



HAL
open science

Vers une meilleure compréhension des liens entre émotion et posture : rôle des traits individuels dans les tendances à l'action

Angélique Lebert

► **To cite this version:**

Angélique Lebert. Vers une meilleure compréhension des liens entre émotion et posture : rôle des traits individuels dans les tendances à l'action. Psychologie. Université Paris Cité, 2021. Français. NNT : 2021UNIP5112 . tel-04420606

HAL Id: tel-04420606

<https://theses.hal.science/tel-04420606>

Submitted on 26 Jan 2024

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.

THÈSE

En vue d'obtenir le grade de **Docteur en Psychologie Cognitive** d'Université de Paris

Vers une meilleure compréhension des liens
entre émotion et posture : rôle des traits
individuels dans les tendances à l'action

Présentée par

ANGÉLIQUE LEBERT

Sous la direction des

Pr. Dorine VERGILINO-PEREZ & Dr. Laurence CHABY

Soutenue publiquement le 24 Novembre 2021

Composition du Jury

Christine ASSAIANTE	DR	CNRS - Univ. d'Aix-Marseille	Rapporteure
Alessandro FARNÈ	DR	INSERM - CNRS - Univ. Lyon 1	Rapporteur
Nathalie GEORGE	DR	INSERM - CNRS - Sorbonne Univ.	Examinatrice
Thierry LELARD	MCF	Univ. de Picardie Jules Verne	Examineur
Nicolas POIREL	PR	Univ. de Paris	Examineur
Marie-Laure CUNY	Dr	Hôpital Universitaire Necker	Membre Invité
Laurence CHABY	MCF HDR	Univ. de Paris	Directrice
Dorine VERGILINO-PEREZ	PR	Univ. de Paris	Directrice



"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)

REMERCIEMENTS

J'aimerais en premier lieu remercier vivement les membres de mon jury, à savoir **Christine Assiante, Alessandro Farne, Nathalie George, Thierry Lelard et Nicolas Poirel**, de me faire l'honneur d'évaluer ce travail de thèse.

Le travail de recherche étant avant tout un travail d'équipe, je remercie également toutes les personnes qui m'ont formée, aidée et soutenue tout au long de cette thèse.

Je souhaite remercier très sincèrement mes deux directrices de thèse, **Laurence Chaby et Dorine Vergilino-Perez**, pour leur présence indulgente et attentive. Vous m'avez permis de réaliser cette thèse dans des conditions plus qu'idéales. Je vous remercie pour vos conseils, votre bienveillance, ainsi que l'énergie que vous avez pu mettre dans les moments plus difficiles afin que je puisse tenir mes objectifs. J'ai énormément appris de vos qualités, tant humaines que professionnelles. Votre rigueur intellectuelle et scientifique, votre patience et votre investissement ont constitué un modèle qui continuera de me guider tout au long de ma carrière de chercheuse. Grâce à votre confiance, j'ai pu m'accomplir totalement dans le domaine de la recherche et ai acquis la certitude de vouloir continuer dans cette voie. Ces quelques lignes ne sont qu'une bien maigre expression de la reconnaissance que j'éprouve à votre égard, j'espère vivement (et je souhaite de tout cœur) poursuivre notre collaboration dans les années à venir.

Merci à **Karine Doré-Mazars** de m'avoir accueillie au laboratoire VAC lors de mes premiers pas dans le monde de la recherche en Licence 3. Je te remercie également pour ta supervision bienveillante et ta confiance durant mes années en tant que représentante des doctorantes. J'ai toujours pu trouver une oreille attentive et un soutien auprès de toi, et je me considère chanceuse d'avoir pu en bénéficier. Merci également à **Agathe Legrand et Julien Barra** de m'avoir supervisée avec beaucoup de gentillesse durant ce stage de L3.

Merci aux membres de l'École Doctorale 261 de l'Université de Paris de fournir un bon environnement afin de préparer et soutenir sa thèse dans les meilleures conditions. Un grand merci à **Coralie**, puis à **Emma**, pour leur soutien sur le plan administratif.

Je remercie également **Marie-Laure Cuny**, psychologue-neuropsychologue à l'Hôpital Necker-Enfants Malades et tutrice de mon stage de master 2, pour sa collaboration à mon travail de thèse, ainsi que pour l'ensemble de ce qu'elle m'a apporté durant ces années. Le travail réalisé ensemble a donné lieu à de belles études qui sont aujourd'hui au cœur de ma thèse.

Merci à **John Stins**, de m'avoir fait confiance pour réaliser cet In-Doc ensemble. Merci pour son accueil ainsi que pour son savoir partagé et sa pédagogie. J'en profite pour faire un coucou à la team #Amsterdam, j'ai fait de très belles rencontres durant ce séjour : **Esbé, Cynthia, Julia, Nikos et Marius** notamment ! Merci d'avoir été les premiers à vous porter volontaires pour passer mon expérience !

REMERCIEMENTS

Je remercie **Philippe Bardy** du Centre de Langues, pour avoir relu et corrigé patiemment des dizaines de versions de mes articles, ainsi que pour sa patience et son investissement pédagogique.

L'enseignement a également agréablement rythmé mes années de thèse. Je remercie **Nadia, Patrice** et **Alma** de m'avoir fait confiance pour transmettre à nos étudiants l'art de la psychologie cognitive expérimentale, ainsi que la neuropsychologie. J'ai beaucoup appris durant ces années d'enseignement, tant sur le plan scientifique que sur le plan de la pédagogie.

J'aimerais remercier tous les membres du VAC (ou de VAC en fonction de la team !) de m'avoir accueillie avec autant d'enthousiasme et de bonne humeur au sein du laboratoire, j'ai beaucoup apprécié tous nos moments d'échanges ensemble.

Marine, ton soutien, tant sur le plan administratif que sur de nombreux autres aspects, m'a été d'une grande aide. Ta bonne humeur sans faille égaie nos pauses cafés et colore nos journées de travail. Merci à toi **Christelle**, pour ton expertise tant sur la plateforme de posture que sur les jeux de société / jeux vidéo. Grâce à l'abonnement PSN (j'espère bientôt), nous suivrons religieusement l'acquisition de tes nouveaux trophées. Merci pour ta gentillesse, nos nombreux cafés et papotages matinaux, ainsi que pour nos narrations de voyages. Et merci d'être venue à ma rescousse dans mon box un nombre incalculable de fois depuis ma L3. Merci à la team #EKIDEN, **Alma, Anne, Céline, Hélène et Alexandre**, c'était une belle aventure sportive ensemble. Merci à **Anne**, j'ai pris beaucoup de plaisir à co-organiser les sessions du Journal Club avec toi, et j'ai également apprécié tous les échanges scientifiques, ou plus personnels, que nous avons pu avoir ensemble, je te souhaite une belle continuation. Merci **Patrice**, pour ta bonne humeur et tes anecdotes toujours ludiques et passionnantes ! Merci **Céline**, de ton enthousiasme contagieux et de cette énergie que tu déploies dans tous tes projets, tu es un exemple ! Je remercie **Nadia** pour sa disponibilité et sa bonne humeur. Ta pédagogie a été pour moi un exemple à suivre depuis ma L1 et m'a profondément enrichie. Je te remercie de m'avoir fait confiance pour enseigner à mon tour. **Alma**, tes conseils avisés et ton écoute bienveillante m'ont beaucoup apporté durant ces années de thèse, et je t'en remercie profondément. Merci également de m'avoir permis de rajouter une corde à mon arc grâce à l'enseignement en neuropsychologie. Merci **Agathe** d'avoir été ma référente sur la posture durant ma thèse, ta relecture et nos échanges m'ont beaucoup aidée. Je garde également de très bons souvenirs des congrès que nous avons partagés ensemble.

Sans mes ex-cobureaux, le quotidien au laboratoire n'aurait pas eu la même saveur. **Alexandra**, merci pour tous ces moments de partage, je ne compte plus nos fous-rires ou nos déambulations dans les couloirs du 4ème étage. Je suis heureuse de t'avoir eue comme collègue et maintenant comme amie, mes futurs congrès n'auront pas la même saveur sans toi. Merci également de m'avoir légué ton bureau qui est la cible de tous les doctorants. **Jérôme**, dès mon premier jour de thèse, tu as su trouver les mots justes : « Angélique, la thèse c'est une magnifique aventure, mais 3 ans... ça passe vite ! ». Ces mots ont rythmé mes journées les années qui ont suivi, et même s'ils ont participé à mes pics de stress réguliers, ils m'ont aussi permis d'anticiper la suite. Je te remercie également pour avoir été aussi patient envers moi lors de mes nombreux questionnements. J'ai pu me tourner vers toi (et encore aujourd'hui, poke Fyssen) à

chacune de mes interrogations (et parfois je peux avoir beaucoup de questions!), et tu as toujours répondu présent. Ta gentillesse et ta bienveillance ont adouci mes derniers mois de thèse.

Merci à mes co-bureaux et/ou collègues doctorants : **Gabriella, Katarina, Amandine et Thomas** d'avoir contribué à la bonne humeur qui règne dans ce bureau et plus largement, pour le partage de cette belle aventure. **Gabriella**, ta détermination, ta bonne humeur omniprésente, et l'aide que tu apportes à chacun dès que tu le peux, sont de très belles qualités qui, j'en suis sûre, feront de toi une excellente chercheuse. **Katarina**, je te remercie pour ton écoute bienveillante et tes sages conseils. **Amandine**, bienvenue dans le monde des doctorants, je suis certaine que tu vas grandement t'y épanouir. **Thomas**, ta patience à toute épreuve était nécessaire à ce bureau! Je vous souhaite à tous une brillante carrière et je me permets d'ajouter un dernier conseil : « La thèse c'est une magnifique aventure mais 3 ans... ça passe vite! » (Tagu, J., 2018).

Je tiens à exprimer toute mon amitié à tous les autres membres du laboratoire qui ont contribué à rendre cette aventure unique : **Alain, Hanane, Henri, Karima, Louisa, Nicole et Philippe**.

Je salue mes collègues représentants des doctorants de l'ED, **Gabriella, Jean-Charles, Jeff, Sandra, Sixtine, Sophie et Sylvia**, merci d'avoir toujours répondu présents pour l'ensemble des projets que nous avons élaboré ensemble! Je remercie également tous les stagiaires de licence et de master qui ont contribué de près ou de loin à mon projet de thèse. **Marine, Marie, Lucie L., Lucie P., Lucie S., Céline, Samuel et Amandine**, votre enthousiasme et votre implication m'ont été d'une aide précieuse pour la réalisation de cette thèse.

Au terme de ce parcours, je remercie enfin celles et ceux qui me sont chers et que j'ai quelque peu délaissés ces derniers mois pour achever cette thèse. Je n'oublie donc pas tous mes amis qui ont rendu cette aventure beaucoup plus facile à vivre.

Je remercie mes collègues, et amis, du MC2 Lab **Jean-Charles et Philippe**. Merci de m'avoir accompagnée dès mes premiers pas de doctorante et d'avoir été là tout au long de ces dernières années. Merci d'avoir écouté mes plaintes et mes moments de doutes sans rechigner, d'avoir répondu présents dès lors que j'étais en difficulté, et de m'avoir supportée jusqu'au bout! **Jean-Charles**, je me souviendrai toujours de ce jour d'audition pour les contrats doctoraux, où nous nous sommes mutuellement aidés et soutenus malgré la concurrence. Ce moment reflète parfaitement notre amitié, puisque malgré les épreuves de la thèse, ou de la vie, notre complicité n'a fait que s'accroître pour devenir ce qu'elle est aujourd'hui. Merci pour la simplicité avec laquelle tu abordes les choses. Avec toi, tout est possible! PS : j'attends avec impatience notre concours de galettes. **Philippe**, merci pour ton amitié infaillible, qui m'est très précieuse et sans laquelle cette thèse aurait eu une saveur beaucoup plus fade. Trois ans d'amitié et pourtant c'est comme si cette amitié était indatable. Merci aussi pour tous les fous rires et les coups de gueule passés ensemble, pour les (trop) nombreuses pauses café, les commérages et les moments plus difficiles de la thèse. Je sais que la distance ne fera que renforcer ces liens et je n'ai aucun doute quant au succès de ta carrière de chercheur. PS : parle plus fort!

Merci à mes camarades de Master, à mes neups! **Betty** je suis fière d'avoir été ton témoin de mariage et j'ai hâte de suivre la suite de tes aventures (aux States

REMERCIEMENTS

ou ailleurs!), je sais que notre amitié est indéfectible. **Charlotte**, ma sœur, une rencontre exceptionnelle grâce à cette fameuse conférence qui nous angoissait tant, que ferais-je sans toi? Nos vocaux, mis bout à bout, sont à la mesure de l'affection que nous nous portons mutuellement. **Roxane**, merci de ton soutien, de ta bienveillance, de tes encouragements sans faille, et merci de m'avoir laissée noyer mon stress dans tes brunchs inoubliables. **Tiffany**, merci pour ta douceur et ta bonne humeur à toute épreuve. **Margaux**, je te souhaite pleins de belles aventures au pays des caribous, j'espère te rendre visite vite. **Elodie**, ma partenaire de thèse, je n'oublierai pas cette fin de M2. Je nous revois attablées au « pré en bulles », à préparer notre dossier pour l'école doctorale, il me tarde d'assister à ta soutenance! Merci à vous, pour tous ces moments incroyables, ces moments de travail intense à la BSB, sous intraveineuse de café, mais aussi ces moments de pures joies. Une pensée par ailleurs pour les innombrables cafés sans qui cette thèse n'aurait (vraiment, vraiment) pas pu aboutir. Je remercie **Maria**, pour son amitié et nos escapades grecques auxquelles je me raccrochais lorsque que j'écrivais ma thèse. Merci à mes amis de la danse, sans mon exutoire hebdomadaire cette thèse aurait été bien moins facile! Merci à mon duo psycho : **Candice** et **Iris**, sans vous ma licence n'aurait pas eu la même saveur. Merci d'avoir répondu présentes jusqu'au bout, vous avez été une vraie source de motivation. Merci à **Mélissa**, **Raphaëlle** et **Hadrien**, des amis en or comme on les compte sur les doigts d'une main. Vous êtes les piliers de mon quotidien et j'ai beaucoup de chance de vous avoir dans ma vie.

Merci à ma tante **Michèle**, et mes cousins **Marine**, **Ludivine** et **Aloys**, et une douce pensée pour **tonton**. Un grand merci à **Diana** pour sa présence bienveillante depuis toujours. Merci **Hélène**, qui m'a montré que les liens du cœur pouvaient être aussi forts que les liens du sang, merci pour ta constance dans l'aide que tu m'as apportée et merci de ta bienveillance à toute épreuve, j'embrasse également affectueusement **Céline**. Merci à mes mentors, **Dr. Livingstone** et **Dr. Feltesse**, qui m'ont toujours encouragée, et ce depuis la naissance.

Merci à mes parents **Josiane** et **Christian**. Merci pour votre amour sans faille depuis toujours et de m'avoir donné ces fameuses racines et ailes. Merci à ma sœur **Auriane**, qui n'est plus petite du tout, et mon frère **Cyriac**, mes complices de toujours, merci d'avoir (largement) contribué à faire de moi ce que je suis aujourd'hui. **Auriane**, ton soutien et ta confiance indéfectible m'ont toujours poussée à me dépasser, je peux dire aujourd'hui avec certitude que je n'en serais pas là aujourd'hui sans toi. **Cyriac**, ton humour (et les jeux de mots dont toi seul a le secret) et ta bienveillance m'ont toujours portée.

A **Denise**, qui veille là-haut... *da garout a ran*.

Mon **Alexandre**, merci d'avoir été un soutien inébranlable du début à la fin de cette thèse, tu as été mon repère et mon équilibre. Merci de ton enthousiasme contagieux à l'égard de mes travaux comme de la vie en général. Merci d'avoir cru en moi et ce même, dans les moments les plus difficiles. Merci de ta patience et de ton amour qui ont façonné cette réussite, malgré les épreuves. Merci également de me rappeler, chaque jour, à quel point je peux être fière d'en être arrivée là. *Je t'aidoiffe*.

RÉSUMÉ

Les interactions sociales impliquent la perception, la production et l'intégration de nombreux signaux sociaux et dépendent en partie de la valeur attribuée à ces signaux par chaque individu au regard de ses objectifs et motivations individuels. Si l'expression faciale et la direction du regard renseignent sur les intentions et les états émotionnels d'autrui et sont un vecteur du comportement pro-social, la distance interpersonnelle doit être ajustée en permanence en fonction des états émotionnels d'autrui et joue un rôle capital dans nos interactions sociales. Ces différents signaux sociaux sont au cœur du traitement émotionnel et ont une fonction 'motivationnelle', préparant l'organisme à agir par des tendances à l'action telles que l'approche ou l'évitement.

Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse est d'intégrer les émotions dans la boucle Perception-Action en tant que prédispositions à agir et d'examiner comment les traits individuels de personnalité peuvent moduler ces relations. L'intérêt des travaux présentés dans cette thèse est double : 1) sur le plan moteur, quantifier les tendances à l'action par des mesures posturographiques. De telles mesures permettent de prendre en compte à la fois la stabilité globale posturale et les comportements d'approche et d'évitement face à différents stimuli sociaux (visages combinant différentes expressions faciales, regard dévié ou direct et mouvement d'approche et de retrait, vidéos émotionnelles), 2) sur le plan perceptif, évaluer comment l'ajustement de la distance interpersonnelle ou le jugement de l'étendue des directions de regard dirigé vers soi varient en fonction des expressions faciales d'autrui.

Globalement, la présente thèse suggère que 1) sur le plan moteur la stabilité posturale dépend à la fois de la complexité et du caractère dynamique de la stimulation, ainsi que de la combinaison des indices socio-émotionnels ; les tendances à l'action dépendent des émotions et du mouvement d'autrui, se traduisant notamment par un comportement d'approche face à des visages de joie, tristesse ou peur, un comportement de freezing en réponse à des visages de dégoût et un comportement d'évitement face à des visages de colère, 2) sur le plan perceptif, l'ajustement de la distance interpersonnelle et le jugement de l'étendue des directions de regard dirigé vers soi dépendent de l'émotion d'autrui. Les traits individuels modulent de façon toutefois modérée les effets tant sur le plan de la perception que de l'action. Cette thèse présente également un volet clinique apportant un éclairage sur les liens entre émotion et posture chez des enfants et des adolescents porteurs d'un kyste arachnoïdien de la fosse postérieure, qui par son aspect potentiellement compressif sur le cervelet, affecte les processus moteurs, cognitifs et socio-émotionnels. Nos données ont permis de faire émerger deux profils neuropsychologiques distincts : un premier profil où le patient présentait des difficultés essentiellement sur le plan postural sans difficultés socio-émotionnelles majeures, et un deuxième profil où le patient associait des difficultés à la fois posturales, ainsi que socio-émotionnelles et comportementales.

En conclusion, cette thèse offre de nouvelles perspectives sur les liens entre les émotions et la posture dans les interactions sociales qui pourraient notamment être pertinentes pour des investigations cliniques prenant en compte les relations entre des perturbations des systèmes moteur et socio-émotionnel.

ABSTRACT

Social interactions involve the perception, production and integration of many social signals and depend in part on the value that each individual places on these signals, in relation to their individual goals and motivations. While facial expression and gaze direction provide information about the intentions and emotional states of others and are a vehicle for pro-social behaviour, interpersonal distance must be continuously adjusted to the emotional states of others and plays a crucial role in our social interactions. These different social signals are central to emotional processing and have a 'motivational' function, preparing the organism to act through action tendencies such as approach or avoidance.

In this context, the aim of this thesis is to integrate emotions into the Perception-Action loop as predispositions to act and to examine how individual personality traits may modulate these relationships. The interest of the work presented in this thesis is both focused on the motor and the perceptual level. 1) On the motor level : to quantify action tendencies through posturographic measures. Such measures allow us to take into account both global postural stability and approach and avoidance behaviours in response to different social stimuli (faces combining different facial expressions, deviated or direct gaze and approach and withdrawal movements, emotional videos). 2) On the perceptual level : to assess how interpersonal distance adjustment or judgement of the extent of gaze directions directed towards oneself vary as a function of the others' facial expressions.

Overall, the present thesis suggests that 1) on the motor level, postural stability depends on both the complexity and dynamic nature of the stimulus, as well as the combination of social-emotional cues. Furthermore, action tendencies depend on the emotions and movement of others, including approach behaviour in response to happy, sad or fearful faces, freezing behaviour in response to disgusted faces, and avoidance behaviour in response to angry faces, 2) on the perceptual level, the adjustment of interpersonal distance and judgement of the extent of gaze directions depend on the emotion of others. However, individual traits modulate both perceptual and action effects to a moderate degree.

This thesis also presents a clinical component that sheds light on the links between emotion and posture in children and adolescents with a posterior fossa arachnoid cyst, which by its potentially compressive aspect on the cerebellum, affects motor, cognitive and socio-emotional processes. Our data revealed two distinct neuropsychological profiles : a first profile where the patient presented difficulties essentially on the postural level without major socio-emotional difficulties, and a second profile where the patient combined postural, as well as socio-emotional and behavioural difficulties.

In conclusion, this thesis offers new perspectives on the links between emotions and posture in social interactions that could be relevant for clinical investigations considering the relationships between motor and socio-emotional disturbances.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	7
Résumé	11
Abstract	13
Liste des tableaux	19
Table des figures	21
Acronymes	23
I Introduction Générale	25
1 Contexte de la thèse	27
1.1 Introduction	27
1.2 Questions de recherche et approches	32
1.3 Publications et disséminations	40
1.4 Structure de la thèse	42
II Contexte Théorique	45
2 Émotions et Tendances à l'action	49
2.1 La perception des expressions faciales émotionnelles	51
2.1.1 Vers une approche multi-componentielle des émotions	51
2.1.2 Le traitement des visages émotionnels	54
2.2 La perception de la direction du regard	57
2.2.1 Le traitement de la direction du regard et son influence sur d'autres signaux sociaux	57
2.2.2 L'influence des émotions sur la perception de la direction du regard : le cône de regard direct	59
2.2.3 L'hypothèse du signal partagé	61
2.3 Émotions et tendances à l'action	63
2.3.1 Qu'est ce qu'une tendance à l'action ?	63
2.3.2 Modèles théoriques des tendances à l'action	65
2.3.3 Les méthodes de mesure des tendances à l'action	67
2.4 La régulation de la distance interpersonnelle	69

TABLE DES MATIÈRES

2.4.1	Comment définir la proxémie?	69
2.4.2	Quelles sont les méthodes d'évaluation de la distance interpersonnelle?	71
2.4.3	La perception des émotions et la distance interpersonnelle s'influencent-elles réciproquement?	72
2.5	Perception-Action : le rôle des traits individuels	74
2.5.1	Qu'est ce qu'un trait de personnalité?	74
2.5.2	Les traits de personnalité modulent-ils la perception des émotions?	76
2.5.3	Les traits de personnalité modulent-ils la perception de la direction du regard?	77
2.5.4	Les traits de personnalité modulent-ils la perception de la distance interpersonnelle?	78
3	Perception - Action : le contrôle postural et les émotions	81
3.1	Qu'est-ce que le contrôle postural?	83
3.1.1	Le maintien de l'équilibre	84
3.1.2	L'orientation du corps dans l'espace	86
3.1.3	L'intégration sensori-motrice du contrôle postural	86
3.1.4	Régulation de la posture : structures corticales et sous-corticales	89
3.2	Ontogenèse du contrôle postural	91
3.3	Quels sont les paramètres posturaux d'intérêts?	93
3.4	Le contrôle postural est-il un système automatique?	94
3.5	Éclairage clinique des liens entre émotion et posture	97
3.5.1	Troubles du spectre autistique (TSA)	98
3.5.2	Troubles développementaux des coordinations (TDC)	99
3.5.3	Anomalies des noyaux gris centraux	100
3.5.4	Pathologies du cervelet	101
3.6	La place des émotions dans la boucle Perception-Action	103
3.6.1	Influence de la perception des émotions sur le contrôle postural	103
3.6.2	Quel est le rôle des traits individuels dans les liens entre émotions et contrôle postural?	107
	Conclusion du contexte théorique	111
	III Contributions Experimentales	113
4	Méthodologie générale	115
4.1	Participants	116
4.2	Équipement et matériel	118
4.2.1	Plateforme de force	118
4.2.2	Manette & Laser	119
4.2.3	Présentation des stimuli visuels	119
4.2.4	Procédure générale et paramètres étudiés	124

5	Influence du type de stimuli et des émotions sur le contrôle postural	129
5.1	Article 1 : Introduction	130
5.2	Article 1 : "The impact of emotional videos and emotional static faces on postural control through a personality trait approach"	133
5.3	Article 1 : Conclusions, Analyses supplémentaires & Perspectives	144
6	Émotion en mouvement : de quelle manière l'émotion d'autrui façonne les tendances à l'action et la régulation de la distance interpersonnelle	149
6.1	Article 2 : Introduction	150
6.2	Article 2 : "Emotion as motion : How other's emotions shape approach-avoidance tendencies and interpersonal distance"	153
6.3	Article 2 : Conclusions, Analyses supplémentaires & Perspectives	176
7	Influence de la direction du regard et de l'expression faciale d'autrui sur la perception du regard et le contrôle postural	181
7.1	Article 3 : Introduction	182
7.2	Article 3 : "Are you gazing at me? How others' gaze direction and facial expression influence gaze perception and postural control"	185
7.3	Article 3 : Conclusions, Analyses supplémentaires & Perspectives	210
8	Kyste de la fosse postérieure chez l'enfant : interaction entre émotion et posture	215
8.1	Article 4 & 5 : Introduction	216
8.2	Article 4 : "Pour une meilleure compréhension des liens réciproques entre émotion et posture"	217
8.3	Article 5 : "Kyste de la fosse postérieure chez l'enfant : intérêt de l'évaluation posturographique et socio-émotionnelle."	227
8.4	Article 5 : Conclusions, Analyses supplémentaires & Perspectives	245
IV	Discussion Générale	255
9	Rappel des objectifs de la thèse et résultats	257
9.1	Rappel des objectifs de la thèse	258
9.2	La place des signaux socio-émotionnels dans la boucle Perception-Action : le rôle des traits individuels	260
9.3	Éclairage clinique des liens entre émotion et posture : le rôle du cervelet	262
10	Quelle place pour les signaux socio-émotionnels dans la boucle Perception-Action et quel rôle des traits individuels?	263
10.1	La stabilité posturale est-elle affectée par les caractéristiques de la stimulation?	264
10.2	La perception influence-t-elle les comportements d'approche et d'évitement? Quel est le rôle des traits individuels dans ces liens Perception-Action?	267

TABLE DES MATIÈRES

10.3	Quels facteurs influencent l'ajustement de la distance interpersonnelle et le jugement de la direction du regard?	271
10.4	Eclairage clinique des liens entre émotions et posture	274
10.5	Intégration des travaux de thèse dans le modèle d'Ochsner (WPVA : World-Perception-Valuation-Action)	276
10.6	Limites et perspectives	278
	Conclusion générale	283
	Bibliographie	285
	Annexe A	307
	Détail des vidéos présentées dans l'Article 1	307
	Création des visages Facegen	308
	Ordres de présentation des conditions de l'Article 1	309
	Ordres de présentation des conditions de l'Article 2	311
	Ordres de présentation des conditions de l'Article 3	313
	Questionnaires et épreuves neuropsychologiques	315
	Présentation anamnétique des patients non inclus dans l'Article 5 ou dans les analyses supplémentaires	317
	Résultats aux tests et questionnaires neuropsychologiques des patients hors Article 5	323
	Coupes IRM des patients non inclus dans l'Article 5	324

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAUX	Page
2.1 Traits de personnalité d'après Sander et Scherer (2014)	76
4.1 Présentation des participants de chaque étude	117
4.2 Détail des mesures de la distance simulée	120
5.1 Pourcentages de bonne réponse et intensités - Article 1	146
6.1 Pourcentages de bonne réponse et intensités - Article 2	179
7.1 Pourcentages de bonne réponse et intensités - Article 3	212

TABLE DES FIGURES

FIGURES	Page
1.1 Les signaux socio-émotionnels non verbaux	28
1.2 Axes de recherche de cette thèse	33
1.3 Orientation directe ou déviée de la colère	48
2.1 Unités d'Action et émotions primaires d'Ekman	52
2.2 Activations cérébrales liées à la perception des visages	55
2.3 Résultats d'études concernant la direction du regard	60
2.4 Les trois systèmes motivationnels selon Gray et McNaughton (2000)	66
2.5 Les différents espaces d'après Hall, 1966	71
2.6 Tâches de Stop-distance	72
3.1 Situation d'équilibre et de déséquilibre	85
3.2 Schéma du contrôle postural par rétroaction	88
3.3 Coupe du cervelet	91
3.4 Paramètres posturaux	94
3.5 Stratégie d'allocation des ressources attentionnelles en double-tâche et facteurs impliqués dans la modulation du coût associé au contrôle postural	96
3.6 Le contrôle postural en situation de double tâche	97
3.7 Le contrôle postural chez l'enfant en réponse à des stimuli émotionnels	104
4.1 Plateforme de force et décours temporel	119
4.2 Stimuli et procédure utilisés dans chaque étude	123
4.3 Tâche de Stop-Distance de l'Article 2	125
4.4 Calcul du Cône de Regard Direct - Article 3	127
8.1 Résultats aux tests et questionnaires neuropsychologiques	250
8.2 Déplacement du CoP en réponse aux émotions pour les patients N.G, I.M et O.F	251
8.3 Aire en réponse aux stimuli non sociaux et sociaux chez les patients N.G, I.M et O.F	251
8.4 Longueur en réponse aux stimuli non sociaux et sociaux chez les patients N.G, I.M et O.F	252
10.1 Intégration des travaux de thèse dans le Modèle WPVA (Monde-Perception-Evaluation-Action)	278

ACRONYMES

CoDG Cône de Regard Direct. 36, 37, 59, 77, 126, 127, 183, 184, 210, 214, 261, 271, 272

CoP centre de pression. 21, 84, 85, 93, 94, 104–106, 118, 119, 151, 152, 176, 183, 184, 211, 214, 260, 261, 267, 268, 272, 281

EDT enfants au développement typique. 245, 254

EFE expression faciale émotionnelle. 30, 32, 54, 60, 83, 150, 182, 212, 213, 259, 271, 272, 277

FACS Facial action coding system. 52, 121

KFP kyste de la fosse postérieure. 102, 103, 117, 118, 216, 217, 226, 245, 253, 254, 260, 262, 274, 275

TA tendances à l'action. 28, 29, 37, 39, 48, 61, 63, 64, 67–69, 78, 83, 111, 130, 132, 144, 147, 150, 179, 182, 183, 211, 213, 259, 261, 266, 268, 269, 280

TDC trouble du développement de la coordination. 99, 100, 111, 260

TSA trouble du spectre de l'autisme. 98, 99, 111, 260

Première partie

Introduction Générale

CONTEXTE DE LA THÈSE

Ce chapitre présente à travers quatre parties le contexte dans lequel s'inscrit ce travail de thèse. Dans la première partie, je contextualise notre approche au regard de la littérature et la présente en lien avec trois axes de recherche spécifiques. Dans la deuxième partie, je détaille les questions de recherches abordées au fil de cette thèse, ainsi que les approches méthodologiques suivies pour répondre à ces questions. Dans une troisième partie, une liste des contributions de cette thèse et des publications qui en découlent est donnée. Enfin, ce chapitre s'achève par une description de l'organisation et de la structure de la thèse.

1.1 Introduction

La qualité des **interactions sociales** repose sur la perception, la production et l'intégration de signaux sociaux multimodaux à la fois verbaux et non verbaux (regard, expression faciale, etc. Voir Figure 1.1). Par exemple, un individu joyeux nous regardant directement transmet une intention pro-sociale et suggère une **interaction** à venir. Si l'expression faciale et la direction du regard renseignent sur les **intentions** et les **états émotionnels d'autrui** (Adams Jr & Kleck, 2003, 2005), la **distance interpersonnelle** doit être ajustée en permanence en fonction de ces signaux, puisqu'elle joue un rôle capital dans nos interactions sociales (Argyle & Dean, 1965).

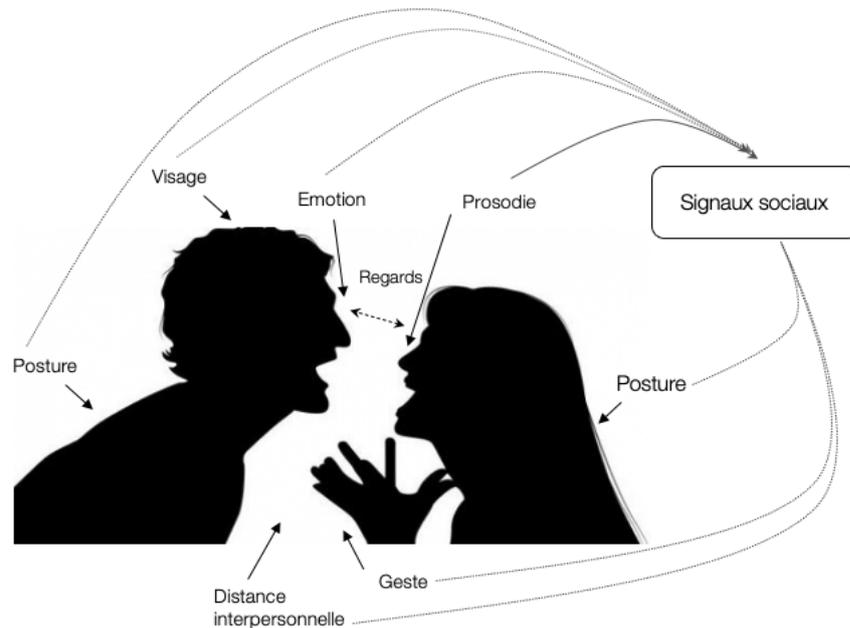


FIGURE 1.1 – Illustration des signaux socio-émotionnels non verbaux sollicités dans le cadre d’une interaction. *Figure tirée de Chaby (2020)*

Ces différents signaux sociaux sont au cœur du traitement émotionnel et ont une fonction **motivationale**, préparant l’organisme à agir par des **tendances à l’action (TA)** comme l’approche ou l’évitement (Elliot, 2006 ; Lowe, 2011). Les théories de l’approche et de l’évitement supposent une relation étroite entre les émotions et les motivations d’approche et d’évitement (Davidson et al., 1990 ; Henriques & Davidson, 1991). Typiquement, une expression de joie déclenchera chez l’observateur une **TA** d’approche (i.e. diminution de la distance interpersonnelle) tandis qu’un visage exprimant du dégoût suscitera plutôt de l’évitement (i.e. augmentation de la distance interpersonnelle) (Gea et al., 2014 ; Perakakis et al., 2012). Ce couplage entre la perception des émotions et les tendances à l’action peut être quantifié avec des mesures fines sur le **plan sensorimoteur et postural**, disponibles grâce au développement récent de nouveaux outils de mesure (Lelard et al., 2019). En outre, ce couplage peut être modulé en fonction des différences individuelles, liées notamment aux **traits de personnalité** ou aux **état émotionnels**. Le **trait de personnalité** désigne un *élément stable de l’individu*, à savoir comment les individus sont généralement, et est à distinguer de l’**état émotionnel** renvoyant à un

état transitoire, ou plus précisément comment l'individu se sent à un moment particulier (Sander & Scherer, 2014). Par exemple, un individu présentant des comportements agressifs ira plutôt à la confrontation (i.e. comportement d'approche) en réponse à une situation impliquant un partenaire en colère, tandis qu'un individu anxieux sera plutôt susceptible de présenter un comportement de fuite (i.e. évitement) ou d'immobilisation (i.e. freezing) (Lelard et al., 2014; Roelofs, Putman et al., 2010; Veenstra et al., 2017). Enfin, la littérature clinique a mis évidence chez l'enfant et l'adulte l'existence de pathologies associant des **perturbations motrices et/ou socio-émotionnelles** à des degrés plus ou moins sévères, soulignant l'importance d'étayer les données cliniques au sujet des liens entre émotion et posture (Chang et al., 2010; Ghanouni et al., 2017; Laufer et al., 2008; Lemonnier, 2010; Rechtman et al., 2020).

L'émotion (littéralement « *mettre en mouvement* », du latin *emovere*) est une vaste notion dont les définitions varient en fonction des époques, des disciplines ou bien des auteurs. Fantino évoquait que « *l'une des raisons de ce manque de connaissances et d'accord, quant aux émotions, réside dans le problème de sa définition* » (traduit de Fantino (1973) p. 281). D'après Sander et Scherer (2014) et Scherer (1984), l'émotion peut être considérée comme un processus complexe, **multi-composantiel** impliquant un éventail de réponses cognitives (*appraisal*), physiologiques (*arousal*), expressives (*expressions faciales, vocales, etc*), motivationnelles (*tendances à l'action*), affectives et/ou ressenties correspondant à la prise de conscience de son état émotionnel. Chacune de ces réponses résulte de l'interaction de ces modalités de base et chaque émotion correspond à un pattern de réponses différent. Cette approche est également cohérente avec le point de vue avancé par Frijda : l'émotion ne viendrait pas seulement nous informer sur notre environnement, mais constituerait un facteur d'interaction avec celui-ci, **facilitant le passage à l'action**. (Frijda, 2005; Frijda, 2007). L'émotion serait ainsi considérée comme un déterminant causal de l'action, donnant lieu au déclenchement automatique de **comportements motivés**, c'est-à-dire de **TA** d'approche ou d'évitement, en réponse à des récompenses ou punitions (Frijda, 2007). Si ces comportements favoriseraient initialement la conservation de l'espèce, ils guident aujourd'hui l'essentiel de nos interactions

sociales.

Ochsner et Gross (2014) considèrent les émotions comme des cycles dynamiques de séquence *Monde-Perception-Evaluation-Action* (*World-Perception-Valuation-Action*, *WPVA*). Le monde (*W*), se compose de stimuli internes ou externes, que nous pouvons percevoir (*P*) et que nous évaluons (*V*) en fonction de nos objectifs, de nos besoins et de nos expériences, déclenchant des actions (*A*) qui peuvent concerner des activations physiologiques (e.g. augmentation du rythme cardiaque) ou des comportements manifestes (e.g. comportement de fuite). L'action déclenchée est supposée permettre de réduire l'écart entre le monde "*tel qu'il est*" et le monde "*tel que je voudrais qu'il soit*", et constituerait le point de départ du cycle suivant. Ce travail de thèse s'intéressera notamment au lien entre la perception et l'action, en examinant l'influence d'indices socio-émotionnels tels que l'**expression faciale émotionnelle (EFE)**, la distance interpersonnelle et la direction du regard, sur le **traitement perceptif** et les **ajustements posturaux**. Nous examinons également la place des **traits individuels** en tant que modulateurs des liens entre Perception-Action.

L'un des supports privilégiés de l'expression des émotions demeure le **visage**, concentrant une abondance de tissus nerveux et de récepteurs sensoriels. L'une des fonctions des **EFE** est adaptative : l'expression de peur permet l'augmentation du débit d'air nasal et l'amélioration de la détection des cibles périphériques en élargissant l'ouverture de l'oeil. De plus, l'**EFE** constituent également le vecteur principal de la **communicatives non verbale** (Erickson & Schulkin, 2003 ; Susskind et al., 2008). Le terme expression faciale suppose que le visage s'anime et transmet un **signal émotionnel** (Ekman, 1993). Toutefois, en situation d'interaction sociale, une **EFE** est rarement perçue de manière isolée et est souvent combinée à d'autres indices, par exemple une **orientation du regard directe ou déviée**, et/ou une **distance interpersonnelle** qui peut varier en fonction des liens entretenus par les individus (Adams & Kveraga, 2015 ; Adams Jr et al., 2017). A partir du traitement combiné de ces différents indices, l'observateur inférera une intention à l'individu et pourra ainsi réagir de manière adaptée par l'intermédiaire **d'ajustements posturaux**. Des oscillations posturales antérieures seraient

associées à un mouvement d'approche, tandis que des oscillations posturales postérieures seraient associées à un mouvement d'évitement. L'état de l'art est assez débattu quant à des patterns posturaux spécifiques en réponse à des visages émotionnels. Au delà des **comportements d'approche et d'évitement**, nous nous intéressons également à la **stabilité posturale globale**. De fait, la stabilité posturale peut être affectée par un certain nombre de facteurs, et notamment par les **ressources attentionnelles** recrutées lorsque nous traitons des **stimuli complexes** (Lacour et al., 2008). Ainsi, dans le contexte de cette thèse, l'avantage des mesures posturographiques est double : elles permettent de prendre en compte d'une part la **stabilité posturale globale**, et d'autre part les **comportements d'approche et d'évitement** en réponse à différents **stimuli non sociaux et sociaux**.

D'un point de vue **anatomique**, un certain nombre de structures et de boucles sous-tendent les ajustements posturaux, et l'une des structures qui nous intéresse particulièrement est le **cervelet**. Si le rôle du cervelet était initialement circonscrit à la motricité, un certain nombre d'études en neuro-imagerie ont étendu son implication au **traitement cognitif et affectif** (Baillieux et al., 2008). Par ailleurs, certaines pathologies du cervelet sont marquées à la fois par des atteintes **sensorimotrices et/ou posturales**, ainsi que par des perturbations **socio-émotionnelles et comportementales** (Cuny et al., 2017; Rechtman et al., 2020). Ces difficultés ne sont pas toujours bien évaluées dans la pratique clinique mais peuvent avoir des répercussions sur le plan **scolaire** ou dans la **vie quotidienne**. Des mesures fines de l'instabilité motrice et posturale, grâce à des **mesures posturographiques** notamment, permettraient d'objectiver des difficultés parfois invisibles à l'œil du clinicien, mais ayant des répercussions dans les **interactions sociales quotidiennes**.

Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse est d'intégrer les **émotions** dans la boucle Perception-Action en tant que prédispositions à agir, et d'examiner comment les **traits individuels de personnalité** peuvent moduler ces relations. Nos travaux s'intègrent dans le cadre des **théories de l'approche et de l'évitement**, en supposant une relation étroite entre les émotions et les **motivations d'approche et d'évitement**. De plus, en

lien avec le modèle *WPVA*, nous considérons que d'autres facteurs interviendront dans la boucle Perception-Action, liés aux indices perceptifs, à l'évaluation de la situation en fonction des objectifs, de l'expérience de l'individu, et enfin de ses traits individuels.

