dans ce sens, il est intéressant de constater que cette minimisation des comportements en réponse aux stimuli virtuels (comparés à réels) est utilisée à des fins thérapeutiques. Par exemple, le traitement de l'acrophobie (peur phobique des hauteurs et des profondeurs) se fait souvent grâce à la réalité virtuelle (Coelho, Silva, Santos, Tichon, & Wallis, 2008 ; Coelho, Waters, Hine, & Wallis, 2009 ; Emmelkamp, Krijn, Hulsbosch, & de Vries, 2002 ; Krijn et al., 2004). Cette dernière est utilisée pour désensibiliser (*contact desensitization treatment*) les patients grâce à une exposition progressive à l'objet phobique. Une réadaptation comportementale s'opère ainsi « en douceur ».

Outre le caractère virtuel ou réel des stimuli, la minimisation des comportements d'évitement lors de l'étude 1, comparée à l'étude 2, peut notamment s'expliquer par la qualité de l'émotion induite. De façon inhérente à la conception dimensionnelle, les émotions induites par les images de l'IAPS ne permettent pas d'étiquetage de l'émotion. Il est donc difficile de savoir si les images, par exemple érotiques, induisent du plaisir, de l'envie ou de la

gène (Bühler, Vollstädt-Klein, Klemen, & Smolka, 2008 ; Donnerstein, Donnerstein, & Evans, 1975 ; Henson & Rubin, 1971). Au contraire, de façon inhérente à la conception catégorielle, la menace posturale induit une émotion spécifique à la situation : la peur de chuter. Il semble donc possible d'admettre que les émotions, selon la conception catégorielle, soient plus aptes à générer des comportements plus forts (car stéréotypés) que les émotions selon la conception dimensionnelle. Selon ce point de vue, le lien « stimulus-action » serait optimisé en présence de stimuli émotionnels réels et répondant à la conception catégorielle des émotions.

Comparaison des protocoles utilisant l'IAPS et une menace posturale

À notre connaissance, les protocoles utilisant l'IAPS et une menace posturale sont les seuls à évaluer l'influence des émotions sur les paramètres posturo-cinétiques du mouvement volontaire. Notre volonté d'avoir une approche intégrative du concept émotionnel nous a donc naturellement menés à utiliser ces deux protocoles. Le choix d'utiliser des protocoles testés et validés dans la littérature semblait particulièrement pertinent : non seulement pour garantir une validité scientifique à ces travaux doctoraux mais aussi pour pouvoir comparer les résultats de chacune de nos études à ceux des travaux existants. Cependant, la comparaison de nos études avec, d'une part, les études utilisant le même protocole et, d'autre part, toutes les études confondues présente quelques obstacles.

Au regard de nos résultats, l'utilisation d'une menace posturale semblerait être plus pertinente que l'utilisation de l'IAPS pour induire des comportementales émotionnels. Cependant, la généralisation de cette analyse à l'ensemble des études semble utopique. Nos deux études à elles seules ne permettent pas de conclure sur la pertinence d'un protocole plutôt que l'autre. Toutefois, la généralisation de la comparaison de nos résultats aux travaux recensés dans la littérature semble compromise : la divergence des protocoles et des analyses statistiques en étant la principale cause. Dans nos études, les analyses statistiques comparent systématiquement les conditions « expérimentales » (forte ou faible menace posturale ; images plaisantes ou déplaisantes) avec des conditions neutres. Cette homogénéité statistique permet donc la comparaison des résultats des deux protocoles. Par contre, comme le montre le

tableau 5, les études utilisant l'IAPS ne mettent pas en place de condition neutre³. Dès lors, notre étude 2 n'a aucun moyen d'être comparée aux études de Naugle et al. (2011), de Stins et Beek (2011) ou de Gélât et al. (2011). Notons que, malgré l'absence de condition neutre dans ces études, notre étude 1 analyse les différences entre les conditions expérimentales (images plaisantes versus déplaisantes) ; la comparaison de nos résultats aux études utilisant l'IAPS peut donc se faire.

D'autre part, les études utilisant une menace posturale ne testent traditionnellement pas de situation où les participants s'éloignent de la menace. Cela s'explique facilement au regard des problématiques de ces études ; leur but étant d'identifier les effets de la présence d'une menace posturale sur l'organisation biomécanique d'un mouvement volontaire, indépendamment de la direction du mouvement. Avant notre étude, ce protocole n'avait jamais été utilisé pour tester l'hypothèse de la direction motivationnelle. La condition d'évitement de la menace, mise en place dans notre étude 2, ne peut donc être pas être comparée aux études d'Adkin et al. (2002), de Yiou et al. (2011a) ou de Zaback et al. (2015).

Enfin, la diversité des tâches utilisées dans l'ensemble de ces études rendent la comparaison encore plus complexe. En effet, notre première étude et celles d'Adkin et al. (2002), de Naugle et al. (2011), de Stins et Beek (2011), de Gélât et al. (2011) et de Zaback et al. (2015) rendent majoritairement compte de l'influence de la menace posturale sur l'axe antéro-postérieur. Au contraire, l'étude de Yiou et al. (2011a) et notre deuxième étude révèlent l'influence des émotions uniquement sur l'organisation posturo-cinétique médio-latérale du mouvement volontaire. Bien qu'ils ne puissent pas être comparés, la coexistence de ces différents modèles expérimentaux permet de rendre compte de l'influence des émotions sur la fonction 1) de propulsion des APA en rapport avec la performance motrice (axe antéro-postérieur) et 2) d'équilibration des APA (axe médio-latéral). Autrement dit, les tâches d'initiation de la marche (ou du pas vers l'avant et l'arrière) d'une part et d'élévation de la jambe (élévation latérale ou flexion) d'autre part, semblent particulièrement complémentaires dans la mesure où elles permettent d'évaluer l'ensemble des fonctions des APA.

³ Notons ici qu'une condition neutre existe dans l'étude de Naugle et al. (2011). Cependant, elle est seulement utilisée pour créer un indice, pour chaque variable, représentant le changement entre un mouvement effectué en condition neutre et en condition expérimentale. Aucune comparaison directe n'est entreprise.

Auteurs	Protocole	Tâche	IAPS				Position initiale du centre des pressions / centre des masses	Temps de réaction	APA					Performance motrice				
			Condition	Hauter	Proximité	Valence			Activation	Durée	Amplitude du centre des pressions	Vitesse du centre des pressions	Vitesse du centre des masses	Pic d'accélération du centre des masses	Durée d'exécution	Vitesse du mouvement	Amplitude du mouvement	Vitesse du segment focal
Naugle et al. (2011)	IAPS	Initiation de la marche	Fortement plaisante (FP)	/	/	7	6,2	/	FD < FP FD < fd FD < fp	/	Déplacement vers les talons : fd < fp fd < FP	FD < fd fd < fp	/	/	/	Vitesse du premier pas : FD < fp fd < FP fd < fp	Longueur du pas : Pas de différence	/
			Fortement déplaisante (FD)	/	/	2,6	5,8											
			Faiblement plaisante (fp)	/	/	7	5											
			Faiblement déplaisante (fd)	/	/	2,4	5											
Gélat et al. (2011)	IAPS	Initiation de la marche	Fortement plaisante (FP)	/	/	7,4	5,7	Pas de différence	FD > FP	Pas de différence	Déplacement vers les talons : FD < FP	/	FD < FP	/	/	Pas de différence	Longueur du pas : Pas de différence	/
			Fortement déplaisante (FD)	/	/	2,3	5,9											
Stins et al. (2011)	IAPS	Initiation du pas vers l'avant et vers l'arrière	Fortement plaisante (FP)	/	/	6,2	3,2	/	Pas vers l'avant : FD > FP Pas vers l'arrière : FD = FP	/	Pour FD : Freezing pour des temps inférieur à 400 ms	/	/	/	Pas de différence	/	Longueur du pas : Pas de différence	/
			Fortement déplaisante (FD)	/	/	1,7	4,6											
Etude 1	IAPS	Initiation du pas vers l'avant et vers l'arrière	Fortement plaisante (FP)	/	/	6,2	3,6	Pas de différence	Pas vers l'avant : FP < FD Pas vers l'arrière : Pas de différence	Pas de différence	Pas de différence	Pas de différence	Pas vers l'arrière : Au décolllement du pied : FP < N	/	Pas de différence	Pas vers l'avant : FP < N	Longueur du pas : Pas de différence	/
			Fortement déplaisante (FD)	/	/	1,8	6											
			Neutre (N)	/	/	5,7	1,5											
Adkin et al. (2002)	Menace posturale	Elévation des talons	Forte menace posturale (F)	1,6 m	0 m	/	/	Déplacement vers les talons : F > MF F > mf F > f	/	Pas de différence	Déplacement vers les talons : F < MF F < mf F < f	F < MF F < mf F < f	/	/	F > MF F > mf F > f	F < MF F < mf F < f	Déplacement du centre des masses vers la pointe des pieds : F < MF F < mf F < f	/
			Menace posturale moyenne à forte (MF)	1,6 m	0,5 m	/	/											
			Menace posturale moyenne à faible (mf)	0,4 m	0,5 m	/	/											
			Faible menace posturale (f)	0,4 m	0 m	/	/											
Zaback et al. (2015)	Menace posturale	Elévation des talons	Forte menace posturale (F)	1,6 m	0 m	/	/	/	/	/	Déplacement vers les talons : F < f	F < f	/	/	/	/	/	/
			Faible menace posturale (f)	0,8 m	0 m	/	/											
Yiou et al. (2011)	Menace posturale	Flexion de la jambe à 90°	Forte menace posturale (F)	0,6 m	0 m	/	/	Pas de différence	F > f	F > f	/	/	Au décolllement du pied : F < f	F < f	/	/	Déplacement du centre des masses vers la jambe d'appui : F < f	Vitesse de la jambe : Pas de différence
			Faible menace posturale (f)	0,06 m	0 m	/	/											
Etude 2	Menace posturale	Elévation latérale de la jambe à 45°	Forte menace posturale (F)	1 m	0 m	/	/	Pas de différence	Pas de différence	En condition d'approche : F > f	En condition d'approche : F < f	Pas de différence	Au décolllement du pied : Pas de différence	/	Pas de différence	/	Hauteur de la jambe oscillante : Pas de différence	Vitesse de la jambe oscillante : Pas de différence
			Faible menace posturale (f)	1 m	0 m	/	/											

Tableau 5 : Bilan des études traitant de l'influence des émotions sur les APA et de la performance motrice.

Tendance comportementale et comportements d'approche et d'évitement

La composante motivationnelle des émotions (voir partie 2.1.4 de l'état de l'art) prend soin de différencier les tendances comportementales (ou tendances à l'action) et les comportements à l'approche ou à l'évitement (Arnold 1960 ; Frijda 1987 ; Perkins et Corr 2006). Ces tendances à l'action, en lien avec le système motivationnel engagé, préparent à l'action et à la mise en place des comportements d'approche et d'évitement. Cependant, ces tendances comportementales à l'approche et à l'évitement n'induisent pas pour autant forcément les comportements (effectifs) d'approche et d'évitement associés (pour des revues, voir Eder et al. 2013b ; Elliot et al. 2013 ; Förster et Friedman 2013 ; Harmon-Jones et al. 2013).

La vision selon laquelle les stimuli émotionnels induiraient des réactions comportementales grâce à l'engagement des circuits motivationnels (*vision réflexe du comportement* - Lang & Bradley, 2010) est en effet discutée. Certains auteurs démontrent, par exemple, qu'une motivation à l'approche peut être induite par des stimuli émotionnels déplaisants (Dollard et al. 1939 ; Carver et Harmon-Jones 2009). L'évaluation des stimuli émotionnels et la mise en place des comportements d'approche et d'évitement ne seraient donc pas issues des mêmes processus. Pour pallier cette vision réflexe du comportement, des chercheurs ont mis l'accent sur le rôle de la représentation des buts (*vision du comportement orienté vers les buts* - Carver & Scheier, 1998 ; Elliot, 1999). Selon cette considération, le système motivationnel renverrait à des mécanismes d'orientation et de poursuite de buts (conscients ou non) qui gouverneraient le comportement vers ou à l'encontre d'états (non) désirés (Eder et al. 2013a). Dans ce sens, le rôle du comportement serait de produire des conséquences désirées ou de prévenir les conséquences non désirées. Autrement dit, le comportement aurait une action « instrumentale » et serait davantage influencé par l'anticipation de futures conséquences plutôt que par la présence d'un stimulus émotionnel (Eder et Hommel 2013). Les stimuli émotionnels influenceraient ainsi le contrôle de l'action de façon indirecte en amorçant les buts associés : la valence des stimuli favoriserait les réponses qui procureraient un effet désiré et supprimerait celles qui procureraient un effet non désiré. En cas d'effet non désiré, les réponses alternatives n'amenant pas à la punition seraient recherchées. L'étude de Vernazza-Martin et al. (2015) a récemment testé l'importance relative accordée aux stimuli émotionnels (*vision réflexe du comportement*) ou aux buts associés à la tâche (*vision du comportement orienté vers les buts*) lors d'une tâche d'initiation du pas. Les

auteurs concluent sur l'importance de considérer ces deux visions du comportement qui seraient essentielles à la fois dans la mise en place des comportements mais aussi dans la représentation symbolique de ces comportements par rapport aux stimuli émotionnels.

Bien que distincts, les deux points de vue (vision du comportement réflexe ou orienté vers les buts) ne semblent cependant pas exclusifs dans la mesure où ils ne renvoient pas au même niveau d'analyse. En effet, la vision réflexe du comportement renverrait davantage à des tendances comportementales plutôt qu'à des comportements d'approche et d'évitement (Eder et al. 2013a). Ces tendances comportementales seraient mesurables grâce à l'enregistrement des comportements physiologiques (par exemple, fréquence cardiaque, conductance de la peau) ou biomécaniques lors de tâches simples (par exemple, lors du maintien de la position orthostatique). En parallèle, la vision du comportement orienté vers les buts renverrait aux comportements effectifs (notamment d'approche et d'évitement). Ces comportements seraient alors analysables grâce à l'étude de la performance motrice (grâce à l'analyse biomécanique par exemple) lors de tâches motrices complexes telles que l'initiation d'un mouvement volontaire. Ainsi les stimuli émotionnels engageraient, de façon « réflexe », des tendances comportementales qui seraient ensuite modulées, de façon « intentionnelle », par la recherche d'états désirés et l'internalisation des conséquences du mouvement. Tout mouvement volontaire serait donc le résultat de l'évaluation des stimuli émotionnels (Bargh 2009) et du besoin de performance (Aarts et Dijksterhuis 2000).

Au regard de ces deux visions des comportements (réflexes ou orientés vers les buts), les résultats de nos études peuvent être doublement discutés. Premièrement, si la phase d'exécution du mouvement volontaire peut être assimilée à un comportement effectif orienté vers les buts, la phase des APA peut davantage être associée à des tendances comportementales. Ces tendances comportementales se traduiraient, ou non, en comportements effectifs. Les APA seraient alors, dans un premier temps, affectés par les émotions avant d'être réajustés pour maintenir la performance motrice (état désiré). Deuxièmement, si la consigne donnée aux participants (réussir la tâche) constitue un but en soi, il est probable que le besoin de performance oriente le comportement vers la réussite de la tâche plutôt que vers la régulation de la distance entre le participant et le stimulus émotionnel. Autrement dit, les participants seraient motivés pour réussir la tâche, quel que soit le stimulus émotionnel. Cette analyse pourrait notamment expliquer le résultat, en désaccord avec nos hypothèses, trouvé lors de notre première étude. Ainsi, la condition non congruente

« évitement-plaisant » faciliterait l'initiation du pas car le but des participants serait d'initier le pas vers l'arrière, le plus rapidement possible, conformément à la consigne. Il est cependant possible que ce besoin de performance ne soit pas suffisant pour faciliter le comportement dans l'autre situation non congruente « approche-déplaisant ». Dans ce cas, les images déplaisantes (études 1) représenteraient une trop grosse perturbation pour permettre une facilitation du mouvement. Cette analyse peut être appliquée à la condition non congruente « approche-menace » lors de l'étude 2. Notons que la raison pour laquelle les stimuli plaisants ne seraient pas aussi perturbateurs que les stimuli déplaisants s'expliquerait par la complexité du fonctionnement du système motivationnel appétitif (Bradley et al. 2001). En effet, selon Bradley et al. (2001) l'attractivité pour les stimuli plaisants dépendrait d'un état aversif concomitant ; par exemple, l'attrance pour la nourriture apparaîtrait seulement parce que la faim se ferait sentir. Ainsi, les stimuli plaisants seraient nécessairement moins « engageants » (et donc moins perturbateurs) que les stimuli déplaisants.

Généralisation de l'hypothèse de la direction motivationnelle aux protocoles utilisant une menace posturale

Les protocoles utilisant l'IAPS se basent sur l'hypothèse de la direction motivationnelle afin d'investiguer les processus à l'origine de l'influence des émotions sur les comportements d'approche et d'évitement. En parallèle, et jusqu'à aujourd'hui, les protocoles utilisant une menace posturale étaient exclusivement mis en place pour rendre compte des effets de la peur de chuter sur le contrôle postural. Cependant, les résultats des études de cette Thèse - et plus généralement les résultats de l'ensemble des études traitant de l'influence des émotions sur l'organisation biomécanique du mouvement volontaire - semblent rendre compte de la nécessité de généraliser l'hypothèse de la direction motivationnelle aux protocoles utilisant une menace posturale afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à l'influence émotionnelle.