1.2 Questions de recherche et approches

L'objectif premier de cette thèse est de contribuer, de manière théorique et expérimentale, à la compréhension du lien entre **émotion et posture**, tout en considérant le rôle des **traits individuels** dans les **tendances à l'action**. Nous nous sommes concentrés sur trois **signaux socio-émotionnels** qui sont l'**EFE**, la distance interpersonnelle, ainsi que la direction du regard. Le second objectif consiste à apporter un **éclairage clinique** aux liens entre la perception des émotions et le contrôle postural chez des enfants et adolescents porteur d'un kyste cérébelleux, celui-ci pouvant affecter la **motricité** et les **compétences socio-émotionnelles**. Cette thèse vise à affiner la compréhension des liens entre les **émotions** et la **posture** dans les **interactions sociales**, et ainsi d'offrir de nouvelles perspectives pouvant être pertinentes pour des investigations cliniques prenant en compte les relations entre des perturbations des systèmes moteur et socio-émotionnel. Les objectifs de cette thèse sont déclinés en trois axes de recherche, regroupés dans la Figure 1.2 et constituent le squelette de ce travail de thèse.

Ces trois axes sont explorés à travers quatre études présentées dans cette thèse. Une première étude (**Article 1**) examine chez l'adulte sain l'effet de la dynamique du stimulus et des émotions sur le **contrôle postural**, en présentant des visages et des vidéos émotionnels. Cette première étude permet d'explorer le **premier axe** correspondant à l'influence de la perception des émotions sur le contrôle postural, en prenant en compte à la fois la stabilité posturale et les comportements d'approche et d'évitement. Deux autres études (**Articles 2 et 3**), réalisées également chez l'adulte sain, portent sur les influences réciproques entre la perception des émotions et les tendances à l'action. Ces deux études permettent d'une part d'approfondir le premier axe, et d'autre part d'explorer le deuxième axe visant à examiner l'influence des ajustements posturaux sur

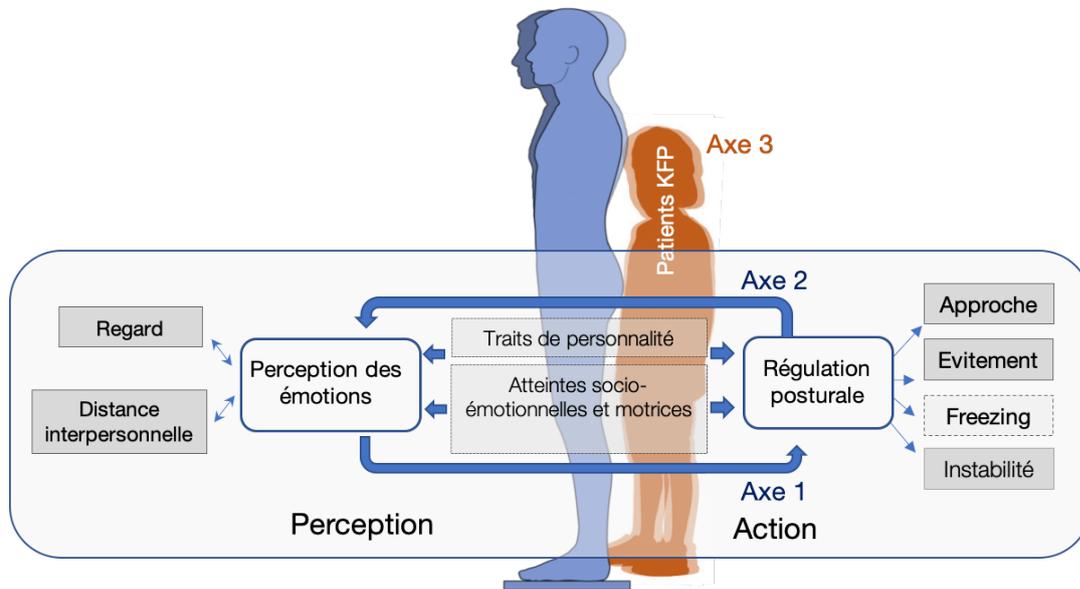


FIGURE 1.2 – Liens réciproques entre émotions et tendances à l'action dans la boucle perception-action, en fonction des traits de personnalité. Le rôle de pathologies associant des perturbations sensorimotrices et socio-émotionnelles à des degrés plus ou moins sévères est également schématisé dans cette Figure. *Figure tirée de Lebert et al. (2020)*

les **aspects perceptifs**. A travers ces deux études, deux indices socio-émotionnels clés dans l'ajustement comportemental sont manipulés : l'orientation **directe ou déviée** de la direction du regard (**Article 2**), ainsi que le mouvement du visage qui pouvait être soit un **mouvement d'approche**, simulant une diminution de la distance interpersonnelle, soit un **mouvement de retrait**, simulant une augmentation de la distance interpersonnelle (**Article 3**). Pour chacune de ces trois études, les réponses perceptives et motrices sont mises en relation avec les traits de personnalité et les états émotionnels des participants. Nous avons également publié une revue de la littérature (**Article 4**), dont l'objectif était de mettre en lumière les connaissances sur les liens réciproques entre **émotions et posture**, chez l'adulte sain ainsi que dans le cadre de pathologies affectant les versants moteurs et/ou socio-émotionnels. Dans un troisième axe, en collaboration avec le Dr. Marie-Laure Cuny à l'Hôpital Necker, nous avons examiné l'influence des émotions sur le contrôle postural en présence d'une atteinte du cervelet, structure cérébrale impliquée à la fois dans la motricité, ainsi que les fonctions cognitives et affectives (étude 4). La section suivante détaille nos différentes questions de recherche et situe

notre position théorique pour chacune des études conduites dans la présente thèse.

(QR1) De quelle manière la perception des émotions et la modalité de présentation, statique ou dynamique, influencent le contrôle postural? Comment ce lien entre perception et action est modulé par les traits individuels?

L'objectif de l'**Article 1** est de répondre à cette première question de recherche. L'état de l'art concernant l'influence de la **perception des émotions** sur le **contrôle postural** ne converge pas vers des résultats communs. Ce manque de consistance peut être attribué à la diversité des ressources méthodologiques utilisées entre les différentes études, tels que les stimuli utilisés (visages statiques, dynamiques, vidéos, scènes visuelles, etc), les tâches et/ou les mesures posturales utilisées (posture statique, pas en avant, locomotion, etc), mais également le type et le nombre d'émotions comparées. En effet, tandis que certaines études présentent des scènes visuelles sans êtres humains, donc dénuées de contexte social, d'autres comparent un nombre limité d'émotions entre elles, et ne permettent donc pas une **catégorisation fine** de l'influence des émotions sur la posture. Enfin, la potentielle modulation du lien entre émotion et posture par les **traits individuels** est un domaine encore peu exploré que nous examinons entre autres dans notre première étude. Ainsi, cette recherche, détaillée dans le Chapitre 5, permet de répondre à trois questions spécifiques :

- *(q1a) La stabilité posturale globale et les comportements d'approche et d'évitement sont-ils influencés par la modalité de présentation des stimuli (visages émotionnels statiques vs. vidéos émotionnelles)?*
- *(q1b) La stabilité posturale globale et les comportements d'approche et d'évitement sont-ils influencés par l'émotion exprimée par les stimuli (joie, colère, dégoût, peur, tristesse et neutre).*
- *(q1c) Le lien entre émotion et posture est-il modulé par certaines variables individuelles telles que les traits de personnalité et les états émotionnels?*

Pour répondre à ces questions, nous avons mis en place un protocole permettant d'étudier l'effet du type de stimuli (visages émotionnels statiques vs. vidéos émotionnelles) et de l'émotion exprimée (joie, colère, peur, tristesse, dégoût et neutre) sur la stabilité posturale globale et les comportements posturaux d'approche et d'évitement. Le rôle des traits individuels dans l'étude du lien entre émotion et posture est examiné à l'aide de plusieurs questionnaires spécifiques.

(QR2) De quelle manière la perception des émotions influence la régulation de la distance interpersonnelle des individus? Comment ce lien entre perception et action est-il modulé par les traits individuels?

La réponse à cette question se situe dans le cadre de la **théorie de l'équilibration**. Cette théorie suggère que l'espace interpersonnel est régulé par des forces d'approche et d'évitement, jusqu'à ce que le point d'équilibre soit atteint, permettant ainsi d'ajuster en permanence notre **distance interpersonnelle** (Argyle & Dean, 1965). De façon intéressante, l'étendue de l'espace interpersonnel peut également être modulée par certains **traits individuels** tels que l'ouverture ou bien l'agréabilité (Hecht et al., 2019). Par exemple, des individus présentant un haut score d'extraversion et un faible score d'ouverture, correspondant à un tempérament d'approche d'après (Elliot & Thrash, 2002), maintiennent une **distance plus courte** face à autrui (Hecht et al., 2019). Plus spécifiquement, nous avons exploré la relation entre la distance préférée ajustée dans le cadre d'une **tâche informatisée** et les **comportements posturaux d'approche-évitement** afin d'identifier plus précisément les mécanismes de régulation de la distance interpersonnelle. Ainsi, cette étude 2, détaillée dans le Chapitre 6, permet de répondre à trois questions spécifiques :

- (q2a) *La distance interpersonnelle est-elle régulée par des mécanismes distincts dissociant un ajustement actif via une tâche de distance informatisée et un ajustement postural spontané?*
- (q2b) *La perception de visages émotionnels et le mouvement d'approche et de retrait d'autrui affectent-ils la stabilité posturale globale?*

- *(q2c) Les processus de régulation de la distance interpersonnelle sont-ils modulés par certains traits individuels de l'observateur ?*

Nous répondrons à ces questions de recherche dans notre **Article 2**, à l'aide d'un protocole permettant d'étudier l'effet de visages émotionnels (joie, colère, peur, tristesse, dégoût et neutre) et du mouvement du visage (approche/retrait) sur la distance préférée. Cette dernière est mesurée d'une part dans le cadre d'une tâche de distance informatisée, et d'autre part à travers l'étude d'un paramètre postural permettant d'apprécier les comportements d'approche et d'évitement. De plus, le rôle des traits individuels dans la régulation de la distance interpersonnelle est examiné à l'aide de plusieurs questionnaires ciblés.

(QR3) De quelle manière la perception des émotions et la direction du regard d'autrui influencent-elles la perception du regard, ainsi que le contrôle postural des individus ? Comment ce lien entre perception et action est modulé par les traits individuels ?

L'objectif de l'**Article 3** est de répondre à cette troisième question de recherche. Outre les expressions faciales émotionnelles, la direction du regard fait également partie des **signaux émotionnels les plus informatifs** sur le plan des interactions sociales. De plus, la direction du regard d'autrui peut fournir une aide additionnelle à **l'identification** de l'expression faciale émotionnelle (Adams Jr & Kleck, 2003). D'après **l'hypothèse du signal partagé** proposée par Adams Jr et Kleck (2003), le traitement des émotions est renforcé lorsque la direction du regard correspond à l'orientation motivationnelle d'une émotion exprimée. A titre d'illustration, des expressions telles que la joie ou la colère seraient perçues plus rapidement et plus intensément par l'observateur lorsqu'elles seraient associées à un regard direct (partageant une motivation d'approche.) La direction du regard influence donc la perception des émotions, mais la réciproque est également vraie. Le jugement de la direction de regard a longtemps été étudié de façon binaire, en présentant des modalités de regard direct ou dévié (Ewbank et al., 2009). Nous utiliserons un **indice psychophysique** qui est le **Cône de Regard Direct**

(CoDG) (Gamer & Hecht, 2007), permettant de caractériser précisément **l'étendue des déviations du regard** que les participants interprètent comme un **regard direct**. Ainsi, cette troisième étude examine l'influence de la direction du regard d'autrui (directe ou déviée) et de visages émotionnels sur i) la perception de la direction du regard et ii) le contrôle postural de l'observateur. Nous considérons dans cette étude que des indices sociaux, tels que les visages émotionnels ou la direction du regard, sont de puissants vecteurs d'informations et moteurs de **TA** (approche vs. évitement). Ainsi, cette recherche, détaillée dans le Chapitre 7, permet de répondre à trois questions spécifiques :

- (q3a) *La perception de visages émotionnels et la direction du regard d'autrui affectent-elles la stabilité posturale globale ?*
- (q3b) *La perception de visages émotionnels et la direction du regard d'autrui modulent-elles les comportements d'approche et d'évitement de l'observateur ?*
- (q3c) *La stabilité posturale globale et les comportements d'approche et d'évitement sont-ils modulés par certains traits individuels de l'observateur ?*

Pour répondre à ces questions, nous avons mis en place un protocole permettant d'examiner l'effet des visages émotionnels combinés à différentes directions de regard sur la perception de la direction du regard et le contrôle postural de l'observateur, tout en considérant les traits individuels des participants à l'aide de questionnaires. La perception de la direction du regard a été indexée via le **CoDG**. De plus, à travers l'analyse des déplacements du centre de pression, nous avons étudié l'effet des émotions combinées à un regard direct ou dévié sur la stabilité posturale et les comportements posturaux d'approche et d'évitement.

La compréhension des liens entre les émotions et la posture reste à ce jour peu étudiée dans le champ de la clinique. Pourtant, cette perspective dynamique des liens entre **système moteur** et **système socio-émotionnel** implique qu'une perturbation, même minime dans l'un des systèmes, peut avoir des effets non négligeables sur l'autre système. Or la co-existence de ces difficultés **motrices et socio-émotionnelles** n'est pas toujours

bien évaluée. L'utilisation de **mesures posturales** dans le cadre de certaines pathologies pourrait être bénéfique sur le plan clinique lors d'une évaluation neuropsychologique. Ces mesures permettraient notamment d'objectiver des difficultés posturales invisibles à l'oeil du clinicien, et qui pourtant peuvent se répercuter dans la vie quotidienne. La dernière étude consiste donc à apporter un **éclairage clinique** au lien entre la perception des émotions et le contrôle postural chez des patients porteurs d'un kyste du cervelet.

(QR4) Observe-t-on chez les enfants / adolescents porteurs d'une pathologie cérébelleuse une atteinte motrice et/ou des difficultés socio-émotionnelles et comportementales ?

Le cervelet est une structure impliquée sur le plan de la coordination motrice, mais également au sein des acquisitions cognitives et des fonctions de communication et de socialisation. Des anomalies cérébelleuses peuvent perturber les fonctions d'optimisation de circuits cérébo-cérébelleux spécifiques. Ainsi, une lésion du cervelet postérieur peut entraîner des déficits au niveau cognitif, et une dérégulation affective tels que le syndrome cognitivo-affectif cérébelleux (Schmahmann & Sherman, 1998). Cependant, très peu de données ont été collectées à ce jour concernant les **répercussions cognitives, voire affectives** des kystes de la fosse postérieure chez l'enfant. L'objectif de cette quatrième étude est d'apporter un éclairage clinique quant au lien entre émotions et posture chez l'enfant et l'adolescent. Cette étude, détaillée dans le Chapitre 8, permet de répondre à quatre questions spécifiques :

- *(q4a) L'augmentation de la complexité des stimuli présentés (écran vide, croix de fixation, visages émotionnels) conduirait-elle à une augmentation de l'instabilité posturale des patients ?*
- *(q4b) L'émotion exprimée par le visage affecte-t-elle différemment la stabilité posturale globale des patients ?*
- *(q4c) Les comportements d'approche et d'évitement des patients face aux visages émotionnels sont-ils affectés différemment de ceux des enfants typiques ?*

- *(q4d) Les compétences socio-émotionnelles et la régulation comportementale évaluées dans le cadre du bilan neuropsychologique influencent-elles le contrôle postural des patients ?*

Pour répondre à ces questions, nous avons mis en place un protocole permettant d'examiner d'une part l'atteinte motrice sur le plan de la régulation posturale, et d'autre part la présence ou non de difficultés socio-émotionnelles et comportementales qui pourraient affecter l'adaptation posturale de l'enfant. Le contrôle postural était mesuré à l'aide d'une plate-forme de force en réponse à des stimuli non sociaux (écran vide et croix de fixation) et sociaux (visages émotionnels). Les difficultés socio-émotionnelles et comportementales étaient évaluées à travers différents questionnaires, remplis par l'enfant ou les parents, et épreuves neuropsychologiques.

En résumé, l'objectif de cette thèse est de mieux comprendre la place de **trois signaux socio-émotionnels** fondamentaux dans les interactions sociales que sont **l'expression faciale émotionnelle**, **la distance interpersonnelle** et **la direction du regard**, dans la boucle Perception-Action. A travers ces trois axes, nous examinons de façon exhaustive les influences réciproques entre perception des émotions et **TA**, en tenant compte des **traits individuels** chez les jeunes adultes et des profils neuropsychologiques chez des enfants/adolescents porteurs d'un kyste du cervelet. Les données récoltées permettent d'étayer les théories d'approche et d'évitement en apportant un éclairage nouveau fondé sur des **mesures posturographiques objectives**, qui en retour, nous fournissent des indices sur la manière dont ces **tendances à l'action** peuvent moduler notre **perception** du monde en situation d'interaction sociale. L'étude chez les patients participe à une meilleure compréhension du rôle du cervelet et de l'influence des troubles socio-émotionnels et comportementaux dans la vie quotidienne sur les **TA**. Elle pourrait également permettre de contribuer à améliorer l'évaluation de ces patients dans le cadre de leurs bilans neuropsychologiques, en fournissant des mesures observables pour le praticien.

1.3 Publications et disséminations

Cette thèse a donné lieu à plusieurs publications nationales et internationales, ainsi qu'à des communications orales et affichées dans le cadre de congrès nationaux et internationaux.

Articles dans des revues à comité de lecture (ACL)

- **Lebert, A.**, Vergilino-Perez, D., Cuny, M.-L., Prodhomme, J., Puget, S., Beccaria, K., & Chaby, L. (en préparation). Kyste de la fosse postérieure chez l'enfant : intérêt de l'évaluation posturographique et socio-émotionnelle.
- **Lebert, A.**, Vergilino-Perez, D. & Chaby, L. (en préparation). Emotion as motion : How other's emotions shape approach-avoidance tendencies and interpersonal distance.
- **Lebert, A.**, Chaby, L., Guillin, A., Chekroun, S. & Vergilino-Perez, D. (en revision dans *Frontiers in Psychology*). Are you gazing at me? How others' gaze direction and facial expression influence gaze perception and postural control.
- **Lebert, A.**, Chaby, L., Garnot, C. & Vergilino-Perez, D. (2020). The impact of emotional videos and emotional static faces on postural control through a personality trait approach, *Experimental Brain Research*, 238, 2877-2886.
- **Lebert, A.**, Vergilino-Perez, D. & Chaby, L. (2020). Pour une meilleure compréhension des liens entre émotion et posture. *Revue de neuropsychologie*, 12(1), 11-18.

Résumé des communications parues dans des revues à comité de lecture

- **Lebert, A.**, Chaby, L., Garnot, C., Vergilino-Perez, D. (2019). Investigating the interaction between emotion perception and postural control : Effects of stimuli properties and individual characteristics. *Book of abstracts of the 41st European Conference on Visual Perception*, 2018 August 26-30, Trieste, Italy. Perception, 48(S1), p.118, doi :10.1177/0301006618824879
- **Lebert, A.**, Chaby, L., Cuny, M. L., Puget, S., Beccaria, K., & Vergilino-Perez, D. (2018). Interaction entre émotion et contrôle postural chez des enfants et des adolescents porteurs d'un kyste de la fosse postérieure. *Neurophysiologie Clinique*, 48(6), 319-320. doi : 10.1016/j.neucli.2018.10.022

Communications dans des colloques nationaux et internationaux avec acte de congrès

- **Lebert, A.**, Vergilino-Perez, D., Cuny, M.-L., Prodhomme, J., Puget, S., Beccaria, K., & Chaby, L. (2019). Kyste de la fosse postérieure chez l'enfant : intérêt de l'évaluation posturographique et socio-émotionnelle. *XXVI^{ème} congrès de la Société Francophone Posture Equilibre Locomotion (SOFPEL)*. 4-5 décembre 2019, Montréal. [Communication orale]
- **Lebert, A.**, Vergilino-Perez, D., & Chaby, L. (2019). Reciprocal effects of interpersonal regulation distance and action tendencies in an emotional context. *21st European Society for cognitive Psychology 2019, 25-28 September 2019, Tenerife, Spain*. [Communication affichée]
- **Lebert, A.**, Chaby, L., Cuny, ML., Puget, S., Beccaria, K., & Vergilino-Perez, D. (2018). Interaction entre émotion et contrôle postural chez des enfants et des adolescents porteurs d'un kyste de la fosse postérieure. *XXV^{ème} congrès de la Société Francophone Posture Equilibre Locomotion (SOFPEL)*. 6-8 décembre 2018, Amiens. [Communication orale]
- **Lebert, A.**, Chaby, L., Garnot, C., & Vergilino-Perez, D. (2018). How the stimuli properties and the individual characteristics influence the interaction between perception of emotion and postural control? *Groupe De Recherche Vision, 5-6 October 2018, Paris, France*. [Communication affichée]
- **Lebert, A.**, Chaby, L., Garnot, C., & Vergilino-Perez, D. (2018). Investigating the interaction between emotion perception and postural control : effects of stimuli properties and individual characteristics. *41st European Conference of visual Perception 2018, 26-30 August 2018, Trieste, Italy*. [Communication affichée]
- **Lebert, A.**, Cuny, ML., Puget, S., Vergilino-Perez, D., & Chaby, L. (2018). Evaluation socio-émotionnelle et régulation posturale d'enfants porteurs d'un kyste du cervelet. *Journée 'Interactions Sociales, Systèmes Intelligents et Santé', Conférences Programme Autonomie, 21 Mars 2018, Paris, France*. [Communication affichée]

1.4 Structure de la thèse

Ce manuscrit de thèse est organisé en quatre parties, la présente introduction en constitue la première partie et le contexte de cette thèse le premier Chapitre. La deuxième partie de cette thèse est consacrée à la définition des concepts clés et permet de poser les jalons théoriques et scientifiques de ce travail. Le Chapitre 2 est centré autour des émotions et des tendances à l'action. Nous nous intéressons notamment à trois signaux socio-émotionnels fondamentaux dans les interactions sociales : l'expression faciale émotionnelle, la distance interpersonnelle et la direction du regard. Nous abordons également les liens entre émotion et tendances motivationnelles en nous appuyant sur différents modèles d'étude, et en spécifiant le rôle des traits individuels dans les tendances à l'action. Puis, nous examinons la place des émotions dans le traitement de la distance interpersonnelle et de la direction du regard. Le Chapitre 3 s'applique à définir le contrôle postural et à présenter la place des émotions dans la boucle perception-action, à la fois chez l'adulte sain et dans le cadre de pathologies affectant la motricité et/ou les compétences socio-émotionnelles. La troisième partie traite des travaux réalisés dans le cadre de cette thèse. Après avoir décrit la méthodologie générale dans le Chapitre 4, nous nous employons, par le biais de quatre chapitres expérimentaux, à comprendre les liens entre émotion et posture, tout en prenant en considération le rôle des traits individuels dans les tendances à l'action. Nous examinerons également les liens entre émotion et posture chez des enfants et adolescents porteurs d'un kyste arachnoïdien de la fosse postérieure, qui par son aspect potentiellement compressif sur le cervelet, affecte les processus moteurs, cognitifs et socio-émotionnels. Enfin, la quatrième et dernière partie de cette thèse sera consacrée à une discussion générale des résultats observés. Le Chapitre 9 rappellera les objectifs de la thèse ainsi que les principaux résultats obtenus. Par la suite, je discuterai dans le Chapitre 10 des contributions apportées à la compréhension de la place de signaux socio-émotionnels dans la boucle Perception-Action, tout en considérant les traits individuels. Après cela, j'évoquerai les liens entre émotions et posture à travers un prisme clinique. Finalement, ce chapitre s'achèvera par les limites observées ainsi que par des perspectives théoriques et cliniques.

Points-clés du Chapitre 1

Questions de recherche :

- **(RQ1)** *De quelle manière la perception des émotions et la modalité de présentation - statique ou dynamique - affectent-elles le contrôle postural ?*
- **(RQ2)** *De quelle manière la perception des émotions influence-t-elle la régulation de la distance interpersonnelle des individus ?*
- **(RQ3)** *De quelle manière la perception des émotions et la direction du regard d'autrui influencent-elles la perception du regard, ainsi que le contrôle postural des individus ?*
- *Pour chacune de ces questions de recherche citées ci-dessus, nous examinons la place des traits individuels dans cette boucle perception et action.*
- **(RQ4)** *Observe-t-on chez les enfants /adolescents porteurs d'une pathologie cérébelleuse une atteinte motrice et /ou des difficultés socio-émotionnelles et comportementales ??*

Objectifs de la thèse :

- Mieux comprendre la place de **trois signaux socio-émotionnels** fondamentaux dans les **interactions sociales** (*l'expression faciale émotionnelle, la distance interpersonnelle et la direction du regard*) dans la **boucle perception-action**.
- Objectiver des **patterns posturaux spécifiques** en réponse aux différents signaux socio-émotionnels chez **l'adulte sain** et dans le cadre d'une **atteinte cérébelleuse**.
- Examiner le rôle des **traits de personnalité** chez les jeunes adultes, et des **profils neuropsychologiques**, dans les **tendances à l'action**.
- Examiner ces trois objectifs à la lumière des **théories de l'approche-évitement**, théories qui ont guidé l'ensemble des travaux présentés dans cette thèse.

Deuxième partie

Contexte Théorique

Lorsque nous explorons notre environnement, nous sommes confrontés à une abondance de stimuli visuels que nous devons préalablement filtrer avant qu'ils fassent l'objet d'un traitement plus poussé. Ce filtrage s'effectue à l'aide du système attentionnel qui peut être envisagé comme un réservoir de ressources en quantité limitée privilégiant le traitement de certaines informations au détriment d'autres (Egeth & Kahneman, 1975). L'allocation de cette attention est pondérée par différents facteurs, tels que les caractéristiques physiques du stimulus, par exemple sa forme ou sa saillance visuelle, mais également par sa signification émotionnelle, véhiculée par exemple par l'expression faciale émotionnelle (Compton, 2003). D'un point de vue biologique et social, les visages sont probablement les stimuli visuels les plus saillants de l'environnement humain, et avec le temps, l'être humain est devenu expert dans la reconnaissance des visages. Celui-ci pourrait reconnaître un visage familier parmi une foule d'individus (Young & Burton, 2018). Les visages émotionnels feraient donc l'objet d'un traitement attentionnel renforcé (Palermo & Rhodes, 2007) et l'homme est particulièrement efficace dans sa capacité à décoder rapidement et efficacement l'émotion exprimée (Schyns et al., 2009; Smith et al., 2005). En outre, l'être humain est capable d'extraire à partir du visage un certain nombre d'informations telles que le genre, l'âge, mais également l'intention d'autrui directement liée à l'émotion exprimée ainsi qu'à la direction du regard. Lors d'une interaction en face à face, la direction du regard est un des premiers indices traités et puisqu'elle indique où l'attention d'autrui est orientée elle est essentielle à la déduction de l'action à venir (Kroczeck et al., 2021). *Par exemple, en réponse auquel des deux visages de la Figure 1.3 vous sentiriez-vous le plus menacé ?* Les visages émotionnels sont ainsi de puissants vecteurs d'informations à propos de l'état affectif interne d'autrui, et influencent la manière dont nous régulons nos interactions sociales en approchant ou évitant l'individu par exemple (Ruggiero et al., 2017).

Ainsi, lorsqu'un individu traite les informations de son environnement, il est nécessaire qu'il recueille les informations issues de diverses sources afin de les assembler et d'en inférer un sens pour avoir une réaction adaptée. L'interprétation d'une expression faciale nécessite donc une évaluation globale de tous les indices observables, pouvant



FIGURE 1.3 – Par quel individu vous sentiriez-vous le plus menacé? Tandis que sur la photo de gauche, la colère est directement dirigée vers nous, l'objet de la colère de l'individu de gauche semble être la personne au téléphone. Dans le premier cas l'orientation directe du regard suggère un degré de menace plus important que dans le second cas. Tiré de <https://unsplash.com>

être liés à l'état interne de la personne. Parmi ces indices, la direction du regard mais aussi la distance interpersonnelle représentent des indices fondamentaux pour inférer l'intention comportementale d'autrui. Au-delà de véhiculer des informations sur l'état affectif d'autrui, ces signaux socio-émotionnels influencent également nos dispositions comportementales telles que nos réactions d'approche, d'évitement ou d'immobilisation. Ces comportements sont sous-tendus par des états motivationnels, ou TA et sont fondés sur la biomécanique du système de contrôle postural humain permettant au corps de s'engager dans un mouvement antérieur ou postérieur. Ces mouvements sont objectivables grâce à l'analyse des déplacements de la projection au sol du centre de gravité (voir Chapitre 3). Ces oscillations posturales sont influencées par différents facteurs internes, telle que la maturation du système postural, ou certaines variables individuelles chez l'adulte sain ou dans le cadre de pathologies cérébelleuses. Enfin, des facteurs externes tels que la modalité de présentation du stimulus, le type d'émotion exprimée par autrui, la direction de son regard, ou encore la distance par rapport à l'observateur peuvent également affecter le contrôle postural de ce dernier.

ÉMOTIONS ET TENDANCES À L'ACTION

Contenu

2.1	La perception des expressions faciales émotionnelles	51
2.1.1	Vers une approche multi-componentielle des émotions	51
2.1.2	Le traitement des visages émotionnels	54
2.2	La perception de la direction du regard	57
2.2.1	Le traitement de la direction du regard et son influence sur d'autres signaux sociaux	57
2.2.2	L'influence des émotions sur la perception de la direction du regard : le cône de regard direct	59
2.2.3	L'hypothèse du signal partagé	61
2.3	Émotions et tendances à l'action	63
2.3.1	Qu'est ce qu'une tendance à l'action?	63
2.3.2	Modèles théoriques des tendances à l'action	65
2.3.3	Les méthodes de mesure des tendances à l'action	67
2.4	La régulation de la distance interpersonnelle	69
2.4.1	Comment définir la proxémie?	69
2.4.2	Quelles sont les méthodes d'évaluation de la distance interper- sonnelle?	71

2.4.3	La perception des émotions et la distance interpersonnelle s'influencent-elles réciproquement?	72
2.5	Perception-Action : le rôle des traits individuels	74
2.5.1	Qu'est ce qu'un trait de personnalité?	74
2.5.2	Les traits de personnalité modulent-ils la perception des émotions?	76
2.5.3	Les traits de personnalité modulent-ils la perception de la direction du regard?	77
2.5.4	Les traits de personnalité modulent-ils la perception de la distance interpersonnelle?	78

Ce chapitre s'applique à définir et à situer de manière théorique les concepts d'émotions et de tendances à l'action, en considérant trois signaux socio-émotionnels clés dans les interactions sociales : les expressions faciales émotionnelles, la distance interpersonnelle et la direction du regard. Ce chapitre est organisé comme suit : dans la section 2.1, après un bref aperçu de l'évolution phylogénétique des expressions faciales émotionnelles, nous abordons le traitement des visages émotionnels chez l'enfant et chez l'adulte. Dans la section 2.2, nous examinons la perception de la direction du regard. Puis, après avoir décrit dans la section 2.3 le lien entre les émotions et les tendances à l'action, nous présentons dans la section 2.4 la régulation de la distance interpersonnelle. Enfin, au sein d'une dernière section 2.5 nous examinons le rôle des traits individuels dans la boucle perception-action.

2.1 La perception des expressions faciales émotionnelles

2.1.1 Vers une approche multi-composentielle des émotions

La production **d'expressions faciales émotionnelles** a une histoire phylogénétique ancienne, marquée par la capacité des humains et des animaux à contracter des muscles faciaux spécifiques (voir Waller & Micheletta, 2013). Les expressions faciales ne sont pas des configurations arbitraires et correspondent au relâchement et à la contraction spécifique de certains muscles du visage (Ekman & Friesen, 1976). D'un point de vue adaptatif, elles servent une fonction primaire pour l'émetteur, et ce indépendamment de l'expression effectivement perçue. Les expressions faciales ont également un rôle **communicatif** complexe et transmettent les **intentions** ainsi que les objectifs d'autrui (Erickson & Schulkin, 2003). Chaque émotion correspondrait à un état interne spécifique, et à une configuration spécifique des muscles du visage, que nous appelons communément *expression faciale* (Ekman & Friesen, 1976 ; Gendron & Barrett, 2017). Certains de ces muscles seraient sous contrôle volontaire tandis que d'autres répondraient de manière automatique. Dans ce contexte, Paul Ekman, théoricien des émotions de base, a mis au

point le *Facial Action Coding System* (**FACS**, Figure 2.1 a), un outil décomposant les mouvements faciaux en unités d'action spécifique. Ainsi, une expression correspondrait à l'activation d'une combinaison spécifique d'unités d'action et cette configuration fournirait des indices suffisants pour reconnaître l'émotion. De plus, la production automatique de ces expressions serait sous-tendue par des programmes neuro-moteurs innés (Ekman & Friesen, 1976). Dans la continuité de la vision darwinienne, Ekman admet six émotions de base que sont la **colère**, la **peur**, le **dégoût**, la **surprise**, la **joie** et la **tristesse** présentés dans la Figure 2.1 b. Ces six émotions seraient produites et reconnues au sein de toutes les cultures, suggérant ainsi qu'elles ne sont pas le résultat d'un apprentissage mais seraient de nature universelle (Darwin, 1872; Ekman & Keltner, 1997).

a.

Exemples Unités d'Action formant l'émotion de peur						
UA 1	UA 2	UA 4	UA 5	UA 7	UA 20	UA 26
						
Remontée de la partie interne du sourcil	Remontée de la partie externe du sourcil	Abaissement et rapprochement des sourcils	Ouverture entre la paupière supérieure et les sourcils	Tension de la paupière	Étirement externe des lèvres	Ouverture de la Mâchoire

b.



FIGURE 2.1 – (a) Exemples d'Unités d'Action de la **FACS** formant l'expression de peur : UA 1 + UA 2 + UA 4 + UA 5 + UA 7 + UA 20 + UA 26. *Photos tirées de <https://imotions.com/>*. (b) Photos des six émotions primaires d'Ekman, de gauche à droite en commençant par la première ligne : la colère, la peur, le dégoût, la surprise, la joie et la tristesse. *Photos tirées de Ekman et Friesen (1976)*.

Cette vision catégorielle des émotions suppose que la perception des expressions faciales est uniquement influencée par l'émotion exprimée, indépendamment d'autres indices situationnels. D'autres théories plus récentes adoptent une **approche multi-composentielle de l'émotion** (Gross, 2015; Ochsner & Gross, 2014; Scherer et al., 2001). Scherer et al. (2001) considèrent la prise de conscience de l'état émotionnel comme résultante de la combinaison entre un certain nombre de composantes. À titre d'illustration, l'émotion de peur impliquerait :

- une *évaluation cognitive* de la situation (e.g. dangerosité potentielle de la situation),
- des *comportements expressifs* (e.g. agrandissement des yeux et de la bouche),
- des *réactions physiologiques* (e.g. accélération du rythme cardiaque),
- un *sentiment subjectif* (e.g. prise de conscience de l'état émotionnel),
- des *comportements motivationnels* déclenchant des *tendances à l'action* spécifique (e.g. préparation à la fuite) (Sander & Scherer, 2014).

Les dernières composantes seraient donc la conséquence de la perception et de l'évaluation, consciente ou non, de la situation. Par ailleurs, Ochsner et Gross (2014) considèrent l'émotion comme une séquence **Monde-Perception-Evaluation-Action (WPVA)**. Le monde (*W*), se compose de stimuli internes ou externes, que nous pouvons percevoir (*P*). L'étape d'évaluation (*V*) estimerait la valeur des stimuli en fonction des objectifs actuels de l'individu, du contexte, de son expérience. Enfin, l'étape d'action (*A*) comprendrait des réponses motrices telles que des réponses périphériques, des expressions faciales ou des ajustements posturaux. Dans le contexte de ce travail de thèse, je présenterai notamment les indices perceptifs que sont l'expression faciale émotionnelle, la direction du regard et la distance à autrui. J'examinerai ensuite de quelle manière ces indices influencent les ajustements posturaux d'autrui et comment ces ajustements affectent en retour la perception du monde qui nous entoure. Ces étapes seront considérées à la lumière de certaines variables individuelles telles que les traits de personnalité ou les états émotionnels de l'observateur.

2.1.2 Le traitement des visages émotionnels

En tant qu'être sociaux, nous passons la majeure partie de notre temps à interagir avec les autres. La capacité à extraire et identifier correctement les informations émotionnelles transmises par les expressions faciales module la communication interindividuelle et est la garante d'une **interaction sociale adaptée** (Ito et al., 2017). L'interprétation des **EFE** nécessite une évaluation globale de tous les indices observables pouvant être liés à l'état interne de la personne. De plus, ces indices faciaux seront également traités en fonction des besoins, des buts, des valeurs ou du bien-être de l'observateur (Sander & Scherer, 2014). Du point de vue des **théories plus perceptives**, le traitement des visages relève de la vision dite de haut-niveau, c'est à dire de la perception des objets et des formes. Des mécanismes perceptifs différents et des régions cérébrales différentes sous-tendent le traitement des indices invariants et dynamiques des visages (Bruce & Young, 1986; Haxby et al., 2000). Les informations invariantes sont contenues dans la composition structurelle du visage et permettent d'extraire les informations liées à l'identité, au sexe et à l'ethnicité d'une personne. Les informations dynamiques sont basées sur les changements dans l'activité musculaire du visage et fournissent des informations sur la direction du regard, la lecture labiale et l'état émotionnel d'une personne. L'exploration du visage débuterait d'abord par une orientation de l'attention vers la région des yeux plutôt que vers la bouche ou le nez (Hernandez et al., 2009). **Sur le plan neurophysiologique**, la perception des visages met en jeu un certain nombre de régions corticales illustrées dans la Figure 2.2. Le *gyrus fusiforme* répond de façon plus importante aux visages qu'aux autres objets visuels, *l'aire occipitale des visages* est impliquée dans le traitement précoce des traits faciaux, et le *sillon temporal supérieur* est dédié aux éléments changeants du visage tels que le regard, l'angle de la tête ou bien l'expression (Davies-Thompson & Andrews, 2012; Duchaine & Yovel, 2015). Le réseau cortical des visages comprend également une structure sous-corticale clé : *l'amygdale*, dont certains neurones répondent spécifiquement aux **EFE** (Schirmer & Adolphs, 2017; Wang, Tudusciuc et al., 2014). De plus, les expressions faciales recruterait des régions spécifiques en fonction de l'émotion exprimée. Certaines études lésionnelles ont mis en

évidence qu'une atteinte de l'amygdale et des ganglions de la base affectaient respectivement la reconnaissance de la peur et du dégoût (Adolphs, 2010; Adolphs & Tranel, 1999; Calder et al., 2001). Par ailleurs, la trajectoire développementale de l'amélioration des performances d'identification des visages est intrinsèquement liée aux processus de maturation de **l'amygdale** et de ses connexions avec le cortex préfrontal (Lobaugh et al., 2006; Thomas et al., 2001) et le gyrus fusiforme (Vuilleumier et al., 2003).

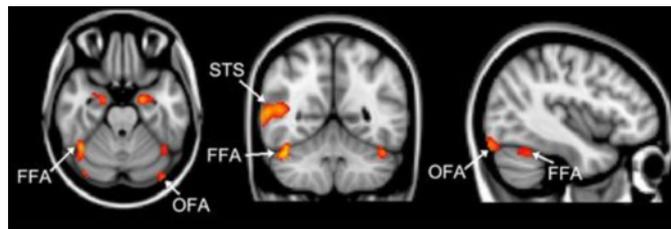


FIGURE 2.2 – (a) Régions impliquées dans la perception des visages (*FFA*, aire fusiforme des visages; *OFA*, aire occipitale des visages; *STS*, sillon temporal supérieur). *Figure tirée de Davies-Thompson et Andrews (2012)*

Comment le traitement des émotions évolue de l'enfance à l'adolescence ?

Dès notre plus jeune âge, nous apprenons à reconnaître et à interpréter l'état émotionnel d'autrui. Cette compétence se développe de manière graduelle au cours de l'enfance et s'affine progressivement jusqu'à la fin de l'adolescence (Lenti et al., 1999). De plus, elle serait prédictive de **l'avenir social** ainsi que des **compétences scolaires et relationnelles** de l'enfant (Izard et al., 2001). À l'inverse, une gestion inadéquate des émotions conduirait à des relations sociales de moins bonne qualité (Leonard & Hill, 2014). La compréhension de la signification des expressions faciales reste assez rudimentaire avant l'âge de 2 ans (Nelson, 1987). Ce n'est qu'à partir de l'âge de 2-3 ans, période d'acquisition du langage, que l'enfant semble capable **d'interpréter et de catégoriser les expressions faciales** sur la base de la valence émotionnelle puis en termes de catégories discrètes (Gosselin, 2005; Ridgeway et al., 1985; Widen & Russell, 2008). À partir de 5-6 ans, les enfants seraient capables de **verbaliser** eux-mêmes le nom de l'émotion qu'ils ont reconnue sur un visage, puis vers 7-8 ans, ils parviendraient à catégoriser toutes les émotions de base (Gosselin, 1995). Pour certains auteurs, peu de changements significatifs sont observables après 10 ans (Tremblay et al., 1987), tandis

que pour d'autres, cette capacité s'améliore significativement à l'adolescence et s'étendrait même jusqu'à l'âge adulte (Herba & Phillips, 2004 ; Herba et al., 2006). Rodger et al. (2015), quant à eux, ont identifié deux étapes principales dans le développement de la reconnaissance des expressions faciales : **de 5 à 12 ans, et de 13 ans jusqu'à l'âge adulte.**

Les études documentant la trajectoire développementale du traitement des émotions rapportent des résultats plutôt hétérogènes, en fonction de la tâche (discrimination, labellisation, appariement, etc.) et du type d'expression (Gross & D'ambrosio, 2004 ; Vicari et al., 2000). En dépit de cette hétérogénéité, une conclusion robuste est que les performances de reconnaissance des émotions s'améliorent progressivement avec l'âge, et que la joie serait la première émotion reconnue, suivie de la tristesse et de la colère (e.g. Durand et al., 2007 ; Gosselin, 1995 ; Mancini et al., 2013 ; Montiroso et al., 2010). La surprise, la peur et surtout le dégoût présenteraient des trajectoires développementales plus longues (Durand et al., 2007 ; Rodger et al., 2015). Enfin, la reconnaissance de la tristesse, du dégoût et de l'expression neutre continue de s'améliorer jusqu'au début de l'adolescence (Mancini et al., 2013).

Le traitement des émotions chez l'adulte

Après une amélioration des compétences d'identification des émotions durant l'enfance et l'adolescence, l'âge adulte est marqué par un haut niveau de performance (Lawrence et al., 2008). Cette capacité à décoder rapidement et précisément les expressions faciales émotionnelles, et à les distinguer entre elles, est d'autant plus importante qu'elle est intrinsèquement liée aux **habiletés socio-émotionnelles**. En termes de compétence, si la joie est l'émotion la mieux reconnue, d'autres expressions faciales émotionnelles sont quant à elles plus difficilement traitées. L'expression de peur est plus difficilement et plus lentement reconnue et tend à être confondue avec la surprise ou la joie (Kohler et al., 2004 ; Palermo & Coltheart, 2004), tandis que l'expression de colère est plus susceptible d'être confondue avec du dégoût ou de la neutralité (Palermo & Coltheart, 2004). Par ailleurs, Palermo et Coltheart (2004) a observé que l'augmentation de l'intensité de l'émotion était proportionnellement liée au taux de reconnaissance, sauf

pour l'expression de joie où le taux de reconnaissance plafonnait dès un faible niveau d'intensité (Palermo & Coltheart, 2004). De plus, la prise en compte des **traits du visage** est essentielle dans le décodage et la distinction des expressions faciales émotionnelles : **les yeux** transmettent des indices importants pour reconnaître la peur, tandis que **la bouche** est plus informative pour les visages de joie (Elsherif et al., 2017). Plusieurs études ont montré, en comparant ces deux régions d'intérêts, que les participants fixaient davantage les yeux pour reconnaître la peur, la colère et la tristesse (Eisenbarth & Alpers, 2011 ; Scheller et al., 2012) et la bouche pour reconnaître la joie et le dégoût (Beaudry et al., 2014 ; Schurgin et al., 2014).

2.2 La perception de la direction du regard

Dans la vie quotidienne, un contact par le regard indique souvent l'intérêt d'autrui et constitue généralement les prémices d'une interaction à venir. La **perception d'un regard direct**, guide l'attention vers le visage et déclenche l'activation de régions cérébrales spécifiques impliquées dans l'interprétation des émotions, le codage des mouvements du visage et des yeux (George & Conty, 2008 ; Wicker et al., 2003). À l'inverse, la **perception d'un regard dévié** guide l'attention visuelle de l'observateur vers localisation regardée. De plus, la signification émotionnelle d'une situation est largement influencée en fonction de la combinaison d'un visage émotionnel avec un regard direct ou dévié. De manière réciproque, l'émotion exprimée par le visage module l'interprétation de la direction de regard associée.

2.2.1 Le traitement de la direction du regard et son influence sur d'autres signaux sociaux

Face à une situation sociale menaçante, telle qu'un individu en colère, l'observateur recueillera un certain nombre d'informations à partir des indices faciaux et corporels d'autrui, puis les assemblera afin d'en inférer un sens et de guider sa réaction à venir. L'expression faciale émotionnelle est un **signal socio-émotionnel** crucial puisqu'elle transmet des informations quant à l'état interne affectif d'autrui. Toutefois, la direction

du regard est également un indice essentiel à considérer car elle permet de signaler la direction de la menace, et d'autant plus lorsqu'elle est combinée à des expressions faciales spécifiques telles que la colère. À titre d'illustration, **un regard direct associé à un visage en colère** est plus menaçant pour l'observateur qu'un **regard dévié**, car la direction désigne alors l'observateur comme objet de la menace (Adams & Franklin, 2009). À l'inverse, un regard dévié associé à un visage de peur peut signaler un danger dans l'environnement, potentiellement dangereux pour l'observateur (Adams Jr et al., 2017). La détection de la source de la menace dépend donc de l'interprétation correcte de l'expression faciale émotionnelle, combinée à une direction de regard, et ces deux signaux s'influencent mutuellement. Une étude en potentiels évoqués a également mis en évidence que la perception d'un regard direct, comparativement à un regard dévié, déclenchait des réponses cérébrales plus précoces et recrutait ainsi davantage de ressources concernant le traitement de la direction du regard (Conty et al., 2007). Toutefois, la direction du regard peut être **ambiguë** et sa discrimination peut donc être une tâche complexe à réaliser dans la vie quotidienne. Lorsque l'information visuelle est réduite ou que la situation est incertaine, les individus ont tendance à percevoir l'orientation du regard comme dirigée vers eux (Mareschal et al., 2013). De plus, la perception du regard d'autrui est un processus pouvant être affecté par plusieurs facteurs. Par exemple, des **changements de distance** par rapport à autrui peuvent affecter le traitement de la direction du regard : plus l'individu se tient loin du visage, plus il est susceptible de percevoir le regard comme dirigé vers lui (Gamer & Hecht, 2007). Par ailleurs, la perception de regards déviés peut modifier le jugement de la direction du regard des visages présentés par la suite (Jenkins et al., 2006 ; Seyama & Nagayama, 2006). Jenkins et al. (2006) ont observé qu'en présentant un visage combiné à un regard dévié de 25°, puis en présentant à nouveau un visage mais cette fois-ci avec un regard dévié de 5-10° du même côté que précédemment, ce dernier était jugé par l'observateur comme le regardant directement.

2.2.2 L'influence des émotions sur la perception de la direction du regard : le cône de regard direct

L'expression faciale peut également moduler la façon dont les gens interprètent la direction du regard comme étant dirigée vers eux ou vers l'environnement. Cet effet a longtemps été examiné de façon **binaire**, en présentant des modalités de regard direct ou dévié vers la droite ou la gauche (Adams Jr & Kleck, 2003). Plus récemment, un certain nombre d'auteurs ont étudié cet effet en employant une large gamme de directions de regard afin d'obtenir une estimation plus précise de la direction du regard, propre à un individu dans une situation donnée (Ewbank et al., 2009 ; Gamer & Hecht, 2007 ; Jun et al., 2013). Le *cône de regard direct* (**CoDG**, Gamer & Hecht, 2007) est un indice psychophysique caractérisant l'étendue des déviations du regard que les participants interprètent comme un regard direct. Le **CoDG** peut être calculé dans le cadre d'une tâche de catégorisation de directions de regard, consistant à présenter des visages avec des directions de regard directes, complètement déviées ou intermédiaires (i.e. *ambiguës*, voir Figure 2.3 a). Il est ensuite demandé aux participants d'indiquer, pour chaque direction du regard, si les visages présentés regardent respectivement *vers leur gauche*, *droit devant* ou *vers leur droite*. La largeur du cône de regard est déterminée à partir des points de croisement, entre les proportions de réponses concernant les directions du regard *droit devant* et *vers la droite* et les proportions de réponses pour les directions du regard *droit devant* et *vers la gauche* (voir Figure 2.3 b). Ainsi, un **élargissement** du **CoDG** correspond à une probabilité accrue de percevoir un regard comme étant **direct**, tandis qu'un **rétrécissement** de ce cône est lié à une augmentation de la probabilité de perception d'un regard **dévié**. Certaines études ont fait état d'un **CoDG** plus large, c'est à dire que les observateurs ont interprété comme étant direct un plus large éventail de directions du regard, en réponse à des visages de colère, par rapport à des visages de peur et neutres (Ewbank et al., 2009 ; Lobmaier et al., 2008). Lobmaier et al. (2008) ont constaté que des visages joyeux étaient plus susceptibles d'être interprétés par l'observateur comme les regardant, que des visages de colère, de peur ou neutres. De plus, un **CoDG** plus étroit était observé en réponse aux visages de peur, par rapport aux

visages de colère et neutres (Jun et al., 2013) (voir Figure 2.3 c, d, e).

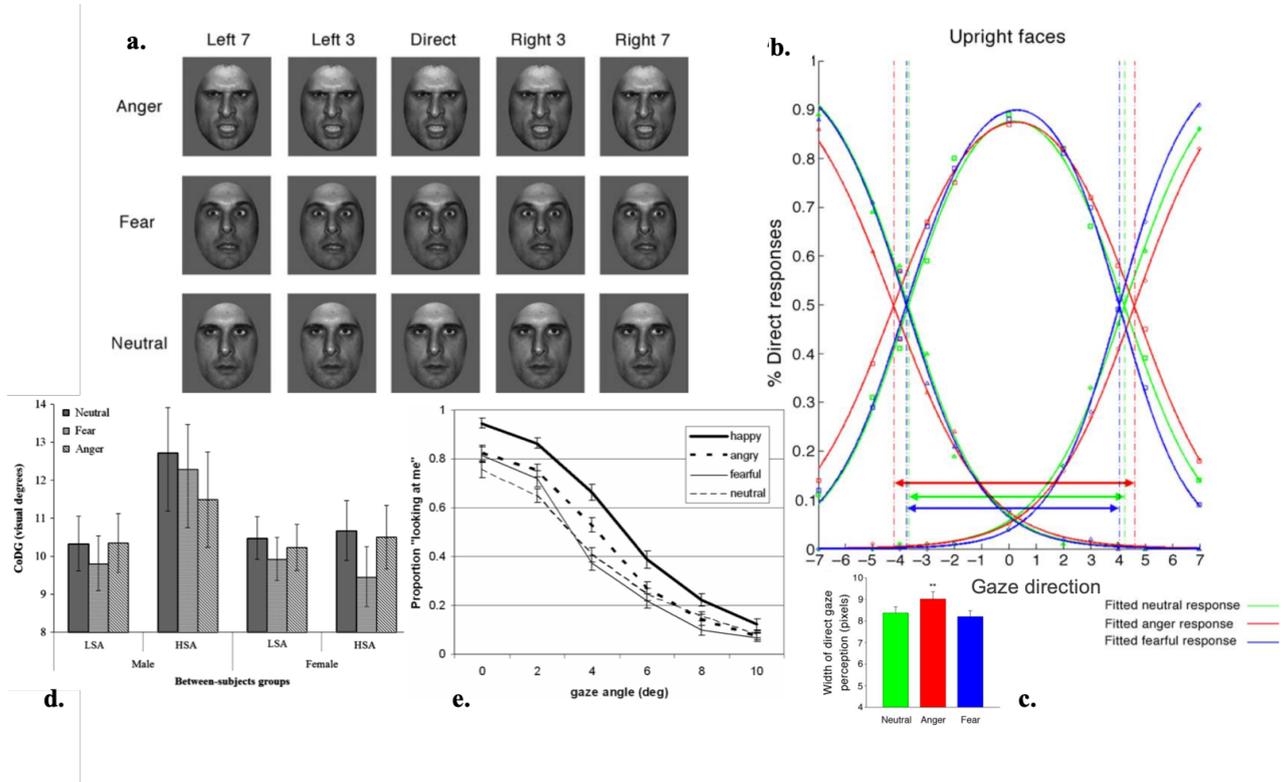


FIGURE 2.3 – (a) Exemples de stimuli utilisés dans l'étude de Ewbank et al. (2009). Chacune des trois émotions (colère, peur et expression neutre) présente les cinq directions de regard : dévié de 7 puis 3 pixels vers la gauche, regard direct, dévié de 3 puis 7 pixels vers la droite. Tiré de Ewbank et al. (2009). (b) Graphique représentant les réponses *regard direct* pour chacune des déviations de regard présentées en réponse aux trois émotions (colère, peur et l'expression neutre) pour la condition visage à l'endroit. Les lignes en pointillé indiquent les points de croisement utilisés pour calculer la largeur du cône de regard et les flèches représentent la largeur du cône. Tiré de Ewbank et al. (2009). (c) Largeur moyenne du cône face aux émotions de colère, de peur et à l'expression neutre (condition visages à l'endroit). Tiré de Ewbank et al. (2009). (d) Effets moyens du genre, du niveau d'anxiété sociale (HSA—Haute Anxiété Sociale ; LSA—Faible Anxiété Sociale) et de l'émotion (neutre, peur et colère) sur la largeur du cône. Tiré de Jun et al. (2013). (e) Proportion moyenne de réponses pour lesquelles le regard a été catégorisé comme regardant l'observateur, en fonction des quatre émotions (joie, colère, peur et expression neutre) et des six degrés d'angle de vue. Tiré de Lobmaier et al. (2008)

Ainsi, au-delà de la détection de menace dans l'environnement, une identification exacte des EFE est fondamentale pour interpréter correctement les intentions d'autrui et constitue les **bases d'interactions sociales de qualité**. L'interprétation de l'émotion d'un visage est en grande partie liée à la situation, et la catégorisation émotionnelle d'un

stimulus est faite dans un certain contexte, en tenant compte des caractéristiques de l'émetteur et de l'observateur (Russell, 1997). Outre les expressions faciales émotionnelles, la direction du regard fait également partie des **signaux émotionnels les plus informatifs** sur le plan des interactions sociales. De plus, la direction du regard d'autrui peut fournir une aide supplémentaire à l'**identification** de l'expression faciale émotionnelle (Adams Jr & Kleck, 2003). Ces deux signaux sociaux sont de puissants **vecteurs d'informations** et sont des indices sociaux essentiels intégrés par l'observateur lors du **traitement perceptif des émotions** (Adams Jr. & Nelson, 2016). Ces différentes situations sociales déclenchent une série de réponses hormonales et physiologiques chez l'observateur (Scherer, 2005) préparant son organisme à agir par des **tendances à l'action** telles que le combat (*approche*), la fuite (*évitement*) ou le freezing (*immobilisation*) (Adams et al., 2006).

2.2.3 L'hypothèse du signal partagé

La combinaison de l'expression faciale émotionnelle et de la direction du regard signale l'intention comportementale de l'émetteur quant à sa **motivation à approcher ou éviter** un élément de l'environnement (Adams Jr & Kleck, 2003). D'après *l'hypothèse du signal partagé* proposée par Adams Jr et Kleck (2003), lorsque la direction du regard concorde avec **l'orientation motivationnelle**, c'est-à-dire la **TA** de l'émotion, le traitement de cette même émotion est amélioré. Des visages joyeux ou en colère sont perçus plus rapidement et plus intensément lorsqu'ils sont combinés à un **regard direct**, puisque que ces émotions sont associées à une **TA d'approche** (Adams & Kleck, 2005; Adams Jr & Kleck, 2003; Pönkänen & Hietanen, 2012; Willis et al., 2011). À l'inverse, des visages tristes, de dégoût et de peur sont perçus plus rapidement et plus intensément lorsqu'ils sont combinés à un **regard dévié**, puisque ces émotions sont associées à une **TA d'évitement** (Adams & Kleck, 2005; Adams Jr & Kleck, 2003; Sander et al., 2007). De plus, dans l'une de ses études, Adams et Kleck (2005) observe que lorsqu'un visage neutre est combiné à un regard direct, il est plus susceptible d'être catégorisé comme de la joie ou de la colère, tandis que lorsqu'il est combiné à un regard dévié il est

davantage catégorisé comme de la peur ou de la tristesse. Les résultats de l'étude de Rigato et al. (2010) en potentiels évoqués corroborent également l'hypothèse du signal partagé. En effet, ces derniers observent une amplitude de réponse liée à la composante de traitement des visages accrue en réponse aux expressions de peur accompagnées d'un regard dévié, comparativement à un regard direct, et en réponse aux expressions de joie accompagnées d'un regard direct comparativement aux visages de peur au regard direct. **L'interdépendance des expressions faciales et de la direction du regard** est cohérente avec l'hypothèse de *l'attente environnementale* de Frijda (1953) puisque la direction du regard donne un indice sur l'élément de l'environnement que l'observateur doit prendre en compte pour orienter son attention et guider son comportement. Contrairement aux résultats des études précédemment citées, d'autres auteurs n'ont pas répliqué cette modulation de la catégorisation ou du jugement de l'intensité des visages émotionnels par la direction du regard. En effet, Graham et LaBar (2007) et Bindemann et al. (2008) ont observé que la catégorisation de visages joyeux, en colère, ainsi que tristes et apeurés était plus rapide lorsque ces expressions étaient associées à un regard direct, comparativement à un regard dévié. De surcroît, Willis et al. (2011) n'a pas observé de modulation de l'intensité par la direction du regard en réponse à des visages de peur, de tristesse et de dégoût. Par ailleurs, Willis et al. (2011) et Pönkänen et Hietanen (2012) ont associé l'expression neutre à une tendance à l'approche, puisque cette dernière était perçue plus intensément avec un regard direct qu'avec un regard dévié. Il semblerait donc que la **méthodologie expérimentale** (type de tâches, base de données sélectionnées, etc.) utilisée dans les études portant sur l'effet de la direction du regard sur le traitement des émotions soit à l'origine des divergences observées dans les résultats.

2.3 Émotions et tendances à l'action

2.3.1 Qu'est ce qu'une tendance à l'action ?

Les théories multi-componentielles définissent l'émotion comme étant la résultante de deux modalités déterminantes que sont **l'évaluation** et **l'intérêt** (Frijda & Zeelenberg, 2001 ; Frijda, 2003 ; Sander & Scherer, 2014). À partir de l'expression faciale émotionnelle d'autrui, l'observateur infère un état interne et une intention comportementale à celui-ci. Cette évaluation cognitive de la situation s'effectue de manière automatique, en fonction de l'intérêt attribué à la situation par l'observateur et déclenche des motivations spécifiques chez celui-ci (Frijda & Zeelenberg, 2001). Le terme motivation désigne l'ensemble des facteurs énergisants et dirigeants du comportement (Sander & Scherer, 2014)(Sander & Scherer, 2014). Les émotions sont donc directement liées à des tendances motivationnelles (Lowe, 2011) qui définissent l'énergétisation et la direction du comportement à venir, c'est à dire de la **TA** (Sander & Scherer, 2014). En ce sens, Sander définit les **TA** comme « *la préparation des réactions comportementales appropriées nous permettant de poursuivre un but prioritaire à un moment donné, en tenant compte, à un certain degré, des facteurs contextuels* ». La perception d'une expression faciale émotionnelle déclenchera chez l'observateur un comportement adaptatif approprié telles que **l'approche** de situations affiliatives ou pro-sociales ou bien **l'évitement** de situations menaçantes (Elliot, 2006 ; Gea et al., 2014 ; Kim & Son, 2015). Un comportement de **freezing** (i.e. immobilisation du corps) peut également être observé, désignant la préparation physiologique et somatique du corps pour effectuer un mouvement physique, lorsque ladite menace est lointaine et le degré de peur relativement faible (Blanchard et al., 1986). La **TA** correspond davantage à une **intention motrice** plutôt qu'à l'action en elle-même (Tcherkassof & Frijda, 2014). Toutefois, que le mouvement soit imaginé ou effectué, les réseaux de neurones activés sont similaires. Ces différentes **TA** sont adaptées aux circonstances, et tiennent compte **des buts, des valeurs, des plans et des besoins** de l'individu (Sander & Scherer, 2014).

Le visage : un objet perçu en terme de potentialités d'actions ?

Ce déclenchement d'un comportement orienté en réponse à des visages émotionnels soutient l'idée que la perception et l'action sont intimement liées. Ce lien peut être conceptualisé en termes **d'affordances comportementales** liées à la perception visuelle. En effet, le processus d'évaluation de l'émotion est intrinsèquement lié à la signification de l'événement et plus spécifiquement aux **potentialités d'actions** liées au stimulus (Gibson, 2000 ; Gibson, 1979). La perception serait dite *énactive*, c'est-à-dire qu'elle dépendrait de l'interaction dynamique entre un organisme et son environnement (Stoffregen, 2003). Ainsi, la perception d'un objet dépend en partie des interactions offertes par cet objet à un moment donné. Adams Jr et al. (2017) considère la réaction en réponse à la perception du visage en termes d'affordances comportementales, qui peuvent varier de manière significative au sein d'un même individu et d'une situation à l'autre. L'individu serait en permanence en interaction avec son environnement et continuellement en état de préparation à l'action (Frijda & Zeelenberg, 2001 ; Frijda, 2003). La perception correspondrait donc à une saisie de l'information par l'action et émergerait grâce au mouvement. La perception de stimuli émotionnels serait associée à des réactions d'approche et d'évitement qui révéleraient des adaptations évolutives ancrées dans les mécanismes de survie de base (Darwin, 1872 ; Graziano & Cooke, 2006 ; Panksepp & Modell, 2000). Un stimulus serait jugé positif ou négatif par l'organisme, en découlerait ainsi un **état motivationnel** induisant un comportement d'approche, propice au bien-être et à la survie, ou bien un comportement d'évitement dans le cas d'une menace. Ces processus évaluatifs nous permettraient d'attribuer une valeur positive ou négative à tous les stimuli que nous rencontrons et ce, de manière automatique et sans efforts (Ferguson et al., 2008).

Du point de vue de l'émetteur

De façon intéressante, certains auteurs se sont intéressés aux **TA** exprimées par l'émetteur dans le cadre d'une interaction sociale. Par exemple, les émotions de joie, de colère et l'expression neutre seraient associées à une **TA d'approche** de l'émetteur. En effet, un visage de joie exprimerait une **intention pro-sociale**, tandis qu'un visage colérique suggérerait une **confrontation** à venir, laissant supposer un comportement

d'approche de l'émetteur (Adams & Kleck, 2005; Willis et al., 2011). À l'inverse des émotions de peur, de dégoût et de tristesse seraient associées à une **TA d'évitement** de l'émetteur. L'émotion de peur et de dégoût signalerait un **danger environnant**, tandis que la tristesse indiquerait un **rejet social** et de **l'abattement**, suggérant un comportement d'évitement de l'émetteur (Adams & Kleck, 2005; Seidel et al., 2010; Willis et al., 2011). Les tendances à approcher ou éviter une situation donnée peuvent également varier de manière individuelle, et être associées à des types de personnalités que nous développerons dans la section 2.5.

2.3.2 Modèles théoriques des tendances à l'action

Plusieurs théories ont émergé au cours des dernières décennies concernant les TA d'approche et d'évitement. Tandis que certaines se sont basées sur des facteurs individuels tels que la propension à approcher ou éviter un stimulus, d'autres ont adopté une perspective plus clinique.

Le **modèle de Gray** (Figure 2.4) détermine les TA au regard de la signification des stimuli (Gray & McNaughton, 2000; Gray, 1987). Ce modèle considère les motivations comme étant *conséquentes* du processus émotionnel (Sander & Scherer, 2014). Il distingue trois systèmes motivationnels fondamentaux : le *fight / flight system* (**FFS**) responsable du combat et de la fuite, le *behavioural approach system* (**BAS**) correspondant au système comportemental d'approche et le *behavioural inhibition system* (**BIS**) désignant le système comportemental d'inhibition. Le FFS prendrait en charge les comportements de fuite ou d'agression défensive et serait associé à l'émotion de panique. Le BAS, quant à lui, aurait une fonction appétitive et initierait les comportements d'approche de stimuli associés à une récompense, ou bien en cas de confrontation à autrui. Enfin, le BIS serait sensible à la punition et à la frustration, et conduirait à une inhibition de l'action et à une augmentation de l'excitation corporelle, déclenchant une augmentation du rythme cardiaque, de la sudation, etc. Gray relie l'extraversion à une forte activation du système BAS (i.e. sensibilité à la récompense) et à une faible activation du système BIS (i.e. sensibilité à la punition), et caractérise le névrosisme par une augmentation de la sensibilité

du BIS et du BAS. Plus récemment, plusieurs auteurs ont critiqué l'association entre les systèmes appétifs/défensifs et les comportements d'approche/retrait. L'activation du système défensif peut entraîner un comportement de retrait mais peut néanmoins déclencher un comportement d'approche de type combat (Boureau & Dayan, 2011 ; Frijda, 2010). De plus, Stemmler et al. (2007) ont constaté une indépendance de l'activation somatoviscérale (e.g. rythme cardiaque, pression sanguine, etc.) lors de l'induction d'un état de colère et de peur et les tendances individuelles à l'approche et au retrait évaluées par le questionnaire BIS/BAS. Ils ont donc conclu à une **indépendance fonctionnelle** entre les **systèmes fondés sur la motivation et les émotions**.

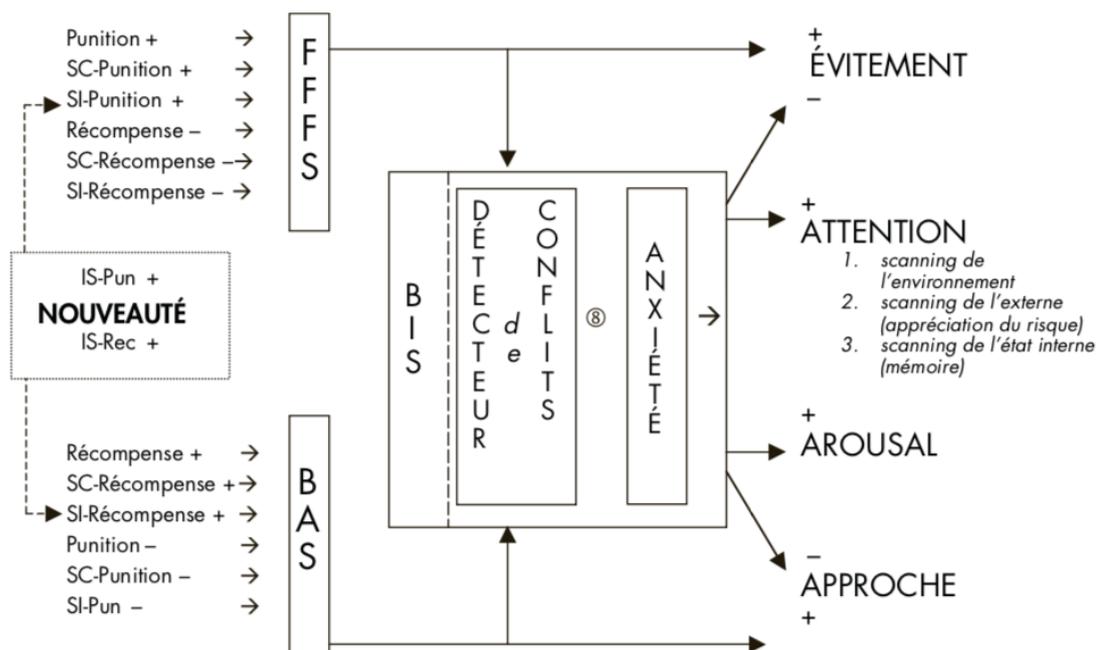


FIGURE 2.4 – Cette figure illustre de quelle manière les trois systèmes motivationnels sont activés. Le BAS traite les stimuli représentant la récompense ou la non-punition et est responsable de l'activation de la tendance à l'approche. Le FFFS (« fight-flight-freezing system ») traite les stimuli de non-récompense et de punition et est responsable de l'activation de la tendance à l'évitement. La co-activation de ces systèmes motivationnels déclenche l'activation du BIS et il en résulte un conflit entre l'approche et l'évitement que le BIS inhibe. Suite à cela, l'individu s'engage dans un balayage de l'environnement et de son état interne, augmentant l'excitation corporelle et renforçant la saillance des stimuli négatifs, conduisant ainsi à une activation de la tendance d'évitement. *Tiré de Gray et McNaughton (2000)*

Davidson adopte une perspective plus **clinique** en s'inspirant de ses observations effectuées sur des patients souffrant de dépression (Davidson et al., 1999; Davidson et al., 1990; Henriques & Davidson, 1991). D'après lui, l'objectif d'une émotion est d'être **coordonnatrice de la perception, de la cognition et des TA** via l'activation du cortex pré-frontal. Une activation différenciée serait observée en fonction de la TA : le *cortex pré-frontal gauche* serait associé aux **TA d'approche**, tandis que le *cortex pré-frontal droit* serait associé aux **TA d'évitement**. Ce constat prend appui sur l'observation de plusieurs symptômes chez le patient dépressif, présentant peu d'activation dans le cortex pré-frontal gauche, et témoignant d'un **déficit de la tendance à l'approche** ou des **interactions sociales**, ainsi que des capacités à **ressentir des émotions positives** (Davidson et al., 1999; Davidson et al., 1990; Henriques & Davidson, 1991). Davidson et al. (1990) a également observé une activation des régions antérieures droites accrue en réponse à l'émotion de dégoût et une activation des régions antérieures gauches accrues en réponse à l'émotion de joie. En ce sens, Harmon-Jones et Allen (1998) ont constaté chez des participants sains une activation accrue du cortex pré-frontal gauche lorsque ces derniers ressentaient de la colère (émotion associée à une TA d'approche), abondant ainsi en faveur de la latéralisation cérébrale en lien avec la motivation. Par ailleurs, Sutton et Davidson (1997) relie le **système BAS** à une activation *pré-frontale gauche*, et le **système BIS** à une activation *pré-frontale droite*.

2.3.3 Les méthodes de mesure des tendances à l'action

Dans le domaine de la psychologie expérimentale, le comportement d'approche-évitement a été opérationnalisé de différentes manières tant à l'aide de **questionnaires papier-crayon** que de tâches employant des **joysticks ou leviers**. Au-delà des questionnaires d'auto-évaluation comme le BIS/BAS mesurant les tendances du participant à activer le système d'approche ou d'évitement en fonction du stimulus présenté (Carver & White, 1994), des tâches plus expérimentales telles que les tâches d'approche-évitement ont vu le jour. Dans le cadre de ces tâches, il est demandé aux participants d'approcher des stimuli plaisants ou d'éviter les stimuli déplaisants. Ces tâches prennent appui

sur **l'effet de compatibilité stimulus-réponse** désignant la facilité à approcher des stimuli catégorisés comme plaisants, et induisant par conséquent une approche plus rapide, et à éviter des stimuli catégorisés comme déplaisants, induisant un évitement plus rapide (Laham et al., 2015; Phaf et al., 2014). Cet effet de compatibilité a pu être mis en évidence dans le cadre d'un certain nombre de paradigmes, le premier à l'avoir employé étant Solarz (1960). Dans son étude princeps, Solarz demandait aux participants de pousser (i.e. approcher)/tirer (i.e. éviter) un levier en réponse à des mots à valences émotionnelles présentés à l'écran. Il a mis en évidence un effet facilitateur du mouvement d'évitement en réponse aux mots désagréables, ainsi que du mouvement d'approche en réponse à des mots agréables. Depuis lors, de nombreuses variations de ce paradigme ont émergé où les tâches consistaient à tirer/pousser un joystick (Eder & Rothermund, 2008; Roelofs, Putman et al., 2010), un levier (Chen & Bargh, 1999), à presser/relâcher un bouton (Ozono et al., 2012) ou bien à déplacer une poupée vers l'écran (Lavender & Hommel, 2007). Toutefois, **ces mouvements restent ambigus** puisqu'une flexion du bras peut aussi correspondre à un désir d'approcher l'objet de soi et une extension du bras à un comportement d'évitement de celui-ci. En ce sens, Krieglmeier et Deutsch (2010) ont comparé les temps de réponse lors d'une tâche de joystick simulant un changement de distance à l'aide d'un zoom, augmentant ou diminuant la taille de l'image lorsque le participant tirait ou poussait le joystick, et une tâche similaire sans zoom. Ils ont montré que la tâche comprenant le zoom, contrairement à la tâche sans zoom, conduisait à un effet de compatibilité et pouvait donc être considérée comme une mesure valide de l'activation induite par la valence des stimuli. Ces résultats suggèrent que dans le cadre de paradigmes mesurant les **TA** d'approche ou d'évitement, l'intégration de **changements, réels ou perçus, de distance** est un facteur important à prendre en compte. Dans ce cadre, des **mesures posturographiques**, rendant compte des mouvements du corps entier en station debout, devraient évaluer plus clairement les tendances à l'approche/évitement (voir pour revue Lelard et al., 2019). Les études s'intéressant aux mouvements du corps entier mesurent généralement les **oscillations du corps** :

- en *station debout passive* (Horslen & Carpenter, 2011)
- lors d'un *pas en avant/en arrière* (Stins, Roelofs et al., 2011)
- durant une tâche de *locomotion* (Naugle et al., 2010)

Les processus de régulation du contrôle postural ainsi que l'influence des facteurs internes (âge, traits individuels) et externes (type de tâches, type de stimuli) sur la posture en station debout passive seront plus amplement détaillées dans le Chapitre 3.

2.4 La régulation de la distance interpersonnelle

Les TA d'approche et d'évitement supposent des changements perceptibles des oscillations corporelles antérieurs ou postérieurs. Ces modifications de la **distance entre soi et autrui** reflètent directement le processus de **régulation de la distance interpersonnelle** et sont au coeur des interactions sociales.

2.4.1 Comment définir la proxémie ?

La proxémie désigne l'étude de l'organisation de l'espace par les êtres humains (Hall, 1966) dans un contexte d'interaction sociale. Dans le domaine de la proxémie, la distance interpersonnelle préférée désigne la **distance sociale optimale** par rapport à autrui et dépend notamment des liens que les individus ont établis entre eux (Hall, 1959; Hall, 1966; Hecht et al., 2019). Cette distance varie en fonction des besoins des individus de s'approcher de leurs pairs dans un contexte social spécifique, ou bien de les éviter afin de maintenir un espace personnel sûr permettant de se protéger de menaces potentielles (Dosey & Meisels, 1969; Hayduk, 1978). Argyle et Dean (1965) font partie des premiers auteurs à avoir apporté des bases théoriques au champ de la proxémie. Au regard de leur *théorie de l'équilibre*, la régulation de la distance interpersonnelle préférée peut être appréhendée comme un **processus d'équilibration** entre des **forces d'approche et d'évitement** permettant d'ajuster le niveau de proximité physique et d'intimité (Argyle & Dean, 1965). En effet, dans la vie quotidienne, les individus réguleraient en

permanence leur comportement d'approche et d'évitement jusqu'à atteindre un point *d'équilibration* (Argyle & Dean, 1965). La moindre perturbation de cet équilibre, soit en cas **d'intrusion** ou **d'extrusion** (c'est-à-dire trop loin du point d'équilibre, voir Welsch et al., 2019) d'autrui dans sa zone de confort, peut provoquer une certaine gêne ou anxiété (Hayduk, 1978; Hecht et al., 2019; Welsch et al., 2019), voire un sentiment de menace (Ahs et al., 2015). Ces inconforts conduisent les individus à rétablir cet équilibre en régulant leur distance à autrui. *L'espace personnel* privilégié est généralement compris comme un **espace circulaire** d'un rayon moyen d'un mètre. Pour Sommer (2002), c'est un espace entourant le corps d'un seul individu et correspondant à une construction mentale subjective de celui-ci. D'après Cardinali et al. (2009), *l'espace personnel* se construit notamment grâce aux informations proprioceptives et tactiles. Pour Hall (1966) *l'espace personnel* d'un individu (45-120 cm) correspond à un espace d'interaction avec la famille et les amis notamment, tandis que *l'espace social* (120-360 cm) comprend les interactions avec des personnes non familières (voir Figure 2.5). Dans le cadre de cette thèse nous dissociions donc **l'espace** entourant l'individu et n'impliquant pas nécessairement une interaction avec autrui, de la **distance interpersonnelle** qui concerne la mesure objective de la distance entre deux ou plusieurs individus en interaction. Hall (1959) et Hall (1966) considère la distance interpersonnelle comme un type de **communication non verbale**. Elle transmettrait des informations sur la nature de la relation des individus à la fois à l'émetteur et à l'observateur. En général, des distances plus courtes entre deux individus indiquent des liens plus étroits. De plus, cette distance varie selon les individus et peut être influencée par certaines caractéristiques personnelles de l'observateur. Par exemple, des individus présentant un haut score d'extraversion et un faible score d'ouverture, correspondant à un tempérament d'approche d'après Elliot et Thrash (2002), maintiennent une distance plus courte face à autrui (Hecht et al., 2019).

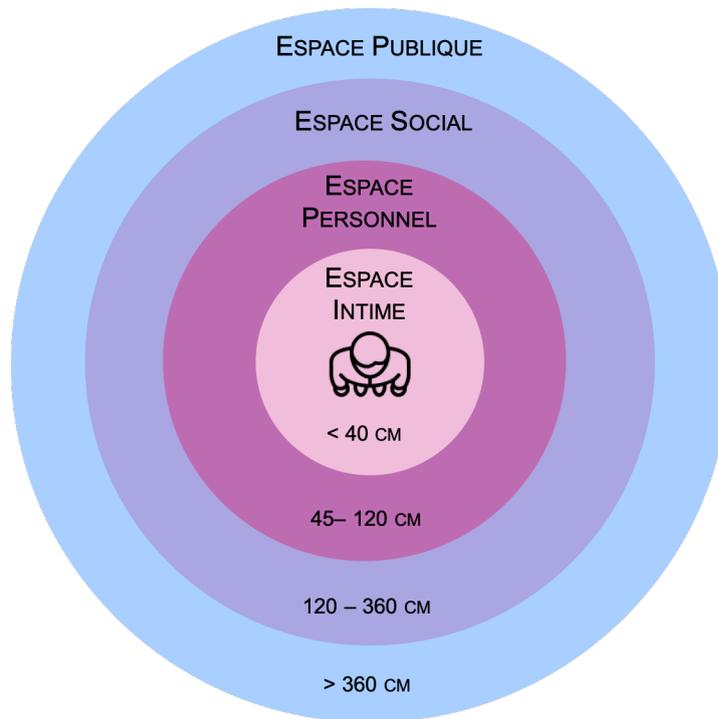


FIGURE 2.5 – Schéma des différents espaces chez l'être humain d'après Hall, 1966. En partant de l'individu au centre, sont schématisées les espaces intime, personnel, social, et enfin public.

2.4.2 Quelles sont les méthodes d'évaluation de la distance interpersonnelle ?

De manière empirique, l'ajustement de la distance à autrui peut être évalué en laboratoire avec des **partenaires réels ou virtuels**, lors de tâches permettant aux participants de choisir leur distance préférée à autrui (voir Figure 2.6). À cette fin, un paradigme couramment employé consiste en une **tâche de stop-distance** où le participant doit arrêter le *partenaire* lorsque la distance lui paraît confortable pour une interaction en face à face. Dans la littérature, plusieurs types de stimuli ont été utilisés pour représenter le *partenaire* tels qu'un individu réel ou bien une tâche d'évaluation de la distance sous format papier-crayon telles que la *Mesure de la Distance Interpersonnelle* (Pedersen, 1973) ou l'*Échelle de Distance Confortable d'Interaction* (Duke & Nowicki, 1972). Plus récemment, un certain nombre d'auteurs ont adapté la tâche sur ordinateur ou dans un environnement en réalité virtuelle (Hecht et al., 2019; Iachini et al., 2014; Vieira

et al., 2017). La tâche informatisée consiste généralement en l'ajustement de sa distance préférée face à un **partenaire virtuel**, en augmentant, c'est-à-dire en simulant un mouvement d'approche, ou en diminuant, c'est-à-dire en simulant un mouvement de retrait, la taille de son visage/corps sur un écran. Dans le cadre de la tâche en réalité virtuelle, le participant ou le partenaire virtuel s'approche ou s'éloigne jusqu'à ce que la distance semble confortable au participant. L'utilisation de ce type de tâche offre l'avantage de pouvoir étudier la régulation de la distance interpersonnelle avec des partenaires virtuels dont les caractéristiques physiques varient peu, en conservant un environnement stable, ce qui permet de tenir compte d'un certain nombre de variables confondantes tout en maintenant la validité externe (Blascovich et al., 2002).

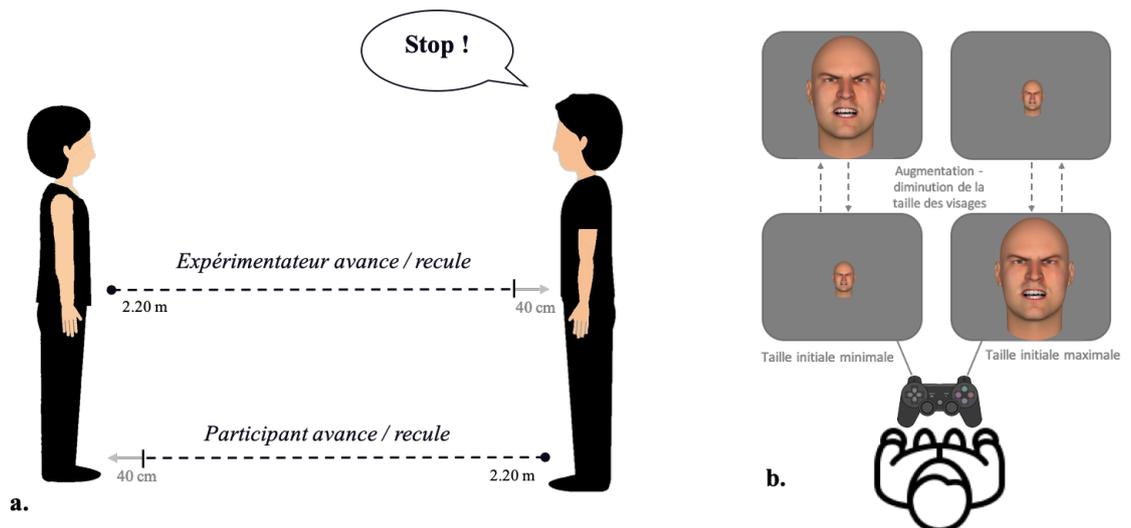


FIGURE 2.6 – (a) Illustration d'une tâche de stop-distance avec un partenaire réel : le participant ou l'expérimentateur s'approche ou s'éloigne jusqu'à ce que la distance semble confortable au participant. Figure tirée et adaptée de Vieira et al. (2017). (b) Illustration d'une tâche de distance informatisée consistant à ajuster sa distance face à un partenaire virtuel, en augmentant ou en diminuant la taille de son visage sur un écran.