La considération de la direction du mouvement par rapport à une menace posturale semble en effet être nécessaire à la compréhension des comportements (biomécaniques) en réponse à une menace posturale. Dans leurs études, Adkin et al. (2002), Yiou et al. (2011a) et Zaback et al. (2015) interprètent leurs résultats comme l'effet de la simple présence de la menace posturale. Or, ces études ne présentent que des situations d'approche à la menace (les tâches imposent systématiquement un déplacement vers la menace posturale). Au regard de

l'hypothèse de la direction motivationnelle, la généralisation de leurs résultats à l'ensemble des situations semble pourtant compromise. Nos résultats tendent à le prouver. Comme le montre notre étude 2, l'organisation biomécanique d'un mouvement volontaire dirigé vers la menace posturale n'est pas identique à celle d'un mouvement volontaire dirigé à l'encontre de cette même menace posturale. La simple présence de la menace posturale ne suffit donc pas à expliquer ces différences : la direction du mouvement au regard de la menace posturale doit nécessairement être considérée.

Différences interindividuelles et estime globale de soi

Un des apports de cette Thèse réside dans la mise en évidence de l'existence de différences interindividuelles dans l'influence des émotions sur l'organisation posturo-cinétique du mouvement volontaire. Nos résultats montrent en effet que la confiance en l'équilibre influence l'organisation biomécanique du mouvement volontaire en réponse à une menace posturale. Ainsi, les participants ayant une forte confiance en leur équilibre seraient moins perturbés (en termes d'organisation biomécanique des APA associés au mouvement volontaire) par la menace posturale que les participants ayant une faible confiance en leur équilibre. À notre connaissance, aucune autre étude ne s'est intéressée au rôle de la confiance en l'équilibre dans la relation entre la menace posturale (et plus généralement les émotions) et l'organisation biomécanique du mouvement volontaire.

Par ailleurs, les résultats de l'étude 4 montrent que l'estime globale de soi semblerait expliquer, en partie, ces différences interindividuelles. Conformément aux connaissances actuelles sur le concept de l'estime de soi (pour quelques exemples, Bandura 1977 ; Fox et Corbin 1989 ; Sonstroem et Morgan 1989 ; Ninot et al. 2000), nos résultats ont montré que plus les participants avaient une estime globale de soi haute, plus ils reportaient une forte confiance en leur équilibre lors de l'exécution de la tâche. Ainsi, l'estime globale de soi serait un facteur protecteur de la menace posturale. Par là même, cette estime globale de soi semblerait aussi pouvoir expliquer les différences interindividuelles dans la perception de la peur de chuter par les participants en présence d'une menace posturale. Nos résultats ont en effet montré qu'une haute estime globale de soi, comparée à une faible estime globale de soi, était associée à une faible peur de chuter lors de l'élévation de la jambe en présence d'une menace posturale. Dès lors, l'estime globale de soi semblerait être un facteur clé dans la compréhension des mécanismes sous-jacents à l'influence émotionnelle sur l'organisation du

mouvement volontaire. Des travaux complémentaires doivent cependant être apportés pour confirmer ces résultats. Par ailleurs, il semble nécessaire de tester directement la contribution de l'estime globale de soi sur les paramètres posturo-cinétiques du mouvement volontaire en réponse à une menace posturale.

Pris ensemble, ces résultats semblent donc contribuer à la meilleure compréhension de l'influence des émotions sur l'organisation biomécanique des mouvements volontaires. Dans ce sens, il semble pertinent, voire nécessaire, de compléter et d'approfondir ces résultats pionniers.

2. Conclusion

Les résultats de nos expérimentations ont montré que le système nerveux central des individus jeunes et sains était capable de moduler les APA (antéropostérieurs et médio-latéraux) en fonction de l'environnement émotionnel. En effet, malgré la perturbation que représentent les émotions pour les APA (en termes de durée, d'amplitude ou de vitesse de déplacement du centre des pressions), des stratégies de compensation et de protection sont mises en place pour garantir : le maintien de l'équilibre et la performance motrice lors de mouvements d'approche ou d'évitement au regard des stimuli émotionnels.

Conformément à nos hypothèses et, plus largement à l'hypothèse de la direction motivationnelle, les résultats de nos études montrent que les comportements d'approche sont perturbés par la présence d'une menace posturale (étude 2) et facilités par l'exposition d'images plaisantes (étude 1). Cependant, contrairement à nos hypothèses, les comportements d'évitement sembleraient aussi pouvoir être facilités par les images plaisantes. Ce résultat suggère que le processus de régulation de la distance entre les individus et les stimuli émotionnels ne puisse, à lui seul, expliquer la complexité de la mise en place des comportements d'approche et d'évitement. Ainsi, l'orientation vers les buts, la symbolique du mouvement, la différenciation des composantes posturale et focale du mouvement, la nature du stimulus, etc. sont autant d'éléments pouvant expliquer les variabilités dans l'organisation posturo-cinétique des comportements d'approche et d'évitement, en réponse aux émotions.

Finalement, nos études ont permis de mettre en avant l'existence de différences interindividuelles dans l'influence des émotions sur l'organisation biomécanique des mouvements volontaires. En effet, nos résultats ont montré que les participants reportant une faible confiance en leur équilibre étaient davantage perturbés (en termes d'organisation posturo-cinétique des APA associés au mouvement volontaire) que les participants reportant une forte confiance en leur équilibre. Ces différences interindividuelles semblent pouvoir être en partie expliquées par l'estime globale de soi des participants. Ainsi, plus les participants ont une faible estime globale de soi, plus ils rapportent une forte peur de chuter et une faible confiance en l'équilibre lors de l'exécution d'une tâche en présence d'une menace posturale. En somme, l'estime globale de soi et la confiance en l'équilibre sembleraient être des facteurs de protection à la menace posturale.

3. Perspectives

L'ensemble des résultats issus de cette Thèse contribue à une meilleure compréhension de l'influence des émotions sur l'organisation biomécanique des mouvements volontaires. En particulier, nos résultats confirment que le système nerveux central est capable de moduler les paramètres spatio-temporels des APA pour maintenir une stabilité optimale malgré la perturbation émotionnelle. Nous proposons que cette adaptation posturale constitue un indicateur pertinent de la capacité posturo-cinétique des individus. Par conséquent, nos résultats peuvent avoir des applications pratiques importantes dans le domaine de l'évaluation clinique des patients posturo-déficients.

Les différentes expérimentations réalisées au cours de cette Thèse ont porté uniquement sur le jeune adulte sain. Cependant, de nombreux travaux sont menés, notamment sur l'influence de la peur de chuter sur l'organisation posturale des séniors (Okada et al. 200 ; Davis et al. 2009 ; Uemura et al. 2012) et des patients atteints de Parkinson (Naugle et al. 2012 ; Delval et al. 2014). La détérioration de la capacité à contrôler la stabilité que peuvent rencontrer ces populations peut être à l'origine de chutes. Dans ce sens, il serait intéressant d'élargir nos travaux à l'étude de ces populations pathologiques afin de connaître les effets délétères, voire les bienfaits, des émotions sur l'initiation du mouvement volontaire. Ce travail de Thèse laisse en effet penser que la présence de stimuli émotionnels pourrait constituer un outil de rééducation intéressant pour améliorer le contrôle de la stabilité posturale chez les séniors ou les patients parkinsoniens. Ainsi, selon la conception dimensionnelle, les émotions plaisantes et déplaisantes pourraient optimiser l'initiation de mouvements volontaires vers ou à l'encontre des stimuli, respectivement. Dans la même veine, selon la conception catégorielle des émotions : la joie d'une part et la peur, le dégoût, la tristesse d'autre part, optimiseraient les APA lors de mouvements volontaires d'approche ou d'évitement, respectivement. Paradoxalement, il est aussi possible que la perturbation induite par les situations non congruentes, où la direction du mouvement n'est pas en accord (selon l'hypothèse de la direction motivationnelle) avec l'émotion, puisse représenter un bon outil de rééducation. Il est en effet connu que les programmes de rééducation fournissant des perturbations posturales sont efficaces pour améliorer le contrôle de la stabilité posturale (Sherrington et al. 2011 ; Tiedemann et al. 2011). Par exemple, il a été montré chez des individus hémiplésiques, qu'un programme contenant des exercices de déstabilisations posturales était plus efficace qu'un

programme contenant des exercices de stretching et de Taïchi pour réduire le risque de chute (Marigold et al. 2005). Il serait ainsi intéressant d'évaluer le rôle perturbateur et/ou facilitateur des émotions (à plus ou moins long terme) lors d'entraînements ou de programmes de rééducation chez des individus présentant des troubles de l'équilibre (par exemple, personnes âgées, parkinsoniens, hémiplegiques).

Par ailleurs, ces travaux de Thèse semblent mettre en avant la pertinence d'une approche intégrative du concept des émotions dans l'étude de l'influence des émotions sur l'organisation posturo-cinétique des mouvements volontaires. Bien que les conceptions catégorielle et dimensionnelle diffèrent, elles ne sont pas pour autant forcément contradictoires (Adolphs 2002). Au contraire, elles seraient même complémentaires. En effet, ces deux conceptions s'appliqueraient à différents niveaux du processus émotionnel. Selon Scherer (2010) la conception dimensionnelle se rapporte à des processus d'évaluation des sentiments alors que la conception catégorielle se rapporterait davantage à des processus de préparation et d'exécution du comportement. Ainsi, nous pensons que les futures recherches doivent considérer davantage le croisement de ces deux conceptions émotionnelles. Par là même, une généralisation de l'hypothèse de la direction motivationnelle aux protocoles de la menace posturale semble indispensable pour améliorer la compréhension de l'influence de la menace posturale sur l'organisation biomécanique du mouvement volontaire. Nous proposons donc une adhésion massive à l'hypothèse de la direction motivationnelle lors des recherches s'intéressant à l'influence des émotions - selon la conception catégorielle - sur l'organisation biomécanique du mouvement volontaire.

En outre, les résultats de nos études laissent supposer que les stimuli virtuels sont moins aptes à influencer les comportements d'approche et d'évitement que les stimuli réels. Cependant, une étude a récemment démontré qu'une menace posturale virtuelle pouvait engendrer les mêmes réponses posturales qu'une menace posturale lors d'une tâche de maintien de la position orthostatique (Cleworth et al. 2012). Pour se faire, les auteurs ont positionné les participants sur une plateforme surélevée (condition de faible menace posturale : 0,8 m ; condition de forte menace posturale : 3,2 m) ou dans un environnement virtuel. Il serait intéressant de reproduire une telle expérience lors d'une tâche plus complexe d'initiation d'un mouvement volontaire. De tels résultats pourraient alors rendre véritablement compte du rôle de la nature des stimuli sur les comportements d'approche et d'évitement.

Enfin, nous estimons que la recherche des différences interindividuelles dans l'organisation posturo-cinétique du mouvement volontaire - en réponse aux émotions - est nécessaire à la compréhension des mécanismes sous-jacents de l'influence émotionnelle. En outre, l'approfondissement des connaissances liées au rôle des dispositions individuelles et de la personnalité dans ces différences interindividuelles semble pertinent et porteur.

BIBLIOGRAPHIE

- Aarts H, Dijksterhuis A (2000) Habits as knowledge structures: automaticity in goal-directed behavior. *J Pers Soc Psychol* 78:53–63. doi: 10.1037/0022-3514.78.1.53
- Acquas E, Wilson C, Fibiger HC (1996) Conditioned and unconditioned stimuli increase frontal cortical and hippocampal acetylcholine release: effects of novelty, habituation, and fear. *J Neurosci* 16:3089–3096.
- Adkin AL, Campbell AD, Chua R, Carpenter MG (2008) The influence of postural threat on the cortical response to unpredictable and predictable postural perturbations. *Neurosci Lett* 435:120–125.
- Adkin AL, Frank JS, Carpenter MG, Peysar GW (2002) Fear of falling modifies anticipatory postural control. *Exp Brain Res* 143:160–170.
- Adkin AL, Frank JS, Carpenter MG, Peysar GW (2000) Postural control is scaled to level of postural threat. *Gait Posture* 12:87–93.
- Adkin AL, Frank JS, Jog MS (2003) Fear of falling and postural control in Parkinson's disease. *Mov Disord* 18:496–502.
- Adolphs R (2002) Neural systems for recognizing emotion. *Curr Opin Neurobiol* 12:169–177. doi: 10.1016/S0959-4388(02)00301.
- Adolphs R (2008) Fear, faces, and the human amygdala. *Curr Opin Neurobiol* 18:166–172. doi: 10.1016/j.conb.2008.06.006.
- André-Thomas (1940) *Equilibre et équilibration*. Masson, Paris.
- Arnold MB (1960) *Emotion and personality*. Columbia University Press, New York.
- Aruin AS, Forrest WR, Latash ML (1998) Anticipatory postural adjustments in conditions of postural instability. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 109:350–359.
- Aruin SA (2002) The organization of anticipatory postural adjustments. *J Autom Control* 12:31–37.
- Aruin SA, Latash ML (1995) The role of motor action in anticipatory postural adjustments studied with self-induced and externally triggered perturbations. *Exp Brain Res* 106:291–300.
- Atkinson AP (2005) *Visual Emotion Perception: Mechanisms and Processes*. 1–43.

- Atkinson AP, Dittrich WH, Gemmell AJ, Young AW (2004) Emotion perception from dynamic and static body expressions in point-light and full-light displays. *Perception* 33:717–746. doi: 10.1068/p5096.
- Atkinson AP, Tunstall ML, Dittrich WH (2007) Evidence for distinct contributions of form and motion information to the recognition of emotions from body gestures. *Cognition* 104:59–72.
- Azevedo TM, Volchan E, Imbiriba LA, et al (2005) A freezing-like posture to pictures of mutilation. *Psychophysiology* 42:255–260. doi: 10.1111/j.1469-8986.2005.00287.
- Babinski J (1899) De l'asynergie cérébelleuse. *Rev Neurol (Paris)* 7:806–816.
- Balcetis E (2015) Approach and Avoidance as Organizing Structures for Motivated Distance Perception. *Emot Rev.* doi: 10.1177/1754073915586225.
- Balzalgette D, Zattara M, Bathien N, et al (1987) Postural adjustments associated with rapid voluntary arm movements in patients with Parkinson's disease. *Adv Neurol* 45:371–374.
- Bandura A (1977) Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychol Rev* 84:191–215.
- Bargh JA (2009) Unconscious Behavioral Guidance Systems. In: *Then a miracle occurs: Focusing on Behavior in social psychological theory and research*. New York: Oxford University Press, 1–36.
- Bargh JA (1997) The automaticity of everyday life. In: Wyer RS (ed) *Advances in social cognition*. Erlbaum, Mahwah.
- Belen'Kii VE, Gurfinkel' VS, Pal'Tsev EI (1967) On the control elements of voluntary movements. *Biofizika* 12:135–141.
- Benvenuti F, Stanhope SJ, Thomas SL, et al (1997) Flexibility of anticipatory postural adjustments revealed by self-paced and reaction-time arm movements. *Brain Res* 761:59–70.
- Biddle SJH, Goudas M (1994) Sport, activité physique et santé chez l'enfant. *Enfance* 2:135–144.
- Blanchard DC, Blanchard RJ (1990a) An ethoexperimental analysis of defence, fear, and anxiety. In: McNaughton N, Andrews G (eds) *Anxiety*. Otago University Press., Dunedin, 188–199
- Blanchard DC, Blanchard RJ (1990b) Anti-predator defence as models of animal fear and anxiety. In: Brain PF, Parmigiani S, Blanchard RJ, Blanchard D (eds) *Fear and defence*. Harwood Academic, Church and Harwood Academic Publishers, New York.
- Blanchard DC, Hynd AL, Minke KA, et al (2001) Human defensive behaviors to threat scenarios show parallels to fear- and anxiety-related defense patterns of non-human mammals. *Neurosci Biobehav Rev* 25:761–770. doi: 10.1016/S0149-7634(01)00056-2.