2.4.3 La perception des émotions et la distance interpersonnelle s'influencent-elles réciproquement ?

Neumann et Strack (2000) ont montré que la présence d'un indice visuel, simulant l'approche ou l'évitement d'un stimulus émotionnel, influençaient l'identification de celui-ci

de la même manière que si le participant approchait ou évitait réellement le stimulus. Leurs observations soutiennent l'idée que le **mouvement d'approche** d'un stimulus déclencherait le **système d'approche**, et faciliterait le traitement de **stimuli positifs**, tandis que **l'éloignement** déclencherait le **système d'évitement**, et faciliterait le traitement de **stimuli négatifs**. En lien avec ce constat, plusieurs auteurs se sont intéressés à l'influence des mouvements d'approche et de retrait de visages émotionnels, simulant une diminution ou une augmentation de la distance interpersonnelle, sur la façon dont les participants percevaient les émotions. Lorsqu'il a été demandé aux participants de **catégoriser l'émotion exprimée par le visage**, un mouvement de retrait a conduit à une identification plus rapide des visages en colère, tandis qu'un mouvement d'approche a conduit à une reconnaissance plus rapide des visages heureux (van Peer et al., 2010, expériences 1, 2 et 3). Ces résultats corroborent les observations de Neumann et Strack (2000). Cependant, dans cette même étude, lorsqu'il a été demandé au participant de **catégoriser le mouvement du stimulus**, les participants identifiaient plus rapidement et précisément les visages de colère combinés à un mouvement d'approche plutôt que de retrait (van Peer et al., 2010, expériences 1). Adams et al. (2006) et Nelson et al. (2013) ont également observé ce pattern de réponse face aux visages de colère. Si Adams et al. (2006) n'a pas observé d'effet spécifique concernant les visages de peur, Nelson et al. (2013) a mis en évidence que la combinaison d'un visage de peur avec un mouvement de retrait était plus précisément et plus rapidement identifiée comparativement à un mouvement d'approche. Ces observations soutiennent l'idée que **la perception et l'action sont intrinsèquement liées** et que la distance à autrui affecte la perception mais ne dépend pas nécessairement de **l'exécution réelle** des réponses par le participant. Toutefois, il semble que la méthodologie employée exerce une influence non négligeable sur le sens de ces effets, et il paraît donc essentiel de prendre en compte le type de consigne donnée aux participants dans l'interprétation des résultats.

La perception des émotions influence-t-elle en retour le jugement de la distance ?

Plus récemment, d'autres auteurs ont examiné l'impact des visages émotionnels sur **l'estimation et l'ajustement de la distance interpersonnelle**. Certains ont mis en

évidence que les expressions faciales positives ou négatives étaient jugées plus proches que celles exprimant de la neutralité (Kim & Son, 2015). D'autres études ont montré que les expressions faciales positives entraînaient généralement une estimation de la distance interpersonnelle plus courte (Ruggiero et al., 2017), tandis que les expressions faciales négatives entraînaient une estimation de la distance interpersonnelle plus grande (Cartaud et al., 2018). Il a également été montré que les participants ajustaient la plus grande distance face à des visages exprimant la colère, la peur et la tristesse, et qu'ils ajustaient la distance la plus courte face à la joie et la neutralité (Miller et al., 2013 ; Ruggiero et al., 2017 ; Vieira et al., 2017).

2.5 Perception-Action : le rôle des traits individuels

Si la **perception** et l'**action** sont deux composantes essentielles du traitement des émotions, les théories multi-componentielles soulignent également l'importance de considérer l'**étape d'évaluation** (Gross, 2015 ; Ochsner & Gross, 2014 ; Tcherkassof & Frijda, 2014). Cette approche part du principe que la pertinence d'un objet ou bien d'un événement est déterminée par un processus complexe d'évaluation. Cette étape d'évaluation estime la valeur des stimuli en fonction des objectifs actuels de l'individu, du contexte, de son expérience mais également de ses motivations. Les motivations individuelles sont par ailleurs intrinsèquement liées aux traits de personnalités (Sander & Scherer, 2014).

La prise en compte des différences individuelles dans l'étude de la boucle perception-action est lacunaire au sein de la littérature. Pourtant l'étude de ces processus cognitifs a tout intérêt à intégrer davantage de variables ayant trait aux participants afin d'enrichir les données existantes en psychologie.

2.5.1 Qu'est ce qu'un trait de personnalité ?

Le **trait de personnalité** désigne un *élément stable de l'individu*, c'est-à-dire comment les individus sont généralement, et est à distinguer de l'**état émotionnel** renvoyant

à un *état transitoire*, c'est-à-dire comment l'individu se sent à un moment particulier (Sander & Scherer, 2014).

La théorie de la personnalité d'Eysenck (1985) considère la motivation comme *antécédent* du processus émotionnel. Dans ce contexte, l'évaluation de la pertinence d'un événement s'effectuera en fonction des buts, des besoins mais également de la personnalité des individus (Sander & Scherer, 2014). Eysenck décrit la personnalité d'après trois dimensions : **l'extraversion**, le **névrosisme** (ou névrotisme) et le **psychoticisme**. L'extraversion comprend deux pôles, l'extraversion et l'introversion, et serait liée à la recherche de stimulations plaisantes et d'émotions positives. À l'inverse le névrosisme, comprenant les pôles stable et instable, renverrait à une certaine labilité émotionnelle. Des individus ayant un haut score de névrosisme réagiraient vivement à des stimuli de faible intensité signalant un danger. Tandis que les individus extravertis seraient plutôt en quête de contact social, les introvertis chercheraient moins ce type de situation (Eysenck, 1963, 1990). Dans une perspective plus clinique, Eysenck propose que la combinaison de l'introversion avec le névrosisme conduirait à de l'anxiété ou bien de la dépression. Le psychoticisme renvoie à une froideur émotive mais est également lié à la créativité.

Par la suite, Goldberg (1981) puis McCrae et Costa (1985) ont étendu à cinq le nombre de dimensions permettant de décrire la personnalité, plus connue sous le nom de **Big Five (OCEAN)**. Outre **l'extraversion et le névrosisme** (ou névrotisme pour Eysenck), Costa et McCrae ont également décrit la **conscienciosité, l'ouverture et l'agréabilité**. En résumé, des individus extravertis rapporteraient davantage d'émotions positives, tandis que des individus obtenant un haut score de névrosisme rapporteraient plus d'anxiété et d'émotions négatives. L'ouverture correspondrait à une grande tolérance et à un attrait pour la nouveauté, l'agréabilité désignerait des individus altruistes et portant une haute considération pour les relations avec les autres tandis qu'un haut score de conscienciosité renverrait à de l'inhibition, du contrôle et une faible impulsivité.

<i>Les traits associés aux trois dimensions d'Eysenck</i>	Névrosisme	Anxieux, dépressif, coupable, mauvaise estime de soi, tendu, irrationnel, timide, luna-tique, émotionnel.
	Extraversion	Sociable, vif, actif, assertif, recherche de sen-sations, optimiste, dominant, facile, bavard.
	Psychoticisme	Agressif, froid, égocentrique, impersonnel, impulsif, antisocial, créatif, changeant.
<i>Les traits associés aux cinq dimensions de Costa et McCrae</i>	Extraversion	Chaleur, grégarité, assertivité, activité, re-cherche de sensations, émotions positives
	Conscienciosité	Compétence, ordre, sens du devoir, recherche de réussite, autodiscipline, délibération
	Ouverture	Ouverture aux rêveries, à l'esthétique, aux sentiments, aux actions, aux idées, aux va-leurs
	Agréabilité	Confiance, droiture, altruisme, compliance, modestie, sensibilité
	Névrosisme	Anxiété, colère-hostilité, dépression, timi-dité sociale, impulsivité, vulnérabilité

TABLE 2.1 – Traits de personnalité associés à deux inventaires de personnalité.

2.5.2 Les traits de personnalité modulent-ils la perception des émotions ?

Bien que la prise en compte des traits du visage soit cruciale dans le traitement des visages émotionnels, d'autres facteurs tels que les variables individuelles, et plus spécifiquement les traits de personnalité ou les états émotionnels de l'observateur, viennent moduler la perception des émotions. Il apparaît donc essentiel de prendre en compte ces variables propres à chacun dans la compréhension du traitement des visages. Plusieurs études ont cherché à établir un lien entre les **traits de personnalité** et la **perception des visages émotionnels** (Andric et al., 2016; Hall, 2006; Honk et al., 2001; Knyazev et al., 2008; Larkin et al., 2002; Liu et al., 2013). Dans l'étude de Knyazev et al. (2008), les participants avaient pour consigne d'évaluer chacune des expressions faciales présentées (la colère, la joie, et l'expression neutre) en termes de convivialité ou d'hostilité. Les participants présentant un score élevé d'agréabilité et de conscienciosité percevaient les visages comme plus amicaux, tandis que les individus

extravertis identifiaient seulement les visages de joie comme étant **amicaux**. De plus, les participants ayant obtenu un score élevé à l'échelle du BIS, ainsi qu'un score élevé d'anxiété-trait étaient plus susceptibles de percevoir les visages émotionnels comme **hostiles**. Il a également été montré qu'un haut niveau de névrosisme était corrélé négativement à l'identification de l'émotion positive (i.e. joie) et que la présence de ce trait augmentait le facteur de risque de développer un trouble psychiatrique tel que la dépression ou l'anxiété (Andric et al., 2016 ; Liu et al., 2013). De plus, les individus rapportant des niveaux plus élevés d'agressivité globale à l'*Aggression Scale of the Personality Assessment Inventory*, (Hall, 2006 ; Morey, 1991) ou bien un niveau d'hostilité important (*Cook–Medley Hostility Scale*, Cook & Medley, 1954 ; Larkin et al., 2002) étaient plus susceptibles d'attribuer une émotion de colère à un visage exprimant une autre émotion (Hall, 2006). Enfin, les participants présentant un score élevé de colère-trait ont montré un **biais attentionnel** pour les visages en colère (Honk et al., 2001).

2.5.3 Les traits de personnalité modulent-ils la perception de la direction du regard ?

La perception de la direction du regard peut dépendre des caractéristiques propres de l'observateur telles que les traits de personnalité (e.g. colère-trait, anxiété-trait, extraversion) ou les états émotionnels (e.g. colère-état, anxiété-état). Chez les participants présentant des scores élevés d'anxiété-trait, un **CoDG plus large**, indiquant que ces derniers ont jugé des directions de regard ambiguës comme dirigées vers eux, a été observé en réponse aux expressions de colère (par rapport aux expressions de peur et neutre). De même, un **CoDG plus étroit**, indiquant que les participants ont jugé des directions de regard ambiguës comme déviées, a été observé chez les participants ayant un haut niveau d'anxiété en réponse à des visages de peur, par rapport aux individus ayant un faible niveau d'anxiété (Hu et al., 2017). Ces résultats suggèrent un **mode d'hypervigilance** déclenché chez ces individus face à une menace potentielle provenant de l'environnement. De plus, chez des participants souffrant de **phobie sociale**, Gamer et al. (2011) a observé un **CoDG plus large** en réponse à des visages neutres, en comparai-

son à des participants sains. Enfin, Mathews et al. (2003) a montré chez les participants ayant un haut score d'anxiété-trait que leur attention était davantage guidée par une direction de regard déviée, combinée à une expression de peur comparativement à une expression neutre.

2.5.4 Les traits de personnalité modulent-ils la perception de la distance interpersonnelle ?

De manière intéressante, un certain nombre d'études récentes ont montré que la **distance préférée interpersonnelle** avec des partenaires réels ou virtuels pouvait également être modulée par certains **traits individuels** (Fineberg et al., 2018 ; Sambo & Iannetti, 2013 ; Welsch et al., 2020 ; Wiesenfeller et al., 2020). Les participants ayant un trait d'anxiété élevé (Sambo & Iannetti, 2013) ou une personnalité borderline, désignant un trouble affectant la stabilité dans les relations interpersonnelles, ajusteraient une **plus grande distance interpersonnelle** face à autrui (Fineberg et al., 2018 ; Wiesenfeller et al., 2020). De plus, les participants présentant des traits psychopathiques ne parviendraient pas à réguler leur distance interpersonnelle en fonction de l'émotion présentée (Welsch et al., 2020). Ces différentes observations suggèrent que les patients rencontrant des difficultés à réguler leurs émotions témoigneraient d'une moindre tolérance à la proximité sociale, affectant ainsi leurs relations sociales (Skodol et al., 2002).

En conclusion de ce chapitre, la vision de **l'émotion** en tant **qu'interface entre l'individu et son environnement** est particulièrement intéressante dans le contexte de cette thèse. La perception d'un stimulus s'effectue conjointement à l'évaluation de sa pertinence et suscite une préparation à l'action. Notre interaction avec le monde qui nous entoure repose donc sur l'activation de ces **TA** spécifiques aux objets de l'environnement (Barsalou, 1999). Ces activations motrices déterminent nos comportements futurs, tels que l'approche de stimuli plaisants et l'évitement de stimuli menaçants. Bien que ces comportements soient à l'origine dépendants de réflexes fonctionnels favorisant la survie de l'espèce (i.e. approche de stimuli appétifs, évitement de stimuli menaçants),

ils ont aujourd'hui évolué sous l'influence de nos **interactions avec l'environnement**. C'est pourquoi un point de vue **intégratif**, prenant en compte d'autres indices socio-émotionnels, tels que la distance interpersonnelle d'autrui, sa direction du regard, ou bien des indices individuels tels que les traits de personnalité, paraît essentiel à la compréhension des liens réciproques entre émotion et posture. En effet, la manière dont l'individu interagit avec l'environnement façonnerait la représentation des activités motrices associées et donc l'action qui en découlerait. La prise en compte de ces différents indices socio-émotionnels dans la boucle perception-action est au coeur de cette thèse et constituera un axe majeur de chacun des articles présentés dans les contributions expérimentales. De plus, dans le cadre de ce travail de thèse, l'examen de la **boucle perception-action** s'effectue au travers de mesures perceptives et posturales, dont le chapitre suivant fera l'objet.

Points-clés du Chapitre 2

- Les différentes **expressions faciales** sont produites par des configurations spécifiques de mouvements musculaires faciaux permettant de discriminer les différents types d'expressions émotionnelles.
- Originellement, les expressions faciales émotionnelles avaient une fonction adaptative bénéficiant à l'émetteur, et ne sont devenues **communicatives** que secondairement. De nos jours, l'être humain est devenu expert dans le décodage des visages émotionnels. Par ailleurs, les visages sont probablement les stimuli visuels les plus **saillants** de l'environnement humain et font l'objet d'un traitement renforcé.
- Le traitement des émotions est une compétence qui se développe de manière graduelle au cours de l'enfance, qui s'affine progressivement jusqu'à la fin de l'adolescence et serait prédictive de la **qualité des relations sociales** à l'âge adulte.
- La perception de stimuli émotionnels déclencherait des **tendances à l'action d'approche et d'évitement** qui relèvent d'adaptations évolutives ancrées dans les mécanismes de survie de base.
- L'interprétation d'une expression faciale nécessite une évaluation globale de tous les indices observables pouvant être liés à l'intention de la personne. Parmi ces indices, la direction du regard et la distance interpersonnelle représentent des indices fondamentaux pour inférer l'orientation de l'attention et l'intention comportementale d'autrui.
- La perception des émotions est modulée par la **direction du regard** et la **distance interpersonnelle** et, de manière réciproque, le traitement de la direction du regard et de la distance interpersonnelle est influencé par le visage émotionnel.
- Ces mécanismes cognitifs semblent être également modulés par les caractéristiques propres à la personne qui traite l'information, telle que les **traits de personnalité** ou les **états émotionnels**.

PERCEPTION - ACTION : LE CONTRÔLE POSTURAL ET LES ÉMOTIONS

Contenu

3.1	Qu'est-ce que le contrôle postural?	83
3.1.1	Le maintien de l'équilibre	84
3.1.2	L'orientation du corps dans l'espace	86
3.1.3	L'intégration sensori-motrice du contrôle postural	86
3.1.4	Régulation de la posture : structures corticales et sous-corticales	89
3.2	Ontogenèse du contrôle postural	91
3.3	Quels sont les paramètres posturaux d'intérêts?	93
3.4	Le contrôle postural est-il un système automatique?	94
3.5	Éclairage clinique des liens entre émotion et posture	97
3.5.1	Troubles du spectre autistique (TSA)	98
3.5.2	Troubles développementaux des coordinations (TDC)	99
3.5.3	Anomalies des noyaux gris centraux	100
3.5.4	Pathologies du cervelet	101
3.6	La place des émotions dans la boucle Perception-Action	103
3.6.1	Influence de la perception des émotions sur le contrôle postural	103
3.6.2	Quel est le rôle des traits individuels dans les liens entre émo- tions et contrôle postural?	107

CHAPITRE 3. PERCEPTION - ACTION : LE CONTRÔLE POSTURAL ET LES ÉMOTIONS

Dans le Chapitre 2, nous avons vu que la perception des émotions déclenchait des **TA** spécifiques et que ces deux processus étaient modulés par la **distance interpersonnelle** et la **direction du regard**. De plus, un certain nombre d'études ont mis en évidence que l'estimation et l'ajustement de la distance interpersonnelle ainsi que la perception de la direction du regard sont influencées par **l'émotion** exprimée par autrui. Enfin, ces différents mécanismes cognitifs semblent être également modulés par les caractéristiques propres à l'observateur, telles que ses **traits de personnalité** ou ses **états émotionnels**. Ainsi, l'un des objectifs de cette thèse est d'examiner le rôle de trois indices socio-émotionnels clés que sont les **EFE**, la direction du regard et la distance interpersonnelle dans la boucle perception-action, tout en considérant les traits individuel. Ce Chapitre s'applique à définir le contrôle postural et à présenter la place des émotions dans la boucle perception-action à la fois chez l'adulte sain, ainsi que chez des patients atteints de pathologies affectant la motricité et/ou les compétences socio-émotionnelles. Ce chapitre est organisé comme suit : dans la section 3.1, après un bref aperçu de l'évolution phylogénétique de la bipédie, nous décrivons les deux grandes fonctions de la posture, ainsi que les multiples entrées sensorielles permettant le maintien de l'équilibre ; dans la section 3.2, nous présentons les paramètres posturaux d'intérêts dans le champ d'étude du contrôle postural. Après avoir développé dans la section 3.3 l'ontogenèse du contrôle postural, puis décrit dans la section 3.4 la régulation posturale dans le cadre du paradigme en double-tâche, nous présentons dans la section 3.5 les différentes structures corticales et sous-corticales du système nerveux central participant au contrôle de la posture. Enfin, la section 3.6 apporte un éclairage clinique au lien entre les émotions et la posture, et ce chapitre s'achève par une dernière section 3.7 dépeignant la place des émotions dans la boucle perception-action.

3.1 Qu'est-ce que le contrôle postural ?

D'un point de vue phylogénétique, le passage de la position à quatre pattes à la position bipédique chez l'Homme a conduit à une élévation du centre de gravité permettant la

station debout, mais rendant plus difficile le maintien de la stabilité (Paillard, 1971). La biomécanique de la station debout humaine étant naturellement instable, des actions neuro-musculaires constantes sont nécessaires pour ajuster et maintenir une station bipède droite (Collins & De Luca, 1993). Ces réajustements neuro-musculaires sont le résultat d'une régulation posturale complexe impliquant différents systèmes sensoriels en interaction permanente (Gagey et al., 1995). Massion (1994) définit le contrôle postural comme un ajustement coordonné des différents segments corporels grâce au tonus musculaire (i.e. état de tension des muscles au repos) et lui assure deux grandes fonctions : **le maintien de l'équilibre par la force antigravitaire et l'orientation du corps dans l'espace.**

3.1.1 Le maintien de l'équilibre

La première grande fonction de la posture consiste au **maintien de l'équilibre** par la force antigravitaire. L'équilibre se caractérise par l'aptitude au maintien de la posture malgré les perturbations externes. Cet équilibre est permis grâce à la conservation du *centre de gravité* dans la partie interne de la base du **polygone de sustentation**, zone délimitée par les pieds. La force gravitationnelle attire tout corps possédant une masse vers le centre terrestre, et son action est concentrée au *centre de masse* (Borelli, 1680). Le centre de gravité est étroitement lié au centre de masse (Winter, 1995) et les deux sont parfois utilisés de manière interchangeable (Jian et al., 1993 ; Pollock et al., 2000). Toutefois, le centre de gravité et le centre de masse sont des points hypothétiques, non matériels, et donc difficiles à étudier. C'est pourquoi les mesures posturales substituent souvent l'étude du centre de gravité par l'étude du déplacement des *centres de pressions* (CoP) d'un individu debout. Le **CoP** correspond au point d'application des forces de réactions exercées par le sol sur la plante des pieds (Bernard-Demanze et al., 2004). Pour maintenir l'équilibre statique, la projection verticale au sol du centre de masse doit se situer à l'intérieur du polygone de sustentation (Pollock et al., 2000 ; Winter, 1995). Si la projection s'effectue à l'extérieur de ce polygone, alors il y a déséquilibre postural (Borelli, 1680). Les oscillations posturales sont le résultat des déplacements de

la projection verticale du centre de masse et du **CoP** qui se déplace avec lui pour corriger son mouvement (cf. Winter, 1995). Lorsque la projection du centre de masse se confond avec le **CoP** le système postural est alors en **équilibre statique mécanique** (Murray et al., 1967) (Voir Figure 3.1)

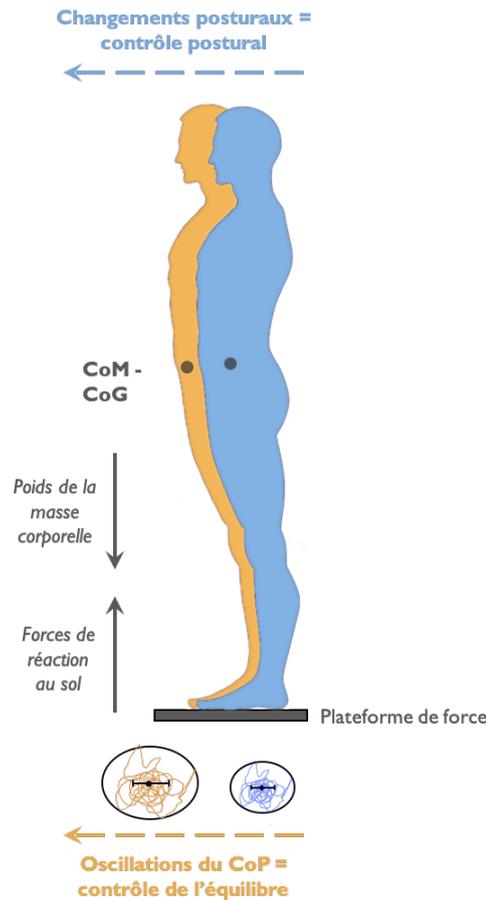


FIGURE 3.1 – Position debout statique sur une plateforme de force, en situation d'équilibre, puis avec des changements posturaux induisant un déplacement du centre de gravité et du **CoP**, augmentant ainsi la surface des déplacements du **CoP**. La flèche verticale grise représente les forces de réactions au sol sous l'effet de la masse corporelle. **CoM** : centre de masse ; **CoG** : centre de gravité.

La stabilisation de la tête est assurée grâce aux entrées visuelles et vestibulaires tandis que la stabilité du tronc est assurée par les informations somatosensorielles des membres inférieurs (Deliagina et al., 2006). Ainsi, même en position debout, le corps oscille continuellement autour d'un axe de 4° pour conserver sa stabilité (Winter, 1995). Afin de maintenir son équilibre, l'individu met en place différents types de stratégies

posturales : des stratégies dites de la cheville lorsque les contraintes sont minimales en posture statique, ou de la hanche lors de contraintes posturales plus complexes, par exemple en position unipodale (Nashner, 1977). Chacune de ces stratégies correspondrait à un pattern type d'activation musculaire spécifique (Horak & Nashner, 1986).

3.1.2 L'orientation du corps dans l'espace

La deuxième grande fonction de la posture est **l'orientation des segments corporels dans l'espace**, servant de cadre de référence avec le monde extérieur pour la perception et l'action (Massion, 1994). Pour Takakusaki (2017), cette fonction nécessite une prise d'informations à la fois sur la position du corps et sur la localisation spatiale des objets dans l'espace extrapersonnel, pour planifier une action précise par rapport au monde extérieur environnant. Constituant une interface avec l'extérieur, cette activité *directionnelle* intègre des contraintes environnementales internes, telles que la masse des différents segments, et des contraintes externes telles que la gravité ou la stabilité des appuis (Massion, 1998). L'activité posturale peut être soit anticipatrice (préparer le mouvement) ou rétroactive (récupérer l'équilibre) ce qui entraîne un ajustement permanent de nos mouvements en fonction des informations sensorielles reçues.

3.1.3 L'intégration sensori-motrice du contrôle postural

D'un point de vue physiologique, le maintien de l'équilibre est permis par la convergence de multiples entrées sensorielles de nature **vestibulaire, somesthésique et visuelle** (Horak, 1996 ; Massion, 1994 ; Winter, 1995). En environnement stable, les individus se basent approximativement à 70% sur des informations *somesthésiques*, à 20% sur des informations *vestibulaires* et à 10% sur des informations *visuelles*. En cas de déséquilibre, les différents systèmes sensoriels opèrent à la façon de signaux détecteurs d'erreurs. Le système nerveux central intègre rapidement et sélectivement des informations sensorielles multi-modales puis transmet une commande élaborée vers les effecteurs moteurs. Ces derniers initient alors une réponse motrice spécifique selon une stratégie appropriée.

En résumé, le contrôle postural est donc régulé par trois systèmes : le **système sensoriel** assurant la représentation du corps dans l'espace et la détection de signaux indiquant un déséquilibre postural à venir, le **système nerveux** au sein duquel les structures corticales et sous-corticales sélectionnent des réponses appropriées suites à des modifications de l'environnement, et le **système musculo-squelettique** qui produit les réponses motrices (Lelard et al., 2019).

Dans un premier temps, les capteurs sensoriels ont pour rôle d'informer les centres nerveux quant à l'orientation et aux déplacements du corps. Lors de déviations posturales liées à la verticalité posturale (i.e. déséquilibre), les capteurs sensoriels alertent les centres supérieurs et jouent alors le rôle de signaux détecteurs d'erreurs. Les **structures corticales et sous-corticales** (la moelle épinière, le tronc cérébral, le cervelet et les noyaux gris centraux) seront impliqués dans la sélection de réponses adaptatives aux modifications de l'environnement, qu'elles soient prévisibles ou non. Enfin, les **boucles neuromusculaires** sont à la base du mouvement et permettent la production de réponses motrices permettant d'agir sur l'environnement (Figure 3.2 a). Ainsi, le contrôle postural sollicite un certain nombre de ressources, et sa double fonction (i.e. d'équilibration et d'orientation) repose sur quatre composantes spécifiques que sont la représentation interne du corps, les valeurs de référence à stabiliser (i.e. tête, tronc et avant-bras), les messages détecteurs d'erreur et les réactions posturales flexibles et/ou ajustements anticipateurs (Massion, 1998) (Figure 3.2 b).

CHAPITRE 3. PERCEPTION - ACTION : LE CONTRÔLE POSTURAL ET LES ÉMOTIONS

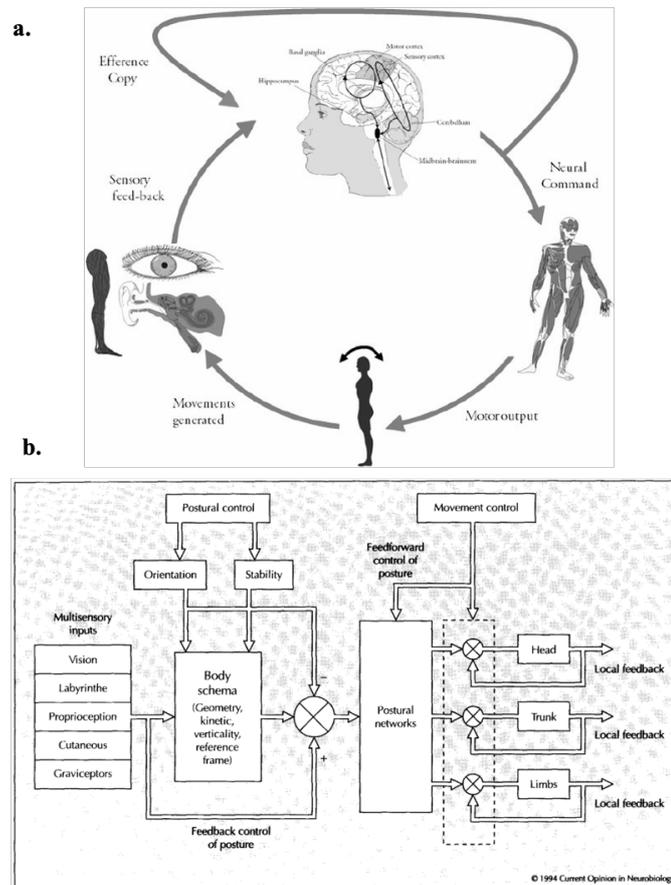


FIGURE 3.2 – (a) Étape 1 : identification des mouvements du corps par les systèmes sensoriels et transmission de l'information au système nerveux central. Étape 2 : initiation de la commande neuronale par le cortex moteur primaire (en utilisant les informations provenant des cortex sensoriels, prémoteur et moteur supplémentaire). Étape 3 : transmission de la commande au tronc cérébral et à la moelle épinière. Une copie de la commande est réacheminée au centre postural permettant ainsi de vérifier que les ajustements posturaux prévus correspondent aux ajustements posturaux réels. *Tiré de Tjernstrom, 2009.* (b) Organisation du contrôle postural avec deux niveaux : le niveau de référence (*schéma corporel*) et le niveau de contrôle (*réseaux posturaux*). Le diagramme représente les composantes principales du contrôle postural et en particulier deux grandes fonctions : la stabilisation et l'orientation du corps dans l'espace. Le maintien de la posture, malgré les perturbations internes et externes, se base sur une représentation interne du corps (schéma corporel). Le schéma corporel est également construit à l'aide des entrées multi-sensorielles qui jouent un rôle de détecteur d'erreurs si un décalage est observé entre la posture prévue et la posture réelle. Des ajustements posturaux sont ensuite effectués en temps réel par différents feedbacks. *Tiré de Massion (1994)*

3.1.4 Régulation de la posture : structures corticales et sous-corticales

Initialement, le cortex n'était pas considéré comme essentiel pour le contrôle postural. Cependant, les interactions entre les **performances cognitives et la fonction d'équilibration** mises en évidence dans le cadre d'études en double tâche suggèrent une implication corticale dans la régulation de la posture (Lajoie et al., 1993 ; Vuillerme & Nougier, 2004 ; Woollacott & Shumway-Cook, 2002). En effet, un certain nombre de **structures corticales et sous-corticales** du système nerveux central participent au contrôle de la posture, en particulier la moelle épinière, le tronc cérébral, les ganglions de la base, les hémisphères cérébraux au niveau de l'aire motrice supplémentaire et du lobe pariétal droit, ainsi que le cervelet (Dupui & Montoya, 2003 ; Horak, 2006). Le premier niveau de contrôle de la posture correspond à la **moelle épinière** (niveau médullaire) qui est un relais entre le stimulus et la réponse d'un effecteur. Sa corne dorsale comprend les fuseaux neuromusculaires, ainsi que les organes tendineux de Golgi et sert une fonction sensitive, tandis que sa corne ventrale comprend des motoneurones et sert donc une fonction motrice. Toutefois, elle ne peut assurer seule le maintien de la posture et a besoin de l'intervention d'autres structures situées dans le **tronc cérébral** (Dupui & Montoya, 2003). Ce dernier intègre les différentes informations sensorielles et contrôle l'activité des motoneurones des différents muscles posturaux par le biais des faisceaux descendants. Il assure notamment le contrôle des mouvements automatiques permettant de lutter contre la gravité et de maintenir un équilibre orthostatique.

D'un point de vue fonctionnel, les projections les plus importantes du tronc cérébral sur la moelle épinière proviennent des noyaux vestibulaires et de la formation réticulée. La formation réticulée reçoit des informations du cortex cérébral, de l'hypothalamus, des noyaux vestibulaires, ainsi que des voies somesthésiques, et contrôle plus spécifiquement la musculature axiale et proximale des membres. **Au niveau cérébral**, les noyaux gris centraux ou ganglions de la base, le thalamus et le corps strié assurent le filtrage des commandes appropriées du mouvement. Leur rôle s'étend également à la perception et au contrôle de l'orientation du corps (Karnath et al., 2000). Au niveau du

cortex cérébral, le cortex somatosensoriel constitue le premier lieu de traitement des informations sensorielles, et envoie des efférences vers les aires motrices corticales qui agissent à leur tour sur les noyaux moteurs de la moelle épinière et du tronc cérébral et assurent ainsi l'exécution du mouvement. Le cortex pré-frontal, quant à lui, est impliqué dans la locomotion (Suzuki et al., 2004) mais aussi dans le maintien de la position debout après une perturbation, tandis que le cortex pariétal postérieur est activé dans la représentation dynamique du schéma corporel, ainsi que dans la détection de l'instabilité posturale (Pellijeff et al., 2006 ; Slobounov et al., 2006).

Enfin, le **cervelet** est une structure essentielle au système postural et assure notamment la régulation, la coordination et la synchronisation des activités musculaires. En effet, en utilisant les informations sensorielles qui lui sont transmises, il assure la correction des mouvements à des fins d'apprentissage moteur ou de perfectionnement.

D'un point de vue anatomique, le cervelet est situé dans la fosse cérébrale postérieure¹ de la boîte crânienne, en dessous du lobe occipital, et se compose d'une région médiane, appelé le vermis, lui-même enserré de deux hémisphères cérébelleux. Neuf circonvolutions divisent le cervelet en trois lobes : antérieur (lobules I-V), postérieur (lobules VI-IX) et le lobe flocculonodulaire (lobule X), chacun ayant un rôle fonctionnel distinct. Le lobe antérieur est impliqué dans le mouvement, le lobe postérieur dans la cognition, tandis que le lobe flocculonodulaire assure le traitement affectif (Boltshauser et al., 2015 ; Stoodley & Schmahmann, 2010). Par ailleurs, les **multiples connexions** du cervelet, notamment au niveau cortical, le relie à des voies anatomiques correspondant principalement à des boucles fermées cérébello-cortico-cérébelleuses (Strick et al., 2009). Ce sont ces boucles qui lui confèrent un rôle, tant au niveau **moteur**, qu'au niveau des **fonctions supérieures** (Levisohn et al., 2000 ; Stoodley & Schmahmann, 2010 ; Stoodley et al., 2012).

¹La fosse cérébrale postérieure est un espace clos inextensible délimité dans sa partie supérieure par la tente du cervelet et dans sa partie inférieure par le trou occipital. Elle contient le tronc cérébral d'où naissent les nerfs crâniens et le cervelet. C'est également dans la fosse postérieure que s'écoule le liquide cérébro-spinal par l'aqueduc de Sylvius et le quatrième ventricule.

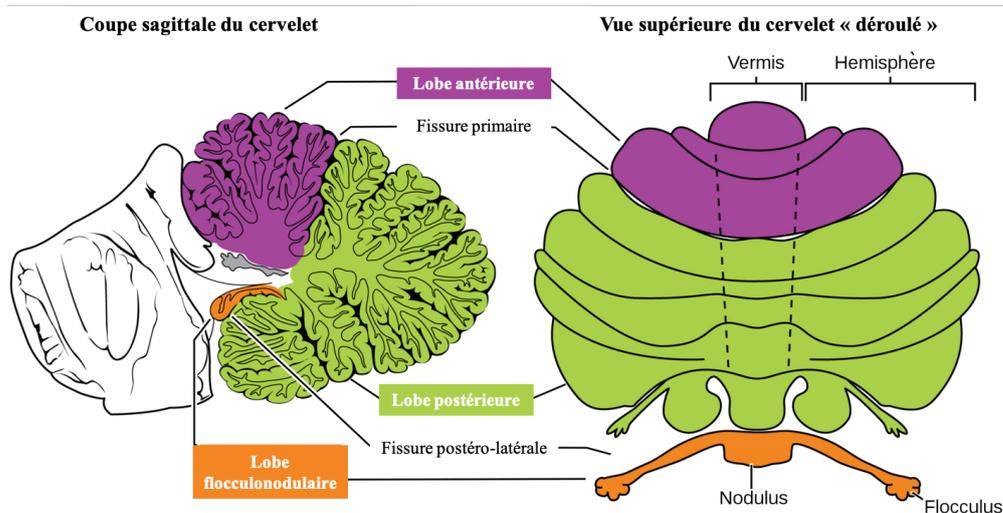


FIGURE 3.3 – Coupe sagittale et vue supérieure du cervelet. D'après le site :<https://openstax.org>

3.2 Ontogénèse du contrôle postural

Le contrôle postural se développe tôt dans la vie, suivant un schéma spécifique, tout en étant dépendant de facteurs à la fois innés et acquis liés aux **interactions** et aux **apprentissages**. Il se construit sur la base des **expériences motrices actives**, et est permis par la maîtrise de l'équilibre via la capacité à maintenir le centre de gravité à l'intérieur du polygone de sustentation (Assaiante & Chabrol, 2010). Le développement du contrôle postural chez le nourrisson est marqué par une mise en place progressive de la **verticalité**, l'amenant durant sa première année de vie à maîtriser la position assise, puis la station debout (Assaiante, 2015). La stabilisation de la tête et du regard joue un rôle essentiel dans le processus de maîtrise de l'équilibre et très tôt, le bébé présente des réactions de redressement de la tête permettant de restaurer l'orientation de la tête sur la verticale gravitaire (Assaiante & Amblard, 1995; Assaiante, 2015).

L'apprentissage de la station debout conduit à une élévation du centre de gravité et à une réduction du polygone de sustentation, amenant ainsi à une moins bonne stabilité posturale. Dans ce contexte, la **stabilisation précoce du bassin** est un élément essentiel pour parvenir à une marche bipède autonome, et sera le **premier référentiel** utilisé sur le plan ontologique (Assaiante & Amblard, 1993; Assaiante et al., 1998). La

stabilisation de la tête est marquée par un développement non linéaire, et est une habileté plus longue à acquérir avec une discontinuité marquée entre 6 et 7 ans, qui se répète pendant l'adolescence (Assaiante & Chabrol, 2010; Assaiante & Amblard, 1993). De plus, vers 6-7 ans, on observe une transition vers un contrôle indépendant des segments corporels, marquant le passage d'un contrôle postural **global et égocentré**, en se servant de leur propre corps comme référence, vers un contrôle postural **sélectif et exocentré**, en se servant d'objets de l'environnement comme référence (Roncesvalles et al., 2005). Une période critique dans le développement des processus sensori-moteurs survient vers l'âge de 7-8 ans, durant laquelle est observée une meilleure intégration des **afférences proprioceptives, visuelles et vestibulaires** (Cuisinier et al., 2011). Cette période de transition se caractérise également par l'intégration d'ajustement posturaux, correspondant à la coordination d'actes moteurs permettant le maintien ou l'adaptation de la posture. Ces ajustements peuvent être **anticipés**, ou plus précisément déclenchés en amont de la perturbation, ou **compensatoires** c'est-à-dire générés après la perturbation pour rétablir l'équilibre (Massion, 1992). De plus, les enfants de cet âge présenteraient une meilleure stabilisation de la tête dans l'espace, ainsi qu'une indépendance du segment tête-tronc, et commenceraient même à mettre en place des **stratégies** de contrôle de l'équilibre proche des adultes (Cuisinier et al., 2011; Riach & Hayes, 1987). La maturation sensorielle serait complète dans le système visuel tout d'abord, puis dans le système proprioceptif et enfin dans le système vestibulaire, pour atteindre la maturité fonctionnelle à 9 ans (Sá et al., 2018). Ainsi, vers l'âge de 7 ans, la maturation des structures responsables du contrôle moteur est complète, et la littérature s'accorde à dire qu'à cet âge le contrôle postural est mature (Schmid et al., 2005; Shumway-Cook & Woollacott, 1985; Sundermier et al., 2001). Toutefois, les enfants âgés de 7 ans n'ayant pas encore vécu suffisamment **d'expérience motrice**, ce n'est qu'à l'âge de 10 ans que leur contrôle postural est similaire à celui des adultes (Roncesvalles et al., 2001).

3.3 Quels sont les paramètres posturaux d'intérêts?

Les changements posturaux et les mouvements du corps peuvent être décrits à travers l'analyse de la trajectoire du **CoP** sur une fenêtre temporelle spécifique, à l'aide d'une **plateforme de force** composée d'un plateau le plus souvent avec trois capteurs de forces (Bizzo et al., 1985). L'analyse des enregistrements des oscillations posturales obtenues par une plateforme de force permet d'obtenir un tracé des déplacements du **CoP** sur l'axe médio-latéral et l'axe antéro-postérieur. A partir de ces déplacements du **CoP**, plusieurs paramètres posturaux sont intéressants à considérer, à la fois pour analyser la stabilité posturale globale ainsi que les comportements d'approche et d'évitement (Figure 3.4). L'aire (cm²) couverte par la trajectoire du **CoP** sur les axes médio-latéral (axe X) et antéro-postérieur (Axe Y) et la longueur (cm) des déplacements du centre de pression reflètent toutes deux une oscillation corporelle plus ou moins importante et donc une stabilité plus ou moins bonne. La vitesse (cm/sec) reflète la quantité d'énergie fournie par l'individu pour maintenir sa posture. Le **CoP-X** et le **CoP-Y** moyen (en cm) correspondent à la projection moyenne du **CoP** sur les axes médio-latéral et antéro-postérieur. Enfin, les déviations standards de la position moyenne du **CoP-X** et du **CoP-Y** (en cm) fournissent une indication sur la variabilité posturale autour des axes médio-latéral et antéro-postérieur. Deux types d'analyses peuvent être effectuées à partir de ces paramètres posturaux :

- l'examen de la **stabilité posturale globale** à partir de l'aire, de la longueur et/ou du SD-X et SD-Y. L'analyse de l'amplitude et de la longueur des oscillations en réponse à des stimuli permet de quantifier la stabilité posturale. Dans le cadre de cette thèse, ces indices donnent des indications sur la quantité de ressources cognitives et posturales utilisée pour traiter un stimulus plus ou moins complexe.
- l'examen des **comportements d'approche et d'évitement** à partir de la position moyenne du **CoP-Y**. Le déplacement du **CoP-Y** peut être considéré comme l'indicateur d'un mécanisme d'approche des informations positives (balancement postural vers l'avant) ou d'évitement des informations négatives (balancement

postural vers l'arrière).

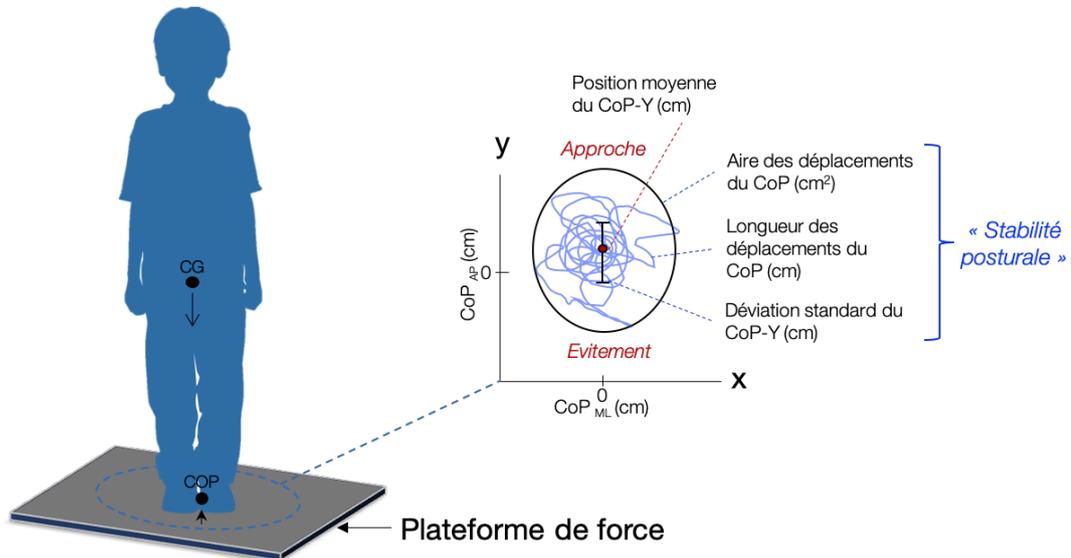


FIGURE 3.4 – Principaux paramètres posturaux tels que l'aire, la longueur, la position moyenne du **CoP-Y** et sa déviation standard pris en compte lors de l'étude du contrôle postural réalisée chez le participant debout sur une plateforme de force. Ces différents paramètres posturaux permettent l'examen de la stabilité posturale globale et des comportements d'approche et d'évitement. **CG** : centre de gravité; **CoP** : centre de pression

3.4 Le contrôle postural est-il un système automatique ?

Le contrôle postural a longtemps été considéré comme un système purement automatique, or il est admis aujourd'hui qu'il fait appel à des **processus attentionnels** (Bayot et al., 2018). Le recrutement de ces ressources attentionnelles est relatif à un certain nombre de facteurs tels que le *niveau d'expertise sensori-moteur*, *l'âge des participants* ou *bien la nature et la complexité de la tâche* effectuée en parallèle du maintien de la posture (Voir Figure 3.5 a Boisgontier et al. (2011)). L'évaluation des ressources attentionnelles nécessaires au contrôle d'une tâche posturale peut être effectuée dans le cadre d'un **paradigme double tâche**. Ce paradigme consiste à mesurer la performance de deux tâches **A** et **B**, puis les deux simultanément et à mesurer le degré de changement dans

la performance à la tâche A et à la tâche B comparé à leur performance en simple tâche (Figure 3.5 b). Au quotidien, nous sommes couramment confrontés à ces situations de doubles tâches lorsque nous conduisons tout en parlant, ou bien lorsque nous cuisinons en écoutant de la musique par exemple. Lorsque les exigences de l'une ou des deux tâches dépassent les ressources attentionnelles disponibles, on parle alors **d'interférence**. Kerr et al. (1985) ont montré que puisque le contrôle postural recrute des ressources attentionnelles, il est susceptible d'être affecté par une tâche secondaire impliquant une **activité cognitive**. Fraizer et Mitra (2008) ont par ailleurs mis en évidence une interférence entre le contrôle postural et une tâche cognitive complexe. De manière intéressante, plusieurs auteurs ont observé que le **détournement de l'attention de la posture** conduisait à une **amélioration** de la posture par rapport à la condition où les participants portaient justement leur attention sur leur posture (Figure 3.6 Olivier et al., 2008 ; Vuillerme & Nafati, 2007 ; Wulf et al., 2001). Ces résultats peuvent s'expliquer par l'augmentation du contrôle volontaire de la posture lorsque l'attention est portée dessus et donc par une interférence avec le contrôle automatique de la posture. Toutefois, Olivier et al. (2008) ont souligné dans ces mêmes études que les enfants âgés de 4 à 11 ans étaient moins affectés que les adultes par la focalisation de leur attention sur leur posture.

CHAPITRE 3. PERCEPTION - ACTION : LE CONTRÔLE POSTURAL ET LES ÉMOTIONS

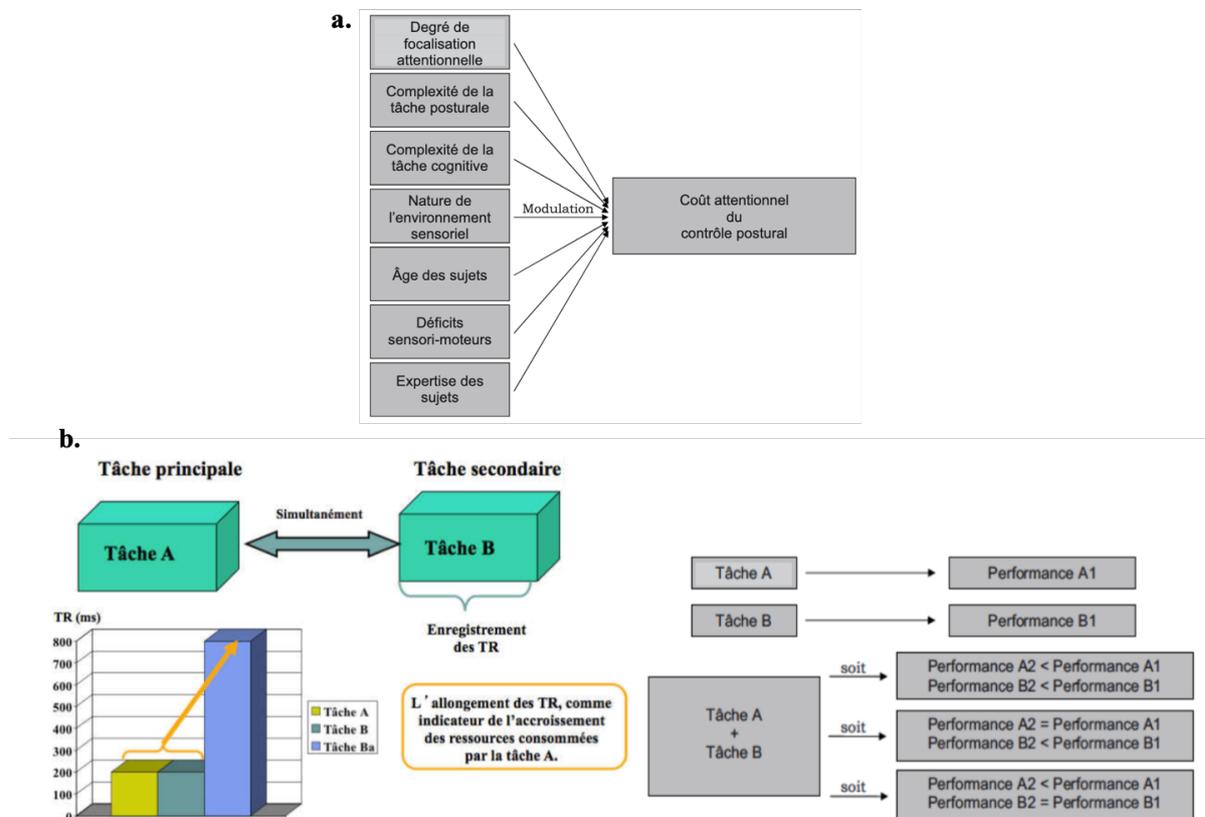


FIGURE 3.5 – (a) Illustration d'un paradigme de double tâche ainsi que des différentes stratégies d'allocation des ressources attentionnelles. Tiré de Boisgontier et al. (2011) et Goïc (2013); (b) Présentation des différents facteurs qui sont susceptibles de moduler le coût attentionnel du contrôle postural. Tiré de Boisgontier et al. (2011).

Différents modèles proposent d'expliquer l'interaction entre tâche posturale et tâche cognitive. Selon le **modèle d'interaction non linéaire en forme de U**, la performance de la tâche posturale est améliorée pour une tâche secondaire simple, mais détériorée pour une tâche secondaire plus complexe (Brown et al., 1999; Wulf & Prinz, 2001). En effet, puisque la tâche cognitive est simple, l'attention est détournée du système postural et celui-ci passe sur un mode de régulation plus automatique, ce qui conduit à une meilleure stabilité. En revanche, lorsque la tâche cognitive est complexe, la demande attentionnelle est trop élevée et conduit à une **détérioration de la performance posturale** (Lacour et al., 2008). Selon le **modèle de priorisation de la tâche**, la détérioration des performances cognitives pourrait s'expliquer par la priorisation de

la tâche posturale (*posture first* Nashner, 1985). De plus, il semble également que la réalisation de **saccades oculaires** lors du visionnage d'une cible en mouvement (Stoffregen et al., 2007) ou d'un dessin animé (Olivier et al., 2008) a un effet positif sur la performance posturale, tandis que la fixation d'une croix statique la détériore (Legrand et al., 2016). En outre, il a été démontré que le pattern de mouvement des yeux est différent lors de l'exploration de scènes dynamiques par rapport à des stimuli statiques, avec des durées de fixation plus longues et des amplitudes de saccade plus importantes (Smith & Mital, 2013). La modalité de présentation du stimuli affecterait donc de manière différenciée le contrôle postural. Il a également été montré que la **modalité sonore** influençait la posture. Raper et Soames (1991) ont signalé un impact de la source sonore sur le balancement postural et spécifiquement lorsque le champ auditif est une conversation de fond au lieu d'être une tonalité pure.

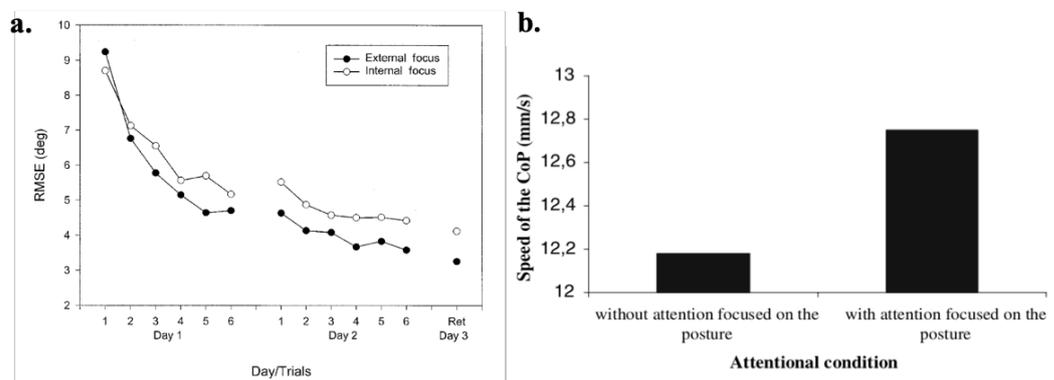


FIGURE 3.6 – ((a), Tiré de Wulf et al., 2001; (b), Tiré de Olivier et al., 2008). La stabilité posturale s'améliore en détournant l'attention de la tâche posturale, c'est-à-dire dans les conditions où l'attention est portée sur un élément externe plutôt que sur la posture.

3.5 Éclairage clinique des liens entre émotion et posture

Le développement de l'enfant est marqué par la mise en place précoce d'un **couplage perception-action**. La mise en place de bonnes compétences motrices seraient prédictives des **compétences socio-émotionnelles futures**, tandis qu'en retour, le

développement sensorimoteur de l'enfant permet une adaptation de l'enfant aux comportements de son partenaire (Xavier et al., 2016). Cette perspective dynamique des liens entre système sensorimoteur et système socio-émotionnel implique qu'une perturbation, même minime, dans l'un des systèmes, peut avoir des effets non négligeables sur l'autre système. Ainsi, différentes pathologies associent, à des degrés plus ou moins sévères, des **perturbations sensori-motrices et socio-émotionnelles**. Certaines pathologies chez l'enfant ou l'adulte avec, au cœur de la symptomatologie, des perturbations socio-émotionnelles ou des interactions sociales, ont des répercussions variables sur les plans **sensorimoteur et postural**. Réciproquement, des déficits sur le plan sensorimoteur peuvent conduire à une perturbation de l'ajustement postural qui se répercuteraient au quotidien dans les interactions sociales, engendrant des comportements sociaux inadaptés ou des **troubles socio-émotionnels**. Enfin, des pathologies liées à des atteintes plus spécifiques de certaines structures cérébrales, telles que les noyaux gris centraux ou le cervelet, impliqués à la fois dans les aspects moteurs et les aspects cognitifs et socio-émotionnels, sont également à considérer dans ces liens réciproques entre émotion et posture. La coexistence de ces difficultés au sein de différentes pathologies souligne l'importance **d'évaluer finement** ces domaines afin de les diagnostiquer et de les prendre en charge de manière optimale.

3.5.1 Troubles du spectre autistique (TSA)

Les **TSA** sont des troubles neurodéveloppementaux qui se caractérisent, entre autres, par des difficultés dans les interactions sociales et la communication associées à des intérêts stéréotypés et limités. Des déficits d'intégration sensorimotrice, qui font partie des troubles associés chez les enfants et chez les adultes atteints de **TSA**, peuvent concerner de nombreux aspects du **contrôle postural** (coordination, posture, démarche et préparation motrice) et participent aux difficultés dans les activités de la vie quotidienne, pour appréhender leur environnement, maîtriser leur motricité fine (e.g. écrire, faire ses lacets) ou participer à des **activités sociales** (e.g. jeux ou sport d'équipe) (Fournier et al., 2010). Dziuk et al. (2007) ont montré que les difficultés pratiques prédisaient de manière significative les déficits sociaux, communicatifs et comportementaux présents

dans cette pathologie. Des études ont également constaté que les enfants atteints de **TSA** présentaient une augmentation des **oscillations posturales**, comparativement à des enfants typiques, dans des situations basiques (i.e. yeux ouverts, debout) (Chang et al., 2010). Cette instabilité serait majorée lors du visionnage des **stimuli sociaux** comparativement à des stimuli non sociaux (Ghanouni et al., 2017). Une plus grande instabilité posturale a également été observée chez des jeunes adultes atteints de **TSA** et serait majorée dans des conditions où les entrées sensorielles (visuelles et proprioceptives) sont perturbées (Doumas et al., 2016). Ces perturbations posturales pourraient s'expliquer par un défaut de régulation entre les différentes forces musculaires, avec une dominance de l'extension, se traduisant par une cambrure au niveau du dos. Ainsi, lorsqu'un aménagement postural est mis en place (i.e. en position assise avec une garantie d'appui des pieds), on relève une **amélioration de l'accrochage visuel** permettant à l'enfant d'être plus sensible aux événements se déroulant en face de lui (Kloeckner et al., 2009). Enfin, une autre étude portant plus spécifiquement sur l'interaction enfant-robot durant une tâche d'attention conjointe (i.e. l'enfant est debout face au robot, les mouvements de l'enfant sont enregistrés via une Kinect) a révélé la présence d'une **instabilité motrice** chez des enfants atteints de **TSA**, se traduisant par la présence de micromouvements, lesquels invisibles pour l'oeil du clinicien, pourraient jouer un rôle dans les difficultés des patients dans leurs interactions sociales (Anzalone et al., 2014).

3.5.2 Troubles développementaux des coordinations (TDC)

Les **TDC** regroupent un ensemble hétérogène de formes de dyspraxie qui entrave l'enfant dans ses capacités motrices et visuospatiales (Costini et al., 2013). Ces difficultés, qui concernent plus spécifiquement la **motricité globale** (e.g. posture, équilibre), la **motricité fine** (e.g. graphisme, utilisation de ciseaux) ou les **comportements sociaux** (e.g. imitation), viennent s'inscrire dans la trajectoire développementale de l'enfant, gênant la mise en place d'interactions sociales de qualité et contribuant à les placer en retrait des autres enfants (Cummins et al., 2005). Par ailleurs, il a été souligné chez ces enfants la présence de déficits de coordination rythmique reflétée par une incapacité à coupler,

au cours du temps, les différentes entrées sensorielles à l'exécution motrice souhaitée (Xavier et al., 2016).

La stabilisation de la posture debout étant une fonction motrice de base et moins affectée par l'expérience que les tâches motrices plus axées sur l'habileté, l'analyse de la posture s'avère appropriée lorsqu'il s'agit d'étudier la fonction motrice de base chez les enfants atteints de **TDC** (Geuze, 2005). Des études longitudinales ont montré que la majorité des enfants atteints de **TDC** continuent d'éprouver des difficultés de coordination motrice tout au long de l'adolescence et de l'âge adulte, et bon nombre de leurs limitations fonctionnelles sont fortement corrélées à des difficultés du contrôle postural (Losse et al., 1991). Il a été observé chez ces enfants des déficits au niveau du contrôle postural, conduisant à une augmentation des oscillations posturales comparativement à des enfants typiques, en condition debout, les yeux fermés ou les yeux ouverts, dans différentes situations perceptives, par exemple dans une tâche impliquant la dénomination d'objets (Laufer et al., 2008).

Les répercussions de ces perturbations motrices dans la vie quotidienne sont importantes, la **faible intégration sociale** chez les enfants **TDC** étant une plainte extrêmement fréquente (Lemonnier, 2010). Par ailleurs, des **comorbidités psychosociales** associées au **TDC** sont parfois rapportées, telles qu'une symptomatologie anxieuse et/ou dépressive, ainsi qu'une faible estime de soi (Campbell et al., 2012). Quelques études cliniques ont également mis en évidence une association fréquente entre les **TDC** et les troubles psychoaffectifs (Missiuna et al., 2014). Dans ce contexte, plusieurs auteurs ont signalé chez les **TDC** une altération de la reconnaissance des **expressions faciales émotionnelles**, ainsi qu'un déficit **d'empathie** (Piek et al., 2008).

3.5.3 Anomalies des noyaux gris centraux

Comme évoqué dans la section 3.5, les noyaux gris centraux, de par leurs multiples connexions cortico-sous-corticales, sont liés à l'intégration des capacités motrices, cognitives et **socio-émotionnelles** (Qiu et al., 2010). Chez l'enfant, les pathologies des noyaux gris centraux ont été impliquées dans la pathogenèse du trouble déficitaire

de l'attention/hyperactivité (Shaw et al., 2014). Une atteinte de cette structure peut également conduire à des perturbations de l'équilibre (Leisman et al., 2014) et contribuer à la présence de **troubles d'opposition/provocation, de comportements agressifs et d'une anxiété excessive** (Yaryura-Tobias et al., 2003). Un dysfonctionnement des noyaux gris centraux est également observé dans la maladie de Parkinson (Avanzino et al., 2018). Des difficultés sur le plan **postural et socio-émotionnel** sont retrouvées dans cette pathologie et plusieurs auteurs ont souligné l'influence délétère des troubles affectifs sur la motricité contribuant aux difficultés de locomotion (Avanzino et al., 2018) et à une posture plus voutée (Kim et al., 2018). De façon intéressante, après traitement de la dépression dans le cadre de cette pathologie, une amélioration sur le plan postural a pu être observée (Avanzino et al., 2018).

3.5.4 Pathologies du cervelet

Quel est le rôle du cervelet dans les liens entre émotions et motricité ?

La vue traditionnelle du cervelet en tant que coordinateur de la fonction motrice a été considérablement redéfinie au cours des dernières décennies. Son rôle a été étendu à d'autres fonctions telles que la modulation du **traitement cognitif et affectif** (Baillieux et al., 2008). Plus spécifiquement, une lésion du lobe antérieur conduirait à des déficits moteurs sans troubles cognitifs et une lésion du lobe postérieur perturberait le développement langagier, exécutif, visuo-spatial et altérerait certaines compétences sociales (comportements inappropriés, isolement) (Roux & Bossu, 2016). Une atteinte au niveau du vermis serait plutôt corrélée à des déficits de socialisation et à des signes autistiques (Biran et al., 2011).

Concernant les perturbations motrices lors d'atteintes cérébelleuses, la littérature est à ce sujet largement documentée (e.g. Bioulac et al., 2004 ; Nixon & Passingham, 2000), tandis que les **répercussions socio-émotionnelles** sont un champ exploré depuis peu (Adamaszek et al., 2017 ; Okon-Singer et al., 2015). Une récente méta-analyse a souligné l'implication du cervelet lors d'une tâche de cognition sociale (Van Overwalle et al., 2014), et plusieurs études lésionnelles ont mis en lumière son rôle dans la régulation

émotionnelle (Lupo et al., 2015; Schmahmann, 2010) et la reconnaissance des émotions (Adamaszek et al., 2014; Adamaszek et al., 2015; D'Agata et al., 2011; Hoche et al., 2016). De plus, lors de la perception passive de vidéos émotionnelles, Beauregard et al. (1998) ont observé une augmentation de l'activation cérébelleuse. Enfin, le cervelet jouerait un rôle de modulateur de la réponse affective de l'organisme afin que celle-ci soit adaptée au contexte (Snow et al., 2014).

Des dommages cérébelleux survenant pendant les périodes sensibles du développement peuvent perturber l'acquisition des **compétences cognitives et sociales** (Limperopoulos et al., 2007; Stoodley, 2016; Wang, Kloth et al., 2014). Des malformations néonatales de la fosse postérieure impliquant le cervelet, telles que le syndrome de Joubert, sont associées à une diversité des profils de développement avec des difficultés sur plusieurs plans. Ainsi, on constate des difficultés sur le plan moteur, par exemple de l'hypotonie, de l'instabilité posturale ou des tremblements, et sur le plan cognitif, des troubles exécutifs, de la cognition spatiale et du langage, avec ou sans déficience intellectuelle. Enfin, on observe des difficultés sur le plan affectif et comportemental, comprenant des troubles de la socialisation et des interactions sociales (Vanwalleghem et al., 2017). Des malformations congénitales, de type agénésie du vermis chez l'enfant, ont également été associées à d'importantes difficultés motrices, à une déficience intellectuelle et à des difficultés d'interactions sociales (Tavano et al., 2007).

Quelques études plus récentes ont également mis en évidence, et ce de façon intéressante, des déficits plus subtils du **comportement moteur et socio-affectif**, chez des enfants atteints de malformations bénignes prénatales, telles que les **kystes arachnoïdiens de la fosse cérébrale postérieure (KFP)**. Le kyste arachnoïdien est dû à une anomalie du développement des méninges, et correspond à une collection de liquide de composition proche de celle du liquide cérébro-spinal. Le **KFP** représente environ 10% des kystes arachnoïdiens et est donc une pathologie qui reste à ce jour très peu étudiée. La découverte du kyste est le plus souvent fortuite, à l'occasion d'exams médicaux prescrits pour d'autres raisons, et s'effectue généralement par imagerie. La présence d'un **KFP** peut se révéler délétère, conduisant à une maladresse, des troubles

visuospatiaux et de la motricité fine, ainsi que des problèmes de comportement, avec une efficacité intellectuelle le plus souvent préservée. Ces difficultés sont toutefois atténuées en post-chirurgical après drainage du kyste (Cuny et al., 2017). Rechtman et al. (2020) ont également relevé un **déficit de perception sociale** chez des enfants porteurs d'un **KFP**, objectivé par une diminution du temps d'observation des visages, comparativement à des stimuli non sociaux.

En résumé, le rôle du cervelet dans le champ des émotions s'étendrait de la **perception** et de la **reconnaissance de l'information émotionnelle**, à l'expérience et à la **régulation des états émotionnels** relatifs aux comportements moteurs, cognitifs et sociaux (voir pour revue Adamaszek et al., 2017).

3.6 La place des émotions dans la boucle Perception-Action

3.6.1 Influence de la perception des émotions sur le contrôle postural

Si le lien entre les émotions et la posture a été peu exploré dans le champ clinique, la littérature abordant l'influence des émotions sur le contrôle postural chez l'adulte sain est désormais plus largement étudiée. La compréhension des facteurs influençant la posture chez l'adulte sain est essentielle d'un point de vue fondamental, mais fournit également les bases nécessaires à l'étude des processus affectés dans le cadre de certaines pathologies. Dans le cadre de cette thèse, nous dissociions deux analyses posturales spécifiques, d'une part l'étude de la **stabilité posturale globale**, et d'autre part l'examen des **comportements d'approches et d'évitement**. Cette section s'attardera plus spécifiquement sur la manière dont la **présentation de stimuli émotionnels** affecte sélectivement ces **deux mesures posturales**, chez **l'enfant** et chez **l'adulte**.

Le contrôle postural est-il affecté par la présentation de stimuli émotionnels chez l'enfant ?

De façon générale, les oscillations corporelles des enfants sont plus importantes que

celles des adultes (Figura et al., 1991 ; Shumway-Cook & Woollacott, 1985). Plusieurs auteurs ont mis en évidence que le contrôle postural chez l'enfant était affecté par la présentation de stimuli émotionnels (Figure 3.7 de Freitas Brandão et al., 2016 ; Goulème et al., 2015). Plus spécifiquement, Goulème et al. (2015) ont observé auprès de trois groupes d'âges (7-8 ans ; 9-11 ans et 14-17 ans) que le visionnage de visages joyeux ou tristes conduisait à une augmentation de l'aire, indicatrice d'une instabilité posturale, comparativement à la perception de visages colériques ou neutres. De plus, de Freitas Brandão et al. (2016) ont mis en évidence chez l'enfant d'âge scolaire, de la même manière que chez l'adulte, une augmentation de la vitesse et de la longueur des déplacements du CoP face à des films émotionnels plaisants et déplaisants, comparativement aux films neutres. En revanche, ils n'ont pas observé de modulation de la position moyenne du CoP-Y, c'est-à-dire de déplacements antéro-postérieurs, relativement aux films émotionnels. Bien que la stabilité s'améliore avec l'âge, les **patterns de réactions posturales** sont similaires tant **chez les enfants que les adultes**, suggérant que le contrôle postural serait influencé de manière similaire par la signification émotionnelle des stimuli.

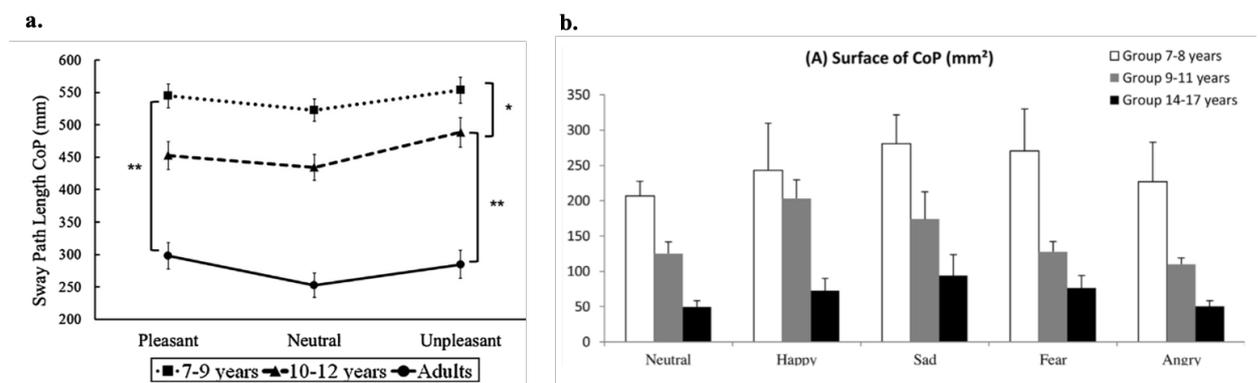


FIGURE 3.7 – (a) Longueur des déplacements du CoP en réponse aux films neutres, plaisants et déplaisants pour les trois groupes d'âges. Tiré de de Freitas Brandão et al. (2016). (b) Aire couvrant la surface des déplacements du CoP en réponse aux visages de joie, de colère, de tristesse, de peur, et neutre pour les trois groupes d'âges. Tiré de Goulème et al. (2015)

Le contrôle postural est-il affecté par la présentation de stimuli émotionnels chez l'adulte ?

Plusieurs études ont examiné l'impact des stimuli émotionnels sur les ajustements posturaux, en termes de **stabilité posturale** et de **comportements d'approche et d'évitement**. La plupart de ces études ont fait état d'une **réduction des oscillations posturales**, indexée par une diminution de l'aire, de la longueur et de la déviation standard, en réponse à des images déplaisantes, comparativement à des images neutres et/ou plaisantes (Azevedo et al., 2005 ; D'Attilio et al., 2013 ; Facchinetti et al., 2006). Cet effet a également été rapporté par Stins et Beek (2007) mais uniquement en position unipodale. De la même manière, Hagenaars et al. (2014) ont mis en évidence une diminution de la longueur du **CoP** lorsque les participants visionnaient des films déplaisants, en comparaison à des films plaisants ou neutres. Enfin, Roelofs, Hagenaars et al. (2010) ont rapporté une diminution significative du SD-Y en réponse aux visages de colère, par rapport à des visages joyeux ou neutres. Cette réduction des oscillations posturales peut être interprétée comme du *freezing* qui se définit comme une "*préparation physiologique et somatique du corps au mouvement physique*" déclenchée par un stimulus évalué positivement ou négativement par l'individu (Elliot, 2006, p. 112). Le comportement de *freezing* permet d'abord la **détection d'informations pertinentes** dans l'environnement pour sélectionner la **réponse comportementale** adéquate, puis la mobilisation de l'ensemble du corps conduisant à un comportement de combat ou de fuite (Lang & Bradley, 2010). Il convient toutefois de noter que d'autres études ont trouvé des résultats contradictoires. de Freitas Brandão et al. (2016) ont rapporté une augmentation de la vitesse et de la longueur, en réponse aux films plaisants et déplaisants et désagréables, par rapport à la condition neutre. En outre, D'Attilio et al. (2013) ont noté une augmentation de l'aire et de la vitesse des participants face aux images agréables.

Au-delà du *freezing*, les émotions peuvent également déclencher des **comportements d'approche ou d'évitement**, principalement examinés par le **CoP-Y**. Plusieurs études ont montré que des images de mutilation entraînaient un déplacement postérieur (*évitement*) de la position du **CoP** par rapport aux stimuli neutres et/ou agréables

(Hillman et al., 2004; Lelard et al., 2014). Perakakis et al. (2012) ont observé un comportement d'évitement des images plaisantes, déplaisantes et neutres. D'autre part, Eerland et al. (2012) ont identifié un comportement d'approche en réponse aux images plaisantes, et un comportement d'évitement en réponse aux images déplaisantes, par rapport aux images neutres. De manière similaire, Gea et al. (2014) ont observé une augmentation de l'amplitude des oscillations posturales vers l'avant, face à des visages dynamiques heureux, par rapport à la condition neutre. Enfin, Azevedo et al. (2005) et Stins et Beek (2007) ont observé peu ou pas d'effet des émotions sur le CoP-Y.

Les diverses études présentées ci-dessus révèlent des résultats plutôt divergents qui peuvent s'expliquer par l'utilisation de **stimuli de nature différente**. La plupart des études ont employé des **stimuli statiques** illustrant soit des scènes de mutilation, soit des scènes érotiques extraites de la base de données *International Affective Picture System* (IAPS Azevedo et al., 2005; D'Attilio et al., 2013; Eerland et al., 2012; Facchinetti et al., 2006; Hageraars et al., 2014; Hillman et al., 2004; Lelard et al., 2014; Perakakis et al., 2012; Stins & Beek, 2007), ou bien des **photographies de visages** d'acteurs exprimant une émotion à son paroxysme Gea et al. (2014). Les émotions peuvent également être représentées de manière **multimodale et dynamique**. À cette fin, nous pouvons nous demander si les résultats observables avec des stimuli statiques sont reproductibles avec des **vidéos émotionnelles**. Ces vidéos peuvent être de plusieurs types, tels que du morphing mettant en scène un acteur véhiculant une expression neutre, et atteignant progressivement l'émotion d'intérêt (Gea et al., 2014), ou bien de courtes scènes extraites de films (de Freitas Brandão et al., 2016; Hageraars et al., 2014). Comme l'indiquent Gross et Levenson (1995, p. 88), "*les films ont un degré relativement élevé de validité écologique, dans la mesure où les émotions sont souvent évoquées par des stimuli visuels et auditifs dynamiques, qui sont externes à l'individu*". En outre, les éléments techniques qui constituent les films mettent l'accent sur les actions et le contenu émotionnel des stimuli. Enfin, le manque de consistance inter-études peut également résider dans une classification « *brute* » des émotions. En effet, ou bien la plupart des études (i) classent les émotions en deux types de stimuli, c'est-à-dire agréable ou désagréable, ce qui empêche

une **catégorisation plus fine** des émotions, (ii) ou bien elles se contentent de comparer un **nombre limité** d'expressions (par exemple, la colère, la joie et l'expression neutre). L'un des objectifs de cette thèse est de pouvoir contribuer à la littérature à ce sujet, en examinant un plus large panel d'émotions, permettant ainsi de comparer plus finement l'influence des émotions sur la posture.

3.6.2 Quel est le rôle des traits individuels dans les liens entre émotions et contrôle postural ?

Un autre facteur contribuant à expliquer la divergence de la littérature à ce sujet, repose sur les caractéristiques individuelles tels que les **traits de personnalités ou les états émotionnels** du participant, qui jusqu'ici ont été assez peu prises en compte. Le trait de personnalité désigne un **élément stable** de l'individu, ou plus précisément comment les individus sont généralement, et est à distinguer de l'état émotionnel renvoyant à un **état transitoire**, c'est-à-dire comment l'individu se sent à un moment particulier (Sander & Scherer, 2014). Il a déjà été suggéré que l'état émotionnel du participant, comme l'anxiété ou la peur de tomber, pourrait affecter le **contrôle postural** (Lelard et al., 2014; Lelard et al., 2019). Lelard et al. (2014) ont mis en évidence que la peur de tomber conduisait à une augmentation de certaines réponses physiologiques, telles que le rythme cardiaque ou la conductance cutanée, et déclenchaient des **réponses posturales de freezing** en réponse à des stimuli aversifs. Roelofs, Hagenaars et al. (2010) ont également observé une influence de l'état d'anxiété du participant sur les oscillations posturales : en réponse aux visages de colère, plus les participants étaient anxieux, plus la surface de ces oscillations était réduite. De plus, des individus ayant vécu des événements de vie aversifs seraient plus susceptibles de présenter des comportements posturaux de freezing (Hagenaars et al., 2012). Au-delà des états émotionnels, les traits de personnalités peuvent également influencer le lien entre les émotions et la posture. À notre connaissance, très peu d'études se sont penchées sur cette question. Cependant, Une étude en particulier rapporte que des scores élevés de traits d'empathie seraient corrélés à une augmentation de l'amplitude des oscillations posturales vers

l'avant, face aux visages joyeux, et à une augmentation des oscillations posturales sur les deux axes X et Y en réponse aux visages tristes (Gea et al., 2014). Elliot et Thrash (2002) soulignent l'importance à la fois des objectifs individuels mais également des **tempéraments généraux d'approche et d'évitement** dans la direction du comportement (Elliot, 2006 ; Elliot & Thrash, 2002). Les tendances à l'approche seraient positivement corrélées à l'extraversion et à la conscienciosité. De plus, les tendances à l'évitement seraient positivement corrélées au névrosisme (Smits & Boeck, 2006). La prise en compte des traits individuels, à travers les traits de personnalités et les états émotionnels, se situe au cœur de cette thèse et constitue un axe majeur de chacun des articles présentés dans les contributions expérimentales.

Points-clés du Chapitre 3

- La **bipédie**, caractérisant l'espèce humaine, se développe progressivement pendant l'enfance et est constamment adaptée aux circonstances qui tendent à la perturber dans les conditions de vie terrestre.
- Le **système postural** assure deux grandes fonctions : la **stabilisation** par la force antigravitaire et **l'orientation du corps dans l'espace**. L'état d'équilibre (ou de déséquilibre) est sous-tendu par l'homéostasie des systèmes sensoriels, neurologiques et musculo-squelettiques et par de multiples structures corticales et sous-corticales.
- Les **capacités motrices**, telles que la capacité de se mouvoir et d'interagir en régulant sa posture, ainsi que l'exécution et la coordination du mouvement, jouent également un rôle crucial dans les **domaines socio-émotionnels**. En revanche, des difficultés motrices peuvent être invalidantes, réduire l'estime de soi et être à l'origine de problèmes socio-émotionnels.
- Différentes pathologies associent des perturbations **sensori-motrices et socio-émotionnelles**, à des degrés plus ou moins sévères. La coexistence de ces difficultés au sein de différentes pathologies souligne l'importance d'évaluer finement ces domaines afin de les diagnostiquer et de les prendre en charge de manière optimale.
- Par ailleurs, le contrôle postural, et plus spécifiquement la **stabilité posturale globale** et les **comportements d'approche et d'évitement**, sont influencés par la présentation de stimuli émotionnels. Toutefois, les résultats ne convergent pas vers des patterns posturaux similaires, et d'autres facteurs doivent être pris en compte, tels que les **traits individuels**.

CONCLUSION DU CONTEXTE THÉORIQUE

L'ensemble des travaux présenté ici souligne les liens réciproques entre les émotions ou, plus globalement, le fonctionnement socio-émotionnel, et les compétences motrices, notamment les TA visibles sur le plan postural. Ce lien entre **émotion** et **posture** a été présenté de façon exhaustive chez les enfants et les adultes en bonne santé, ainsi que dans le cadre de certaines pathologies développementales ou dégénératives. Les différents éléments abordés dans ces chapitres suggèrent qu'une meilleure compréhension des liens qui unissent l'émotion et la posture s'impose.

Chez l'adulte en bonne santé, il s'agit d'affiner la compréhension des boucles entre perception et action. En effet, lorsqu'un individu est confronté à un stimulus à contenu affectif, différentes tendances comportementales peuvent émerger, telles que **l'approche**, **l'évitement** ou le **freezing**. La littérature a longtemps tenté de faire émerger des patterns comportementaux attribuables à l'ensemble des individus en lien avec différentes émotions. Plus récemment, l'étude des différences individuelles a permis de mettre en évidence des comportements différenciés, qui pourraient dépendre des **traits de personnalité** ou de l'expérience de chacun. De manière réciproque, il semble également fondamental de mieux prendre en compte comment, en retour, nos TA peuvent affecter notre **perception** du monde dans un contexte social. Un point de vue intégratif prenant en compte des indices socio-émotionnels clés dans les interactions sociales que sont la **direction du regard** ou la **distance interpersonnelle** d'autrui paraît essentielle à la compréhension des liens réciproques entre émotion et posture. Il semble également important de considérer ces indices à la lumière des caractéristiques propres à l'observateur, comme ses traits individuels ou ses états émotionnels.

De plus, certaines pathologies du développement, en particulier les TSA, les TDC ou certaines pathologies des noyaux gris centraux et du **cervelet** sont marquées à la fois par des atteintes sensorimotrices et/ou posturales, ainsi que par des perturbations

socio-émotionnelles et comportementales qui ne sont pas toujours bien évaluées dans la pratique clinique, mais peuvent avoir des répercussions sur le plan scolaire ou dans la vie quotidienne. Dans les troubles du développement de l'enfant, il s'agit d'être vigilant dans la pratique clinique sur la présence de différentes comorbidités et de ne pas sous-estimer le poids des difficultés socio-émotionnelles ou des troubles sensorimoteurs et posturaux au quotidien. Des mesures fines de l'instabilité motrice et posturale devraient être mieux évaluées dans la pratique clinique, avec des **mesures posturographiques**, permettant d'améliorer le bilan de certains patients en offrant des indices parfois invisibles à l'œil du clinicien, mais avec des répercussions dans les interactions sociales quotidiennes.

Dans les **Articles 1 à 3** de cette thèse, nous avons tenté d'affiner la compréhension des liens réciproques entre les émotions, et plus spécifiquement les domaines socio-émotionnels, et le contrôle postural. De plus, la prise en compte des traits individuels dans la boucle perception-action constitue un axe majeur de ce travail de thèse. Nous avons également publié une revue de la littérature dont l'objectif était de mettre en lumière les connaissances sur les liens réciproques entre **émotions et posture**, chez l'adulte sain ainsi que dans le cadre de pathologies affectant les versants moteurs et/ou socio-émotionnels (**Article 4**). Enfin, dans **l'Article 5**, nous proposons d'apporter un éclairage clinique au lien entre émotions et posture, ainsi que de contribuer à l'amélioration des bilans neuropsychologiques à l'aide de mesures posturographiques.

Troisième partie

Contributions Experimentales

MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

Contenu

4.1	Participants	116
4.2	Équipement et matériel	118
4.2.1	Plateforme de force	118
4.2.2	Manette & Laser	119
4.2.3	Présentation des stimuli visuels	119
4.2.4	Procédure générale et paramètres étudiés	124

L'objet du présent chapitre est de décrire la méthodologie employée dans ces quatre études et de présenter les principaux paradigmes employés ainsi que les analyses effectuées.

Quatre études expérimentales sont présentées dans cette thèse. Dans ces différentes études, nous avons pu coupler la présentation de stimuli à **l'enregistrement des oscillations posturales**. L'Article 1 traite des effets de la modalité de présentation des stimuli et des émotions sur le contrôle postural. L'objectif est d'utiliser un **large panel d'émotions** et de comparer l'influence des **visages et vidéos émotionnels** sur la posture. Les Articles 2 et 3 examinent la place de différents signaux socio-émotionnels que sont les **expressions faciales émotionnelles, la distance interpersonnelle et la direction du regard**, dans la boucle perception-action. L'originalité de ces deux études réside dans l'emploi de mesures à la fois **perceptives et posturales**. Nous mesurons d'une part le contrôle postural, à travers l'analyse des oscillations posturales, et d'autre part le traitement perceptif via l'ajustement de la distance interpersonnelle à autrui et l'interprétation de la direction du regard. Ces trois articles proposent d'étudier le lien entre émotion et posture chez le jeune adulte sain, en considérant le rôle des variables individuelles, et en prenant également appui sur le modèle approche-évitement.

Enfin, **l'Article 5** vise à mieux comprendre les liens entre émotion et posture chez des patients ayant une atteinte du cervelet, en examinant les troubles moteurs, socio-émotionnels et comportementaux. Cette étude pourrait également permettre d'améliorer l'évaluation de ces patients dans le cadre de leurs bilans neuropsychologiques en fournissant des mesures observables pour le praticien.

4.1 Participants

Dans les Articles 1, 2 et 3, les participants étaient des étudiants de licence à l'Institut de Psychologie de l'Université de Paris. Dans le cadre de leur UE d'initiation aux travaux d'études et de recherche de première et deuxième années de licence, les étudiants recevaient des crédits ECTS en échange de leur participation. Dans l'Article 5, les

enfants du groupe contrôle ont été recrutés dans l'entourage de l'expérimentateur. Les patients de cette même étude étaient hospitalisés et suivis pour un KFP dans le service de Neurochirurgie pédiatrique de l'Hôpital Necker-Enfants Malades. La présentation des participants des différentes études est détaillée dans le tableau 4.1 tandis que la présentation anamnestique de chacun des patients est disponible en Annexe A.