- Bleuse S, Cassim F, Blatt JL, et al (2006) Effect of age on anticipatory postural adjustments in unilateral arm movement. *Gait Posture* 24:203–210. doi: 10.1016/j.gaitpost.2005.09.001.
- Bolzoni F, Bruttini C, Esposti R, et al (2015) Transcranial direct current stimulation of SMA modulates anticipatory postural adjustments without affecting the primary movement. *Behav Brain Res* 291:407–413. doi: 10.1016/j.bbr.2015.05.044.
- Borelli GA (1680) *De Motu Animalium* (Traduit par Maquet P, 1989). Springer, Verlag, Berlin.
- Bouisset S (1991) Relationship between postural support and intentional movement: biomechanical approach. *Arch Int Physiol Biochim Biophys* 99:77–92.
- Bouisset S (2002) *Biomécanique et Physiologie du Mouvement*. Masson, Paris.
- Bouisset S, Do M-C (2008) Posture, dynamic stability, and voluntary movement. *Clin Neurophysiol* 38:345–362.
- Bouisset S, Duchêne JL (1994) Is body balance more perturbed by respiration in seating than in standing posture? *Neuroreport* 5:957–960.
- Bouisset S, Le Bozec S (2002) Posturo-kinetics capacity and postural function in voluntary movement. In: Latash ML (ed) *Progress in motor Control*. Human Kinetics, Champaign, IL, 25–52.
- Bouisset S, Maton B (1995) *Muscles, posture et mouvement. Bases et applications de la méthode électromyographique*. Hermann, Paris.
- Bouisset S, Richardson J, Zattara M (2000) Do anticipatory postural adjustments occurring in different segments of the postural chain follow the same organisational rule for different task movement velocities, independently of the inertial load value? *Exp brain Res* 132:79–86.
- Bouisset S, Zattara M (1981) A sequence of postural movements precedes voluntary movement. *Neurosci Lett* 22:263–270.
- Bouisset S, Zattara M (1987) Biomechanical study of the programming of anticipatory postural adjustments associated with voluntary movement. *J Biomech* 20:735–742.
- Bradley MM, Codispoti M, Cuthbert BN, Lang PJ (2001) Emotion and motivation I: Defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion* 1:276–298. doi: 10.1037//1528-3542.1.3.276.
- Bradley MM, Cuthbert BN, Lang PJ (1990) Startle reflex modification: emotion or attention? *Psychophysiology* 27:513–522.
- Bradley MM, Cuthbert BN, Lang PJ (1999) Affect and the startle reflex. In: Dawson ME, Schell AM, Bohmelt AH (eds) *Startle Modification: Implications for Neuroscience, Cognitive Science, and Clinical Science*. Cambridge University Press,

- Bradley MM, Lang PJ (2000) Measuring emotion: Behavior, feeling, and physiology. *Cogn Neurosci Emot* 25:49–59.
- Bradley MM, Lang PJ (1999) Affective norms for English words (ANEW): Instruction manual and affective ratings. Tech. Rep. C1.
- Bradley MM, Lang PJ (2007a) Affective norms for English Text (ANET): Affective ratings of text and instruction manual. 1–25.
- Bradley MM, Lang PJ (2007b) The International Affective Digitized Sounds (2nd Edition, IADS-2): Affective Ratings of Sounds and Instruction Manual.
- Brenière Y, Do M., Bouisset S (1987) Are dynamic phenomena prior to stepping essential to walking? *J Mot Behav* 19:62–76.
- Brenière Y, Do MC (1991) Control of gait initiation. *J Mot Behav* 23:235–240.
- Brenière Y, Do MC, Sanchez J (1981) A biomechanical study of the gait initiation process. *J Biophys médecine nucléaire* 5:197–205.
- Bressoux P (2008) Modélisation statistique appliquée aux sciences sociales. De Boeck, Bruxelles.
- Broca P (1878) Anatomie comparée des circonvolutions cérébrales. le grand lobe limbique et la scissure limbique dans la série des mammifères. *Revue d'Anthropologie*,. *Rev d'Anthropologie* 1:385–498.
- Brosch T, Pourtois G, Sander D (2010) The perception and categorisation of emotional stimuli: A review. *Cogn Emot* 24:377–400. doi: 10.1080/02699930902975754.
- Brown LA, Doan JB, McKenzie NC, Cooper SA (2006a) Anxiety-mediated gait adaptations reduce errors of obstacle negotiation among younger and older adults: implications for fall risk. *Gait posture* 24:418–423. doi: 10.1016/j.gaitpost.2005.09.013.
- Brown LA, Frank JS (1997) Postural compensations to the potential consequences of instability: kinematics. *Gait Posture* 6:89–97. doi: 10.1016/S0966-6362(96)01106.
- Brown LA, Polych MA, Doan JB (2006b) The effect of anxiety on the regulation of upright standing among younger and older adults. *Gait posture* 24:397–405. doi: 10.1016/j.gaitpost.2005.04.013.
- Brown LA, Sleik RJ, Polych MA, Gage WH (2002) Is the prioritization of postural control altered in conditions of postural threat in younger and older adults? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 57:785–792.
- Brunt D, Liu SM, Trimble M, et al (1999) Principles underlying the organization of movement initiation from quiet stance. *J Mot Behav* 31:121–128.

- Bruttini C, Esposti R, Bolzoni F, et al (2015) Temporal disruption of upper - limb anticipatory postural adjustments in cerebellar ataxic patients. *Exp Brain Res* 233:197–203. doi: 10.1007/s00221-014-4103.
- Bühler M, Vollstädt-Klein S, Klemen J, Smolka MN (2008) Does erotic stimulus presentation design affect brain activation patterns? Event-related vs. blocked fMRI designs. *Behav brain Funct* 4:30. doi: 10.1186/1744-9081-4-30.
- Burleigh-Jacobs A, Horak FB, Nutt JG, Obeso JA (1997) Step initiation in Parkinson's disease: influence of levodopa and external sensory triggers. *Mov Disord* 206–215.
- Cacioppo JT, Bert BN, Crites SL, et al (1992) Relationship between facial expressiveness and sympathetic activation in emotion: A critical review, with emphasis on modeling underlying mechanisms and individual differences. *J Pers Soc Psychol* 62:110–128.
- Cacioppo JT, Gardner WL, Berntson GG (1999) The affect system has parallel and integrative processing components: Form follows function. *J Pers Soc Psychol* 76:839–855. doi: 10.1037/0022-3514.76.5.839.
- Cacioppo JT, Priester JR, Berntson GG (1993) Rudimentary determinants of attitudes. II: Arm flexion and extension have differential effects on attitudes. *J Pers Soc Psychol* 65:5–17.
- Caderby T, Dalleau G, Leroyer P, et al (2013a) Does an additional load modify the Anticipatory Postural Adjustments in gait initiation? *Gait Posture* 37:144–146. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.06.012.
- Caderby T, Yiou E, Peyrot N, et al (2014) Influence of gait speed on the control of mediolateral dynamic stability during gait initiation. *J Biomech* 47:417–423. doi: 10.1016/j.jbiomech.2013.11.011.
- Caderby T, Yiou E, Peyrot N, et al (2013b) Detection of swing heel-off event in gait initiation using force-plate data. *Gait Posture* 37:463–466. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.08.011.
- Calder AJ, Lawrence AD, Young AW (2001) Neuropsychology of fear and loathing. *Nat Rev Neurosci* 2:352–363. doi: 10.1028/35072584.
- Carlsöö S (1966) The initiation of walking. *Acta Anat (Basel)* 65:1–9.
- Carpenter MG, Adkin AL, Brawley LR, Frank JS (2006) Postural, physiological and psychological reactions to challenging balance: does age make a difference? *Age Ageing* 35:298–303. doi: 10.1093/ageing/af1002.
- Carpenter MG, Frank JS, Adkin AL, et al (2004) Influence of postural anxiety on postural reactions to multi-directional surface rotations. *J Neurophysiol* 92:3255–3265. doi: 10.1152/jn.01139.2003.
- Carpenter MG, Frank JS, Silcher CP (1999) Surface height effects on postural control: a hypothesis for a stiffness strategy for stance. *J Vestib Res* 9:277–286.

- Carpenter MG, Frank JS, Silcher CP, Peysar GW (2001) The influence of postural threat on the control of upright stance. *Exp Brain Res* 138:210–218. doi: 10.1007/s002210100681.
- Carver CS (2004) Negative affects deriving from the behavioral approach system. *Emotion* 4:3–22. doi: 10.1037/1528-3542.4.1.3.
- Carver CS, Harmon-Jones E (2009) Anger is an approach-related affect: evidence and implications. *Psychol Bull* 135:183–204. doi: 10.1037/a0013965.
- Carver CS, Scheier MF (1998) *On the Self-Regulation of Behavior*. Cambridge University Press., Cambridge, UK.
- Carver CS, White TL (1994) Behavioral inhibition, behavioral activation, and affective responses to impending reward and punishment: The BIS/BAS Scales. *J Pers Soc Psychol* 67:319–333. doi: 10.1037//0022-3514.67.2.319.
- Centerbar DB, Clore GL (2006) Do approach-avoidance actions create attitudes? *Psychol Sci* 17:22–29. doi: 10.1111/j.1467-9280.2005.01660.
- Chabran E, Maton B, Fourment A (2002) Effects of postural muscle fatigue on the relation between segmental posture and movement. *J Electromyogr Kinesiol* 12:67–79.
- Channouf A, Rouan G (2002) Historique des liens entre émotion et cognition. In: Channouf A, Rouan G (eds) *Émotions et cognitions*. De Boeck, Bruxelles, pp 9–39.
- Charland LC (2005) The heat of emotion - Valence and the demarcation problem. *J Conscious Stud* 8:82–102.
- Chastan N, Westby GWM, Yelnik J, et al (2009) Effects of nigral stimulation on locomotion and postural stability in patients with Parkinson's disease. *Brain* 132:172–184. doi: 10.1093/brain/awn294.
- Chauvel G, Maquestiaux F, Ruthruff E, et al (2013) Novice motor performance: Better not to verbalize. *Psychon Bull Rev* 20:177–183.
- Chen M, Bargh JA (1999) Consequences of Automatic Evaluation: Immediate Behavioral Predispositions to Approach or Avoid the Stimulus. *Personal Soc Psychol Bull* 25:215–224.
- Clément G, Gurfinkel VS, Lestienne F, et al (1984) Adaptation of postural control to weightlessness. *Exp brain Res* 57:61–72.
- Cleworth TW, Horslen BC, Carpenter MG (2012) Influence of real and virtual heights on standing balance. *Gait posture* 36:172–176.
- Coelho CM, Silva CF, Santos J a., et al (2008) Contrasting the effectiveness and efficiency of virtual reality and real environments in the treatment of acrophobia. *PsychNology J* 6:203–216.

- Coelho CM, Waters AM, Hine TJ, Wallis G (2009) The use of virtual reality in acrophobia research and treatment. *J Anxiety Disord* 23:563–574. doi: 10.1016/j.janxdis.2009.01.014.
- Collomb-Clerc A, Welter ML (2015) Effects of deep brain stimulation on balance and gait in patients with Parkinson's disease: A systematic neurophysiological review. *Clin Neurophysiol* in press. doi: 10.1016/j.neucli.2015.07.001.
- Commissaris DA, Toussaint HM, Hirschfeld H (2001) Anticipatory postural adjustments in a bimanual, whole-body lifting task seem not only aimed at minimising anterior-posterior centre of mass displacements. *Gait Posture* 14:44–55.
- Cook T, Cozzens B (1976) The initiation of gait. In: Herman RM, Grillner S, Stein PSG, Stuart DG (eds) *Neural control of locomotion*. Plenum Press, New York, 65–76.
- Coppin G, Sander D (2005) Théories et concepts contemporains en psychologie de l'émotion. 1–26.
- Cordo PJ, Nashner LM (1982) Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. *J Neurophysiol* 47:287–302.
- Corr PJ (2013) Approach and Avoidance Behaviour: Multiple Systems and their Interactions. *Emot Rev* 5:285–290. doi: 10.1177/1754073913477507.
- Corr PJ (2004) Reinforcement sensitivity theory and personality. *Neurosci Biobehav Rev* 28:317–32. doi: 10.1016/j.neubiorev.2004.01.005.
- Corr PJ, DeYoung CG, McNaughton N (2013) Motivation and Personality: A Neuropsychological Perspective. *Soc Personal Psychol Compass* 7:158–175. doi: 10.1111/spc3.12016.
- Corr PJ, McNaughton N (2012) Neuroscience and approach/avoidance personality traits: a two stage (valuation-motivation) approach. *Neurosci Biobehav Rev* 36:2339–54. doi: 10.1016/j.neubiorev.2012.09.013.
- Cosmides L, Tooby J (2000) Evolutionary psychology and the emotions. In: M. Lewis, Haviland-Jones JM (eds) *Handbook of emotions*, 2nd Edition. Guilford Title, New York, 91–115.
- Couillandre A (2008) L'initiation à la marche: un paradigme intéressant pour l'étude de la coordination posture/mouvement volontaire. *Kinesither Sci* 485:19–25.
- Couillandre A, Brenière Y (2003) How does the heel-off posture modify gait initiation parameter programming? *J Mot Behav* 35:221–227. doi: 10.1080/00222890309602136.
- Couillandre A, Maton B, Brenière Y (2002) Voluntary toe-walking gait initiation: electromyographical and biomechanical aspects. *Exp brain Res* 147:313–321.

- Crenna P, Carpinella I, Rabuffetti M, et al (2006) Impact of subthalamic nucleus stimulation on the initiation of gait in Parkinson's disease. *Exp Brain Res* 172:519–532. doi: 10.1007/s00221-006-0360-7.
- Crenna P, Frigo C (1991) Paolo carlo. *J Physiol* 437:635–653.
- Crenna P, Frigo C, Giovannini P, Piccolo I (1990) The initiation of gait in Parkinson's disease. In: Marsden CD (ed) *Motor disturbances II*. Academic Press, New York, 161–173.
- Crenna P, Frigo C, Massion J, Pedotti A (1987) Forward and backward axial synergies in man. *Exp Brain Res* 65:538–548.
- Dael N, Mortillaro M, Scherer KR (2012) The Body Action and Posture Coding System (BAP): Development and Reliability. *J Nonverbal Behav* 36:97–121. doi: 10.1007/s10919-012-0130-0.
- Dalton E, Bishop M, Tillman MD, Hass CJ (2011) Simple change in initial standing position enhances the initiation of gait. *Med Sci Sports Exerc* 43:2352–2358. doi: 10.1249/MSS.0b013e318222bc82.
- Damasio A (1995) *L'erreur de Descartes: La raison des émotions*. Odile Jacob, Paris.
- Darwin C (1872) *The expression of the emotions in man and animals*. New York.
- Davalos-Bichara M, Zuniga MG, Agrawal Y, et al (2014) Forward and backward locomotion in individuals with dizziness. *Gait posture* 40:499–503. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.06.008.
- Davis JR, Campbell AD, Adkin AL, Carpenter MG (2009) The relationship between fear of falling and human postural control. *Gait posture* 29:275–279.
- Davis JR, Horslen BC, Nishikawa K, et al (2011) Human proprioceptive adaptations during states of height-induced fear and anxiety. *J Neurophysiol* 106:3082–3090. doi: 10.1152/jn.01030.2010.
- Davis M (1992) The role of the amygdala in fear and anxiety. *Annu Rev Neurosci* 15:353–375.
- De Gelder B, Snyder J, Greve D, et al (2004) Fear fosters flight: a mechanism for fear contagion when perceiving emotion expressed by a whole body. *Proc Natl Acad Sci U S A* 101:16701–6. doi: 10.1073/pnas.0407042101.
- De Vinci L (1977) *Le traité de la peinture*. (Traduction de “Trattato della Pittura”, 1498, par Keller, A). Jean de Bonnot, Paris.
- De Wolf S, Slijper H, Latash ML (1998) Anticipatory postural adjustments during self-paced and reaction-time movements. *Exp Brain Res* 121:7–19. doi: 10.1007/s002210050431

- Delval a., Tard C, Defebvre L (2014) Why we should study gait initiation in Parkinson's disease. *Neurophysiol Clin* 44:69–76. doi: 10.1016/j.neucli.2013.10.127.
- Delval A, Krystkowiak P, Blatt J-L, et al (2005) Differences in anticipatory postural adjustments between self-generated and triggered gait initiation in 20 healthy subjects. *Neurophysiol Clin Clin Neurophysiol* 35:180–190.
- Diener HC, Dichgans J, Guschlbauer B, et al (1990) Associated postural adjustments with body movement in normal subjects and patients with parkinsonism and cerebellar disease. *Rev Neurol (Paris)* 146:555–563.
- Diener HC, Dichgans J, Guschlbauer B, et al (1992) The coordination of posture and voluntary movement in patients with cerebellar dysfunction. *Mov Disord* 7:14–22. doi: 10.1002/mds.870070104.
- Dietrich G, Brenière Y, Do MC (1994) Organization of local anticipatory movements in single step initiation. *Hum Mov Sci* 13:195–210. doi: 10.1016/0167-9457(94)90036-1.
- Dignath D, Eder AB (2015) Stimulus Conflict Triggers Behavioral Avoidance. *Cogn Affect and Behav Neurosci* 1–40.
- Do MC, Brenière Y, Brenguier P (1982) A biomechanical study of balance recovery during the fall forward. *J Biomech* 15:933–939.
- Do MC, Nouillot P, Bouisset S (1991) Is balance or posture at the end of a voluntary movement programmed? *Neurosci Lett* 130:9–11.
- Dollard J, Miller NE, Doob LW, et al (1939) Frustration and aggression. Yale University Press, New Haven.
- Donnerstein E, Donnerstein M, Evans R (1975) Erotic stimuli and aggression: facilitation or inhibition. *J Pers Soc Psychol* 32:237–44.
- Donoghue O, Cronin H, Savva GM, et al (2013) Effects of fear of falling and activity restriction on normal and dual task walking in community dwelling older adults. *Gait Posture* 38:120–124.
- Duckworth KL, Bargh JA, Garcia M, Chaiken S (2002) The automatic evaluation of novel stimuli. *Psychol Sci* 13:513–519.
- Eder AB, Elliot AJ, Harmon-Jones E (2013a) Approach and Avoidance Motivation: Issues and Advances. *Emot Rev* 5:227–229. doi: 10.1177/1754073913477990.
- Eder AB, Hommel B (2013) Anticipatory Control of Approach and Avoidance: An Ideomotor Approach. *Emot Rev* 5:275–279. doi: 10.1177/1754073913477505.
- Eder AB, Rothermund K (2008) When do motor behaviors (mis)match affective stimuli? An evaluative coding view of approach and avoidance reactions. *J Exp Psychol Gen* 137:262–281. doi: 10.1037/0096-3445.137.2.262.