Études	Effectif	Répartition homme-femme	Âge moyen et écart- type (en années)
<u>Article 1</u> <i>Visages vs vidéos</i>	n = 56	40♀16♂	21,4±2,8
<u>Article 2</u> <i>Distance interpersonnelle</i>	n = 52	46♀6♂	20,3 ±2,7
<u>Article 3</u> <i>Direction du regard</i>	n = 54	57♀7♂	20,3 ±2,2
<u>Article 5</u> <i>KFP</i>	EDT, n = 6; tous ♂ KFP, n = 3		EDT=11,07±1
Patients KFP <i>hors article</i>	n = 8	4♀4 ♂	12,6±3,4

TABLE 4.1 – Présentation des participants de chaque étude.

Pour les études des Articles 1, 2, 3 et pour le groupe d'enfants typiques de l'Article 5, les participants devaient être de langue maternelle française, posséder une vue normale ou corrigée et ne pas avoir de problèmes posturaux (scoliose, chirurgies récentes, etc), ni d'antécédents de troubles psychiatriques ou neurologiques. De plus, concernant les Articles 1, 2 et 3, un score de dépression significatif au BDI (i.e. > 18, Beck et al., 1996) constituait un critère d'exclusion des participants. Ce seuil significatif est fréquemment utilisé dans les études portant sur les émotions puisque le traitement des émotions est souvent affecté par la présence de symptômes dépressifs sévères (Chaby et al., 2015; Dalili et al., 2015). Concernant les patients participants de l'Article 5, tous de langue maternelle française, les critères d'exclusion comprenaient la présence de pathologies d'origine génétique, neurologique, autres que le kyste, et/ou psychiatrique avérée. Les études 1, 2 et 3 présentées dans cette thèse sont en accord avec les principes d'éthique inscrits dans la déclaration d'Helsinki de 1964, et leurs procédures ont été approuvées par le comité d'éthique de l'Université Paris Descartes (n°IRB : 20130500001072). Le

protocole de l'étude 5 a été approuvé par le comité éthique de l'Université de Paris (n°IRB : 2016300001072), et s'est effectué en collaboration avec l'Hôpital Necker.

4.2 Équipement et matériel

Les expériences de l'Article 1, 2 et 3, ainsi que les passations expérimentales pour le groupe d'enfants typiques de l'Article 5 étaient réalisées dans une pièce dont la luminosité était maintenue constante. La passation pour les patients **KFP** s'est effectuée dans une salle d'expérimentation de l'Hôpital Necker. Les stimuli de l'Article 1, 2, 3 et 4 étaient présentés en couleur, sur un fond gris-sombre, au centre d'un écran Dell d'une résolution de 1920×1200 pixels. Dans les quatre études, l'écran était situé à 1 mètre du participant (voir Hecht et al., 2019) et la hauteur écran-yeux était ajustée de façon à ce que les yeux du participant soient placés à la hauteur des yeux du visage présenté, ou au centre des vidéos.

4.2.1 Plateforme de force

La plateforme de force utilisée est une AMTI - ACS+®, visible sur la Figure 4.1. Les données posturales ont été recueillies grâce à la plate-forme de force, à une fréquence d'échantillonnage de 100 hertz sur 32 secondes de stimulation, pour l'ensemble des essais. A partir de la plateforme, nous avons extrait les déplacements du **CoP**, à savoir une mesure toutes les 10 ms, et avons calculé à l'aide de l'environnement R studio (R Core Team, 2013) les paramètres posturaux d'intérêts pour notre étude. Ces paramètres sont les suivants : l'aire (cm²) et la longueur (cm) des déplacements du **CoP**, la vitesse (cm/sec), le **CoP-Y** moyen (en cm) et sa déviation standard (en cm). Les données ont également été corrigées. Ainsi, pour chaque essai, nous avons supprimé les deux premières secondes de la croix de fixation afin de n'avoir l'enregistrement postural qu'en réponse aux stimuli sociaux. De plus, puisque la position de départ de chaque participant pouvait varier entre les essais, nous avons remis les coordonnées de départ X et Y à 0.0 afin de pouvoir comparer les conditions entre elles.

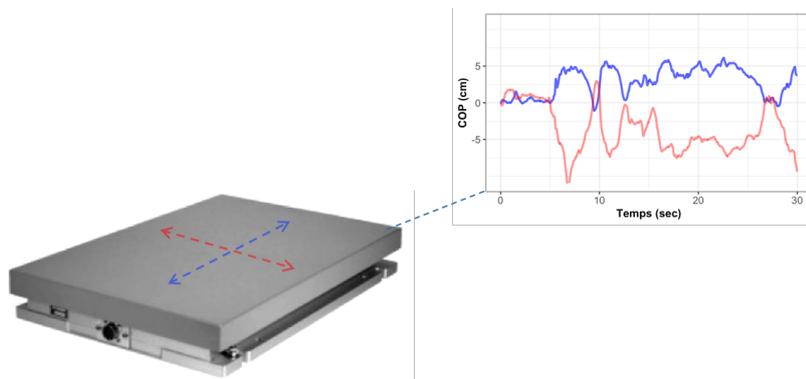


FIGURE 4.1 – Plateforme de force et décours temporel. La flèche rouge et la flèche bleue correspondent respectivement aux déplacements du CoP dans les axes médio-latéral et antéro-postérieur. Sur la droite est également représenté le décours temporel des déplacements du CoP dans les axes X (rouge) et Y (bleu) durant les 30 secondes de présentation des stimuli.

4.2.2 Manette & Laser

L'ajustement de la distance préférée de l'Article 2 et l'interprétation de la direction du regard de l'Article 3 sur ordinateur ont été réalisés à l'aide d'une manette (USB). L'ajustement de la distance préférée face à un partenaire réel (i.e. tâche de Stop Distance) de l'Article 2, illustré dans la Figure 4.3, a été réalisée à l'aide d'un télémètre laser (MAGNUSSON) permettant de mesurer la distance d'un point A à un point B.

4.2.3 Présentation des stimuli visuels

4.2.3.1 Sélection des stimuli des Articles 1 et 4

Pour les quatre études, la croix de fixation blanche était présentée au centre de l'écran et couvrait 2° d'angle visuel. Les stimuli de l'Article 1 et 4 couvraient $6,4$ par 10 degrés d'angle visuel, tandis que les stimuli de l'Article 3 couvraient par 8 par $10,5$ degrés d'angle visuel. L'Article 2 comprenait des stimuli de 10 tailles différentes présentés en détail dans le Tableau 4.2. Les caractéristiques de l'ensemble des stimuli sont présentées dans le Tableau 4.2. Dans l'Article 1 et l'Article 5, les stimuli utilisés étaient des visages d'acteurs provenant de la base de données d'Ebner (Ebner et al. 2010) et étaient tous des individus jeunes. Parmi la banque de visages, nous avons sélectionné 10 identités

différentes, comprenant 5 hommes et 5 femmes, et exprimant six émotions : la joie, la colère, la peur, la tristesse, le dégoût et l'expression neutre. Les vidéos émotionnelles de l'Article 1 provenaient de la base de données Film-Stim fournissant des stimuli de haute résolution (<https://nemo.psp.ucl.ac.be/FilmStim/>) (Schaefer et al., 2010).

Intervalle Facegen	Hauteur (cm)	Largeur (cm)	Distance à l'écran (cm)	Angle visuel- hauteur (°)	Angle visuel- largeur (°)	Distance simulée (cm)
10	25	18,57	100	14,04	10,52	74
9	22,5	16,58	100	12,68	9,41	82,22
8	20	15	100	11,31	8,53	92,50
7	18,5	14	100	10,48	7,97	100
6	17,5	13	100	9,93	7,41	105,71
5	15	11,5	100	8,53	6,56	123,33
4	12,5	9,3	100	7,13	5,31	148
3	10	7,5	100	5,71	4,29	185
2	7,5	5,5	100	4,29	3,15	246,67
1	5	3,9	100	2,86	2,23	370

TABLE 4.2 – Détail des mesures de la distance simulée, en considérant une taille de visage standard de 14*18,5 cm.

Dans un premier temps, nous avons pré-sélectionné 17 vidéos de la base de données Film-Stim, en segmentant 30 secondes de séquence, soit deux vidéos pour la colère et la tristesse, trois pour la joie, la peur et le dégoût et quatre pour la neutralité. Le choix des vidéos et du découpage de la séquence s'est effectué en se basant sur les critères suivants : séquence en langue française, sans sous-titres, mettant en scène un ou plusieurs individus, exprimant l'une des émotions que sont la joie, la colère, la peur, la tristesse, le dégoût ou l'expression neutre et impliquant une intensité émotionnelle élevée. Pour chacune des 17 vidéos, un pré-test a été réalisé auprès de 10 participants, auxquels il était demandé d'indiquer parmi les labels des 6 émotions, quelle était l'émotion identifiée dans la séquence, ainsi que son intensité sur une échelle de Lickert allant de 1 (faible intensité) à 5 (intensité élevée). A l'issue du pré-test, la sélection des vidéos s'est effectuée en se basant sur la bonne reconnaissance de l'émotion, ainsi que sur une intensité émotionnelle élevée. Ainsi, nous avons sélectionné six vidéos, présentées dans l'Annexe A, soit une pour chaque émotion avec un pourcentage d'identification de 98% (± 4) et un score moyen d'intensité de 4,14 ($\pm 0,33$).

4.2.3.2 Création des stimuli des Articles 2 et 3

Les expressions faciales des Articles 2 et 3 ont été générées avec le logiciel FaceGen Modeller 3.5 permettant la création de visages virtuels en manipulant l'origine, le sexe, l'âge et l'intensité. Les visages étaient en couleur et les cheveux ont été enlevés de sorte que seule la partie centrale du visage était visible. Dans un premier temps, nous avons créé dix-neuf identités différentes, soit dix identités de genre masculin et neuf identités de genre féminin, en nous basant sur les critères suivants : des visages caucasiens, âgés entre 20 et 25 ans et une forme de visage typique sans asymétrie marquée. Nous avons choisi une taille de visage standard pour une distance d'un mètre à autrui, soit 14 cm par 18,5 cm. En nous basant sur les émotions prédéfinies par Facegen, ainsi que sur les FACS de Ekman (2002), nous avons associé à chaque identité les six expressions suivantes : la joie, la colère, la peur, la tristesse, le dégoût et la neutralité. Le détail des FACS est présenté dans l'Annexe A. Pour chacune des expressions, à l'exception de la neutralité, nous avons attribué quatre intensités émotionnelles différentes. Ainsi, un total de 456 visages a été créé, soit dix-neuf identités * quatre intensités * six émotions. Un pré-test a été réalisé auprès d'un échantillon indépendant de cinquante participants qui devaient évaluer les 456 visages. Les participants devaient identifier l'émotion exprimée, puis évaluer l'aspect naturel, ainsi que l'intensité de l'émotion sur une échelle de Likert en 10 points allant de 1 (pas du tout) à 10 (beaucoup). En nous basant sur le pourcentage de bonnes réponses, sur l'homogénéité des différentes intensités et sur le degré de naturel du visage, 60 visages ont été sélectionnés, soit dix identités (5 femmes et 5 hommes) exprimant chacune les six expressions faciales.

Pour construire la tâche de distance informatisée de l'Article 2 à partir des 60 visages, nous avons créé des visages de différentes tailles. La plus grande taille de visage, c'est-à-dire la taille maximale par rapport à l'écran sans que le visage ne soit coupé, mesurait 18,5*25 cm et simulait la plus petite distance afin que le visage présenté à l'écran paraisse proche du participant. La plus petite taille de visage mesurait 3,9 * 5 cm et simulait la plus grande distance afin que celui-ci paraisse loin de l'observateur. La taille des visages était réduite par intervalles de 2,5 cm (25 ; 22,5 ; 20 ; 17,5 ; 15 ; 12,5 ; 10 ; 7,5 et

5 cm). De plus, comme le participant était placé à une distance de 1 m de l'écran durant toute l'expérience, nous avons ajouté une taille de visage de 14*18,5 cm (c'est-à-dire la hauteur standard d'un visage dans la vie réelle) à nos stimuli afin de simuler la présence d'une personne réelle à une distance de 1 m. La distance du participant à l'écran étant fixe (1 m), il a été possible de calculer l'angle visuel pour chaque taille de visage.

Pour construire la tâche posturale de l'Article 2, nous avons créé douze blocs de visages émotionnels, un bloc comprenant les dix identités sélectionnées exprimant l'une des six émotions. Ces visages ont été présentés à l'écran, en augmentant ou en diminuant la taille des visages afin de simuler respectivement un mouvement d'approche ou de retrait (24 images par essai). Pour réaliser cette tâche, nous avons généré 72 images allant de la plus petite à la plus grande taille pour chaque visage émotionnel, en utilisant Python.

La création des stimuli employés pour la tâche de jugement de direction de regard de l'Article 3 s'est effectuée en se basant sur Ewbank et al. (2009) et Stoyanova et al. (2010). D'après la taille de l'écran et sa résolution en pixel, nous avons établi qu'une déviation de 1 pixel correspondait à une déviation de 0,027 cm, soit 0,01547° d'angle visuel. À l'aide de Facegen, pour chacun des 60 visages émotionnels de taille standard, la position de l'iris des deux yeux a été déplacée de 3, 6 ou 9 pixels vers la gauche ou la droite. Un total de 420 visages a été créé : dix identités * six expressions * sept directions de regard (droit devant, déviées de 3, 6 ou 9 pixels vers la droite et vers la gauche). Pour construire la tâche posturale de l'Article 3, nous avons uniquement sélectionné les visages affichant les directions de regard non ambiguës, c'est-à-dire avec une déviation maximale vers la gauche ou vers la droite de 9 pixels, et la direction de regard droit devant.

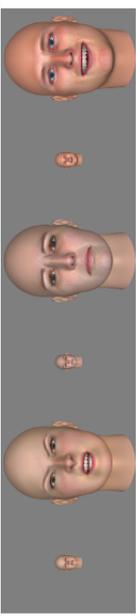
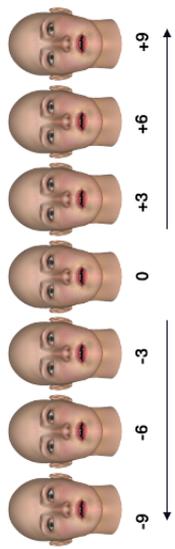
Études	Types de Stimuli	Bases de données	Pré-test	Extraits de visages	Tâches	Autres stimuli présentés
<u>Article 1</u> <i>Visages vs vidéos</i>	Visage d'acteurs / Vidéos extraites de films	Ebner (Ebner et al., 2010) / Filmstim (Schaefer et al., 2010).	<u>Vidéos</u> : n = 10 <u>Visages</u> : non		Posturale	Non
<u>Article 2</u> <i>Distance interpersonnelle</i>	Visages virtuels	Facegen	n = 50		Posturale Perceptive (distance préférée)	Écran vide (gris-sombre) Croix de fixation blanche
<u>Article 3</u> <i>Direction du regard</i>	Visages virtuels	Facegen	n = 50		Posturale Perceptive (jugement de directions de regard)	Écran vide (gris-sombre) Croix de fixation blanche
<u>Article 4</u> <i>KFP</i>	Visage d'acteurs	Ebner (Ebner et al., 2010).	n = 10	<i>Même stimuli que pour l'Article 1</i>	Posturale	Écran vide (gris-sombre) Croix de fixation blanche

FIGURE 4.2 – Caractéristiques des stimuli utilisés dans les Articles 1, 2, 3 et 5 et spécificités de la procédure.

4.2.4 Procédure générale et paramètres étudiés

Pour les quatre études, les participants signaient dans un premier temps le formulaire de consentement, puis remplissaient le questionnaire de santé, ainsi que l'inventaire de dépression (*Beck Depression Inventory*, Beck et al., 1996). Puis, les participants de l'étude de l'Article 2 étaient invités à effectuer une tâche de Stop-Distance similaire à celle effectuée par Vieira et Marsh (2014). L'objectif de cette tâche était de s'assurer que la distance ajustée pendant la tâche informatisée prédisait les préférences de distance interpersonnelle lors d'une interaction en situation réelle. Comme illustré dans la Figure 4.3, le participant et l'expérimentateur se positionnaient à deux endroits prédéfinis tout en se faisant face. Dans les blocs d'approche, l'expérimentateur se tenait à trois mètres du participant, puis commençait à marcher vers lui à une allure naturelle (environ 1m/s). Dans les blocs de retrait, l'expérimentateur se tenait initialement à 40 cm du bout des pieds du participant, puis reculait. Dans les deux conditions, le participant indiquait *Stop* lorsque la distance lui paraissait confortable, en utilisant comme point de référence la distance qu'il garderait pour avoir une conversation avec un étranger. Puis dans les deux conditions suivantes, le participant s'avavançait ou reculait en s'arrêtant lorsque la distance lui paraissait confortable. Pour chaque essai, l'expérimentateur mesurait la distance hanche à hanche à l'aide du télémètre laser. Durant l'ensemble des quatre conditions, l'expérimentateur conservait une expression faciale positive.

Puis, les participants remplissaient différents questionnaires que nous décrirons plus bas. Par la suite, ceux des quatre études étaient placés sur une plate-forme de force, à 1m de l'écran, les yeux à la hauteur du milieu de l'écran, les pieds écartés à la largeur des hanches et les bras positionnés le long du corps afin de maintenir une posture confortable. La position de chaque pied était marquée sur la plate-forme pour assurer la reproductibilité de la posture, par exemple lors de pauses entre certains blocs. Les participants de l'Article 1 poursuivaient avec une tâche de visionnage passif de visages statiques émotionnels et de vidéos émotionnelles, dont l'ordre de présentation était contrebalancé (voir Annexe A). Les participants de l'Article 5 visionnaient uniquement les visages statiques émotionnels. L'enregistrement postural des participants était couplé

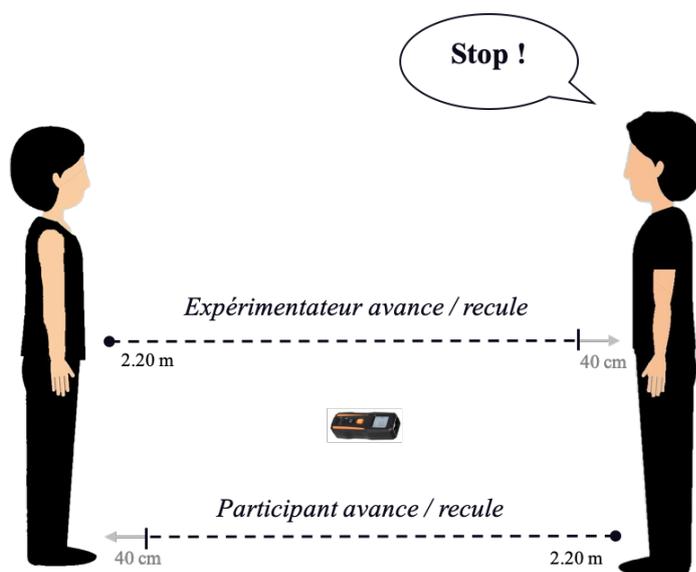


FIGURE 4.3 – Dispositif expérimentale pour la tâche de Stop Distance de l’Article 2.

à la présentation des stimuli à l’écran. Dans les Articles 2 et 3, avant la tâche de visionnage passif, les participants devaient réaliser une tâche perceptive, consistant en un ajustement de la distance à autrui pour l’Article 2, et en une tâche de jugement de direction de regard pour l’Article 3.

Paramètre de distance simulée

La tâche informatisée de distance à autrui consistait à ajuster, à l’aide d’une manette, la distance préférée en réponse aux visages émotionnels en modifiant leur taille sur un écran d’ordinateur. Par la suite, plutôt que d’utiliser une métrique de taille d’écran, de visage ou d’angle visuel, nous avons plutôt utilisé une métrique de "distance simulée". Cette métrique a été employée pour chacune des 10 tailles d’image afin de rendre les mesures les plus explicites possibles. Dans ce contexte, le visage standard de 18,5 cm représentait une distance de 100 cm, le visage de 25 cm (le plus grand) simulait une "distance personnelle" de 74 cm, tandis que le visage de 5 cm (le plus petit) simulait une "distance sociale" de 370 cm.

Paramètre du cône de regard

Concernant la tâche de jugement de direction de regard, à l’aide de la manette, les participants devaient indiquer s’ils considéraient que le visage regardait à leur gauche,

à leur droite ou droit devant. A partir des réponses des participants, il est possible de calculer un **CoDG** permettant de déterminer trois fonctions logistiques fournissant des informations sur les probabilités pour un individu de catégoriser un regard comme étant direct, dévié vers la gauche ou vers la droite (voir Figure 4.4). Sur la base de ce calcul, nous avons défini deux seuils correspondant aux points de croisement entre les fonctions *regard direct et dévié vers la droite* et au point de croisement entre les fonctions *regard direct et dévié vers la gauche*, déterminant ainsi sa largeur. Un élargissement du **CoDG** correspond à une augmentation de la probabilité de percevoir une direction de regard comme directe, tandis qu'un rétrécissement du **CoDG** est lié à une augmentation de la probabilité de percevoir une direction de regard comme étant déviée (Ewbank et al., 2009).

Auto-questionnaires

Après avoir effectué la première moitié de la tâche de visionnage passif dans l'Article 1 ou la tâche perceptive dans les Articles 2 et 3, les participants complétaient les différents questionnaires évaluant les traits et les états émotionnels individuels : la STAI-Y ; la STAXI-II et le Big Five.

- La *STAI-Y* (Spielberger, 1993) se compose de 40 items, la moitié des items évalue **l'anxiété-état**, tandis que l'autre moitié mesure **l'anxiété-trait**.
- La *STAXI-II* (Spielberger, 1999) se compose de trois parties : la première partie (15 items) évalue la **colère-état**, tandis que la deuxième partie (10 items) mesure la **colère-trait**. Pour la troisième partie, les participants remplissent 32 items en cochant la case décrivant le mieux leurs réactions habituelles lorsqu'ils se sentent en colère.
- Enfin, le *BIG Five* (BFI-FR, Plaisant et al., 2010) se compose de 44 questions évaluant les cinq traits fondamentaux de la personnalité humaine, à savoir le **névrosisme** (comportement d'évitement et instabilité émotionnelle), **l'extraversion** (tendance à l'approche et émotivité positive), **l'ouverture** (tolérance et attrait

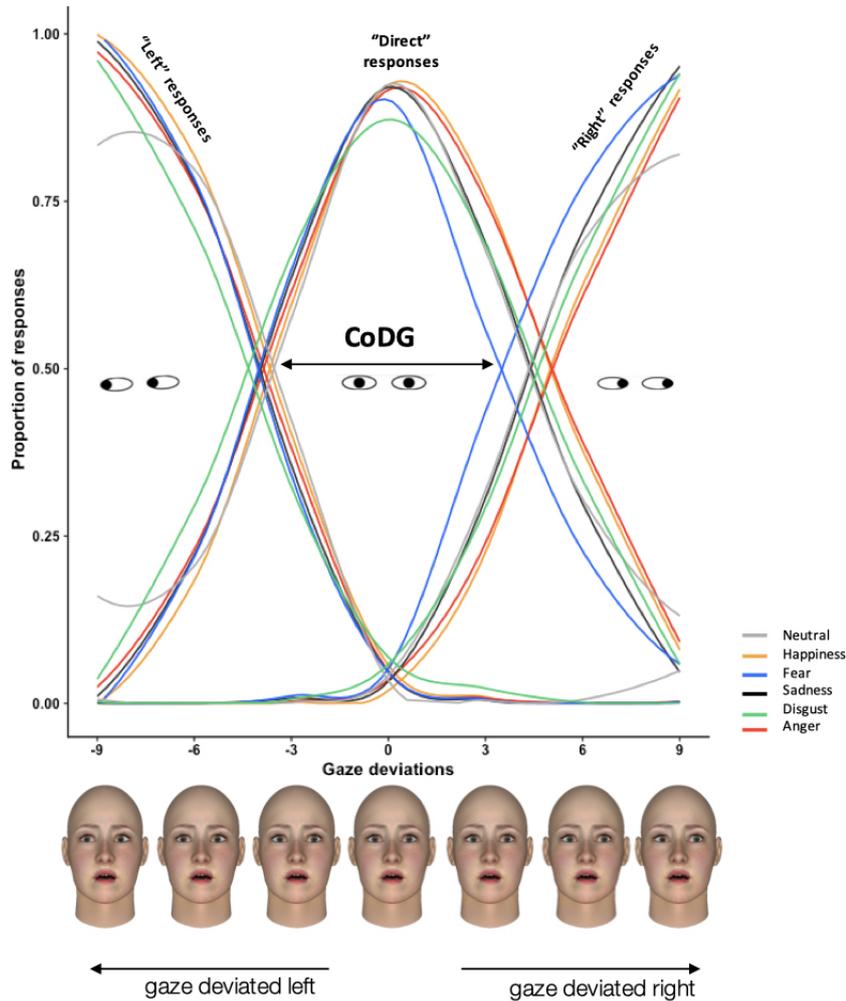


FIGURE 4.4 – Graphique représentant les réponses moyennes des participants pour les déviations de regard vers la gauche, vers la droite et droit devant, en réponses aux six émotions. La flèche noire représente la largeur du CoDG. Chaque degré de déviation du regard est illustré par un exemple de visage correspondant.

pour la nouveauté), **l'agréabilité** (altruisme et haute estime des relations avec les autres) et la **conscienciosité** (inhibition, contrôle et faible impulsivité).

Les participants de l'Article 1 remplissaient le *BIG Five 10 items* (BFI-10, Rammstedt & John, 2007) au lieu du *BFI-FR* et répondaient en plus au questionnaire de *Quotient Empathique* (Baron-Cohen & Wheelwright, 2004), évaluant **l'empathie totale** au travers de deux sous-échelles : les habilités sociales et la réactivité émotionnelle. Les différentes échelles des questionnaires sont détaillées dans l'Annexe A.

Tâches posturales et perceptives

Après avoir rempli les différents questionnaires, il était demandé aux participants des Articles 2 et 3 de visionner passivement un **écran vide** et une **croix de fixation** durant 30 secondes, parallèlement à l'enregistrement de leur posture. Ces deux blocs posturaux permettaient de mesurer les oscillations posturales des participants, en réponse à des stimuli non sociaux. Enfin, la dernière partie de l'expérience consistait en une alternance de blocs posturaux impliquant une tâche de visionnage passif de visages émotionnels et de blocs perceptifs impliquant soit i) une tâche de jugement de distance (Article 2) ou ii) une tâche de jugement de direction du regard (Article 3). L'ordre de présentation des blocs était contrebalancé entre les sujets, afin que des conditions identiques ne soient pas présentées plus de deux fois consécutivement (cf. Annexe A).

Évaluation neuropsychologique

Dans l'**Article 5**, le **profil intellectuel** de chacun des patients a été évalué à l'aide de la *WISC-V* (ou *WISC-IV*) (Wechsler, 2003). Plusieurs tests neuropsychologiques ont été administrés à l'ensemble des enfants. Le domaine Perception Sociale de la *Nepsy-II* (Korkman et al., 2012) évaluait la **reconnaissance d'affects** et la **théorie de l'esprit**. Le *Children's Depression Inventory (CDI)* ; traduction française de Mack et Moor (1982)) permettait une auto-évaluation du niveau de dépression. De plus, les parents ont rempli différents questionnaires concernant le **fonctionnement exécutif** (*BRIEF*, (Gioia et al., 2000), le **comportement et les problèmes émotionnels** (*CBCL*, Achenbach, 2001), ainsi que le niveau **d'autonomie et d'adaptation** de leur enfant dans la vie quotidienne (*Vineland-II*, Sparrow et al., 2005) (voir Annexe A).

**INFLUENCE DU TYPE DE STIMULI ET DES ÉMOTIONS
SUR LE CONTRÔLE POSTURAL : LE RÔLE DES TRAITS DE
PERSONNALITÉ**

Contenu

5.1	Article 1 : Introduction	130
5.2	Article 1 : "The impact of emotional videos and emotional static faces on postural control through a personality trait approach"	133
5.3	Article 1 : Conclusions, Analyses supplémentaires & Perspectives	144

5.1 Article 1 : Introduction

Lors des interactions sociales, la perception des émotions influence le comportement postural en déclenchant des réactions telles que des tendances à l’approche, à l’évitement, du freezing ou bien une instabilité posturale. Il est toutefois difficile de se faire une idée précise de la relation entre émotion et posture, puisque les résultats des études antérieures sont assez divergentes, et ce en raison de différences méthodologiques sur les stimuli et/ou des mesures posturales utilisées. En effet, tandis que certaines études présentent des scènes visuelles ou bien des visages statiques (Azevedo et al., 2005; Perakakis et al., 2012; Roelofs, Hagedaars et al., 2010), d’autres utilisent des visages dynamiques allant d’une expression neutre à une émotion spécifique (Gea et al., 2014) ou encore des vidéos émotionnelles (de Freitas Brandão et al., 2016; Hagedaars et al., 2014). Le plus souvent, le nombre d’émotions présentées est également limité, ne permettant pas une comparaison fine des émotions entre elles. Par ailleurs, les études présentant des scènes visuelles n’impliquent pas nécessairement d’êtres humains, et peuvent donc être dénuées de contexte social. Enfin, les différences au niveau individuel, telles que les traits de personnalité, peuvent également être à l’origine de la divergence des résultats obtenus (Gea et al., 2014; Roelofs, Hagedaars et al., 2010).

Afin d’affiner la compréhension des liens entre émotion et posture, nous avons mis en place un protocole permettant d’étudier l’effet du type de stimuli (visages émotionnels statiques vs. vidéos émotionnelles) et de l’émotion exprimée (joie, colère, peur, tristesse, dégoût et neutre) sur la stabilité posturale globale et les comportements posturaux d’approche et d’évitement. L’utilisation d’un large panel d’émotions et de deux modalités de présentation des émotions vise à affiner la compréhension des liens entre émotions et posture. De plus, si jusqu’ici les TA ont été évaluées de multiples façons (questionnaires, joystick, etc), l’utilisation de mesures posturographiques dans notre étude permet de fournir des indices objectifs et précis sur la stabilité posturale globale et des comportements d’approche et d’évitement en réponse à des stimuli émotionnels statiques et dynamiques. Ce premier Article vise donc à répondre à l’Axe 1 de notre thèse, explorant l’effet de la perception des émotions sur le contrôle postural. Le rôle des traits indivi-

duels dans l'étude du lien entre émotion et posture est également examiné à l'aide de plusieurs questionnaires spécifiques. En effet, si la littérature ne s'accorde pas sur des comportements d'approche et d'évitement prototypiques en réponse aux émotions, il est envisageable que certains traits de personnalité puissent moduler les ajustements posturaux. Nous avons choisi d'intégrer de multiples questionnaires, afin d'étudier à la fois l'influence des niveaux d'anxiété, d'agressivité, d'empathie, ainsi que les traits du Big Five sur le contrôle postural.

Résumé de l'Article 1

Dans la présente étude, nous examinons comment la perception des émotions affecte les ajustements posturaux, tant sur le plan de la stabilité posturale globale que sur celui des comportements d'approche et d'évitement. Nous contrastons deux types de stimuli (visages statiques émotionnels ou vidéos émotionnelles impliquant des êtres humains) exprimant différentes émotions (joie, peur, colère, tristesse, dégoût et expression neutre). Si jusqu'ici la littérature s'accorde difficilement sur des patterns comportementaux d'approche et d'évitement en réponse aux émotions, nous supposons que d'autres facteurs peuvent moduler la relation émotion-posture. Ainsi, nous nous attendons à ce que les traits individuels, et plus spécifiquement, les traits de personnalité et l'état émotionnel du participant, module les ajustements posturaux.

Pour cela, nous avons examiné d'une part les ajustements posturaux de 56 participants (40 femmes, 16 hommes) face à différents types de stimuli, et d'autre part leurs réponses à plusieurs questionnaires évaluant des traits stables de la personnalité ainsi que l'état émotionnel. Nous montrons que la stabilité posturale est affectée par les propriétés des stimuli (vidéos émotionnelles vs visages statiques émotionnels) ainsi que par l'émotion véhiculée par ces stimuli. La présentation de vidéos a conduit à une moins bonne stabilité que les visages, et d'autant plus lorsqu'elles exprimaient de la peur, de la joie ou de la neutralité. De même, nous soulignons le rôle de plusieurs traits individuels ainsi que de l'état émotionnel du participant comme modulateurs potentiels de la stabilité posturale. Par exemple, plus les participants présentaient un haut score d'empathie, moins ils étaient stables en réponse aux vidéos de peur et de tristesse.

Aucun effet du type de stimulus ou des émotions sur les TA d'approche et d'évitement n'a pu être observé. Cela pourrait s'expliquer par les variations des oscillations posturales autour de l'axe antéro-postérieur, qui se sont avérées plus importantes en réponse aux vidéos qu'aux visages. En outre, des traits individuels tels que le niveau d'extraversion, de névrosisme et d'empathie semblent également moduler les tendances à l'approche et à l'évitement des participants. Typiquement, un individu extraverti aura tendance à éviter les vidéos de peur et les visages de colère. Nos résultats soulignent l'importance de considérer des facteurs liés à la fois aux caractéristiques du stimulus mais également les aspects plus individuels, dans la compréhension des liens entre Perception-Action.

5.2 Article 1 : "The impact of emotional videos and emotional static faces on postural control through a personality trait approach"

- **Lebert, A.**, Chaby, L., Garnot, C., & Vergilino-Perez, D. (2020). The impact of emotional videos and emotional static faces on postural control through a personality trait approach. *Experimental Brain Research*, 238(12), 2877-2886.



The impact of emotional videos and emotional static faces on postural control through a personality trait approach

Angélique Lebert¹ · Laurence Chaby^{2,3} · Chloé Garnot¹ · Dorine Vergilino-Perez¹

Received: 24 June 2020 / Accepted: 1 October 2020
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2020

Abstract

During social interactions, perception of emotions affects motor behaviour by triggering responses like freezing or approach and avoidance reactions. It is however difficult to get a clear picture of the relationship between emotion and posture as previous studies showed inconsistent results, due to methodological differences on stimuli and/or the postural measures used. In this study, we thoroughly investigate how the perception of emotions affects postural control and action tendencies, by contrasting two types of stimuli (emotional static faces or emotional videos) expressing different types of basic emotions (happy, fear, angry, sad, disgust and neutral). We also take into account some other contributing factors relying on stable individual traits (e.g., extraversion, neuroticism, conscientiousness, empathy, etc) and emotional state (e.g., anxiety). Our results show that dynamic stimuli have a greater impact than static stimuli on postural control. Moreover, a crucial aspect of our work lay in the modulation of the relationship between emotions and posture, by stable individual traits.

Keywords Posture · Postural control · Emotion · Personality traits · Approach avoidance

Introduction

Emotions are inherently multi-componential and involve a set of cognitive, subjective, physiological and motor changes that depend on the value assigned to the contextual stimulus ('good for me versus bad for me') (Mauss et al. 2005). Thus, according to Ochsner and Gross (2014) emotion may be understood as a Perception-Valuation-Action sequence, in which the perceptual stage takes stimuli as inputs. Then, the valuation stage estimates the value of the stimuli according to the individual's current goals, context, experience or personality. Finally, the action stage comprises motor responses such as peripheral responses, facial expressions or postural adjustments. In this study, we focus on the impact of emotions on motor behaviour by looking at two different

aspects of postural adjustments: postural stability and action tendencies. Action tendencies are defined as the ways the body prepares itself to act through approach or avoidance behaviour (Lang et al. 1997; Frijda 2009). In this context, passive viewing task with postural recording is considered as an adequate method to examine the impact of emotion on postural control (Lelard et al. 2019). As action tendencies are most often unintentional and rapid, the measurement of the body sway of participants standing quietly and looking at emotional images has the advantage of being direct and objective. In order to measure postural stability and approach-avoidance action tendencies, previous studies have predominantly focused on the position of the Center of Pressure (CoP) that indicates in a single point the distribution of foot pressure on the ground (Hillman et al. 2004; Azevedo et al. 2005; Perakakis et al. 2012; Brandão et al. 2016). CoP displacements allow for the calculation of several postural parameters providing information on postural stability. Thus, the area covered by the displacements, the total sway path length and the standard deviations of CoP on the medio-lateral (SD-X) and the antero-posterior (SD-Y) axes provide information about the quality of postural stability. In addition, the mean speed of the displacements reflects the amount of energy that participants need in order to stabilize their posture.

Communicated by Francesco Lacquaniti.

✉ Angélique Lebert
angelique.lebert@parisdescartes.fr

¹ Université de Paris, VAC, 92100 Boulogne-Billancourt, France

² Sorbonne Université, Institut des systèmes intelligents et de robotique (ISIR), Paris, France

³ Université de Paris, 92100 Boulogne-Billancourt, France

Several studies have investigated the impact of emotional stimuli on postural adjustments using these parameters. Most of these studies reported some reduced body sway indexed by smaller area, length and/or SD-X/SD-Y in participants who were exposed to unpleasant pictures as opposed to neutral and/or pleasant pictures (Azevedo et al. 2005; Facchinetti et al. 2006; D'Attilio et al. 2013). This effect was also reported by Stins and Beek (2007) but only with participants in unipedal position. In the same way, Hagenaaers et al. (2014) found a decrease in length when participants were shown unpleasant films, but not pleasant or neutral films. Finally, using faces, Roelofs et al. (2010) reported some significant decrease in the SD-Y in response to the angry expressions as opposed to happy and neutral expressions. Such reduced body sway was mostly interpreted as 'freezing behaviour' which can be described as a 'physiological and somatic preparation for physical movement' triggered by a stimulus that may be evaluated positively or negatively by the individual (Elliot 2006, p. 112). Freezing behaviour enables to first detect relevant information, then to mobilize the whole body, and ultimately to trigger 'fight or flight' behaviour (Lang and Bradley 2010). It should be noted, however, that some other studies have found contradictory results. Brandão et al. (2016) reported an increase in speed and length for both participants exposed to both pleasant and unpleasant films or pictures relative to neutral conditions. In addition, D'Attilio et al. (2013) noted an increase in area and speed when participants were shown pleasant pictures.

Beyond freezing, emotions can also trigger approach or avoidance behaviours, mainly examined through CoP mean position on the antero-posterior axis (CoP-Y). Previous studies demonstrated that mutilation pictures led to a posterior (avoidance) shift of the CoP position comparatively with neutral and/or pleasant stimuli (Hillman et al. 2004; Lelard et al. 2014). Perakakis et al. (2012) observed an avoidance of pleasant, unpleasant and neutral pictures. On the other hand, Eerland et al. (2012) identified an approach behaviour in response to pleasant pictures and an avoidance behaviour in response to unpleasant pictures, in comparison with the neutral condition. Gea et al. (2014) observed an increase in the amplitude of participants' forward body movements while exposed to dynamic happy faces in contrast with neutral condition. In doing so, they aligned in part with Eerland's results. Finally, Azevedo et al. (2005) and Stins and Beek (2007) observed little or no emotion effect on the CoP-Y.

The various studies presented above reveal inconsistent results that may be accounted for by differences in stimuli type. Most of the studies used static stimuli presenting scenes extracted from the IAPS database (Hillman et al. 2004; Azevedo et al. 2005; Facchinetti et al. 2006; Stins and Beek 2007; Eerland et al. 2012; Perakakis et al. 2012; D'Attilio et al. 2013; Hagenaaers et al. 2014; Lelard et al. 2014), or photographs of actors' faces conveying an

emotion at its peak (Roelofs et al. 2010). In experimental settings, emotions can also be represented in a multimodal and dynamic way. To that end, some authors used videos in order to question whether the results observable with static stimuli were replicable when viewing videos with emotional content. Such dynamic emotional content were presented either in morphing videos showing an actor conveying a neutral expression, gradually reaching the emotion of interest (Gea et al. 2014) or in short film scenes (Hagenaaers et al. 2014; Brandão et al. 2016). As stated by Gross and Levenson (1995, p. 88), 'films have a relatively high degree of ecological validity, in so far as emotions are often evoked by dynamic visual and auditory stimuli that are external to the individual'. Moreover, the technical elements that constitute films emphasize actions and emotional stimuli/content. Finally, most studies (i) either categorize emotions loosely into two types of stimuli, pleasant or unpleasant, thus preventing a finer categorization of emotions, or (ii) simply compare a limited number of expressions (for example, angry, happy and neutral).

Another contributing factor that may explain these inconsistent results is that some participants' characteristics are often overlooked. In particular, it has already been suggested that the participant's emotional state, such as anxiety and fear of falling, may have an impact on postural control (Lelard et al. 2014, 2019). Similarly, Roelofs et al. (2010) show the impact of the participant's state of anxiety on body sway. In their analysis of angry faces, they show that the more anxious the participant the shorter their body sway. Furthermore, aversive life events could enhance freezing response (Hagenaaers et al. 2012). Beyond the characteristics of the participant, stable individual traits may also influence the link between emotions and posture. To our knowledge, very few studies have examined this issue. One study, in particular, reports that high scores of 'Empathic Concern' correlate with increased amplitudes of forward body movements for happy faces and with increased body sway movements for pain faces (Gea et al. 2014). However, the two-factor personality model highlights the influence of other individual traits such as general approach and avoidance temperaments (Elliot 2006). Approach tendencies are found to be positively correlated with 'Extraversion' and 'Conscientiousness' (two terms designating the emotional reactivity to positive events as well as the pursuits of goals), which may be assessed with the Big Five self-report questionnaire (John et al. 1991). Conversely, avoidance tendencies are shown to be correlated with Neuroticism (Smits and Boeck 2006).

This study aims primarily to gain further knowledge of the impact of emotions on postural control. More specifically, this study investigates the effect of the stimulus type (static faces vs film videos) on postural stability (indexed by the length of the CoP displacements) and on approach or

avoid tendencies (indexed by the mean position of the CoP-Y). The relationship between emotions and posture is examined for the first time through six basic emotions (happiness, fear, anger, disgust, sadness and neutrality) incorporating several individual traits (e.g., extraversion, neuroticism, conscientiousness, empathy, etc). We explore how certain properties of the stimulus (videos vs faces) affect body sway in relation to the stimuli’s emotional content. Finally, some crucial aspect of our work lies in the possibility of modulating the interplay between emotions and posture through the prism of individuals’ traits.

Materials and methods

Participants

Eighty-six undergraduate participants in total participated in this study. Sixteen participants presenting a depression score over 17 at the Beck Depression Inventory (Beck et al. 1996) were not included from the study. This cut-off is used in studies involving emotions since the presence of significant depressive symptoms affects the recognition of emotions (Chaby et al. 2015; Dalili et al. 2015). Moreover, eight participants showed stabilometric parameters measures superior to three standard deviations from the group average and were excluded from the analyses below. Furthermore, we also inspected the individual time courses of the CoP-Y to remove data from six participants showing loss of postural stability due to erratic movements (self-touching, moving their lower limbs, etc). The data from fifty-six participants (40 females; 16 males) were then analyzed (mean age= 21.4 ±2.8).

The study protocol was approved by the ethics committee from the Paris Descartes University (Reference No. IRB: 20130500001072). All participants were informed about the procedure prior to the experiment and provided their written informed consent. Participants received course credits for their participation.

Self-report measures

Participants completed several questionnaires assessing different individual traits: the *Beck Depression Inventory-II scale* (Beck et al. 1996), measuring the intensity of depressive feelings, the *STAI-Y* (Spielberger 1993) evaluating anxiety trait and state, the *STAXI- II* (Spielberger 1999) measuring aggressivity score, the ‘*Empathy Quotient*’ (Baron-Cohen and Wheelwright 2004) measuring social abilities and emotional reactivity, and the *BIG Five Inventory 10 items* (Rammstedt and John 2007) assessing ‘Extraversion’, ‘Agreeableness’, ‘Conscientiousness’, ‘Neuroticism’, and ‘Openness’ scores.

Stimuli

Two types of stimuli were used in the study: emotional static faces and emotional videos.

Concerning the emotional static faces, ten different individuals expressing each six emotions (i.e., happy, fear, anger, sadness, disgust and neutral expression) were selected from the Ebner database (Ebner et al. 2010). The faces selected were young adults from category B of the database. Half of the individuals were young women and the other half were young men. Stimuli were presented in the center of the screen on a grey background and subtended a visual angle of 6.4° × 10°.

The emotional videos were selected from the Film-Stim database (Schaefer et al. 2010) that provided high resolution stimuli. A pre-test was conducted on 17 videos selected from the database. We chose two videos for anger and sadness, three for happiness, fear and disgust and four for neutrality. We only used 30 seconds of the video’s original duration (see Table 1). All videos were evaluated by ten individuals who were requested to identify the emotion presented to them and to indicate the intensity for them on a 5-point rating scale (ranging from low intensity 1 to high intensity 5). We then selected six videos, one for each emotion, with a mean percentage of correct emotion identification of 98% (±4) and a mean intensity score of 4.14 (±0.33).

Table 1 Details of the videos viewed by the participants

Emotions	Videos	Extract
Happy	Life is beautiful	A joyful little boy finds his mother at the exit of a concentration camp liberated by the US Army
Angry	Seven	Upon learning of his wife’s death, a man goes furious at his murderer
Disgust	Trainspotting	A man is rummaging in the dirty water of an unsanitary toilet and then dives into the toilet bowl
Fear	Scream	A panicked young woman tries to escape from a hallway with few exits
Sad	Dangerous minds	A class of teenagers learns of the death of one of their classmates
Neutral	The Lover	A young girl leaving high school gets into a car driven by a chau.eur

Data collection

A force platform (AMTI : AccuSway+®) was used to analyse the medio-lateral (ML) and antero-posterior (AP) displacements of the CoP. Data were collected at a frequency of 100 Hz. Faces and videos were projected on a Dell screen with a resolution of 1920 × 1200 pixels, placed at a distance of 1 meter from every participant and positioned at eye height.

Procedure

The experimental task consisted of a passive viewing task: participants were instructed to remain standing when looking at the stimuli while their posture was recorded. The experiment was performed in a quiet room with a constant luminosity. The participants were submitted to 12 blocks (2 types of stimulus × 6 emotions). For the six blocks presenting emotional static faces, one block consisted of the presentation of the ten individuals expressing the same emotion. Each face appeared for 3 s and the order of appearance of the faces was randomized. The six other blocks then presented the six selected 30-s emotional videos, one block per emotion. The participants first viewed either the six blocks of faces or the six blocks of videos but the order of the emotion for each type of stimulus was pseudorandomized across subjects.

After the written consent form was signed, participants were placed on a force platform with their feet hip-width apart and their arms positioned along the body to maintain a comfortable posture. The position of each foot was marked on the platform to ensure the reproducibility of the posture. Then, participants were submitted to twelve experimental trials. One trial included the presentation of a white fixation cross on the screen center for 2 s followed by one of the twelve emotional blocks and by a 20 s empty gray screen. During this inter-trial interval, participants were instructed to categorize the emotion perceived using the predefined list of the six possible expressions, and to rate the intensity of that emotion on a 5-point scale (except for the neutral expression). A break of 15 min was included at the end of the sixth block during which the self-report measures were completed. The postural data were not recorded during the inter-trial intervals.

Statistical analysis

To quantify postural performance, we analyzed the total sway path length of the CoP displacements (in mm), the mean position of the CoP on the antero-posterior axis (CoP-Y, in mm) and the standard deviation of the mean CoP-Y (SD-Y in mm). The length and the SD-Y can be used as a measure of postural immobility. The mean CoP-Y provided

information about the displacement toward, or away from, the stimuli, and may therefore be considered as an index of the action tendencies.

Postural parameters data were initially checked for normal distribution using the Shapiro-Wilk test. Our datasets were distributed normally with the exception of the SD-Y variable, which significantly deviated from a normal distribution. The CoP-Y and the length were analyzed using 2 (emotional static faces and emotional videos) × 6 (joy, fear, anger, sadness, disgust and neutral expression) separate repeated measures analyses of variance (ANOVAs). Huynh–Feldt corrections were employed to adjust to the violation of the sphericity assumption in testing repeated measures effects. To provide clarity, the uncorrected degrees of freedom were reported, with the *p* value associated with the Huynh–Feldt adjustment. Planned comparisons were used for paired comparisons. The effects of facial expression and stimulus type on the SD-Y were assessed using the Friedman test. Friedman post hoc were used for paired comparisons. To further explore the relationship between individual traits and postural parameters, Spearman correlations were computed. All the analyses were performed using R studio and JASP. A significance level of $p = 0.05$ was used for all statistical analyses.

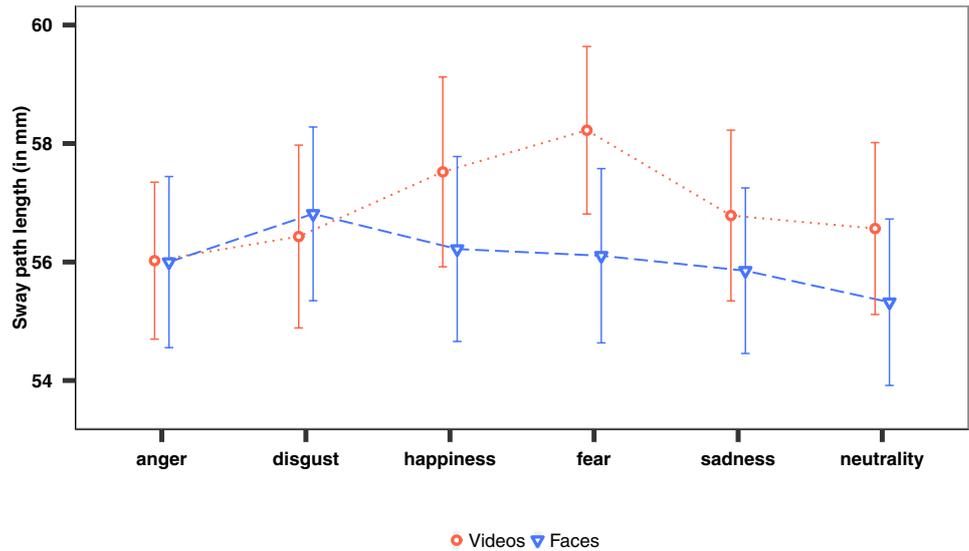
Results

As the participants were likely to move on the medio-lateral and antero-posterior axes during the presentation of the initial fixation cross, the data were baseline-corrected. All trials started from the same (0.0) coordinate at the beginning of the emotional stimuli presentation. It is worth noting that the order of presentation of the blocks did not have any effect on postural parameters nor did they interact significantly with the stimulus type and the emotions for any of the analyzed postural parameters.

Postural stability

The ANOVA performed on the total sway path length did not show any effect of emotions ($F(5, 275) = 1.95$, $p > .05$), but a marginal effect of stimulus type ($F(1, 55) = 3.79$, $p = 0.057$) indicating that the instability reflected by the increase in the sway path length seemed to be higher for videos (569.25 mm ± 10.45) than for faces (560.52 mm ± 10.38). Interestingly, the emotions * stimulus type interaction was significant ($F(5, 275) = 2.36$, $p < 0.05$), see Fig. 1. Planned comparisons showed that the increase in the sway path length for videos compared to faces was only significant for the fear emotion ($p < 0.005$). The differences in length between videos and faces for happy and neutrality failed to reach significance

Fig. 1 Mean and standard error for sway path length in videos and faces conditions for six emotions (anger, disgust, happiness, fear, sadness and neutrality)



($p = 0.065; p = 0.078$). Within the videos, several emotions differed significantly from each other. Both the happy and the fear videos differed from videos of anger, disgust, sadness and neutrality ($p < 0.05; p < 0.001$), with a higher length for happy and fear videos than for the other emotions. The happy and the fear videos did not differ from each other ($p > 0.05$).

We further examined whether individual traits might modulate the postural stability of participants. To do this, we examined correlations between the total sway path length recorded in front of faces or videos with scores obtained from the different self-report measures. Significant correlations between the BDI, the BFI conscientiousness scores and the anxiety state were reported in Fig. 2 and in Fig. 3 showing correlation matrices obtained for the sway path length. These correlations underline the congruence of the postural behavior through emotions for faces and for videos. Hence, the more unstable participants were while being exposed to an emotion, the more unstable they were when faced with other emotions (all $p < 0.001$). More interestingly, postural stability was deemed to be related to depressive symptoms, conscientiousness and anxiety state scores. Indeed, the fewer depressive symptoms participants had (BDI-II), the more stable they were in response to anger, fear, happy, sadness, neutral videos and faces, and in response to disgust videos and marginally for disgusted faces.

Furthermore, the more impulsive participants were (low BFI conscientiousness score), the more unstable they were when exposed to angry, happy, sadness, neutral videos and faces, or to disgusted faces and fear video. Finally, the higher the anxiety state score, the more unstable participants were in response to fear and sad videos, and marginally in response to angry and sad faces.

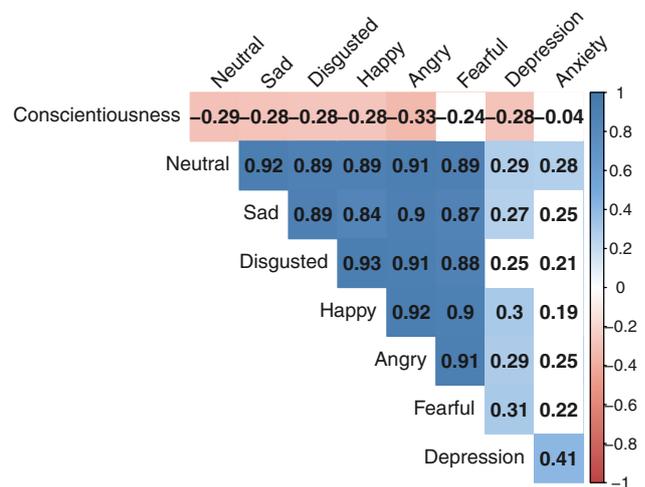


Fig. 2 Spearman's correlations between sway path length in response to each emotional static faces condition (neutral, sad, disgusted, happy, angry and fearful) and some individual traits/emotional state (mild depressive symptoms, conscientiousness and anxiety state). The correlation coefficient is indicated in bold in the boxes, the colour gradient of the box corresponds to the strength of the correlation. A white box corresponds to a non-significant correlation

Postural variations around the AP axis

As both stimuli characteristics and individual traits affected the overall postural stability, it remained to be seen whether these metrics would also affect the approach-avoidance tendencies indexed by the mean position of the CoP-Y. The ANOVA performed on the mean CoP-Y position did not show any significant effect due to emotion or stimulus type (all $F_s < 1$) or any interaction between these two factors ($F(5, 275) = 1.78, ns$). However, as shown in Fig. 4, this lack of effect may be explained by the variability between- and

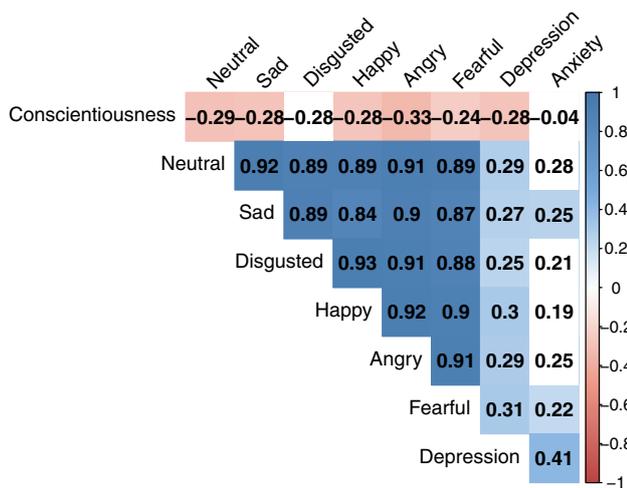


Fig. 3 Spearman’s correlations between sway path length in response to each emotional videos condition (neutral, sad, disgusted, happy, angry and fearful) and some individual traits/emotional state (mild depressive symptoms, conscientiousness and anxiety state). The correlation coefficient is indicated in bold in the boxes, the colour gradient of the box corresponds to the strength of the correlation. A white box corresponds to a non-significant correlation

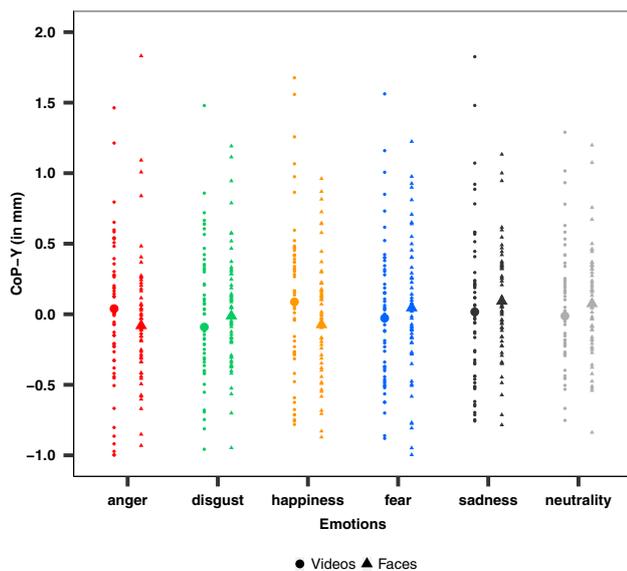


Fig. 4 Mean and individual CoP-Y in videos and faces conditions for six emotions (anger, disgust, happiness, fear, sadness, neutrality)

within participants with approach (positive CoP-Y) and avoidance (negative CoP-Y) behaviours differing widely between emotions and stimulus type. Interestingly, some correlations between CoP-Y and individuals traits emerged. So, the higher the extraversion score (BFI Extraversion), the more participants moved away from fear video ($r = -0.28, p < 0.05$) and angry faces ($r = -0.36, p < 0.01$). In addition, the more emotionally unstable participants were

as indexed by high BFI neurotic score, the more they moved away from anger video ($r = -0.26, p = 0.05$) and fearful faces ($r = -0.29, p < 0.05$). Finally, the better the understanding of others’ emotions (EQ Cognitive Empathy) and the higher the emotional responsiveness score (EQ Emotional Responsiveness), the more participants moved away from anger video ($r = -0.29, p < 0.05$) and disgusted faces ($r = -0.28, p < 0.05$), respectively.

The lack of overall effects on approach and avoidance behaviours may also be explained by the postural variations around the AP axis objectified by the SD-Y. The Friedman test did not reveal any effect due to emotions ($p > 0.05$) but yielded some significant effect of stimulus type on SD-Y [$\chi^2(1) = 7.14, p < 0.01$]. SD-Y was significantly higher for videos ($3.84 \text{ mm} \pm 1.46$) compared to faces ($3.72 \text{ mm} \pm 1.73$). Furthermore, consistent with the results on the mean CoP-Y, the better the understanding of other people’s emotions (EQ Cognitive Empathy), the greater the instability was around the AP axis in response to fear video ($r = 0.30, p < 0.05$) and in response to angry ($r = 0.44, p < 0.001$) or to disgusted ($r = 0.27, p < 0.05$) faces.

Discussion

This study aimed to explore the impact of two types of stimulation (emotional videos and static emotional faces) and of basic emotions (happiness, anger, sadness, fear, disgust and neutrality) on postural stability and action tendencies. The originality of this study resides in the use of stimuli having different properties and conveying a large panel of emotions. Research on the subject has been mostly restricted to a limited number of emotions, which do not allow for a fine categorization of the impact of emotion on posture. Finally, a crucial aspect of our work lies in the study of potential modulations between emotions and posture, by considering stable individual personality’ traits and emotional states. To study this, participants’ postural oscillations were measured using a force platform while viewing emotional static faces and emotional videos. Questionnaires were used to assess the participants’ personality traits and emotional state. Our results provide evidence of some effect of the stimulation type on global postural stability, with a higher length in response to videos, but less so to faces. This postural stability parameter correlated with some individual traits and emotional state. Conversely, contrary to our original hypotheses we did not observe any significant effects of the stimulus type or emotions on the mean CoP-Y position. This might be explained in part by the inter- and intra-individual dispersion, which we explored on the one hand through the study of the SD-Y showing a more significant postural instability in front of videos than faces and on the

other hand through the correlations with personality traits and emotional states.

Our results provide evidence that properties of the stimulus (videos *vs* faces) affect global postural stability. In fact, a higher length was observed in response to videos. Possible explanations for these discrepancies may be related to the presence of perceptual cues that can influence postural control, such as the presence of background noise, protagonists' voices, or camera movements. Raper and Soames (1991) reported an impact of the sound source on postural sway owing to the fact that the auditory field is a background conversation instead of being a pure tone. Stoffregen et al. (2007) observed a decrease in the variability of postural sway when viewing a moving target compared to a stationary target. In addition, it was shown that the pattern of eye movement was different when exploring dynamic scenes rather than static stimuli with longer fixation durations and larger saccade amplitudes (Smith and Mital 2013). This can therefore have an influence on posture (Rodrigues et al. 2013). However, these explanations are not totally satisfying in the context of our study since the difference in postural stability observed with videos, and in comparison with faces, was limited to fear and was marginal for the happiness emotion and the neutral expression.

The postural stability discrepancies between videos and faces could also be explained by the fact that complex and dynamic stimuli may lead to more unstable postures (Laurens et al. 2010). Indeed, the processing of a complex stimulus involves increased attentional demand, which may induce a decrease in the cognitive capacities available for postural stability, and thus lead to more postural oscillations (Huxhold et al. 2006). In addition, films may lead to greater motor and emotional engagement of the viewer. This phenomenon may be akin to the emotional contagion, which can be defined as an affective state that matches other people's emotional display (Hess and Blairy 2001). Several studies have reported an increase in brain activations dedicated to mirror neurons or greater emotional contagion in response to dynamic emotional faces compared to a neutral condition, or to static faces (Hess and Blairy 2001; Trautmann et al. 2009). The observer's involvement may also vary on the direction of the emotion. These elements support Frijda's 'environmental expectation' hypothesis (Frijda 1953). Emotional facial expressions and the direction of those emotions towards an observer or their environment, are crucial clues since they simultaneously allow for the evaluation of others' intentions and the detection of external clues that may be favorable to the observer or may constitute a threat. The increased postural instability in response to the fear video relative to the fearful faces seems to be consistent with these hypotheses. Thus, a fearful face with a direct gaze indicates that the threat potentially comes from the observer, which does not constitute a threat to himself. Conversely, the fear

video introduced a young woman running away, repeatedly looking behind her. The threat would come directly from the environment and could potentially be a threat to the viewer. In this context, participants experienced first-person action. This may explain why our results do not match those of D'Attilio observing a freezing behaviour in response to images of attacks where the participant remains a spectator of the scene (D'Attilio et al. 2013). In accordance with our results on happiness, several authors have also observed some emotional contagion in response to videos clips and especially in response to happiness (Hess and Blairy 2001; Harada et al. 2016). A decrease of the length were observed on the other emotions, which is consistent with several studies reported a decrease in some postural parameters (such as area, length, speed or SD-Y) in front of pictures or videos of attacks, mutilation and sadness (Azevedo et al. 2005; Facchinetti et al. 2006; Stins and Beek 2007; D'Attilio et al. 2013; Hagenaaers et al. 2014).

In addition, some links between individual traits and global posture could be established. More specifically, several correlations were found between sway path length and presence of mild depressive symptoms, conscientiousness and anxiety state. A low score on the depression scale predicted better postural stability in almost all conditions. Although we did not include participants with depression, this observation is consistent with Radke's idea of an association between depressive symptoms and behavioural adjustment difficulties in response to emotional expressions (Radke et al. 2014). The set of stimuli in our study involves a social dimension (faces, conversations, interaction between different protagonists), inducing an attentional cost all the more important in participants whose social sphere is impacted. Aligned with this phenomenon, our results also emphasized that individuals with low conscientiousness score (i.e., more impulsive individuals) were more unstable (except for fearful faces and disgust video). Fearful faces and disgust video may have induced some freezing effect in these participants, as several studies focusing on responses to unpleasant stimuli have demonstrated in recent years (Azevedo et al. 2005; Stins and Beek 2007; Hagenaaers et al. 2014). Finally, individuals with high anxiety-state level were more unstable when exposed to sad or fear videos and to neutral, angry or sad faces. A similar study also established a link between the anxiety state of the participants and the increase in postural instability parameters such as surface area and length (Ohno et al. 2004). Other studies have shown that anxious participants would pay more attention to facial expressions than non-anxious participants (Li Wanyue 2019) and would avoid eye contact (Green and Guo 2018). Correlations between the anxious state and the emotion of sadness can be explained by the ambivalent nature of sadness. Indeed, sadness can be perceived as an emotion that must be avoided by some individuals. In other contexts, sadness may

be perceived as a form of psychological distress, generating empathy and a tendency to approach, as well as expressions of physical pain (Gea et al. 2014). In anxious individuals, the emotion of sadness can therefore lead to a cognitive and postural conflict leading them to either approach the face to help the person or, on the contrary, to avoid it, thus affecting their postural stability. The increase in postural instability in response to the fear video and angry faces, which may be the most 'threatening' conditions for anxious participants, further supports the 'environmental expectation' hypothesis. Finally, participants with high anxiety-state scores appeared to be unstable in response to neutral faces. Tronick's research on still faces showed that a neutral expression may conceal some negative meaning (Tronick et al. 1998). Hence, these different elements question the potential effect of the neutral condition as a control condition.

Considering the impact of stimulus type and emotions on postural variations around the antero-posterior axis, this study did not identify any effect of these factors on the mean CoP-Y position. These results are in line with previous studies showing little or no effect of emotions on CoP-Y (Azevedo et al. 2005; Stins and Beek 2007; Horslen and Carpenter 2011). Stins and Beek (2007) reported a modest forward shift of the CoP-Y in front of neutral and unpleasant images and no effect for pleasant pictures. Azevedo et al. (2005) and Horslen and Carpenter (2011) did not observe an emotions effect on the CoP-Y in front of pleasant and unpleasant stimuli. However, posturographic responses to emotional pictures/videos are rather inconsistent across studies. These inconsistent results may be attributed to the diversity of methodological resources such as stimulus types (static faces, dynamic faces, IAPS pictures, videos), stimuli exposure durations, postural tasks (passive viewing, lateral movement, maintaining a forward posture). While some authors addressed the avoidance of images of mutilation in participants (Hillman et al. 2004; Lelard et al. 2014), others observed the avoidance of pleasant, unpleasant (i.e. mutilation) and neutral pictures (Perakakis et al. 2012). Eerland et al. (2012) reported some approach behaviours during passive viewings of pleasant images and noted avoidance of unpleasant images (i.e. sad and scared people) as participants made some lateral moves. Finally, Gea et al. (2014) identified some approach behaviours in response to happy dynamic faces. The absence of approach or avoidance behaviours through the examination of the CoP-Y in our study may be partially explained by the presence of inter- and intra-individual dispersion. The effect of the type of stimulation on SD-Y partly supports this hypothesis. Indeed, a variability around the mean position of the CoP-Y was observed (SD-Y), which was significantly greater with videos than with faces. This effect appeared consistent with the increase in the attentional cost when the stimulus is more complex, in this case videos compared to faces. The effect of

stimulus type or emotions on the mean CoP-Y position may have been masked by substantial inter-individual postural variability on the Y-axis. On the other hand, the existence of correlations between directional postural parameters (i.e. CoP-Y and SD-Y) and some individual traits point out to variabilities in individuals. Extraversion and neuroticism scores were negatively correlated with mean CoP-Y position in response to several conditions. Extraversion refers to being sociable, optimistic, active and is related to potential rewards. Conversely, individuals with a high neurotic score seem to be anxious, hypersensitive to negative/stressful events and would rather activate avoidance, withdrawal or flight behaviours. The higher the extraversion score of the participants, the more they moved away from the fear video and angry faces. Also, a high score for neuroticism predicted avoidance of the anger video and fearful faces. In addition, the more emotionally responsive (i.e., emotionally sensitive) participants were, the more they moved away from disgusted faces. The emotion of disgust is associated with a potential threat to the viewer and may therefore lead to an avoidance response (Sawchuk et al. 2002). Finally, the higher the cognitive empathy score (indicating a good understanding of emotions), the more participants moved away from anger videos and oscillated around the Y-axis in response to fear video, angry and disgusted faces.

Conclusion

This study aims to deepen the knowledge of the effects of stimulus type and emotions on postural stability and action tendencies taking into account individuals' traits and emotional states. This study also demonstrates that postural stability is impacted by the properties of stimuli (emotional videos vs emotional static faces) and the emotion conveyed by those stimuli. Similarly, it emphasizes the role of individual traits as potential modulators of postural stability, such as mild depressive symptoms and conscientiousness as well as the individual's own emotional states, such as their state of anxiety. No effect of stimulus type or emotions on approach and avoidance action tendencies could be observed. As suggested by Stins and Beek (2007) study, one hypothesis that may explain the absence of emotions effect on action tendencies in our study could be that passive viewing of images / videos is only weakly coupled to posture. Alternatively, this may also be due to variations in postural oscillations around the antero-posterior axis, which proved to be more significant in response to videos than to faces. In addition, individual traits such as extraversion, neuroticism and empathy appeared to modulate the participants' approach and avoidance tendencies. According to the Perception-Valuation-Action model (Ochsner and Gross 2014), the valuation stage depends on several factors,

including the individual's personality traits and emotional state, which play a key role in action tendencies.

These findings point out the importance of considering various factors when examining postural control such as certain stimulus properties (videos vs faces), fine categorization of emotions, individual traits and emotional states. Several questions remain unanswered at this point. Further work therefore needs to be done to investigate the impact of other factors on postural control. The environment, in particular, is deemed to play an essential role in the interpretation of emotions and contextual clues such as the interpersonal distance that may affect postural control. Adding an additional clue such as the congruence between the emotion carried by others and their approach or avoidance movement could trigger stronger action tendencies in the observer.

Acknowledgements The authors thank all the subjects for their cooperation and Philippe Bardy for proofreading.

Funding This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Compliance with ethical standards

Conflict of interest The authors declare that they have no conflict of interest.

References

- Azevedo TM, Volchan E, Imbiriba LA, Rodrigues EC, Oliveira JM, Oliveira LF, Lutterbach LG, Vargas CD (2005) A freezing-like posture to pictures of mutilation. *Psychophysiology* 42(3):255–260. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2005.00287.x>
- Baron-Cohen S, Wheelwright S (2004) The empathy quotient: an investigation of adults with asperger syndrome or high functioning autism, and normal sex differences. *J Autism Dev Disord* 34(2):163–175. <https://doi.org/10.1023/B:JADD.0000022607.19833.00>
- Beck AT, Steer RA, Ball R, Ranieri WF (1996) Comparison of beck depression inventories-IA and-II in psychiatric outpatients. *J Personal Assess* 67(3):588–597. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa6703_13
- Brandão AdF, Palluel E, Olivier I, Nougier V (2016) Effects of emotional videos on postural control in children. *Gait Posture* 45:175–180. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.01.017>
- Chaby L, Boullay VLd, Chetouani M, Plaza M (2015) Compensating for age limits through emotional crossmodal integration. *Front Psychol*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00691>
- Dalili MN, Penton-Voak IS, Harmer CJ, Munafò MR (2015) Meta-analysis of emotion recognition deficits in major depressive disorder. *Psychol Med* 45(6):1135–1144. <https://doi.org/10.1017/S0033291714002591>
- D'Attilio M, Rodolfo D, Abate M, Festa F, Merla A (2013) Effects of affective picture viewing on postural control in healthy male subjects. *CRANIO®* 31(3):202–210. <https://doi.org/10.1179/crn.2013.031>
- Ebner NC, Riediger M, Lindenberger U (2010) Faces-a database of facial expressions in young, middle-aged, and older women and men: development and validation. *Behav Res Methods* 42(1):351–362. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.1.351>
- Eerland A, Guadalupe TM, Franken IHA, Zwaan RA (2012) Posture as index for approach-avoidance behavior. *PLoS One* 7(2):5
- Elliot AJ (2006) The hierarchical model of approach-avoidance motivation. *Motiv Emot* 30(2):111–116. <https://doi.org/10.1007/s11031-006-9028-7>
- Facchinetti LD, Imbiriba LA, Azevedo TM, Vargas CD, Volchan E (2006) Postural modulation induced by pictures depicting prosocial or dangerous contexts. *Neurosci Lett* 410(1):52–56. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.09.063>
- Frijda NH (1953) The understanding of facial expression of emotion. *Acta Psychol* 9:294–362. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(53\)90021-3](https://doi.org/10.1016/0001-6918(53)90021-3) place: Netherlands Publisher: Elsevier Science
- Frijda NH (2009) Emotion experience and its varieties. *Emot Rev* 1(3):264–271. <https://doi.org/10.1177/1754073909103595>
- Gea J, Muñoz MA, Costa I, Ciria LF, Miranda JGV, Montoya P (2014) Viewing pain and happy faces elicited similar changes in postural body sway. *PLoS One* 9(8):e104381. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104381>
- Green C, Guo K (2018) Factors contributing to individual differences in facial expression categorisation. *Cogn Emot* 32(1):37–48. <https://doi.org/10.1080/02699931.2016.1273200>
- Gross JJ, Levenson RW (1995) Emotion elicitation using films. *Cogn Emot* 9(1):87–108. <https://doi.org/10.1080/02699939508408966>
- Hagenaars MA, Stins JF, Roelofs K (2012) Aversive life events enhance human freezing responses. *J Exp Psychol General* 141(1):98–105. <https://doi.org/10.1037/a0024211>
- Hagenaars MA, Roelofs K, Stins JF (2014) Human freezing in response to affective films. *Anxiety Stress Coping* 27(1):27–37. <https://doi.org/10.1080/10615806.2013.809420>
- Harada T, Hayashi A, Sadato N, Iidaka T (2016) Neural correlates of emotional contagion induced by happy and sad expressions. *J Psychophysiol* 30(3):114–123. <https://doi.org/10.1027/0269-8803/a000160> publisher: Hogrefe Publishing
- Hess U, Blairy S (2001) Facial mimicry and emotional contagion to dynamic emotional facial expressions and their influence on decoding accuracy. *Int J Psychophysiol* 40(2):129–141. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(00\)00161-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(00)00161-6)
- Hillman CH, Rosengren KS, Smith DP (2004) Emotion and motivated behavior: postural adjustments to affective picture viewing. *Biol Psychol* 66(1):51–62. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2003.07.005>
- Horslen BC, Carpenter MG (2011) Arousal, valence and their relative effects on postural control. *Exp Brain Res* 215(1):27–34. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2867-9>
- Huxhold O, Li SC, Schmiedek F, Lindenberger U (2006) Dual-tasking postural control: aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Res Bull* 69(3):294–305. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2006.01.002>
- John OP, Donahue EM, Kentle RL (1991) The Big Five Inventory—Versions 4a and 54
- Lang PJ, Bradley MM (2010) Emotion and the motivational brain. *Biol Psychol* 84(3):437–450. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.10.007>
- Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN (1997) Motivated attention: affect, activation, and action. *Attent Orient Sens Motiv Process* 97:135
- Laurens J, Awai L, Bockisch CJ, Hegemann S, van Hedel HJA, Dietz V, Straumann D (2010) Visual contribution to postural stability: interaction between target fixation or tracking and static or dynamic large-field stimulus. *Gait Posture* 31(1):37–41. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.08.241>
- Lelard T, Krystkowiak P, Montalan B, Longin E, Bucchioni G, Ahmadi S, Godefroy O, Mouras H (2014) Influence of postural threat on postural responses to aversive visual stimuli. *Behav Brain Res* 266:137–145. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2014.02.051>

- Lelard T, Stins J, Mouras H (2019) Postural responses to emotional visual stimuli. *Neurophysiol Clin* 49(2):109–114. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2019.01.005>
- Li Wanyue HS (2019) Scene effects on facial expression detection: the moderating effects of trait anxiety. *Acta Psychol Sin* 51(8):869–878. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2019.00869>
- Mauss IB, Levenson RW, McCarter L, Wilhelm FH, Gross JJ (2005) The Tie that binds? Coherence among emotion experience, behavior, and physiology. *Emotion* 5(2):175–190. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.5.2.175>
- Ochsner KN, Gross JJ (2014) The neural bases of emotion and emotion regulation: a valuation perspective. In: Press Guilford, York New (eds) *Handbook of emotion regulation*, 2nd., NY US, pp 23–42
- Ohno H, Wada M, Saitoh J, Sunaga N, Nagai M (2004) The effect of anxiety on postural control in humans depends on visual information processing. *Neurosci Lett* 364(1):37–39. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2004.04.014>
- Perakakis PE, Idrissi S, Vila J, Ivanov PC (2012) Dynamical patterns of human postural responses to emotional stimuli: COP responses. *Psychophysiol* 49(9):1225–1229. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2012.01392.x>
- Radke S, Güths F, André JA, Müller BW, de Bruijn ER (2014) In action or inaction? Social approach-avoidance tendencies in major depression. *Psychiatry Res* 219(3):513–517. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2014.07.011>
- Rammstedt B, John OP (2007) Measuring personality in one minute or less: a 10-item short version of the big five inventory in english and german. *J Res Personal* 41(1):203–212. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2006.02.001>
- Raper SA, Soames RW (1991) The influence of stationary auditory fields on postural sway behaviour in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 63(5):363–367. <https://doi.org/10.1007/BF00364463>
- Rodrigues ST, Aguiar SA, Polastri PF, Godoi D, Moraes R, Barela JA (2013) Effects of saccadic eye movements on postural control stabilization. *Motriz Revista de Educação Física* 19(3):614–619. <https://doi.org/10.1590/S1980-65742013000300012>
- Roelofs K, Hagens MA, Stins J (2010) Facing freeze: social threat induces bodily freeze in humans. *Psychol Sci* 21(11):1575–1581. <https://doi.org/10.1177/0956797610384746>
- Sawchuk CN, Meunier SA, Lohr JM, Westendorf DH (2002) Fear, disgust, and information processing in specific phobia: the application of signal detection theory. *J Anxiety Disord* 16(5):495–510. [https://doi.org/10.1016/S0887-6185\(02\)00168-8](https://doi.org/10.1016/S0887-6185(02)00168-8)
- Schaefer A, Nils F, Sanchez X, Philippot P (2010) Assessing the effectiveness of a large database of emotion-eliciting films: a new tool for emotion researchers. *Cogn Emoti* 24(7):1153–1172. <https://doi.org/10.1080/02699930903274322>
- Smith TJ, Mital PK (2013) Attentional synchrony and the influence of viewing task on gaze behavior in static and dynamic scenes. *J Vision* 13(8):16–16. <https://doi.org/10.1167/13.8.16>
- Smits DJM, Boeck PD (2006) From BIS/BAS to the big five. *Eur J Personal* 20(4):255–270. <https://doi.org/10.1002/per.583>
- Spielberger C (1993) STAI-Y: Inventaire d’anxiété état-trait forme Y. Éditions du centre de psychologie appliquée. centre de psychologie appliquée
- Spielberger C (1999) State-Trait Anger Expression Inventory-2: STAXI-2. Psychological Assessment Ressources
- Stins JF, Beek PJ (2007) Effects of affective picture viewing on postural control. *BMC Neurosci* 8(1):83. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-8-83>
- Stoffregen TA, Bardy BG, Bonnet CT, Hove P, Oullier O (2007) Postural sway and the frequency of horizontal eye movements. *Motor Control* 11(1)
- Trautmann SA, Fehr T, Herrmann M (2009) Emotions in motion: dynamic compared to static facial expressions of disgust and happiness reveal more widespread emotion-specific activations. *Brain Res* 1284:100–115. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.05.075>
- Tronick EZ, Bruschiweiler-Stern N, Harrison AM, Lyons-Ruth K, Morgan AC, Nahum JP, Sander L, Stern DN (1998) Dyadically expanded states of consciousness and the process of therapeutic change. *Infant Mental Health J* 19(3):290–299. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0355\(199823\)19:3;290::AIDIMHJ4;3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0355(199823)19:3;290::AIDIMHJ4;3.0.CO;2-Q)

Publisher’s Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

5.3 Article 1 : Conclusions, Analyses supplémentaires & Perspectives

Dans l'Article 1, nous avons montré que la stabilité posturale globale et les comportements d'approche et d'évitement n'étaient pas influencés de manière similaire par les caractéristiques du stimulus ainsi que par les traits individuels de l'observateur. La stabilité posturale des participants était en réalité influencée par la modalité de présentation du stimulus (vidéos émotionnelles vs visages émotionnels) ainsi que par l'émotion véhiculée par ces stimuli. Plus spécifiquement, les participants se sont montrés moins stables en réponse aux vidéos que face aux visages concernant l'émotion peur, joie et l'expression neutre (*marginale pour les conditions joie et neutre*). En outre, nous avons mis en évidence que l'émotion transmise par les vidéos influençait différemment la stabilité du participant : les vidéos de peur et de joie conduisaient à une moins bonne stabilité que les autres émotions. Nous avons également souligné le rôle des traits individuels en tant que modulateurs potentiels de la stabilité posturale, tels que des symptômes dépressifs légers, la conscienciosité, ainsi que les états émotionnels propres à l'individu tels qu'un haut niveau d'anxiété. Par exemple, des individus présentant un haut score d'anxiété-état se montraient plus instables face aux vidéos de peur et de tristesse.

En revanche, nous n'avons pas observé d'effet du type de stimulus ou des émotions sur les tendances à l'approche et à l'évitement. Comme le suggère Stins et Beek (2007), une hypothèse pouvant expliquer l'absence d'effet des émotions sur les TA pourrait être que le visionnage passif d'images/vidéos ne serait que faiblement couplé à la posture. Une explication alternative ou complémentaire pourrait résider dans la présence d'une dispersion inter-individuelle sur l'axe antéro-postérieur, qui dans notre étude, s'est avérée significativement plus importante en réponse aux vidéos qu'aux visages. En outre, des traits individuels tels que l'extraversion, le névrosisme et l'empathie semblent moduler les tendances à l'approche et à l'évitement des participants. Par exemple, un haut score d'extraversion prédisait un comportement d'évitement des vidéos de peur et des visages de colère, tandis qu'un haut score de névrosisme prédisait un comportement d'évitement des vidéos de colère et des visages de peur. Ces observations soutiennent le modèle WPVA

(Ochsner & Gross, 2014), dans lequel l'étape d'Évaluation dépend de plusieurs facteurs, dont les traits de personnalité et les états émotionnels de l'individu qui viennent jouer un rôle clé dans les ajustements posturaux.

Des analyses non présentées dans l'article ont été menées pour vérifier que les émotions avaient bien été identifiées. À partir des réponses à la tâche de catégorisation des visages émotionnels, effectuée à la fin de chaque bloc postural, nous avons réalisé une ANOVA sur les 56 participants. Le Tableau 5.1 présente les pourcentages de bonnes réponses (BR) et les différentes intensités attribuées pour chaque type de stimulus et émotions. L'ANOVA effectuée n'a pas mis en évidence d'effet du type de Stimulus sur les BR ($F(1, 53) = 2,39, p > 0,05$). En revanche, nous avons observé un effet du type d'Émotions ($F(2.86, 151.37) = 7,69, p < 0,001$), ainsi qu'une interaction Type de stimulus * Émotions ($F(2.60, 137.96) = 3,13, p < 0,05$). Les pourcentages de BR tendaient à être plus élevés en réponse aux émotions de joie, de dégoût et de tristesse que pour la colère et la peur ($p = 0,057$), et étaient les moins élevés pour l'expression neutre ($p < 0,001$) (cf. Tableau 5.1). Toutefois, l'interaction montre que le type de stimulus module l'identification des émotions. Plus spécifiquement, l'identification était meilleure pour les visages que pour les films dans les conditions neutres ($p < 0,01$) et de colère ($p < 0,05$), et cet effet s'inversait concernant l'émotion de peur ($p < 0,05$).