- Eder AB, Rothermund K (2013) Emotional Action: An Ideomotor Model.
- Eder AB, Rothermund K, De Houwer J (2013b) Affective compatibility between stimuli and response goals: A primer for a new implicit measure of attitudes. *PLoS One*. doi: 10.1371/journal.pone.0079210.
- Ekman P (1984) Expression and the nature of emotion. In: *Approaches to emotion*. 319–344.
- Ekman P (1992) An argument for basic emotions. *Cogn. Emot.* 6:169–200.
- Ekman P (1993) Facial expression and emotion. *Am. Psychol.* 48:384–392.
- Ekman P (2003) *Emotions revealed: recognizing faces and feelings to improve communication and emotional life*. Times Books, New York.
- Ekman P (1989) *Les émotions*. Delachaux & Niestlé, Neuchâtel-Paris.
- Ekman P (1999) Basic emotions. *Cognition* 98:45–60.
- Ekman P, Friesen W V (1971) Constants across cultures in the face and emotion. *J. Pers. Soc. Psychol.* 17:124–129.
- Ekman P, Friesen W V, Ellsworth P (1972) *Emotion in the Human Face: Guidelines for Research and an Integration of Findings*.
- Ekman P, Levenson RW, Friesen W V (1983) Autonomic Nervous System Activity Distinguishes among Emotions. *Science* (80-) 221:1208–1210.
- Elble RJ, Cousins R, Leffler K, Hughes L (1996) Gait initiation by patients with lower-half parkinsonism. *Brain* 119:1705–1716.
- Elble RJ, Moody C, Leffler K, Sinha R (1994) The initiation of normal walking. *Mov Disord* 9:139–146.
- Elliot AJ (2006) The Hierarchical Model of Approach-Avoidance Motivation. *Motiv Emot* 30:111–116. doi: 10.1007/s11031-006-9028-7.
- Elliot AJ (1997) No TitleIntegrating “classic” and “contemporary” approaches to achievement motivation: A hierarchical model of approach and avoidance achievement motivation. In: Pintrich P, Maehr M (eds) *Advances in motivation and achievement*. JAI Press, Greenwich, 143–179.
- Elliot AJ (1999) Approach and avoidance motivation and achievement goals.
- Elliot AJ, Eder AB, Harmon-Jones E (2013) Approach-Avoidance Motivation and Emotion: Convergence and Divergence. *Emot Rev* 5:308–311. doi: 10.1177/1754073913477517.
- Elliot AJ, Gable SL, Mapes RR (2006) Approach and Avoidance Motivation in the Social Domain. *Personal Soc Psychol Bull* 32:378–391.

- Emmelkamp PMG, Krijn M, Hulsbosch L, de Vries S (2002) Virtual reality treatment versus exposure in vivo: a comparative evaluation in acrophobia.
- Facchinetti LD, Imbiriba LA, Azevedo TM, et al (2006) Postural modulation induced by pictures depicting prosocial or dangerous contexts. *Neurosci Lett* 410:52–56. doi: 10.1016/j.neulet.2006.09.063.
- Fanselow MS (1994) Neural organization of the defensive behavior system responsible for fear. *Psychon Bull Rev* 1:429–438.
- Fawver B, Beatty GF, Naugle KM, et al (2015) Emotional State Impacts Center of Pressure Displacement Before Forward Gait Initiation. *J Appl Biomech* 31:35–40.
- Fawver B, Hass CJ, Park KD, Janelle CM (2014) Autobiographically Recalled Emotional States Impact Forward Gait Initiation as a Function of Motivational Direction.
- Feldman Barrett L (2006) Solving the emotion paradox: Categorization and the experience of emotion. *Personal Soc Psychol Rev* 10:20–46.
- Forget R, Lamarre Y (1990) Anticipatory postural adjustment in the absence of normal peripheral feedback. *Brain Res* 508:176–179.
- Förster J, Friedman RS (2013) Detour to Arrive: Distancing in Service of Approach Goals. *Emot Rev* 5:259–263. doi: 10.1177/1754073913477502.
- Fox KR (1997) *The physical self*. Human Kinetics, Champaign.
- Fox KR, Corbin CB (1989) The Physical Self Perception Profile: development and preliminary validation. *J Sport Exerc Psychol* 11:408–430.
- Frank JS, Horak FB, Nutt J (2000) Centrally initiated postural adjustments in parkinsonian patients on and off levodopa. *J Neurophysiol* 84:2440–2448.
- Friant Y (2011) Influence de la réduction de mobilité active et passive sur la capacité posturocinétique. Université Paris Sud.
- Friedli WG, Hallett M, Simon SR (1984) Postural adjustments associated with rapid voluntary arm movements 1. Electromyographic data. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 47:611–622.
- Frijda NH (1986) *The emotions*.
- Frijda NH (2009) Emotion Experience and its Varieties. *Emot Rev* 1:264–271. doi: 10.1177/1754073909103595.
- Frijda NH (1987) Emotion, cognitive structure, and action tendency. *Cogn Emot* 1:115–143. doi: 10.1080/02699938708408043.
- Frijda NH, Kuipers P, Schure ET (1989) Relations among emotion, appraisal, and emotional action readiness. *J Pers Soc Psychol* 57:212–228.

- Frijda NH, Manstead ASR, Bem S (2000) *The influence of emotions on beliefs*. Cambridge University Press.
- Frijda NH, Markam S, Sato K, Wiers R (1995) Emotions and Emotion Words. In: Russell JA, Fernandez-Dols JM, Manstead ASR, Wellenkamp JC (eds) *Everyday Conceptions of Emotion: An Introduction to the Psychology, Anthropology and Linguistics of Emotion*. Kluwer Academia, Dordrecht (Netherlands) & Boston, 121–143.
- Gage WH, Winter DA, Frank JS, Adkin AL (2004) Kinematic and kinetic validity of the inverted pendulum model in quiet standing. *Gait posture* 19:124–132. doi: 10.1016/S0966-6362(03)00037-7.
- Gagey PM, Weber B (1995) *Posturologie: Régulation et dérèglements de la station debout*. Masson, Paris.
- Gahéry Y (1987) Associated movements, postural adjustments and synergies: some comments about the history and significance of three motor concepts. *Arch Ital Biol* 125:345–360.
- Gahéry Y, Massion J (1981) Co-ordination between posture and movement. *Trends Neurosci* 4:199–202.
- Gélat T, Coudrat L, De Oliveira C (2013) The delay between emotional stimulus onset and imperative GO signal influences whole-body approach behaviour. In: *Communication presented in 15th ACAPS international congress*. Grenoble, France.
- Gélat T, Coudrat L, Le Pellec A (2011) Gait initiation is affected during emotional conflict. *Neurosci Lett* 497:64–67. doi: 10.1016/j.neulet.2011.04.030.
- Gélat T, Ferrel Chapus C (2015) Reaction time in gait initiation depends on the time available for affective processing.
- Gelfand IM, Gurfinkel VS, Tsetlin ML, Shik ML (1966) Problems in analysis of movements. In: Gelfand IM, Gurfinkel VS, Fomin S V, Tsetlin ML (eds) *Models of the structural functional organization of certain biological systems* (Amer. translation, 1971). MIT Press, Cambridge, 330–345.
- Gracq J (1951) *Le Rivage des Syrtes*, José Corti.
- Grafman J, Zalla T, Sander D (2003) The human amygdala : an evolved system for relevance detection. *Rev Neurosci* 14:303–316.
- Grasso R, Bianchi L, Lacquaniti F (1998) Motor Patterns for Human Gait : Backward Versus Forward Locomotion. *J Neurophysiol* 80:1868–1885.
- Gray JA (1968) *Animal Locomotion*. Weidenfeld & Nicolson, New York.
- Gray JA (1990) Brain systems that mediate both emotion and cognition. *Cogn Emot* 4:269–288.

- Gray JA, McNaughton N (2000) *The neuropsychology of anxiety*. Oxford University Press., Oxford.
- Grillner S, Hellgren J, Ménard A, et al (2005) Mechanisms for selection of basic motor programs - roles for the striatum and pallidum. *Trends Neurosci* 28:364–370.
- Haber SN (2003) The primate basal ganglia: Parallel and integrative networks. *J Chem Neuroanat* 26:317–330. doi: 10.1016/j.jchemneu.2003.10.003.
- Halliday SE, Winter DA, Frank JS, et al (1998) The initiation of gait in young, elderly, and Parkinson's disease subjects. *Gait Posture* 8:8–14. doi: 10.1016/S0966-6362(98)00020-4.
- Hamaoui A, Do MC, Bouisset S (2004) Postural sway increase in low back pain subjects is not related to reduced spine range of motion. *Neurosci Lett* 357:135–138.
- Hamaoui A, Friant Y, Le Bozec S (2011) Does increased muscular tension along the torso impair postural equilibrium in a standing posture ? *Gait Posture* 34:457–461.
- Hamaoui A, Hassaïne M, Zanone PG (2015) Sitting on a sloping seat does not reduce the strain sustained by the postural chain. *PLoS One* 10:e0116353.
- Harmon-Jones E, Harmon-Jones C, Price TF (2013) What is Approach Motivation? *Emot Rev* 5:291–295. doi: 10.1177/1754073913477509.
- Harter S (1985) *The Self-Perception Profile for Children*. Denver.
- Harter S (1988) Causes, correlates, and the functional role of global self-worth: a lifespan perspective. In: Strenberg RJ, Kolligian T (eds) *Competence considered*. Yale University Press, New Haven, CT, 69–97.
- Hassaïne M, Hamaoui A, Zanone PG (2015) Effect of table top slope and height on body posture and muscular activity pattern. *Ann Phys Rehabil Med* 58:86–91.
- Hauck LJ, Carpenter MG, Frank JS (2008) Task-specific measures of balance efficacy, anxiety, and stability and their relationship to clinical balance performance. *Gait posture* 27:676–682.
- Hebb DO (1949) *The organization of Behavior : A Neuropsychological Theory*. Wiley, New York.
- Henson DE, Rubin HB (1971) Voluntary control of eroticism. *J Appl Behav Anal* 4:37–44. doi: 10.1901/jaba.1971.4-37.
- Herman R, Cook T, Cozzens B, Freedman W (1973) Control of postural reactions in man: the initiation of gait. *Adv Behav Biol* 7:363–387.
- Hess WR (1943) Teleokinetisches und ereismatisches Kra ftesystem in de Biomotorik. *Helv Physiol Pharmacol Acta* 1:62–63.

- Hillman CH, Rosengren KS, Smith DP (2004) Emotion and motivated behavior: postural adjustments to affective picture viewing. *Biol Psychol* 66:51–62. doi: 10.1016/j.biopsycho.2003.07.005.
- Hof AL, Gazendam MGJ, Sinke WE (2005) The condition for dynamic stability. *J Biomech* 38:1–8. doi: 10.1016/j.jbiomech.2004.03.025.
- Honeine JL, Schieppati M, Gagey M, Do MC (2014) By counteracting gravity, triceps surae sets both kinematics and kinetics of gait.
- Horak FB, Esselman P, Anderson ME, Lynch MK (1984) The effects of movement velocity, mass displaced, and task certainty on associated postural adjustments made by normal and hemiplegic individuals. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 47:1020–1028.
- Horak FB, Macpherson JM (1996) Postural Orientation and Equilibrium. In: Rowell LB, Shepard JT (eds) *Handbook of Physiology, Exercise: Regulation and Integration of Multiple Systems*. Oxford University Press, New York, 255–292.
- Horak FB, Shupert CL, Mirka A (1989) Components of postural dyscontrol in the elderly: a review. *Neurobiol Aging* 10:727–738.
- Horslen BC, Dakin CJ, Inglis JT, et al (2014) Modulation of human vestibular reflexes with increased postural threat. *PLoS One* 9:e83064. doi: 10.1371/journal.pone.0083064.
- Huffman JL, Horslen BC, Carpenter MG, Adkin AL (2009) Does increased postural threat lead to more conscious control of posture? *Gait posture* 30:528–532. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.08.001.
- Hussein T, Yiou E, Larue J (2013) Age-related differences in motor coordination during simultaneous leg flexion and finger extension: influence of temporal pressure. *PLoS One* 8:e83064. doi: 10.1371/journal.pone.0083064.
- Hyodo M, Saito M, Ushiba J, et al (2012) Anticipatory postural adjustments contribute to age-related changes in compensatory steps associated with unilateral perturbations. *Gait Posture* 36:625–630. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.06.018.
- Ilmane N, LaRue J (2011) Postural and focal inhibition of voluntary movements prepared under various temporal constraints. *Acta Psychol (Amst)* 136:1–10. doi: 10.1016/j.actpsy.2010.08.005.
- Ilmane N, LaRue J (2008) Modulation of anticipatory postural adjustments in a complex task under different temporal constraints. *Motor Control* 12:330–347.
- Ito TA, Cacioppo JT (2000) Electrophysiological Evidence of Implicit and Explicit Categorization Processes. *J Exp Soc Psychol* 36:660–676. doi: 10.1006/jesp.2000.1430.
- Ivanenko YP, Cappellini G, Poppele RE, Lacquaniti F (2008) Spatiotemporal organization of alpha-motoneuron activity in the human spinal cord during different gaits and gait transitions. *Eur J Neurosci* 27:3351–3368. doi: 10.1111/j.1460-9568.2008.06289.

- Izard CE (1971) *The face of emotion*. Appleton-Century Crofts, New York.
- Jacobs J V, Lou JS, Kraakevik JA, Horak FB (2009) The supplementary motor area contributes to the timing of the anticipatory postural adjustment during step initiation in participants with and without Parkinson's disease. *Neuroscience* 164:877–885. doi: 10.1016/j.neuroscience.2009.08.002.
- Jian Y, Winter DA, Gilchrist L (1993) Trajectory of the body COG and COP during initiation and termination of gait. *Gait posture* 1:9–22.
- Johnsen EL, Sunde N, Mogensen PH, Ostergaard K (2010) MRI verified STN stimulation site-gait improvement and clinical outcome. *Eur J Neurol* 17:746–753.
- Kanekar N, Aruin AS (2014) The effect of aging on anticipatory postural control. *Exp brain Res* 232:1127–1136. doi: 10.1007/s00221-014-3822-3.
- Kanekar N, Santos MJ, Aruin AS (2008) Anticipatory postural control following fatigue of postural and focal muscles. *Clin Neurophysiol* 119:2304–2313.
- Kang GE, Gross MM (2015) Emotional influences on sit-to-walk in healthy young adults. *Hum Mov Sci* 40:341–351. doi: 10.1016/j.humov.2015.01.009.
- Keltner D, Ekman P (2000) Facial expression of emotion. In: Lewis M, Haviland-Jones JM (eds) *Handbook of Emotions* (2nd Ed.). The Guilford Press, New York, 236–249.
- Kemper TD (1987) How Many Emotions Are There? Wedding the Social and the Autonomic Components. *Am J Sociol* 93:263–289. doi: 10.1086/228745.
- Kim K, Lee S, Lee L (2014) Effects of Progressive Body Weight Support Treadmill Forward and Backward Walking Training on Stroke Patients' Affected Side Lower Extremity's Walking Ability. *J Phys Ther Sci* 26:1923–1927.
- Kleinginna PR, Kleinginna AM (1981) A categorized list of motivation definitions, with a suggestion for a consensual definition. *Motiv Emot* 5:263–291. doi: 10.1007/BF00993889.
- Krieglmeyer R, De Houwer J, Deutsch R (2011) How farsighted are behavioral tendencies of approach and avoidance? The effect of stimulus valence on immediate vs. ultimate distance change. *J Exp Soc Psychol* 47:622–627. doi: 10.1016/j.jesp.2010.12.021.
- Krieglmeyer R, De Houwer J, Deutsch R (2013) On the Nature of Automatically Triggered Approach-Avoidance Behavior. *Emot Rev* 5:280–284. doi: 10.1177/1754073913477501.
- Krieglmeyer R, Deutsch R, De Houwer J, De Raedt R (2010) Being moved: valence activates approach-avoidance behavior independently of evaluation and approach-avoidance intentions. *Psychol Sci a J Am Psychol Soc / APS* 21:607–613. doi: 10.1177/0956797610365131.

- Krijn M, Emmelkamp PMG, Biemond R, et al (2004) Treatment of acrophobia in virtual reality: the role of immersion and presence. *Behav Res Ther* 42:229–39. doi: 10.1016/S0005-7967(03)00139-6.
- Krishnan V, Aruin AS (2011) Postural control in response to a perturbation: role of vision and additional support. *Exp brain Res* 212:385–397. doi: 10.1007/s00221-011-2738-4.
- Kuo AD (1995) An optimal control model for analysing human postural balance. *IEEE Trans Biomed Eng* 42:87–1001.
- Laham SM, Kashima Y, Dix J, Wheeler M (2014) A meta-analysis of the facilitation of arm flexion and extension movements as a function of stimulus valence. *Cogn Emot* 1–22.
- Lane RD, Reiman EM, Bradley MM, et al (1997) Neuroanatomical correlates of pleasant and unpleasant emotion. *Neuropsychologia* 35:1437–1444.
- Lang PJ (1995) The emotion probe: Studies of motivation and attention. *Am Psychol* 50:372–385.
- Lang PJ (2000) Emotion and motivation: Attention, perception, and action. *J Sport Exerc Psychol* 20:122–144.
- Lang PJ, Bradley MM (2008a) International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual.
- Lang PJ, Bradley MM (2010) Emotion and the motivational brain. *Biol Psychol* 84:437–450. doi: 10.1016/j.biopsycho.2009.10.007.
- Lang PJ, Bradley MM (2008b) Appetitive and Defensive motivation is the substrate of emotion. In: Elliott A (ed) *Handbook of approach and avoidance motivation*. NY: Psychology Press, New York, 51–66.
- Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN (1990) Emotion, attention, and the startle reflex. *Psychol Rev* 97:377–395.
- Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN (1997) Motivated Attention: Affect, Activation, and Action. In: Lang PJ, Simons RF, Balaban MT (eds) *Attention and Orienting: Sensory and Motivational Processes*, Lawrence E. NIMH Center for the Study of Emotion and Attention, Hillsdale, N.J, 97–135.
- Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN (2005) International Affective Picture System (IAPS): Instruction Manual and Affective Ratings. Tech Rep A6 Technical Report A–6.
- Lang PJ, Davis M, Ohman A (2000) Fear and anxiety: animal models and human cognitive psychophysiology. *J Affect Disord* 61:137–59.
- Latash ML, Aruin AS, Neyman I, et al (1995a) Feed-forward postural adjustments in a simple two-joint synergy in patients with Parkinson’s disease. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 97:77–89.

- Latash ML, Aruin AS, Neyman I, Nicholas JJ (1995b) Anticipatory postural adjustments during self inflicted and predictable perturbations in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 58:326–334.
- Laufer Y (2005) Effect of Age on Characteristics of Forward and Backward Gait at Preferred and Accelerated Walking Speed. *Journals Gerontol Ser A Biol Sci Med Sci* 60:627–632. doi: 10.1093/gerona/60.5.627.
- Lavender T, Hommel B (2007) Affect and action: Towards an event-coding account. *Cogn Emot* 21:1270–1296. doi: 10.1080/02699930701438152.
- Lazarus RS (1982) Thoughts on the relations between emotion and cognition. *Am Psychol* 37:1019–1024.
- Lazarus RS (1984) *Stress, appraisal and coping*. Springer, New York.
- Le Bozec S, Bouisset S (2004) Does postural chain mobility influence muscular control in sitting ramp pushes? *Exp brain Res* 158:427–437. doi: 10.1007/s00221-004-1918.
- Le Bozec S, Bouisset S, Ribreau C (2008) Postural control in isometric ramp pushes: the role of Consecutive Postural Adjustments (CPAs). *Neurosci Lett* 448:250–254. doi: 10.1016/j.neulet.2008.10.047.
- Le Clézio JMG (1967) *L'Extase matérielle*. Gallimard.
- Le Pellec A, Maton B (1999) Anticipatory postural adjustments are associated with single vertical jump and their timing is predictive of jump amplitude. *Exp brain Res* 129:551–558.
- Le Pellec A, Maton B (2002) Initiation of a vertical jump: the human body's upward propulsion depends on control of forward equilibrium. *Neurosci Lett* 323:183–186. doi: 10.1016/S0304-3940(02)00129-5.
- LeDoux JE (1996) *The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotional Life*. Simon and Schuster, New York.
- LeDoux JE (1990) Information flow from sensation to emotion: Plasticity in the neural computation of stimulus value. In: Gabriel M, Moore J (eds) *Learning and computational neuroscience Foundations of adaptive networks*. MIT Press, 3–51.
- LeDoux JE, Iwata J, Cicchetti P, Reis DJ (1988) Different projections of the central amygdaloid nucleus mediate autonomic and behavioral correlates of conditioned fear. *J Neurosci* 8:2517–2529.
- LeDoux JE, Phelps EA (1995) Emotional Networks in the Brain. In: Lewis M, Haviland-Jones JM, Barette LF (eds) *Handbook of emotion (Third Edition)*. Guilford Press, New York, 159–169.
- LeDoux JE, Sakaguchi A, Reis DJ (1983) Strain differences in fear between spontaneously hypertensive and normotensive rats. *Brain Res* 277:137–143.

- Lee WA, Buchanan TS, Rogers MW (1987) Effects of arm acceleration and behavioral conditions on the organization of postural adjustments during arm flexion. *Exp Brain Res* 66:257–270.
- Lee WA, Michaels CF, Pai YC (1990) The organization of torque and EMG activity during bilateral handle pulls by standing human. *Exp brain Res* 82:304–314.
- Lepers R, Brenière Y (1995) The role of anticipatory postural adjustments and gravity in gait initiation. *Exp Brain Res* 107:118–124.
- Leveau N, Jhean-Larose S, Denhière G (2011) EMOVAL : évaluation automatique de la valence et de l'activation émotionnelles des textes à l'aide d'une méta-norme de 5656 mots-racines. *Psychol Française* 56:209–221. doi: 10.1016/j.psfr.2011.10.001.
- Lewin K (1935) *A dynamic theory of personality*. McGraw Hill, New York.
- Lino F, Duchêne FL, Bouisset S (1992) Effect of seat contact area on the velocity of a pointing task. In: Belloti P, Capozzo A (eds) *Biomechanics*. Università La Sapienza, p 232.
- Lipshits MI, Mauritz K, Popov KE (1981) Quantitative analysis of anticipatory postural components of a complex voluntary movement. *Hum Physiol* 7:165–173.
- Liu W, McIntire K, Kim SH, et al (2006) Bilateral subthalamic stimulation improves gait initiation in patients with Parkinson's disease. *Gait Posture* 23:492–498. doi: 10.1016/j.gaitpost.2005.06.012.
- Lord SR, Clark RD, Webster IW (1991) Postural stability and associated physiological factors in a population of aged persons. *J Gerontol* 46:69–76.
- Luccarini P, Gahéry Y, Pompeiano O (1990) Cholinoceptive pontine reticular structures modify the postural adjustments during the limb movements induced by cortical stimulation. *Arch Ital Biol* 128:19–45.
- Luminet O (2004) *Psychologie des émotions : confrontation et évitement*. De Boeck Université, Bruxelles.
- Lyon IN, Day BL (1997) Control of frontal plane body motion in human stepping. *Exp brain Res* 115:345–356.
- MacKinnon CD, Bissig D, Chiusano J, et al (2007) Preparation of anticipatory postural adjustments prior to stepping. *J Neurophysiol* 97:4368–4379. doi: 10.1152/jn.01136.2006.
- MacLean PD (1993) Cerebral evolution of emotion. In: Lewis M, Haviland JM (eds) *Handbook of emotions*. Guilford Press, New York, 67–83.
- Maki B (1997) Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear. *J Am Geriatr Soc* 45:313–320.

- Maki BE, Edmondstone MA, McIlroy WE (2000) Age-Related Differences in Laterally Directed Compensatory Stepping Behavior. *Journals Gerontol. Ser. A Biol. Sci. Med. Sci.* 55:270–277.
- Maki BE, Holliday PJ, Topper AK (1991) Fear of falling and postural performance in the elderly. *J Gerontol* 46:M123–131.
- Maki BE, McIlroy WE (2006) Control of rapid limb movements for balance recovery: age-related changes and implications for fall prevention. *Age Ageing* 35:53–59. doi: 10.1093/ageing/afl078.
- Mandler G (1984) *Mind and Body*. Norton, New York.
- Mann RA, Hagy JL, White V, Liddell D (1979) The initiation of gait. *J Bone Jt Surg* 61:232–239.
- Marigold DS, Eng JJ, Dawson AS, et al (2005) Exercise leads to faster postural reflexes, improved balance and mobility, and fewer falls in older persons with chronic stroke. *J Am Geriatr Soc* 53:416–423.
- Marsh AA, Ambady N, Kleck RE (2005) The effects of fear and anger facial expressions on approach- and avoidance-related behaviors. *Emotion* 5:119–124. doi: 10.1037/1528-3542.5.1.119.
- Marsh HW, Shavelson R (1985) Self-concept: its multifaceted hierarchical structure. *Educ Psychol* 20:107–123.
- Mason JW (1975) Emotion as reflected in patterns of endocrine integration. In: Levi L (ed) *Emotions*. Raven Press, New York, 143–181.
- Massion J (1997) *Cerveau et motricité. Fonctions sensori-motrices., Pratiques . Presses Universitaires de France, Paris.*
- Massion J (1992) Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. *Prog Neurobiol* 38:35–56.
- Mazzone P, Paoloni M, Mangone M, et al (2014) Unilateral deep brain stimulation of the pedunculopontine tegmental nucleus in idiopathic Parkinson's disease: Effects on gait initiation and performance. *Gait Posture* 40:357–362. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.05.002.
- McIlroy WE, Maki BE (1993) Do anticipatory postural adjustments precede compensatory stepping reactions evoked by perturbation? *Neurosci Lett* 164:199–202.
- McIlroy WE, Maki BE (1999) The control of lateral stability during rapid stepping reactions evoked by antero-posterior perturbation: does anticipatory control play a role? *Gait posture* 9:190–198.

- McLean PD (1952) Some psychiatric implications of physiological studies on fronto-temporal portions of the limbic system (visceral brain). *Electroencephal. Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 4:407–418.
- McNaughton N, Corr PJ (2004) A two-dimensional neuropsychology of defense: fear/anxiety and defensive distance. *Neurosci Biobehav Rev* 28:285–305. doi: 10.1016/j.neubiorev.2004.03.005.
- McNeely ME, Hershey T, Campbell MC, et al (2011) Effects of deep brain stimulation of dorsal versus ventral subthalamic nucleus regions on gait and balance in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 82:1250–1255.
- Mehrabian A (1968) Communication without words. *Psychol Today* 8–9.
- Mezaour M, Yiou E, Le Bozec S (2010) Effect of lower limb muscle fatigue on anticipatory postural adjustments associated with bilateral-forward reach in the unipedal dominant and non-dominant stance. *Eur J Appl Physiol* 110:1187–1197. doi: 10.1007/s00421-010-1595-3.
- Michel V, Do MC (2002) Are stance ankle plantar flexor muscles necessary to generate propulsive force during human gait initiation? . *Neurosci Lett* 325:139–143.
- Mickelborough J, Van der Linden ML, Tallis RC, Ennos AR (2004) Muscle activity during gait initiation in normal elderly people. *Gait Posture* 19:50–57.
- Mihara M, Miyai I, Hatakenaka M, et al (2008) Role of the prefrontal cortex in human balance control. *Neuroimage* 43:329–336. doi: 10.1016/j.neuroimage.2008.07.029.
- Mille ML, Johnson ME, Martinez KM, Rogers MW (2005) Age dependent differences in lateral balance recovery through protective stepping. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 20:607–616.
- Mille ML, Mouchnino L (1998) Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Neurosci Lett* 242:61–64.
- Mogenson GJ, Jones DL, Yim CY (1980) From motivation to action: functional interface between the limbic system and the motor system. *Prog Neurobiol* 14:69–97.
- Monjo F, Forestier N (2014) Movement unpredictability and temporal constraints affect the integration of muscle fatigue information into forward models. *Neuroscience* 277:584–594. doi: 10.1016/j.neuroscience.2014.07.055.
- Morris JS, Frith CD, Perrett DI, et al (1996) A differential neural response in the human amygdala to fearful and happy facial expressions. *Nature* 383:812–815.
- Morris M, Iansek R, Smithson F, Huxham F (2000) Postural instability in Parkinson's disease: A comparison with and without a concurrent task. *Gait Posture* 205–216.
- Morris SL, Allison GT (2006) Effects of abdominal muscle fatigue on anticipatory postural adjustments associated with arm raising. *Gait Posture* 24:342–348.

- 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. *J Neurophysiol* 67:1587–1598.
- Mouchnino L, Aurenty R, Massion J, Pedotti A (1993) Is the trunk a reference frame for calculating leg position? *Neuroreport* 4:125–127.
- Mouchnino L, Aurenty R, Massion J, Pedotti A (1991) Stratégies de contrôle simultané de l'équilibre et de la position de la tête pendant l'élévation d'une jambe. *Comptes Rendus l'Académie des Sci III* 312:225–232.
- Mouchnino L, Blouin J (2013) When standing on a moving support, cutaneous inputs provide sufficient information to plan the anticipatory postural adjustments for gait initiation. *PLoS One* 8:1–8. doi: 10.1371/journal.pone.0055081.
- Mouchnino L, Mesure S, Lizee E (1998) Is the spinal column a rigid or articulated axis during leg movement? *Hum Mov Sci* 17:289–306.
- Mouchnino L, Robert G, Ruget H, et al (2012) Online control of anticipated postural adjustments in step initiation: evidence from behavioral and computational approaches. *Gait posture* 35:616–620. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.12.009.
- Murray MP, Seireg A, Scholz RC (1967) Center of gravity, center of pressure, and supportive forces during human activities. *J Appl Physiol* 23:831–838.
- Nadeau S, Amblard B, Mesure S, Bourbonnais D (2003) Head and trunk stabilization strategies during forward and backward walking in healthy adults. *Gait posture* 18:134–142.
- Nardone A, Schieppati M (1988) Postural adjustments associated with voluntary contraction of leg muscles in standing man. *Exp Brain Res* 69:469–480. doi: 10.1007/BF00247301.
- Naugle KM, Hass CJ, Janelle CM (2012) Emotional state affects gait initiation in individuals with Parkinson's disease. *Cogn Affect Behav Neurosci* 12:207–219. doi: 10.3758/s13415-011-0071-9.
- Naugle KM, Hass CJ, Joyner J, et al (2011) Emotional state affects the initiation of forward gait. *Emotion* 11:267–277. doi: 10.1037/a0022577.
- Naugle KM, Joyner J, Hass CJ, Janelle CM (2010) Emotional influences on locomotor behavior. *J Biomech* 43:3099–3103. doi: 10.1016/j.jbiomech.2010.08.008.
- Newton I (1759) *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*. Desaint et Saillant (À Paris), Paris.
- Ng THB, Sowman PF, Brock J, Johnson BW (2011) Premovement brain activity in a bimanual load-lifting task. *Exp Brain Res* 208:189–201. doi:10.1007/s00221-010-2470-5.

- Ng THB, Sowman PF, Brock J, Johnson BW (2013) Neuromagnetic brain activity associated with anticipatory postural adjustments for bimanual load lifting. *Neuroimage* 66:343–352. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.10.042.
- Niedenthal PM, Halberstadt JB, Innes-Ker AH (1999) Emotional response categorization. *Psychol Rev* 106:337–361.
- Ninot G, Delignières D, Fortes M (2000) L'Evaluation de l'Estime de Soi dans le Domaine Corporel. *STAPS* 53:35–48.
- Nissan M, Whittle MW (1990) Initiation of gait in normal subjects: a preliminary study. *J Biomed Eng* 12:165–171.
- Nougier V, Teasdale N, Bard C, Fleury M (1999) Modulation of anticipatory postural adjustments in a reactive and a self-triggered mode in humans. *Neurosci Lett* 260:109–112.
- Nouillot P, Bouisset S, Do MC (1992) Do fast voluntary movements necessitate anticipatory postural adjustments even if equilibrium is unstable? *Neurosci Lett* 147:1–4.
- Nouillot P, Do MC, Bouisset S (2000) Are there anticipatory segmental adjustments associated with lower limb flexions when balance is poor in humans? *Neurosci Lett* 279:77–80. doi: 10.1016/S0304-3940(99)00947-7
- Oddsson L (1990) Control of voluntary trunk movements in man. Mechanisms for postural equilibrium during standing. *Acta Physiol Scand* 140:595.
- Öhman A (1995) Fear and Anxiety. In: Lewis M, Haviland-Jones JM, Barette LF (eds) *Handbook of emotion (Third Edition)*. Guilford Press, New York, 709–729.
- Öhman A (2005) The role of the amygdala in human fear: automatic detection of threat. *Psychoneuroendocrinology* 30:953–8. doi: 10.1016/j.psyneuen.2005.03.019.
- Öhman A (2000) Fear and anxiety: Evolutionary, cognitive, and clinical perspectives. In: Lewis M, Haviland-Jones JM (eds) *Handbook of emotions (Second Edition)*. Guilford Press, New York, 573–593.
- Öhman A, Mineka S (2001) Fears, phobias, and preparedness: toward an evolved module of fear and fear learning. *Psychol Rev* 108:483–522. doi: 10.1037/0033-295X.108.3.483
- Öhman A, Soares JJ (1998) Emotional conditioning to masked stimuli: Expectancies for aversive outcomes following nonrecognized fear-relevant stimuli. *J Exp Psychol Gen* 127:69–82.
- Okada S, Hirakawa K, Takada Y, Kinoshita H (2001) Relationship between fear of falling and balancing ability during abrupt deceleration in aged women having similar habitual physical activities. *Eur J Appl Physiol* 85:501–506. doi: 10.1007/s004210100437.
- Ortony A, Turner TJ (1990) What 's Basic About Basic Emotions ? *Psychol Rev* 97:315–331. doi: 10.1037/0033-295X.97.3.315.

- Osgood CE (1953) *Method and theory in experimental psychology*. Oxford University Press, New York.
- Osgood CE (1952) The nature and measurement of meaning. In: *Psychological bulletin*. 197–272.
- Osgood CE (1966) Dimensionality of the semantic space for communication via facial expressions. *Scand J Psychol* 7:1–30.
- Osgood CE, Suci GJ (1955) Factor analysis of meaning. *J Exp Psychol* 50:325–338.
- Page A, Ashford B, Fox KR, Biddle SJH (1993) Evidence of cross-cultural validity for the physical self-perception profile. *Pers Individ Differ* 14:585–590.
- Pai YC, Patton J (1997) Center of mass velocity-position predictions for balance control. *J Biomech* 30:347–354.
- Paillard J (1976) Tonus, postures et mouvements. In: Kayser C (ed) *Physiologie*. Flammarion, Paris, 521–728.
- Papez JW (1937) A proposed mechanism of emotion. *Arch Neurol Psychiatry* 79:217–224.
- Patla A, Frank J, Winter D (1990) Assessment of balance control in the elderly: Major issues. *Physiother Canada* 42:898–897.
- Patton JL, Pai YC, Lee WA (1999) Evaluation of a model that determines the stability limits of dynamic balance. *Gait posture* 9:38–49.
- Pavlov IP (1927) *Conditioned reflexes*. Routledge and Kegan Paul, London.
- Perkins AM, Corr PJ (2006) Reactions to threat and personality: psychometric differentiation of intensity and direction dimensions of human defensive behaviour. *Behav Brain Res* 169:21–28. doi: 10.1016/j.bbr.2005.11.027.
- Phelps E a, O'Connor KJ, Gatenby JC, et al (2001) Activation of the left amygdala to a cognitive representation of fear. *Nat Neurosci* 4:437–441. doi: 10.1038/86110
- Pickering AD, Corr PJ (2008) JA Gray's reinforcement sensitivity theory (RST) of personality. In: Boyle G, Matthews G, Saklofske D (eds) *The SAGE Handbook of Personality Theory Assessment: Volume 1 - Personality and models*. SAGE publications Ltd, London, 239–257.
- Piolat A, Bannour R (2008) Emotions et affects : contribution de la psychologie cognitive. In: Nagy P, Boquet D (eds) *Le sujet des émotions au Moyen Age*. Beauchesne Editeur, Paris, 53–84.
- Plutchik R (1980) *Emotion: A Psychoevolutionary Synthesis*. Harper and Row, New York.
- Plutchik R (1984) A psychoevolutionary theory of emotions. *Soc Sci Inf Stud* 21:529–552.

- Plutchik R (2005) *Emotions and Life. Perspectives from Psychology, Biology, and Evolution.* APA, Washington, DC.
- Plutchik R (1977) *Cognitions in the Service of Emotions : An Evolutionary Perspective.* In: Candland DK, Fell JP, Keen E, et al. (eds) *Emotions.* Brooks/Cole, Monterey.
- Pollick FE, Paterson HM, Bruderlin A, Sanford AJ (2001) Perceiving affect from arm movement. *Cognition* 82:B51–B61.
- Porges SW (2003) Social engagement and attachment: a phylogenetic perspective. *Ann N Y Acad Sci* 1008:31–47.
- Pribram KH (1980) The biology of emotions and other feelings. In: Plutchik R, Kellerman H (eds) *Emotion : theory, research, and experience, Vol. I : Theories of emotion.* Academic Press, New York.
- Prince F, Corriveau H, Hébert R, Winter DA (1997) Gait in the elderly.
- Ramirez F, Moscarello JM, LeDoux JE, Sears RM (2015) Active avoidance requires a serial Basal amygdala to nucleus accumbens shell circuit. *J Neurosci* 35:3470–3477. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1331-14.2015.
- Ramos CF, Stark LW (1990) Postural maintenance during movement: simulations of a two joint model. *Biol Cybern* 63:363–375.
- Raymakers JA, Samson MM, Verhaar HJJ (2005) The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). *Gait Posture* 21:48–58. doi: 10.1016/j.gaitpost.2003.11.006.
- Richard D, Orsal D (2007) *Neurophysiologie. Organisation et fonctionnement du système nerveux.* Dunod.
- Rinck M, Becker ES (2007) Approach and avoidance in fear of spiders. *J Behav Ther Exp Psychiatry* 38:105–120.
- Rinn WE (1984) The neuropsychology of facial expression : A review of the neurological and psychological mechanisms for producing facial expression. *Psychol Bull* 95:52–77.
- Robert G, Blouin J, Ruget H, Mouchnino L (2007) Coordination between postural and movement controls: Effect of changes in body mass distribution on postural and focal component characteristics. *Exp Brain Res* 181:159–171. doi:10.1007/s00221-007-0916-1.
- Rocchi L, Carlson-Kuhta P, Chiari L, et al (2012) Effects of Deep Brain Stimulation in Subthalamic. *J Neurosurg* 117:1141–1149. doi: 10.3171/2012.8.JNS112006.
- Rochat S, Bula CJ, Martin E, et al (2010) What is the relationship between fear of falling and gait in well-functioning older persons aged 65 to 70 years? *Arch Phys Med Rehabil* 91:879–884.

- Roelofs K, Hagens MA, Stins J (2010) Facing freeze: social threat induces bodily freeze in humans. *Psychol Sci* 21:1575–1581. doi: 10.1177/0956797610384746.
- Rogers MW, Hedman LD, Johnson ME, et al (2001) Lateral stability during forward-induced stepping for dynamic balance recovery in young and older adults. *Journals Gerontol Ser A Biol Sci Med Sci* 56:589–594.
- Rogers MW, Mille ML (2003) Lateral stability and falls in older people. *Exerc Sport Sci Rev* 31:182–187. doi: 10.1097/00003677-200310000-00005.
- Rogers MW, Pai YC (1990) Dynamic transitions in stance support accompanying leg flexion movements in man. *Exp Brain Res* 81:398–402.
- Romberg MH (1953) *Manuel of nervous disease man*. Sydeham Society, London.
- Rotteveel M, Phaf RH (2004) Automatic affective evaluation does not automatically predispose for arm flexion and extension. *Emotion* 4:156–172. doi: 10.1037/1528-3542.4.2.156.
- Rougier PR (2007a) How visual feedback of decomposed movements of the center of pressure trajectories affects undisturbed postural control of healthy individuals. *IEEE Trans Biomed Eng* 54:813–820. doi: 10.1109/TBME.2006.889159.
- Rougier PR (2007b) Relative contribution of the pressure variations under the feet and body weight distribution over both legs in the control of upright stance. *J Biomech* 40:2477–2482. doi: 10.1016/j.jbiomech.2006.11.003.
- Rugé H, Blouin J, Teasdale N, Mouchnino L (2008) Can prepared anticipatory postural adjustments be updated by proprioception? *Neuroscience* 155:640–648. doi: 10.1016/j.neuroscience.2008.06.021.
- Russell JA (1980) A Circumplex Model of Affect. *J Pers Soc Psychol* 39:1161–1178.
- Russell JA (2009) Emotion, core affect, and psychological construction. *Cogn Emot* 23:1259–1283. doi: 10.1080/02699930902809375.
- Russell JA (1978) Evidence of convergent validity on the dimensions of affect. *J Pers Soc Psychol* 36:1152–1168. doi: 10.1037/0022-3514.36.10.1152.
- Russell JA (2003) Core affect and the psychological construction of emotion. *Psychol Rev* 110:145–172.
- Russell JA (1991) Culture and the categorization of emotions. *Psychol Bull* 110:426–450. doi: 10.1037/0033-2909.110.3.426.
- Russell JA, Barrett LF (1999) Core affect, prototypical emotional episodes, and other things called emotion: dissecting the elephant. *J Pers Soc Psychol* 76:805–819. doi: 10.1037/0022-3514.76.5.805.

- Russell JA, Mehrabian A (1977) Evidence for a Three Factor Theory of Emotions. *J. Res. Pers.* 11:273–294.
- Sander D, Scherer KR (2009) la psychologie des émotions : Survol des théories et débats essentiels. In: Sander D, Scherer KR (eds) *Traité de psychologie des émotions*. Dunod, Paris, 1– 39.
- Santos MJ, Kanekar N, Aruin AS (2010) The role of anticipatory postural adjustments in compensatory control of posture: 2. Biomechanical analysis. *J Electromyogr Kinesiol* 20:398–405.
- Schachter S (1964) The interaction of cognitive and physiological determinants of emotional state. In: *Advances in experimental social psychology* (vol.1). Academic Press, New York, 49–80
- Schachter S, Singer JE (1962) Cognitive, social, and Physiological Determinants of Emotional State. *Psychol Rev* 69:379–399.
- Schepens B, Drew T (2003) Strategies for the integration of posture and movement during reaching in the cat. *J Neurophysiol* 90:3066–3086. doi: 10.1152/jn.00339.2003.
- Schepens B, Drew T (2006) Descending signals from the pontomedullary reticular formation are bilateral, asymmetric, and gated during reaching movements in the cat. *J Neurophysiol* 96:2229–2252. doi: 10.1152/jn.00342.2006.
- Scherer KR (2001) Appraisals considered as a process of multilevel sequential checking. In: Scherer KR, Schorr A, Johnstone T (eds) *Appraisal processes in emotion: Theory, methods, research*. Oxford University Press, New York, 92– 120.
- Scherer KR (2009) Emotions are emergent processes: they require a dynamic computational architecture. *Philos Trans R Soc* 364:3459–3474. doi: 10.1098/rstb.2009.0141.
- Scherer KR (2003) Vocal communication of emotion: A review of research paradigms. *Speech Commun* 40:227–256. doi: 10.1016/S0167-6393(02)00084-5.
- Scherer KR (1984) Les émotions: fonctions et composantes. *Cah Psychol Cogn* 4:9–39.
- Scherer KR (1993) Neuroscience projections to current debates in emotion psychology. *Cogn Emot* 7:1–41. doi: 10.1080/02699939308409174.
- Scherer KR (2005) What are emotions? And how can they be measured? *Soc Sci Inf* 44:695–729. doi: 10.1177/0539018405058216.
- Scherer KR (2010) Emotion and emotional competence: conceptual and theoretical issues for modeling agents. In: Scherer KR, Bänziger T, Roesch E (eds) *A Blueprint for Affective Computing: A Sourcebook and Manual*. Oxford University Press, New York, 3–20.
- Scherer KR, Wallbott HG, Summerfield AB (1986) *Experiencing Emotion: A Cross-Cultural Study*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Schlosberg H (1952) The description of facial expression on terms of two dimensions. *J Exp Psychol* 44:229–237.
- Schlosberg H (1954) Three dimensions of emotion. *Psychol Rev* 61:81–88.
- Schneirla TC (1959) An evolutionary and developmental theory of biphasic processes underlying approach and withdrawal. In: Jones MR (ed) *Nebraska Symposium On Motivation*. University of Nebraska Press, 1–42.
- Seibt B, Neumann R, Nussinson R, Strack F (2008) Movement direction or change in distance? Self- and object-related approach–avoidance motions. *J Exp Soc Psychol* 44:713–720. doi: 10.1016/j.jesp.2007.04.013.
- Shaffer SW, Harrison AL (2007) Aging of the somatosensory system: a translational perspective. *Phys Ther* 87:193–207. doi: 10.2522/ptj.20060083.
- Sherrington C, Tiedemann A, Fairhall N, et al (2011) Exercise to prevent falls in older adults: an updated meta-analysis and best practice recommendations. *N S W Public Health Bull* 22:78–83.
- Sibley KM, Carpenter MG, Perry JC, Frank JS (2007) Effects of postural anxiety on the soleus H-reflex. *Hum Mov Sci* 26:103–12. doi: 10.1016/j.humov.2006.09.004.
- Singer JC, Prentice SD, McIlroy WE (2013) Age-related changes in mediolateral dynamic stability control during volitional stepping. *Gait Posture* 38:679–683.
- Slijper H, Latash ML, Mordkoff JT (2002) Anticipatory postural adjustments under simple and choice reaction time conditions. *Brain Res* 924:184–197.
- Snijders T, Bosker R (1999) *Multilevel analysis: an introduction to basic and advanced multilevel modeling*. Sage, London.
- Solarz AK (1960) Latency of instrumental responses as a function of compatibility with the meaning of eliciting verbal signs. *J Exp Psychol* 59:2392–45.
- Sonstroem RJ, Morgan WP (1989) Exercise and self-esteem: rationale and model. *Med Sci Sports Exerc* 21:329–337.
- Sprengelmeyer R, Rausch M, Eysel UT, Przuntek H (1998) Neural structures associated with recognition of facial expressions of basic emotions. In: *Proceedings of the Royal Society of London. Series B*. 1927–1931.
- Stapley PJ, Pozzo T, Cheron G, Grishin A (1999) Does the coordination between posture and movement during human whole-body reaching ensure center of mass stabilization? *Exp Brain Res* 129:134–146.
- Stapley PJ, Pozzo T, Grishin A (1998) The role of anticipatory postural adjustments during whole body forward reaching movements. *Neuroreport* 9:395–401.

- Stins JF, Beek PJ (2007) Effects of affective picture viewing on postural control. *BMC Neurosci* 8:83. doi: 10.1186/1471-2202-8-83.
- Stins JF, Beek PJ (2011) Organization of voluntary stepping in response to emotion-inducing pictures. *Gait posture* 34:164–168. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.04.002.
- Stins JF, Roelofs K, Villan J, et al (2011a) Walk to me when I smile, step back when I'm angry: emotional faces modulate whole-body approach–avoidance behaviors. *Exp Brain Res* 212:603–611.
- Stins JF, Roerdink M, Beek PJ (2011b) To freeze or not to freeze? Affective and cognitive perturbations have markedly different effects on postural control. *Hum Mov Sci* 30:190–202. doi: 10.1016/j.humov.2010.05.013.
- Stins JF, van Gelder LMA, Oudenhoven LM, Beek PJ (2015) Biomechanical organization of gait initiation depends on the timing of affective processing. *Gait posture* 41:159–163. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.09.020.
- Strang AJ, Berg WP (2007) Fatigue-induced adaptive changes of anticipatory postural adjustments. *Exp brain Res* 178:49–61.
- Strang AJ, Berg WP, Hieronymus M (2009) Fatigue-induced early onset of anticipatory postural adjustments in non-fatigued muscles: support for a centrally mediated adaptation. *Exp brain Res* 197:245–254.
- Strang AJ, Choi HJ, Berg WP (2008) The effect of exhausting aerobic exercise on the timing of anticipatory postural adjustments. *J Sports Med Phys Fitness* 48:9–16.
- Tagliabue M, Ferrigno G, Horak F (2009) Effects of Parkinson's disease on proprioceptive control of posture and reaching while standing. *Neuroscience* 158:1206–1214. doi: 10.1016/j.neuroscience.2008.12.007.
- Teyssèdre C, Lino F, Zattara M, Bouisset S (2000) Anticipatory EMG patterns associated with preferred and non-preferred arm pointing movements. *Exp Brain Res* 134:435–440.
- Thorstensson A (1986) How is the normal locomotor program modified to produce backward walking? *Exp brain Res* 61:664–668.
- Tiedemann A, Sherrington C, Close JC, Lord SR (2011) Exercise and Sports Science Australia position statement on exercise and falls prevention in older people. *J Sci Med Sport* 14:489–495.
- Timmann D, Horak FB (1998) Perturbed step initiation in cerebellar subjects: 1. Modification of postural responses. *Exp brain* 119:73–84.
- Tonolli I, Aurenty R, Lee RG, et al (2000) Lateral leg raising in patients with Parkinson's disease: Influence of equilibrium constraint. *Mov Disord* 15:850–861.

- Uemura K, Yamada M, Nagai K, et al (2012) Fear of falling is associated with prolonged anticipatory postural adjustment during gait initiation under dual-task conditions in older adults. *Gait posture* 35:282–286. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.09.100.
- Vallabhajosula S, Haq IU, Hwynn N, et al (2015) Vallabhajosula S, Haq IU, Hwynn N, Oyama G, Okun M, Tillman MD, et al. Low-frequency versus high-frequency subthalamic nucleus deep brain stimulation on postural control and gait in Parkinson's disease: a quantitative study. *Brain Stimul* 8:64–75.
- Van Dantzig S, Pecher D, Zwaan RA (2008) Approach and avoidance as action effects. *Q J Exp Psychol (Hove)* 61:1298–1306. doi: 10.1080/17470210802027987.
- Van den Stock J, Righart R, de Gelder B (2007) Body expressions influence recognition of emotions in the face and voice. *Emotion* 7:487–494. doi: 10.1037/1528-3542.7.3.487.
- Van der Fits IB, Klip AW, van Eykern LA, Hadders-Algra M (1998) Postural adjustments accompanying fast pointing movements in standing, sitting and lying adults. *Exp brain Res* 120:202–216.
- Van Deursen RW, Flynn TW, McCrory JL, Morag E (1998) Does a single control mechanism exist for both forward and backward walking? *Gait posture* 7:214–224.
- Vernazza-Martin S, Longuet S, Damry T, et al (2015) When locomotion is used to interact with the environment: investigation of the link between emotions and the twofold goal-directed locomotion in humans. *Exp Brain Res*. doi: 10.1007/s00221-015-4361-2.
- Viallet F, Massion J, Massarino R, Khalil R (1987) Performance of a bimanual load-lifting task by parkinsonian patients. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 50:1274–1283.
- Viallet F, Massion J, Massarino R, Khalil R (1992) Coordination between posture and movement in a bimanual load lifting task: putative role of a medial frontal region including the supplementary motor area. *Exp brain Res* 88:674–684.
- Viggiano D, Travaglio M, Cacciola G, Costanzo AD (2015) Effect of backward walking on attention : possible application on a DHD. *Transl Med* 11:48–54.
- Vuillerme N, Nougier V, Teasdale N (2002) Effects of lower limbs muscular fatigue on anticipatory postural adjustments during arm motions in humans. *J Sports Med Phys Fitness* 42:289–294.
- Wacker J, Heldmann M, Stemmler G (2003) Separating emotion and motivational direction in fear and anger: effects on frontal asymmetry. *Emotion* 3:167–193. doi: 10.1037/1528-3542.3.2.167.
- Watson D, Tellegen A (1985) Toward a consensual structure of mood. *Psychol Bull* 98:219–235.
- Wells LE, Marwell G (1976) *Self-esteem: its conceptualization and measurement*. Sage, Beverly Hills, CA.

- Welter ML, Demain A, Ewencyk C, et al (2015) PPNa-DBS for gait and balance disorders in Parkinson's disease: a double-blind, randomised study. *J Neurol* 262:1515–1525. doi: 10.1007/s00415-015-7744-1.
- Winter DA (1990) *Biomechanics and motor control of human movement*. University of Waterloo, Waterloo.
- Winter DA (1995) *A.B.C (Anatomy, Biomechanics and Control) of balance during standing and walking*. Waterloo biomechanics, Waterloo.
- Winter DA, Pluck N, Yang JF (1989) Backward Walking: A Simple Reversal of Forward Walking? *J Mot Behav* 21:291–305. doi: 10.1080/00222895.1989.10735483.
- Winter DA, Prince F, Frank JS, et al (1996) Unified theory regarding A/P and M/L balance in quiet stance. *J Neurophysiol* 75:2334–2343.
- Woodworth RS (1938) *Experimental Psychology*. Holt, New York.
- Yamashita T, Katoh R (1976) Moving patterns of point of application of vertical resultant force during level walking. *J Biomech* 9:93–99.
- Yang YR, Yen JG, Wang RY, et al (2005) Gait outcomes after additional backward walking training in patients with stroke : a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 19:264–273. doi: 10.1191/0269215505cr860oa.
- Yardley L (1998) Fear of imbalance and falling. *Rev Clin Gerontol* 1–24.
- Yardley L (2004) Fear of Falling: links between imbalance and anxiety. *Rev Clin Gerontol* 13:195–201.
- Yehuda R, Boisoneau D, Mason JW, Giller EL (1993) Glucocorticoid receptor number and cortisol excretion in mood, anxiety, and psychotic disorders. *Biol Psychiatry* 34:18–25. doi: 10.1016/0006-3223(93)90252-9.
- Yiou E, Caderby T, Hussein T (2012a) Adaptability of anticipatory postural adjustments associated with voluntary movement. *World J Orthop* 3:75–86. doi: 10.5312/wjo.v3.i6.75.
- Yiou E, Deroche T, Do MC, Woodman T (2011a) Influence of fear of falling on anticipatory postural control of medio-lateral stability during rapid leg flexion. *Eur J Appl Physiol* 111:611–620.
- Yiou E, Ditcher S, Le Bozec S (2011b) Biomechanical reorganisation of stepping initiation during acute dorsiflexor fatigue. *J Electromyogr Kinesiol* 21:727–733. doi: 10.1016/j.jelekin.2011.04.008.
- Yiou E, Do MC (2010) Control of mediolateral stability during rapid step initiation with preferred and non-preferred leg: is it symmetrical? *Gait Posture* 32:145–147.

- Yiou E, Do MC (2011) Effects of medio-lateral postural perturbation induced by voluntary arm raising on the biomechanical organization of rapid step initiation. *Motor Control* 15:507–524.
- Yiou E, Fourcade P, Artico R, Caderby T (2015) Influence of temporal pressure constraint on the biomechanical organization of gait initiation made with or without an obstacle to clear. *Exp Brain Res*. doi: 10.1007/s00221-015-4319-4.
- Yiou E, Gendre M, Deroche T, Le Bozec S (2014) Influence of Emotion on the Biomechanical Organization of Backward and Forward Step Initiation. *Motor Control* 18:368–382.
- Yiou E, Hamaoui A, Le Bozec S (2007a) Influence of base of support size on arm pointing performance and associated anticipatory postural adjustments. *Neurosci Lett* 423:29–34.
- Yiou E, Hussein T, Larue J (2012b) Influence of temporal pressure on anticipatory postural control of medio-lateral stability during rapid leg flexion. *Gait posture* 35:494–499. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.11.015.
- Yiou E, Mezaour M, Le Bozec S (2009) Anticipatory postural adjustments and focal performance during bilateral forward-reach task under different stance conditions. *Motor Control* 13:142–160.
- Yiou E, Schneider C, Roussel D (2007b) Coordination of rapid stepping with arm pointing: anticipatory changes and step adaptation. *Hum Mov Sci* 26:357–375.
- Zaback M, Cleworth TW, Carpenter MG, Adkin AL (2015) Personality traits and individual differences predict threat-induced changes in postural control. *Hum Mov Sci* 40:393–409. doi: 10.1016/j.humov.2015.01.015.
- Zajonc RB (1980) Feeling and thinking : Preferences need no inferences. *Am Psychol* 35:151–175.
- Zajonc RB (1984) On the primacy of affect. *Am Psychol* 39:117–123.
- Zattara M, Bouisset S (1983) Influence de la vitesse d'exécution du mouvement volontaire sur les accélérations locales anticipatrices. In: VIIIe congrès de la société Biomécanique. 113–114.
- Zattara M, Bouisset S (1986b) [Chronometric study of a posturo-kinetic program associated with voluntary movement]. *J Physiol (Paris)* 81:14–16.
- Zattara M, Bouisset S (1986a) Chronometric analysis of the posturo-kinetic programming of voluntary movement. *J Mot Behav* 18:215–223.
- Zattara M, Bouisset S (1988) Posturo-kinetic organisation during the early phase of voluntary upper limb movement. 1. Normal subjects. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 51:956–965.
- Zettl JL, McIlroy WE, Maki BE (2002) Can stabilizing features of rapid triggered stepping reactions be modulated to meet environmental constraints? *Exp brain Res* 145:297–308.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Illustration de la position orthostatique en fonction de la verticale gravitaire	11
Figure 2 : Modèle du pendule inversé appliqué à la position orthostatique (Winter 1990).....	13
Figure 3 : Détermination expérimentale de la base de sustentation.....	15
Figure 4 : Modèle d'organisation du mouvement volontaire (Hess 1943).	19
Figure 5 : Capacité posturo-cinétique et réalisation d'une tâche (Bouisset 2002).....	21
Figure 6 : Illustration de la fonction stabilisatrice des APA lors de l'initiation de la marche (Rogers et al. 2001).....	27
Figure 7 : Représentation des processus de régulation du déplacement médio-latéral du centre des masses au moment du levé du pied oscillant (Lyon et Day 1997).	28
Figure 8 : Déplacement du Centre des pressions (CP) selon l'axe médio-latéral lors de l'initiation d'un mouvement d'élévation de la jambe à 45° (adapté de Mouchnino et al. 1991)	29
Figure 9 : Représentation schématique de la structure du réseau anatomique et neural cortico-sous cortical impliqué dans le contrôle du pas et de l'équilibre chez les humains (figure adaptée de Collomb-Clerc et Welter 2015).....	33
Figure 10 : Schématisation des deux modes d'organisation entre posture et mouvement.	35
Figure 11 : Relation entre évaluation des stimuli émotionnels et motivation à l'approche et l'évitement (Bradley et al. 2001)	47
Figure 12 : représentation circulaire du modèle de l'affect central et des émotions (Russell et Barrett 1999).	48
Figure 13 : Images de natures différentes issues de l'IAPS (Lang et Bradley 2008a).	49
Figure 14 : Exemple de SAM version papier-crayon utilisé pour évaluer les images de l'IAPS.....	50
Figure 15 : Les émotions basiques et complexes selon le modèle de Plutchik (1977, 1984).....	53
Figure 16 : Théorie du double circuit émotionnel : représentation des deux chemins de la peur dans le système nerveux central (LeDoux et Phelps 1995).....	55

Figure 17 : Représentation du déplacement du Centre des Pressions d'un participant soumis à des images de l'IAPS (adapté de Azevedo et al. 2005)	60
Figure 18 : Experimental set up and initial positioning of participants with respect to the screen and force-plate (study 1)	90
Figure 19 : Typical biomechanical traces associated with forward and backward stepping initiation following the presentation of a neutral picture (study 1).....	95
Figure 20 : Influence of picture category on valence and arousal ratings (study 1)	96
Figure 21 : Influence of picture category on the reaction time for the forward and backward stepping initiation (step initiation – study 1).....	97
Figure 22 : Influence of picture category on selected biomechanical parameters of forward and backward stepping initiation (study 1).	98
Figure 23 : Experimental set up, initial/final posture and experimental conditions (study 2)	109
Figure 24 : Typical biomechanical traces of the lateral leg raising task and presentation of the main variables (one representative participant in the “Approach condition” - study 2).....	115
Figure 25 : Comparison of spatiotemporal parameters of anticipatory postural adjustments (APA) between the “Control condition” and each “Edge condition”(study 2).....	116
Figure 26 : Comparison of spatiotemporal parameters of focal movement between the “Control condition” and each “Edge condition”(study 2).....	117
Figure 27 : Comparison of coping efficacy in terms of ability to avoid falling and self-report of fear of falling between the “Control condition” and each “Edge condition” (study 2)	118
Figure 28 : Représentation du protocole expérimental (étude 3).....	128
Figure 29 : Comparaison des paramètres spatio-temporels des APA entre les conditions « contrôle » et « approche » (étude 3).....	132
Figure 30 : Comparaison des paramètres spatio-temporels du mouvement focal entre les conditions « contrôle » et « approche » (étude 3).....	133
Figure 31 : Représentation du protocole expérimental (étude 4).....	141
Figure 32 : Schématisation des niveaux hiérarchiques du modèle multiniveau de croissance (étude 4).....	143

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Sélection d'une liste d'émotions basiques	57
Tableau 2 : Bilan des études traitant de l'influence des images de l'IAPS sur les APA et la performance motrice lors de l'initiation de mouvements volontaires.....	70
Tableau 3 : Bilan des études traitant de l'influence de la menace posturale sur les APA et de la performance motrice lors de l'initiation de mouvement volontaire	80
Tableau 4 : Synthèse des résultats corrélacionnels (étude 4)	130
Tableau 5 : Bilan des études traitant de l'influence des émotions sur les APA et de la performance motrice	159

ANNEXES

1 | Formulaire de consentement de l'étude 1



FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Veillez prendre le temps de lire le formulaire de consentement suivant et de nous poser toutes vos questions. Vous êtes libre de discuter de ce formulaire avec vos amis, votre famille et toute autre personne avant de prendre votre décision.

Vous allez participer à une étude qui s'intéresse à votre jugement face à des images qui représentent un certain nombre d'objets ou d'évènements. L'objectif de cette étude est de classer correctement ces images le plus rapidement possible, soit en avançant d'un pas, soit en reculant d'un pas (selon les consignes de l'expérimentateur).

Ces images sont parfois susceptibles d'heurter votre sensibilité. Vous êtes donc libre de quitter le protocole avant son terme si vous le souhaitez.

La base de données contiendra les informations suivantes à votre sujet :

- Vos nom, prénom(s) et adresse électronique ;
- Des mesures de votre performance (temps de réaction) ;
- Des informations sur votre état d'esprit au moment d'effectuer la tâche de classement.

Sachez que cette base de données sera gardée confidentielle et ne pourra être partagée qu'avec les chercheurs participant à ce projet.

La décision de participer à ce programme de recherche est entièrement volontaire et ne donne lieu à aucune rémunération. Vous ne serez pénalisé d'aucune façon si vous changez d'avis après avoir donné votre accord. Vos renseignements seront alors retirés de la base de données.

Déclaration de consentement :

J'ai lu le présent formulaire de consentement. J'ai eu la possibilité de poser des questions et de discuter de ce que cela implique. Je comprends que mes renseignements personnels resteront confidentiels. En signant le présent formulaire de consentement, je n'ai renoncé à aucun de mes droits légaux.

Nom en lettres moulées du participant : _____

Signature du participant

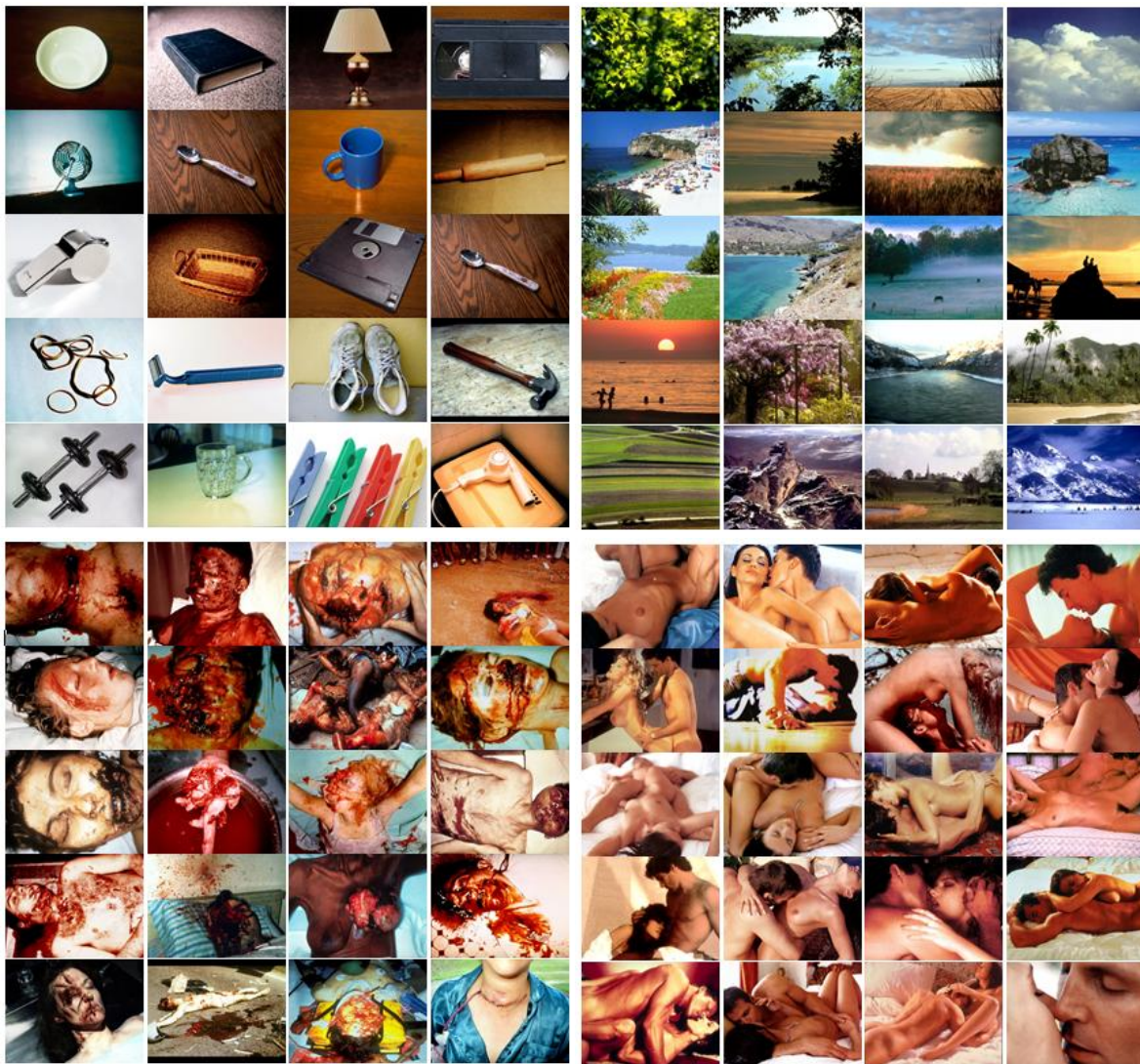
Date

2 | Valence et dimension théorique des images de l'IAPS utilisées lors de l'étude 1

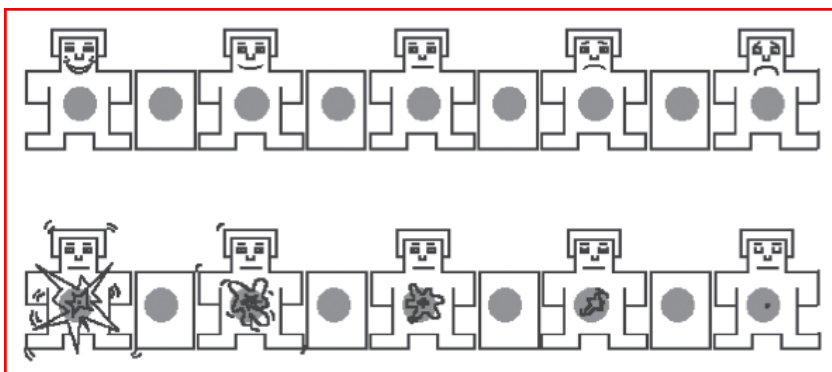
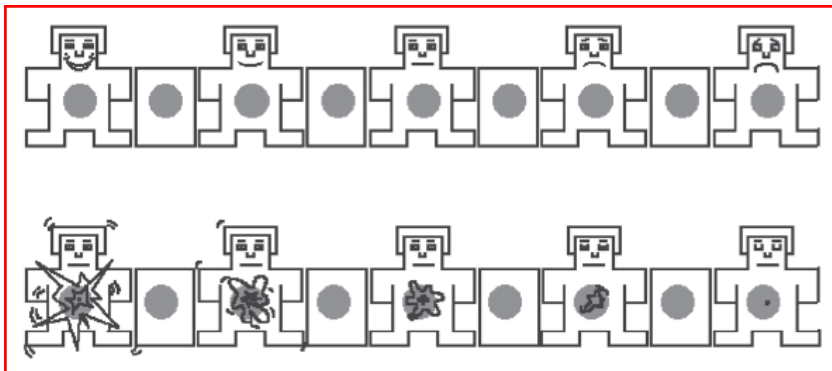
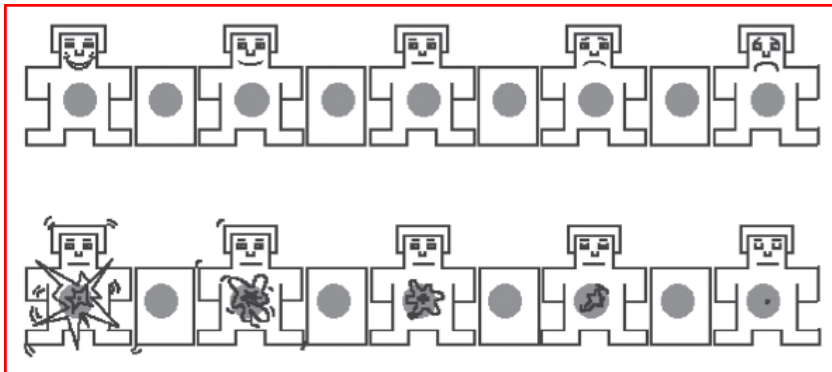
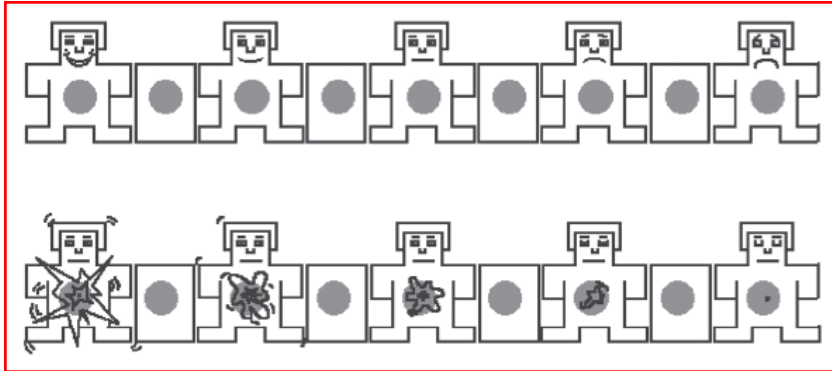
Images érotiques IAPS	Valence	Activation	Image de mutilations IAPS	Valence	Activation
4800	6,44	7,07	3069	1,7	7,03
4697	6,22	6,62	3131	1,51	6,61
4659	6,87	6,93	3130	1,58	6,97
4698	6,5	6,72	3068	1,8	6,77
4680	7,25	6,02	3261	1,82	5,75
4687	6,87	6,51	3060	1,79	7,12
4690	6,83	6,06	3030	1,91	6,76
4650	6,96	5,67	3071	1,88	6,86
4693	6,16	6,57	3059	1,81	6,48
4660	7,4	6,58	3064	1,45	6,41
4695	6,84	6,61	3010	1,71	7,16
4611	6,62	6,04	3100	1,6	6,49
4643	6,84	6,01	3225	1,82	5,95
4653	6,56	5,83	3015	1,52	5,9
4692	5,87	6,39	3080	1,48	7,22
4604	5,98	6,09	3195	3,06	6,36
4658	6,62	6,47	3000	1,45	7,26
4694	6,69	6,42	3150	2,26	6,55
4645	6,73	5,69	9253	2	5,53
4669	5,97	6,11	3051	2,3	5,62

Images représentant un objet IAPS	Valence	Activation	Images représentant un paysage IAPS	Valence	Activation
7004	5,04	2	5780	7,52	3,75
7009	4,93	3,01	5800	6,36	2,51
7000	5	2,42	5725	7,09	3,55
7006	4,88	2,33	5870	6,78	3,1
7017	5,18	3,12	5833	8,22	5,71
7020	4,97	2,17	5781	7,13	3,82
7090	5,19	2,61	5250	6,08	3,64
7021	5,21	4,17	5825	8,03	5,46
7175	4,87	1,72	5760	8,05	3,22
7010	4,94	1,76	5210	8,03	4,6
7003	5	3,07	5764	6,74	3,55
7004	5,04	2	5830	8	4,92
7012	4,98	3	5829	7,65	4,68
7016	4,76	3,4	5811	7,23	3,3
7034	4,95	3,06	5820	7,33	4,61
7032	4,82	3,18	5814	7,15	4,82
7042	5,55	4,02	5720	6,31	2,79
7035	4,98	2,66	5711	6,62	3,03
7052	5,33	3,01	5700	7,61	5,68
7050	4,93	2,75	5600	7,57	5,19

3 | Images de l'IAPS utilisées lors de l'étude 1



4 | Exemple d'évaluation des images l'IAPS grâce au Self Assessment Mannekin, utilisé lors de l'étude 1



5 | Formulaire de consentement des études 2 et 3

Sujet N° :

**FORMULAIRE DE CONSENTEMENT**

Veillez prendre le temps de lire le formulaire de consentement suivant et de nous poser toutes vos questions. Vous êtes libre de discuter de ce formulaire avec vos amis, votre famille et toute autre personne avant de prendre votre décision.

Vous allez participer à une étude qui s'intéresse à un mouvement d'élévation latérale de la jambe dominante. La tâche consiste à exécuter le mouvement le plus rapidement possible (**le plus tôt possible** après le signal de départ et à **vitesse maximale**) et de maintenir la position finale quelques secondes. Vous devrez exécuter 2 séries de 10 mouvements : ces séries se distinguent par leur condition environnementale.

La base de données contiendra les informations suivantes à votre sujet :

- Vos nom, prénom(s) et adresse électronique ;
- Des mesures de votre performance ;

Sachez que cette base de données sera gardée confidentielle et ne pourra être partagée qu'avec les chercheurs participant à ce projet.

La décision de participer à ce programme de recherche est entièrement volontaire et ne donne lieu à aucune rémunération. Vous ne serez pénalisé d'aucune façon si vous changez d'avis après avoir donné votre accord. Vos renseignements seront alors retirés de la base de données.

Déclaration de consentement :

J'ai lu le présent formulaire de consentement. J'ai eu la possibilité de poser des questions et de discuter de ce que cela implique. Je comprends que mes renseignements personnels resteront confidentiels. En signant le présent formulaire de consentement, je n'ai renoncé à aucun de mes droits légaux.

Nom du participant : _____

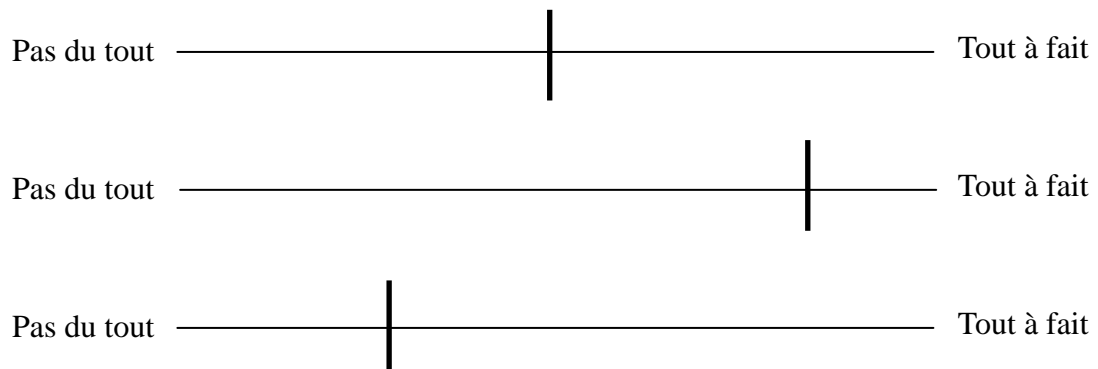
Date : _____

Signature du participant :

6 | Consigne des Échelles Visuelles Analogiques utilisées lors des études 2, 3 et 4.

Évaluation de la peur de chuter, de la confiance en l'équilibre (études 2, 3 et 4) et de la stabilité perçue (étude 3)

Répondez aux questions qui correspondent à des **sentiments que vous éprouvez sur vous-même**. Pour chacune, nous vous demandons de faire un **trait vertical** entre les bornes « pas du tout » et « tout à fait » sur la ligne horizontale en fonction de l'intensité choisie. Il s'agit d'échelles visuelles analogiques. Le principe de réponse à ces échelles vous est présenté ci-dessous. Ceci n'est qu'un exemple des multiples réponses possibles. Aucune réponse n'est juste, elle est avant tout personnelle



J'ai peur de chuter lors de la réalisation de la prochaine tâche :

Pas du tout _____ Tout à fait

J'ai confiance dans ma capacité à me maintenir en équilibre lors de la réalisation de la tâche suivante :

Pas du tout _____ Tout à fait

J'ai été stable lors de la réalisation de la précédente tâche :

Pas du tout _____ Tout à fait

7 | Questionnaire utilisé lors de l'étude 2 pour évaluer l'efficacité des participants à faire face à la menace posturale (*coping efficacy*).

Évaluation, par les participants, de leur habilité à éviter la chute, à maintenir leur concentration, à surpasser leurs inquiétudes et à réduire leur nervosité

Vous sentez-vous confiant(e) pour

A) éviter de chuter lors de la réalisation de cette tâche

_____%

B) maintenir votre concentration lors de la réalisation de cette tâche

_____%

C) dépasser vos inquiétudes concernant une perte d'équilibre ou la probabilité d'une chute lors de la réalisation de cette tâche

_____%

D) réduire votre nervosité/ anxiété liée à la possibilité d'une perte d'équilibre ou à la probabilité d'une chute lors de la réalisation de cette tâche

_____%

8 | Questionnaire utilisé pour évaluer l'anxiété posturale des participants lors de l'étude 3

A l'aide des propositions suivantes, décrivez comment vous vous êtes senti pendant la réalisation de la tâche proposée. Pour chacune des propositions, encrer le chiffre qui correspond le mieux à votre opinion

	Pas du tout			Modérément			Tout à fait		
1. Je me suis senti nerveux	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2. J'ai eu des sauts de concentration	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3. J'ai eu des doutes sur moi-même	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4. Je me suis senti tendu et tremblant	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5. J'étais préoccupé par ma capacité à rester concentré	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6. Je me préoccupais de réaliser la tâche correctement	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7. Mon corps était contracté	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8. J'ai eu des difficultés à me concentrer sur ce que je devais faire	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9. J'étais inquiet pour ma propre sécurité	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10. J'avais comme un poids dans le ventre	1	2	3	4	5	6	7	8	9
11. Je n'ai pas tout le temps porté mon attention sur le point au mur	1	2	3	4	5	6	7	8	9
12. Mon cœur battait à 100 à l'heure	1	2	3	4	5	6	7	8	9
13. L'idée de chuter a perturbé ma concentration	1	2	3	4	5	6	7	8	9
14. J'étais préoccupé à l'idée que les autres soient déçus par ma performance	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15. Je me suis trouvé hyperventilé	1	2	3	4	5	6	7	8	9
16. Je me suis surpris(e) à penser à des choses sans lien avec la tâche réalisée	1	2	3	4	5	6	7	8	9

9 | Formulaire de consentement de l'étude 4

Sujet N° :

**FORMULAIRE DE CONSENTEMENT**

Veillez prendre le temps de lire le formulaire de consentement suivant et de nous poser toutes vos questions. Vous êtes libre de discuter de ce formulaire avec vos amis, votre famille et toute autre personne avant de prendre votre décision.

Vous allez participer à une étude qui s'intéresse à un mouvement d'élévation latérale de la jambe dominante. La tâche consiste à exécuter le mouvement le plus rapidement possible (**le plus tôt possible** après le signal de départ et à **vitesse maximale**) et de maintenir la position finale quelques secondes. Vous devrez exécuter 1 série de 20 mouvements.

La base de données contiendra les informations suivantes à votre sujet :

- Vos nom, prénom(s) et adresse électronique ;
- Des informations sur votre personnalité et sur l'état d'esprit avant et après l'exécution de la tâche.

Sachez que cette base de données sera gardée confidentielle et ne pourra être partagée qu'avec les chercheurs participant à ce projet.

La décision de participer à ce programme de recherche est entièrement volontaire et ne donne lieu à aucune rémunération. Vous ne serez pénalisé d'aucune façon si vous changez d'avis après avoir donné votre accord. Vos renseignements seront alors retirés de la base de données.

Déclaration de consentement :

J'ai lu le présent formulaire de consentement. J'ai eu la possibilité de poser des questions et de discuter de ce que cela implique. Je comprends que mes renseignements personnels resteront confidentiels. En signant le présent formulaire de consentement, je n'ai renoncé à aucun de mes droits légaux.

Nom du participant : _____

Date : _____

11 | Publications et communications

Publications

Yiou E, Gendre M, Deroche T, Le Bozec S (2014) Influence of Emotion on the Biomechanical Organization of Backward and Forward Step Initiation. *Motor Control* 18:368–382.

Gendre M, Yiou E, Gélât T, Honeine J L, Deroche T (2015) Directional-specificity of postural threat on anticipatory postural adjustments during lateral leg raising. *Experimental Brain Research*. In press.

Communications par poster

Gendre M, Deroche T, Yiou E (2014) L'Estime Globale de Soi : un facteur de protection contre l'anxiété posturale ? Communication présentée lors de la rentrée de l'École doctorale 456, Université Paris Sud, France.

Gendre M, Yiou E, Deroche T (2013) Émotions et comportements d'approche et d'évitement. Communication présentée à l'entrée lors de la rentrée de l'École doctorale 456, Université Paris Sud, France.

Communication orale

Gendre M, Yiou E, Deroche T, (2013) Influence des émotions sur l'organisation biomécanique de l'initiation du pas vers l'avant et vers l'arrière. Communication présentée au 15ème congrès international de l'Association des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives (ACAPS), Grenoble, France.

Titre : Influence des émotions sur l'organisation biomécanique des mouvements volontaires d'approche et d'évitement : cas de l'initiation du pas et de l'élévation latérale de la jambe

Mots clés : Ajustements Posturaux Anticipateurs, Approche-Évitement, Contrôle Moteur, Émotions, Hypothèse de la Direction Motivationnelle

Résumé : L'objectif de cette thèse était d'investiguer l'influence des émotions sur l'organisation biomécanique de mouvements volontaires complexes, c'est-à-dire mobilisant l'ensemble du corps. L'effet des émotions a été testé par le biais de l'hypothèse de la direction motivationnelle selon laquelle 1) les stimuli plaisants faciliteraient les comportements d'approche et perturberaient les comportements d'évitement et 2) les stimuli déplaisants faciliteraient les comportements d'évitement et perturberaient les comportements d'approche. Deux modèles expérimentaux du mouvement complexe ont été choisis : l'initiation du pas vers l'avant et vers l'arrière (étude 1) et l'élévation latérale de la jambe (études 2 à 4). Les émotions étaient manipulées en exposant les participants à des images de l'International Affective Pictures System (induisant des émotions plaisantes et déplaisantes, étude 1) et en plaçant les participants au bord d'une plateforme surélevée (induisant une peur de chuter, études 2 à 4). Les mouvements étaient réalisés sur une plateforme de force (études 1 à 3). La cinématique du mouvement de la jambe oscillante était enregistrée grâce au système de capture de mouvements VICON (études 2 et 3). Les paramètres psychologiques (dimension de valence et d'activation des émotions, peur de chuter) étaient évalués grâce à des questionnaires. Les résultats de la première étude ont montré que les émotions plaisantes facilitaient les comportements d'approche (en termes de réactivité) et perturbaient les comportements d'évitement (en termes de vitesse du centre des

masses lors des ajustements posturaux anticipateurs (APA) associés à un pas vers l'arrière), comparativement aux images déplaisantes et neutres. Cependant ces images semblaient aussi pouvoir perturber les comportements d'approche (en termes de pic de vitesse du centre des masses lors de l'exécution du pas vers l'avant). Les résultats de la deuxième étude ont démontré que les comportements d'approche envers la menace posturale (c'est-à-dire le vide) étaient perturbés (en termes d'amplitude et de durée des APA), comparativement aux comportements d'évitement. La troisième étude s'est ensuite intéressée à l'existence de différences interindividuelles dans la relation entre la menace posturale (et donc la peur de chuter) et l'organisation du mouvement volontaire. Les résultats ont révélé que la confiance en l'équilibre était un facteur de protection à la menace posturale. Ainsi, les participants reportant une forte confiance en leur équilibre étaient moins perturbés par la menace posturale que les participants reportant une faible confiance en leur équilibre. Enfin, la quatrième étude a cherché à expliquer l'existence de ces différences interindividuelles. Les résultats ont montré que l'estime globale de soi pouvait expliquer une partie de ces différences. En conclusion, les résultats de cette Thèse ne semblent confirmer que partiellement l'hypothèse de la direction motivationnelle. Pris ensemble, ces résultats ont permis d'améliorer la compréhension des processus sous-jacents à l'influence des émotions sur l'organisation du mouvement volontaire.

Title: Influence of emotions on biomechanical organization of approach and avoidance voluntary movements: cases of step initiation and leg raising.

Keywords: Anticipatory Postural Adjustments, Approach-Avoidance, Emotions, Motivational Direction Hypothesis, Motor Control

Abstract: The aim of this thesis is to investigate the influence of emotions on the planning and execution of whole body voluntary movement. The effect of emotions was test thanks to the motivational direction hypothesis which supposed that 1) pleasant stimuli should facilitate approach and perturb avoidance behaviors. 2) Unpleasant stimuli should facilitate avoidance and perturb approach behaviors. Two experimental protocols have been chosen to pursue the investigation: Forward and backward gait initiation (study 1) and lateral elevation of the leg (studies 2-4). The emotions were manipulated by exposing the subjects to pictures of the International Affective Pictures System (inducing pleasant and unpleasant emotions, study 1) and by placing the subjects at the edge of an elevated platform (inducing fear of falling). Movements were performed on force platform (studies 1-3). Kinematic parameters of leg movement were recorded by the system of motion capture VICON (studies 2 and 3). Psychological parameters (valence and arousal dimensions of emotions fear of falling) were assessed by questionnaires. Results of the first study showed that pleasant pictures facilitated approach behaviors (as observed in the reactivity) and perturbed avoidance behaviors (as observed in the velocity of centre of mass during anticipatory postural adjustment (APA) prior to the

execution of a backward step), compared to unpleasant or neutral pictures. However, these pleasant pictures also perturbed approach behaviors (as observed in the peak of centre of mass velocity during the execution of a forward step). Results of the second study showed that approach behaviors toward the postural threat (i.e, the void) were perturbed (as observed in the amplitude and duration of APA), compared to avoidance behaviors. The third study focused on the inter-individual differences in the relation between postural threat and organization of movement. Results revealed that balance confidence of the participants dealing with increased postural threat. In other terms, participants reported a high confidence in their own balance control were least perturbed than those reported a low balance confidence and vice versa. Finally, in the fourth study we tried to explain these inter-individual differences. The self-esteem seems to explain these differences. In conclusion, the results of this thesis seem to partially confirm the hypothesis of motivational direction. Put together, the results help improve our general understanding of the influence of emotions on the planning and execution of voluntary movements.