Ces observations corroborent l'idée que la direction vers laquelle est orientée la menace est un facteur important à prendre en compte. Concernant les visages de colère, la menace était orientée vers l'observateur suggérant une confrontation à venir, tandis que la vidéo de colère mettait en scène un individu fortement en colère envers une autre personne. L'observateur n'était pas donc pas directement menacé. À l'inverse, un visage de peur nous regardant n'implique pas de menace particulière, tandis qu'une vidéo mettant en scène un individu tentant d'échapper à une menace de l'environnement suppose que cette menace est potentiellement dangereuse pour nous. Ces observations s'expliquent d'un point de vue adaptatif : il est plus efficace de reconnaître rapidement une émotion lorsqu'elle est associée à une situation potentiellement menaçante pour nous. La reconnaissance plus efficace du visage neutre que de la vidéo neutre peut en revanche

CHAPITRE 5. INFLUENCE DU TYPE DE STIMULI ET DES ÉMOTIONS SUR LE CONTRÔLE POSTURAL

s'expliquer par la difficulté à isoler une émotion/expression dans le contexte d'une scène visuelle dynamique. Bien que les vidéos ont un haut degré de validité écologique, elles évoquent des stimuli visuels et auditifs dynamiques, pouvant influencer à la fois le traitement perceptif et le contrôle postural (Raper & Soames, 1991; Stoffregen et al., 2007).

Enfin, l'observation de moins bonnes performances de reconnaissance de la condition neutre dans notre étude souligne également le caractère spécifique de cette expression, tout comme l'importance de ne pas la considérer nécessairement comme ligne de base pour comparer les effets des émotions sur la posture. Il aurait été préférable de pouvoir s'appuyer sur des stimuli non sociaux, afin d'objectiver les patterns posturaux spécifiques aux visages émotionnels. C'est ainsi que dans l'Article 2 et 3, nous avons intégré des mesures posturales face à un écran vide et à une croix de fixation.

Émotions	Type de stimuli	BR (%)	Intensités
<i>Joie</i>	Visages	100	3,8 (±0,8)
	Vidéos	96 (±19,1)	4,3 (±0,7)
<i>Colère</i>	Visages	100	3,6(±1)
	Vidéos	92,6 (±26,44)	4,3 (±0,8)
<i>Dégoût</i>	Visages	98 (±13,6)	4,1(±0,8)
	Vidéos	100	4,4(±1)
<i>Peur</i>	Visages	93 (±26,4)	3,6 (±1)
	Vidéos	100	4,2 (±1)
<i>Tristesse</i>	Visages	100	3,2 (±1)
	Vidéos	100	4,2 (±0,7)
<i>Neutre</i>	Visages	93 (±26,4)	-
	Vidéos	81 (±39,2)	-

TABLE 5.1 – Pourcentages de bonnes réponses et intensités moyennes par émotion, et par type de stimuli pour 56 participants

L'ensemble des résultats de cette étude souligne la nécessité de prendre en compte divers facteurs lors de l'examen du contrôle postural, comme les propriétés du stimulus (vidéos vs visages), un panel plus large d'émotions afin d'aboutir à une catégorisation fine

des émotions, et enfin les caractéristiques individuelles. Dans la suite de la thèse, nous nous sommes concentrés sur les visages émotionnels car, comme évoqué plus haut, les vidéos affectent différemment la perception, l'action, et peuvent également sous-tendre plusieurs émotions. Se focaliser sur le traitement des visages émotionnels nous permet également d'examiner plus directement les TA dans le domaine des interactions sociales. Comme nous l'avons évoqué dans le Chapitre 2, l'environnement joue un rôle essentiel dans l'interprétation des émotions, et d'autres indices socio-émotionnels tels que la distance interpersonnelle peuvent affecter nos interactions sociales. L'ajout d'un indice supplémentaire tel que la congruence entre l'émotion exprimée par autrui, associée à un mouvement d'approche ou d'évitement, pourrait déclencher des TA plus fortes chez l'observateur. C'est l'objet de l'Article 2 de cette thèse, présenté en section 5.2.

Points clefs du Chapitre 5

- La modalité de présentation des stimuli affecte la stabilité posturale globale : la perception de vidéos émotionnelles conduit à une augmentation des oscillations posturales comparativement aux visages émotionnels.
- Les vidéos exprimant de la joie et de la peur génèrent une instabilité posturale plus grande que celles exprimant du dégoût, de la tristesse, de la colère ou de la neutralité. Nous n'avons pas observé de différence entre les émotions exprimées par les visages.
- Les traits de personnalité et l'état émotionnel du participant modulent la stabilité posturale. Typiquement, un haut score d'anxiété-état prédisait une moins bonne stabilité en réponse aux vidéos de peur et de tristesse, tandis qu'un haut score d'empathie prédisait un comportement d'évitement des vidéos de colère et des visages exprimant du dégoût.
- Les comportements d'approche et d'évitement ne sont pas influencés par la modalité de présentation du stimulus, ni par l'émotion exprimée par celui-ci.
- Cette absence d'effet peut s'expliquer par une variabilité des oscillations posturales autour de l'axe antéro-postérieur. En effet, la SD-Y était plus importante face aux vidéos émotionnelles qu'aux visages émotionnels.
- En fonction des traits individuels, les patterns comportementaux d'approche et d'évitement sont différenciés. L'extraversion et le névrosisme, par exemple, seraient des prédicateurs de comportements d'évitement des stimuli de colère et de la peur.
- Les performances d'identification des émotions semblent meilleures pour les conditions de joie, de tristesse et de dégoût que de colère et de peur, et moins bonnes pour la condition neutre. Toutefois les propriétés du stimulus modulent le % de BR, avec de meilleures performances pour les visages que pour les films concernant les conditions de colère et neutre, et cet effet s'inverse pour la condition de peur.

ÉMOTION EN MOUVEMENT : DE QUELLE MANIÈRE
L'ÉMOTION D'AUTRUI FAÇONNE LES TENDANCES À
L'ACTION ET LA RÉGULATION DE LA DISTANCE
INTERPERSONNELLE

Contenu

6.1	Article 2 : Introduction	150
6.2	Article 2 : "Emotion as motion : How other's emotions shape approach-avoidance tendencies and interpersonal distance"	153
6.3	Article 2 : Conclusions, Analyses supplémentaires & Perspectives	176

6.1 Article 2 : Introduction

Dans l'Article 1, nous n'avons pas montré de modulation des comportements d'approche et d'évitement par l'émotion exprimée sur le visage. Toutefois, il est possible que l'EFE ne soit pas un indice social suffisamment puissant pour déclencher des TA visibles sur la posture. Nous pouvons nous demander si la combinaison de l'EFE à un mouvement d'approche ou d'évitement pourrait renforcer les TA. La deuxième étude de cette thèse a pour ambition d'identifier plus précisément les mécanismes de régulation de la distance interpersonnelle, et ce à la fois dans le cadre d'une tâche de distance informatisée et d'un ajustement postural spontané. Jusqu'à présent, la plupart des études ont examiné la régulation de la distance interpersonnelle, en mesurant la distance à autrui à l'aide de différents paradigmes demandant aux participants d'ajuster leur distance en réponse à un partenaire réel ou virtuel (Hecht et al., 2019; Iachini et al., 2014; Vieira & Marsh, 2014), ou bien d'évaluer leur distance sous format papier-crayon (Duke & Nowicki, 1972). Ces études ont souvent pris en considération un nombre limité d'émotions. En outre, elles ont rarement pris en compte les ajustements posturaux des participants, qui constituent un indice objectif des TA d'approche et d'évitement.

Cette étude se place dans le cadre de la théorie de l'équilibration, qui suggère que notre distance interpersonnelle préférée est régulée par des forces d'approche et d'évitement, jusqu'à ce qu'un point d'équilibre soit atteint (Argyle & Dean, 1965). De façon intéressante, l'étendue de l'espace interpersonnel peut également être modulée par certains traits individuels. Par exemple, des individus présentant un haut score d'extraversion et un faible score d'ouverture, maintiennent une distance plus courte face à autrui. Dans l'Article 1, nous avons notamment observé que les comportements d'approche et d'évitement n'étaient pas influencés par l'émotion exprimée par le stimulus. Nous supposons que dans l'Article 2, le couplage d'un visage émotionnel à un mouvement d'approche, simulant une diminution de la distance interpersonnelle, ou à un mouvement de retrait, simulant une augmentation de la distance interpersonnelle, pourrait potentiellement déclencher des TA. En effet, le traitement combinatoire de plusieurs signaux socio-émotionnels relève davantage de situations écologiques rencontrées au quotidien et

pourrait être davantage ancré dans la biomécanique du mouvement humain.

L'un des objectifs de l'Article 2 est donc de répondre à l'Axe 1 de notre thèse en examinant la régulation de la distance interpersonnelle face à ces indices socio-émotionnels, et ce via un ajustement actif à autrui à l'aide de la manette, et via la quantification des déplacements posturaux antéro-postérieurs. Cet Article vise également à répondre l'Axe 2 en examinant si les ajustements posturaux modifieraient en retour la perception. Pour répondre à ces questions, nous avons mis en place un protocole permettant d'étudier l'effet de visages émotionnels (joie, colère, peur, tristesse, dégoût et neutre) et du mouvement du visage (approche/retrait) sur la distance préférée. Cette dernière est mesurée d'une part dans le cadre d'une tâche de distance informatisée et d'autre part, à travers l'étude du paramètre postural **CoP-Y** permettant d'apprécier les comportements d'approche et d'évitement. Nous supposons également que les traits individuels joueront un rôle important dans la régulation de la distance, par exemple un individu anxieux pourrait potentiellement ajuster des distances plus grandes en réponse à des situations menaçantes. Ainsi, le rôle des traits individuels dans la régulation de la distance interpersonnelle est examiné à l'aide de plusieurs questionnaires ciblés.

Résumé de l'Article 2

La qualité des interactions sociales se base en partie sur une régulation appropriée de la distance interpersonnelle à autrui, tout en prenant en considération un certain nombre d'indices socio-émotionnels. Jusqu'ici, l'étude de la régulation de la distance interpersonnelle s'est effectuée à travers plusieurs paradigmes (tâches d'ajustement de la distance informatisée ou avec de réels individus, tâche de réalité virtuelle) en utilisant un nombre limité d'émotions et/ou sans tenir compte des variables individuelles (Hecht et al., 2019; Iachini et al., 2014; Vieira et al., 2017). La présente étude vise à examiner la manière dont la régulation de la distance interpersonnelle varie en fonction i) des expressions faciales émotionnelles et ii) des mouvements d'approche/de retrait des visages. À notre connaissance, il s'agit de la première étude évaluant l'ajustement de la distance à autrui en réponse à un large éventail de visages émotionnels, en mesurant d'une part l'ajustement actif à autrui, et d'autre part en quantifiant les déplacements posturaux reflétant les tendances spontanées d'approche/d'évitement. Un des aspects centraux de notre étude consiste en l'exploration des modulations possibles entre les émotions et la distance interpersonnelle, en considérant les traits de personnalité individuels stables, ainsi que les états émotionnels. Ainsi, la distance préférée de 64 participants (57 femmes, 7 hommes) a été mesurée dans le cadre d'une tâche de distance informatisée en réponse à six expressions faciales (joie, colère, peur, dégoût, tristesse et neutre) durant une phase d'ajustement initiale, puis après avoir visionné des visages combinés à un mouvement d'approche/de retrait. De plus, les oscillations posturales des participants ont été mesurées à l'aide d'une plate-forme de force lors du visionnage de stimuli non sociaux (écran vide, croix) et sociaux (visages émotionnels). Différents questionnaires (STAI, STAXI, Big-Five) ont été utilisés afin d'évaluer les traits de personnalité et les états émotionnels des participants. Nous avons observé que la stabilité posturale était influencée par la complexité du stimulus (non sociaux vs sociaux), ainsi que par le mouvement des stimuli, tandis que les comportements d'approche et d'évitement étaient influencés par la perception des émotions, et suivaient un pattern similaire à la distance préférée. Les participants présentaient un comportement d'approche des visages de joie, de neutralité, de peur et de tristesse, de freezing en réponse au dégoût, et d'évitement face à la colère. De manière similaire, les participants ajustaient la distance la plus courte en réponse à la joie et à la neutralité, une distance modérée face à la peur et à la tristesse, et la distance la plus grande pour la colère et le dégoût. L'espace interpersonnel semblait donc augmenter lorsque le visage exprimait une menace et diminuer face à des visages exprimant une émotion affiliative ou pro-sociale. Enfin, nous avons observé une modulation de la distance préférée et du CoP-Y par certaines variables individuelles telles que l'extraversion ou l'anxiété-état. Il apparaît donc nécessaire de continuer à affiner le rôle des variables individuelles afin d'approfondir notre connaissance du lien entre la régulation de la distance interpersonnelle et le traitement des émotions.

6.2 Article 2 : "Emotion as motion : How other's emotions shape approach-avoidance tendencies and interpersonal distance"

- **Lebert, A.,** Vergilino-Perez, D. & Chaby, L. (en révision dans *Cognition et Emotion*, CEM-FA 216.21). Emotion as motion : How other's emotions shape approach-avoidance tendencies and interpersonal distance.

FULL ARTICLE

Emotion as motion: How others' emotions shape approach-avoidance tendencies and interpersonal distance

Angélique Lebert^a, Dorine Vergilino-Perez^a and Laurence Chaby^{b,c}

^aUniversité de Paris, VAC, F_92100 Boulogne-Billancourt, France; ^bSorbonne Université, Institut des systèmes intelligents et de robotique (ISIR), Paris, France; ^cUniversité de Paris, F_92100 Boulogne-Billancourt, France

ARTICLE HISTORY

Compiled September 19, 2021

ABSTRACT

Interpersonal distance plays a crucial role during social interactions and needs to be regulated on the basis of emotion expressed by others. Here, we investigate the interactions between emotion perception and distance regulation in healthy adults, by examining both participants' preferred distance and postural adjustment indexing approach-avoidance behaviours. We explored the relationship between the preferred distance and the approach-avoidance measures in order to identify more accurately the mechanisms of interpersonal distance regulation. Using an i) active computerized distance task (i.e. preferred distance) and ii) a passive viewing task with postural recordings, we found that the interpersonal social space tends to decrease in affiliative and pro-social situation (happy, sad, fearful and neutral faces) and to increase in threatening situations (angry and disgusted faces). Furthermore, we observed that postural stability decreases when viewing emotional social stimuli and most notably in response to approaching faces. We discuss results by considering how some individual traits and emotional states (e.g. extroversion, neuroticism, anger, anxiety) may modulate the relation between emotion and interpersonal distance regulation.

KEYWORDS

Interpersonal distance regulation; Emotion; Approach Avoidance; Individual traits; Action tendencies

1. Introduction

People often feel physical discomfort when a stranger comes too close to them unexpectedly and ask them a question. They usually expect the individual to stand at a reasonable distance from them. Proxemics refers to the study of human use of space (Hall, 1966), most notably in the context of social interactions requiring some fine adjustment of interpersonal distance. In the field of proxemics, the preferred interpersonal distance depends on the bonds that individuals have established between themselves and refers to the comfortable social distance from others (Ruggiero et al., 2017). This distance is dependent on either people's need to approach their peers within a specific social context or avoid them so as to maintain a safe personal space and therefore protect their body from potential threats (Dosey & Meisels, 1969; Hayduk, 1978). According to the "equilibrium theory", the preferred distance can be understood as

an equilibrium between approach and avoidance forces regulating the level of physical proximity and intimacy (Argyle & Dean, 1965). Disturbances of this equilibrium leads individuals to restore it by regulating their distance, either in case of intrusion or extrusion (i.e. further to the equilibrium point, see Welsch et al. (2019)) into their comfort zone. Such preferred personal space is usually understood as a circular space having an average radius of one meter. Intrusion into, and extrusion from, this personal space may cause some discomfort or anxiety (Hayduk, 1978; Hecht et al., 2019; Welsch et al., 2019) or even feelings of threat (Ahs et al., 2015). Typically, shorter distances between people indicate tighter bonds. Hall (1966) defines one's "personal space" (45-120 cm) as being a space of close interactions with family and friends while the "social space" of interactions (120-360 cm) engaging them with unfamiliar people. However, the size of this personal space is not consistent across individuals and can be influenced by the observer's personal characteristics, such as openness or agreeableness (Hecht et al., 2019) or by the characteristics of the approaching person, such as their emotional state.

In earlier studies, several authors investigated the impact of the approaching and withdrawing movements of emotional faces, which simulate a decrease or an increase in interpersonal distances, on how participants perceive emotions (Adams et al., 2006; Nelson et al., 2013; van Peer et al., 2010). When participants are requested to categorize stimulus emotions, van Peer et al. (2010) report that a withdrawing movement entailed faster identification of angry faces while an approaching movement leads to faster recognition of happy faces (see experiment 4 in van Peer et al., 2010). However, when they are asked to categorize stimulus movements, the approaching or withdrawing movement allows for a more accurate and rapid identification of angry faces or fearful faces respectively (Adams et al., 2006; Nelson et al., 2013) (see experiment 1 in van Peer et al., 2010). This may be due to the motivational relevance inherent in the approaching movement of angry faces or in the withdrawing movement of fearful faces (i.e., "fight-or-flight", Frijda, 1953). An approaching angry face may be perceived as confrontational by the observer, thus more threatening. A withdrawing fearful face suggests that the individual attempts to avoid a threat from the environment which may in turn feel like a threat to the observer too.

Conversely, more recently, other authors examined the impact of other people's facial expressions on both the estimation of, and adjustment to, interpersonal distances. Some found that positive or negative facial expressions were judged closer than those displaying neutral expressions (Kim & Son, 2015). Other studies showed that positive facial expressions generally led to an estimation of decreased interpersonal distance (Ruggiero et al., 2017), while negative facial expressions entailed an estimation of an increased interpersonal distance (Cartaud et al., 2018). Empirically, distance adjustment may be assessed in laboratory-based tasks with real or virtual partners enabling participants to choose their preferred distance to others (Hecht et al., 2019; Iachini et al., 2014; Vieira et al., 2017). To achieve this, different paradigms may be used, such as a real stop-distance task or a computerized distance task. Within a real stop-distance task, the participant or the experimenter approach or move away from the other until the distance seems comfortable to them. The computerized distance task consists in the adjustment of one's distance from a virtual partner by increasing (i.e., simulating an approach movement) or decreasing (i.e., simulating a withdrawal movement) the size of their face/body on a computer screen. As some authors demonstrated, faces expressing anger, fear and sadness were set further away by participants, while faces displaying neutrality and happiness were set closer (Miller et al., 2013; Ruggiero et al., 2017; Vieira et al., 2017).

Interestingly, a number of recent studies have shown that interpersonal preferred distance with real or virtual partners may also be modulated by certain individual traits. Participants having a high anxiety trait (Sambo & Iannetti, 2013) or a borderline personality (Fineberg et al., 2018; Wiesenfeller et al., 2020) would set a greater interpersonal distance. In addition, participants with psychopathic traits fail to regulate the interpersonal distance according to the emotion expressed (Welsch, von Castell, & Hecht, 2020). This suggests that in patients who experience difficulties in regulating their emotions, their tolerance of social proximity may be lowered and thus may affect their social relationships (Skodol et al., 2002).

In everyday life, interpersonal distance is regulated through approach or avoidance behaviours based on our willingness to interact with others, or not. Approach and avoidance behaviours were initially assessed through manual tasks, for instance by asking participants to press/release a button (Ozono et al., 2012) or pull/push a joystick in front models' photographs displayed on a screen (Roelofs et al., 2010), or more recently in a virtual reality task by asking participants to move forward or backward while facing a virtual character (Welsch, von Castell, Rettenberger, et al., 2020). Approach-avoidance behaviours can also be assessed in a more refined way by recording the participants' forward-backward postural adjustments. This postural parameter reflects a more spontaneous behaviour and is usually collected through the recording of the displacements of the center of pressure (i.e., the projection on the ground of the gravity center) on the antero-posterior axis (CoP-Y). Interestingly, the CoP-Y appears to be a suitable index for objectively studying approach-avoidance behaviours as it accounts for the changes in the distance between the individual and the stimulus (Eerland et al., 2012). Indeed, forward displacement of the CoP-Y may be identified as an approach tendency, whereas backward displacements of the CoP-Y may be associated with an avoidance tendency (Lelard et al., 2019). Although Gea et al. (2014) observed an approach behaviour in participants exposed to happy or pain dynamic faces, Lebert et al. (2020) did not report any effect of emotion on the mean COP-Y using static faces or emotional videos. It is worth noting here that additional relevant parameters should be considered when investigating postural control, such as participants' overall stability, which is known to be mediated by the stimulus's complexity. Thus, studies have shown that participants are slightly less stable when facing dynamic and/or visually complex stimuli than static and/or visually more basic stimuli (Laurens et al., 2010; Lebert et al., 2020).

Finally, several authors have shown that approach-avoidance behaviours in response to emotional faces may be modulated by individual traits. Hence, Gea et al. (2014) reported increased approach behaviour for participants with a high empathy score in response to happy dynamic faces. Lebert et al. (2020) showed that high levels of extroversion and neuroticism were associated with avoidance behaviour of fear and anger whereas high levels of cognitive empathy and emotional responsiveness were associated with avoidance behaviour of anger and disgust.

2. Study goal

We situate our study in the framework of the equilibrium theory. This theory suggests that the interpersonal space is shaped by approach and avoidance forces, until the point of equilibrium is reached, leading to a preferred interpersonal distance (Argyle & Dean, 1965). Moreover, as stated by Hecht et al. (2019), the extent of the interpersonal space may be modulated by individual traits. In our study, we explored the

relationship between the preferred distance and the approach-avoidance measures in order to identify more accurately the mechanisms of interpersonal distance regulation. Thus, this research aims to extend studies on interpersonal distance by comparing a broad set of emotions and by examining both participants' preferred distance and postural adjustment indexing approach-avoidance behaviours. We also explored whether the interpersonal distance could be modulated by some individual traits of the observer (i.e., anxiety, anger and Big Five). To address this issue we set up a protocol allowing for the investigation of the effect of others' facial expressions (i.e. happiness, fear, anger, sadness, disgust and neutral) and movements (approach/withdrawal) on the preferred distance measured in a computerized distance task and through the study of the postural parameter CoP-Y.

We hypothesized that emotions conveyed by faces may affect interpersonal distance regulation. In line with the equilibrium theory (Argyle & Dean, 1965) and as stated by Ruggiero et al. (2017), the size of the space may be modulated by the emotional cue, by eliciting an expansion or a contraction in response to negative or positive situations respectively. According to previous research (Miller et al., 2013; Vieira et al., 2017), we predicted that participants would set a greater distance when exposed to angry faces and a moderate distance to fearful and sad faces. Considering that a disgusted expression may be perceived as a threat such as physical contamination or a disease (Anderson et al., 2003), we assumed that participants would set a similar distance from disgusted faces as they would with angry faces. We also expected participants to set a shorter distance from happy and neutral faces (Miller et al., 2013).

Furthermore, we foresaw emotions to have some significant effects on the CoP-Y. Approach and avoidance motivations regulate the preferred distance and lead to an increase or a decrease of the distance from others (Welsch, von Castell, Rettenberger, et al., 2020). The strength of the approach and avoidance behaviours towards the emotional faces was measured using the CoP-Y. In accordance with Gea et al. (2014), we hypothesized an approach behaviour triggered by happy and sad faces when compared to other emotions. Since physical proximity is thought to be regulated as a function of approach and avoidance forces, the pattern of approach and avoidance with other emotions, we argued, could be similar to that of the preferred distance. Following this pattern, angry and disgusted faces would lead to stronger avoidance behaviour when compared to fearful faces. In addition, neutral faces would trigger an approach behaviour. In line with Lebert et al., 2020 results, and considering that personal space is thought to be linked with personality traits (Hecht et al., 2019; Welsch et al., 2019), we further conducted exploratory analyses with a view to examine whether the preferred distance and the CoP-Y may be modulated by some personality traits and emotional states (i.e., anxiety, anger and Big Five).

3. Materials and methods

3.1. Participants

We conducted a power analysis using G*Power (version 3.1.9) in order to determine the minimum sample size required to detect a small effect ($f = .1$) with 80% power at a level of .05. This analysis revealed that we required a minimum of 56 participants. Ninety-seven undergraduate students had the opportunity to participate in this experiment, receiving credits for their psychology course. Participants with neurological, psychiatric or postural disorders (scoliosis, recent surgery, etc) or with a depression score over 17

at the Beck Depression Inventory (Beck et al., 1996) were not included in the study (twenty participants). This significant cut-off is used in studies involving emotions due to the fact that the processing of emotions is often affected by the presence of significant depressive symptoms (Chaby et al., 2015; Dalili et al., 2015). In addition, two participants with stabilometric parameters values greater than three standard deviations beyond the group average were excluded from the following analysis. We also inspected the individual time courses of the CoP-Y and excluded data from eleven participants showing some loss of postural stability due to erratic movements (self-touching, moving their lower limbs, etc). Finally, the data from sixty-four participants (57 females; 7 males) were analyzed (mean age= 20.3 \pm 2 years old). All participants had normal or corrected-to-normal vision.

The study protocol was approved by the ethics committee from the Paris Descartes University (reference number n°IRB : 20130500001072). All participants were informed about the procedure prior to the experiment and provided their written informed consent. Participants received course credits for their participation.

3.2. Self-report questionnaires

The assessment of individual traits was carried out using several self-report questionnaires: the *STAI-Y* (Spielberger, 1993) evaluating anxiety trait and state, the *STAXI-II* (Spielberger, 1999) measuring anger trait and state score, the *BIG Five BFI-FR* (Plaisant et al., 2010) assessing "Extroversion", "Agreeableness", "Conscientiousness", "Neuroticism", and "Openness" scores.

3.3. Stimuli

Static facial expressions were generated with FaceGen Modeller 3.5 software allowing the creation of virtual faces in different origin group, genders, ages and intensities. Faces were in colour and the hair was removed. A pre-test was conducted from an independent sample of fifty participants who had to evaluate 456 Caucasian faces (nineteen identities * four intensities * six emotions). Participants were requested to rate the natural appearance and the intensity of the face on a 10-point Likert scale ranging from 1 (not at all) to 10 (very much) natural or intense. Based on the percentage of correct answers, the homogeneity of the different intensities and the degree of naturalness of the face, ten identities were selected (5 women, 5 men) each expressing six facial expressions (joy, fear, anger, sadness, disgust and a neutral expression).

3.3.1. Stimuli used for the "computerized distance task"

To construct the computerized distance task we created faces of different sizes, with the largest size (maximum screen height, 25 cm) simulating the smallest distance (i.e. the face presented on the screen appears close to the participant) and the smallest size simulating the largest distance (i.e. the face appears distant). The size of the faces was reduced by intervals of 2.5 cm (25; 22.5; 20; 17.5; 15; 12.5; 10; 7.5 and 5 cm).

More concretely, as the participant was placed at a distance of 1 m from the screen (on the force platform for posture, see Hecht et al. (2019)) during the whole experiment, we added a face size of 18.5 cm (i.e., standard height of a face in real life) to our stimuli in order to simulate the presence of a real person at a distance of 1 m, thus covering

a visual angle of 10.48° . The distance of the participant from the screen being fixed (1 m), it was possible for each face size to calculate the visual angle covered in height (see Table 1 in supplementary material).

Subsequently, rather than using a metric of face screen size or visual angle, we instead used a metric of "simulated distance" for each image size to make the measurements more explicit. In this context, the 18.5 cm standard face represented a distance of 100 cm, the 25 cm face (the largest) simulated a "personal distance" of 74 cm while the 5 cm face (the smallest) simulated a "social distance" of 370 cm.

3.3.2. Stimuli used for the "postural task"

To construct the postural task, we created twelve blocks of emotional faces (i.e., one block includes the ten selected identities expressing one of the six emotions). Those blocks were displayed on the screen, either increasing (simulating an approaching movement) or decreasing (simulating a withdrawing movement) in size (24 frames per trial). To complete that task, we generated 72 images ranging from the smallest to the largest size for each emotional face, using Python.

3.4. Material

The computerized distance-task was performed using a Microsoft SideWinder Plug and Play GamePad (USB) joystick. The real stop-distance task was performed using a rangefinder laser (MAGNUSSON). A force platform (AMTI : AccuSway+[®]) was used to record the antero-posterior (AP) and medio-lateral (ML) displacements of the CoP allowing for the calculation of the following postural parameters: i) the surface area of the CoP displacements (in cm^2), ii) the mean position of the CoP on the antero-posterior axis (CoP-Y, in cm) and iii) the standard deviation of the mean CoP-Y (SD-Y in cm). The Area and the SD-Y could be indexed as a measure of postural stability. The mean CoP-Y provided information about the displacement toward, or away from the stimuli and could therefore be considered as an index of the action tendencies. Data were collected at a frequency of 100 Hz. Faces were projected on a Dell screen with a resolution of 1920*1200 pixels, placed at a distance of 1 meter from every participant and positioned at eye height.

3.5. Procedure

The experimental task was performed in a quiet room with a constant luminosity and was divided into 5 parts i) a real stop-distance task ii) a computerized distance task without postural recording, iii) a self-questionnaire , iv) a postural passive viewing task of an empty screen and a fixation cross, v) an alternation of passive viewing of faces with postural recording and computerized distance task without postural recording (see Figure 1).

[Insert Figure 1 about here]

3.5.1. Real stop-distance task

The purpose of the real stop-distance task was to ensure that the distance adjusted during the computerized task predicted interpersonal distance preferences in real interaction. After signing the written consent form and completing the health and depression questionnaires, participants were asked to complete a stop-distance task similar

to that used in Vieira and Marsh (2014). The participant and the experimenter were standing at two predefined locations facing each other. In approach blocks, the experimenter stood three meters away from the participant and then began walking toward them at a natural gait (approximately 1m/s). In withdrawal blocks, the experimenter started standing on their toes at about 3cm from the participant's, and walked backward. In both conditions, participants were instructed to indicate to the experimenter to "stop" (i.e., at the distance at which they felt "the most comfortable", using the distance they would keep to have a conversation with a stranger, as a reference point). Hip-to-hip distance was recorded in both trials using a digital laser tape measure (Magnusson). The experimenter maintained a positive facial expression throughout the task.

3.5.2. Computerized distance task: initial adjustment

After having completed the real life stop-distance task, participants were placed on a force platform with their feet hip-width apart and their arms positioned along the body in order to maintain a comfortable posture. The position of each foot was marked on the platform to ensure the reproducibility of the posture.

Then, participants performed a computerized distance task consisting in the adjustment of the preferred distance from emotional faces by changing their size on a computer screen. This task consisted of 144 trials presented randomly: 6 identities (from the 10 identities) repeated two times * six emotions appearing either from the minimum (faces were initially small, simulating a greater distance) or maximum size (faces were bigger, simulating closer distance). After a fixation cross of 600 ms, the face was displayed on the screen and participants pressed the "triangle button" to increase or the "cross button" to decrease the faces size using the joystick. Then they locked their response in order to select the size that seemed comfortable for a face-to-face interaction and move on to the next trial.

After the computerized distance task, participants completed the self-report questionnaires.

3.5.3. Postural passive viewing task of an empty screen and a fixation cross

In agreement with Laurens et al. (2010), we tested whether viewing simple stimuli (empty screen, fixation cross) would lead to a better postural stability (Area and SD-Y of the CoP displacements) compared to emotional faces. Participants were required to move back to the force platform and their postural data were recorded during a passive viewing task of an empty screen and a fixation cross for 30 seconds each.

3.5.4. Alternation of postural passive viewing of faces and computerized distance task

Finally, participants were subjected to twelve experimental blocks, each including two tasks. Firstly, participants passively viewed facial expressions (same stimuli as in the computerized distance task) that either increased (approach movement) or decreased (withdrawal movement) in size. During this task, several postural parameters were recorded. Secondly, participants performed a computerized distance task, without postural recording. Each block proceeded as follows: the postural recording started with the fixation cross appearing on the screen for 2000 ms. Then the fixation cross was followed by faces from the ten different identities displaying one of the six emotions, with either an approach movement or a withdrawal movement lasting 30 seconds. Participants were instructed to simply look at the faces while keeping a natural position

with their arms positioned along the body. At the end of the postural recording, participants were instructed to categorize the emotion perceived using the predefined list of the 6 possible expressions, and to rate the intensity of that emotion on a 5-point scale. Then participants performed the similar computerized distance task than in the first part but only with the emotion presented in the preceding passive viewing task. Each block consisted of 24 trials including one of the six emotions displayed either in their minimum or maximum size and presented twelve times. All stimuli were presented in a randomised order to each participant. The order of presentation for each block was counterbalanced across subjects (with a maximum of two similar emotions and two approaching or withdrawing stimuli consecutively). The task was programmed, and implemented using Opensesame (Mathôt et al., 2012).

3.6. Statistical analysis

Our first statistical analyses aimed to control the validity of two metrics used in distance and postural tasks. Specifically, we first examined participants' mean preferred distance on the stop-distance task. We correlated this metric with the preferred distance in response to happy faces acknowledging that the experimenter exhibited a pleasant expression. Then, we investigated whether the complexity of the visual stimulus reduced overall stability by performing ANOVAs on mean Area and SD-Y through the examination of the effect of stimulus type (empty screen, fixation cross and social stimuli by averaging the six emotions * two movements). Postural data were baseline-corrected. All trials started from the same (0.0) coordinate at the beginning of the stimuli presentation.

Second, in accordance with our study goal, we examined the effect of others' emotional expression and movements on the preferred distance and on the postural parameters. Note that the order of blocks presentation did not have any effect on postural parameters nor did they interact significantly with the stimuli movements and the emotions for any of the analyzed postural parameters. We first conducted a repeated measures analysis of variance (ANOVA) on the preferred distance assessed in the computerized distance-task using 3 (steps: initial adjustment, adjustment after approach postural blocks, adjustment after withdrawal postural blocks) x 6 (emotions: happy, fear, anger, sadness, disgust and neutral expression) conditions. The postural parameters -the Area and SD-Y reflecting postural stability, the CoP-Y indexing action tendencies behaviour- were analyzed using 2 (faces movements: approach movement, withdrawal movement) x 6 (emotions: happy, fear, anger, sadness, disgust and neutral expression) repeated measures analysis of variance (ANOVA). Planned comparisons were used for paired comparisons. To further explore the relationship between individual traits and preferred distance or Cop-Y, Spearman correlations were computed. All the analyses were performed using R-statistical environment (R Core Team, 2013). ANOVAs were computed using the "afex" package (Singmann et al., 2015) followed by planned comparisons performed with the "emmeans" package (Lenth, 2019). Huynh-Feldt corrections were employed to adjust to the violation of the sphericity assumption in testing repeated measures effects. The corrected degrees of freedom were reported, with the p value associated with the Huynh-Feldt adjustment. Planned comparisons and correlations were corrected for multiple comparisons using the Benjamini-Hochberg method (Benjamini & Hochberg, 1995). A significance level of $p = .05$ was used for all statistical analyses.

4. Results

4.1. Validity of the metrics employed for the distance and postural tasks

We first measured participants' average preferred distance for the stop-distance task, which was 96.5 ± 18.7 cm. As in Vieira et al. (2017), a marginal positive correlation ($r = .24, p = .059$) was observed between the stop-distance task and the computerized distance-task in front of happy faces ($M = 112.56 \pm 39.3$ cm).

We also checked whether the postural stability decreased with the increase in the complexity of the stimulation by comparing the Area and the SDY in front of an empty screen, a fixation cross and social stimuli. The ANOVA performed on the Area showed a main effect of the Stimulus type ($F(1.93, 121.29) = 18.94, p < .001$). Planned comparisons revealed that the Area significantly increase in response to a fixation cross ($M = 1.59, SD = 1.17$) relative to an empty screen ($M = 1.26, SD = 0.84$), $p < .05$, and in response to social stimuli ($M = 2.15, SD = 1.30$) in comparison to an empty screen and a fixation cross averaged together ($M = 1.42, SD = 0.84$), $p < .001$. Similar results were found on the SD-Y with a main effect of the Stimulus type ($F(1.62, 101.78) = 11.20, p < .001$). Planned comparisons revealed that the SD-Y significantly increase in response to a fixation cross ($M = 0.45, SD = 0.23$) relative to an empty screen ($M = 0.36, SD = 0.13$), $p < .001$, and in response to social stimuli ($M = 0.46, SD = 0.15$) in comparison to an empty screen and a fixation cross averaged together ($M = 0.41, SD = 0.15$), $p < .02$.

4.2. Effect of others' emotional expressions and movements on the preferred distance and on the postural parameters

We then examined whether the preferred distance was influenced by the Steps and the Emotions conveyed by the faces. The ANOVA revealed a main effect of the Steps ($F(1.54, 97.25) = 15.77, p < .001$), a main effect of the Emotions ($F(1.83, 115.33) = 49.68, p < .001$), but no Steps * Emotions interaction ($F(5.09, 320.57) = 1.37, p > 0.05$). Planned comparisons revealed that participants set greater distance during the initial adjustment ($M = 155.05, SD = 41.2$) than after postural blocks ($M = 146.86, SD = 39.2$), $p < .001$. The preferred distances did not differ after approach ($M = 147.65, SD = 39.81$) or withdrawal ($M = 146.08, SE = 39.11$) postural blocks, $p = .36$. Interestingly (see Figure 2), the preferred distances set in response to neutral and happy faces ($M = 118.03, SD = 21.2$) were significantly shorter than with fearful and sad faces ($M = 141.53, SD = 46.42$), $p < .001$. Those preferred distances turned out to be shorter than the preferred distances to angry and disgusted faces ($M = 189.21, SD = 71.84$), $p < .001$.

It remains to be determined whether other's emotional expressions and movements also modulate the postural parameters, first on the overall stability indexed by the Area and the SD-Y and, second, on the mean COP-Y indexing the approach-avoidance behaviours. The 2 (Faces movements: approach and withdrawal) x 6 (Emotions: happy, fear, anger, sadness, disgust and neutral expression) ANOVAs on the mean Area and on the mean SDY revealed a main effect of Faces movements ($F(1, 63) = 7.22, p < .01$ and $F(1, 63) = 5.59, p < .03$ for Area and SDY respectively) indicating that the poorer stability reflected by the increase in the Area and SDY was higher in response to the approaching movement of faces ($M = 2.28, SD = 1.42$ and $M = 0.48, SD = 0.17$ respectively) than with the withdrawing movement ($M = 2.03, SD = 1.28$ and $M = 0.44, SD = 0.15$ respectively). We did not observe any effect of Emotions ($F(4.14,$

261.09) = 1.78, $p > .05$ and $F(5, 315) = 0.59$, $p > .05$ for Area and SDY respectively) nor any Faces movements * Emotions interaction ($F(4.54, 285.91) = 1.73$, $p > 0.05$ and $F(4.42, 278.32) = 1.34$, $p > 0.05$ respectively).

The ANOVA conducted on the mean COP-Y revealed a main effect of Emotions ($F(5, 315) = 3.63$, $p < .005$), but no effect of Faces movements ($F(1, 63) = 0.14$, $p > .05$) nor any Faces movements * Emotions interaction ($F(4.92, 309.93) = 0.24$, $p > 0.05$) on the mean CoP-Y. Planned comparisons (see Figure 3) showed that the mean CoP-Y was located significantly further forward in response to happy, neutral, sad and fearful faces ($M = 0.12$, $SD = 0.45$) than with angry and disgusted faces ($M = -0.06$, $SD = 0.48$), $p < .001$. The CoP-Y location did not differ in response to happy and neutral faces ($M = 0.15$, $SD = 0.53$) compared to fearful and sad faces ($M = 0.09$, $SD = 0.47$), $p > 0.05$.

To better examine the relationship between preferred distances and approach and avoidance behaviours indexed by the COP-Y, we examined the correlations between these two variables. We did not observe any significant correlations $p > .05$.

[Insert Figure 3 about here]

4.3. Influence of personality traits on preferred distances and CoP-Y

We further explored whether individual traits and emotional states could modulate participants preferred distances and COP-Y. To achieve this, we first examined correlations between preferred distances with scores obtained from the different self-report questionnaires (see Table 2 in supplementary material). The higher the BFI openness score, the more participants set a short distance when exposed to sad (initial adjustment: $r = -.38$, $p < .005$; approach and withdrawal postural blocks: $r = -.24$, $p = .05$) and fearful faces (initial adjustment: $r = -.29$, $p < .05$; approach and withdrawal postural blocks: $r = -.24$, $p = .05$). In addition, participants with a high anger state score set a shorter distance in response to happy (initial adjustment: $r = -.30$, $p < .05$) and neutral faces (initial adjustment: $r = -.29$, $p < .05$). Finally, a high anxiety state score predicted a greater distance from angry faces (approach and withdrawal postural blocks: $r = .25$, $p < .05$).

Interestingly, some correlations between CoP-Y and individual variables also emerged (see Table 3 in supplementary material). A high score of extroversion (BFI) was associated with an avoidance behaviour in response to withdrawing fearful faces ($r = -.32$, $p = .05$). In addition, high scores of anxiety state and anxiety trait were associated with an approach behaviour in response to withdrawing fearful faces (anxiety state: $r = .36$, $p < .005$; anxiety traits: ($r = .26$, $p < .05$). A high score of neuroticism trend to be linked to an approach behaviour of withdrawing fearful faces ($r = .24$, $p = .06$). Finally, high score of anxiety state was associated with an approach behaviour in response to withdrawing disgusted faces ($r = .29$, $p < .03$).

5. Discussion

Successful social interactions are partly based on the appropriate regulation of interpersonal distances in social contexts, while considering different relevant emotional cues of others. Thus far, most studies have investigated interpersonal distance regulation by directly measuring the distance to others with different types of paradigms and by encompassing a limited number of emotions. Furthermore, they rarely considered participants' postural regulation, which is a powerful index of approach-avoidance tendencies.

This study aims to examine how interpersonal distance regulation varies according to emotional facial expressions and approaching/withdrawing faces movements. To address this question, we assessed distance adjustment to others in response to a wide range of emotional faces, doing so by measuring active adjustment to others as well as quantifying postural displacements that reflect spontaneous approach/avoidance tendencies. We have also explored possible modulations between emotions and interpersonal distance by considering stable individual personality traits and emotional states.

Referring to the equilibrium theory, our results shed new light on how the regulation of interpersonal distance through preferred distance and approach-avoidance behaviours varies as a function of others' emotional expressions. Our key finding is that other people's emotions influenced the regulation of interpersonal distance in participants both in terms of preferred distance and CoP-Y measured action tendencies while triggering similar response patterns. Consequently, participants established a shorter distance in response to happy and neutral faces, followed by fearful and sad faces, and a greater distance in response to angry and disgusted faces. Similarly, the mean CoP-Y position was located further forward in response to happy, neutral, sad and fearful faces compared to disgusted and angry faces. For the latter, the mean CoP-Y position was located further backward. Although there is a similar pattern between the preferred distance and the CoP-Y in response to emotional faces, the absence of correlations between these two measures does not allow us to conclude that participants exhibiting approach behaviour are those who choose a small preferred distance and that those exhibiting avoidance behaviour are those who adjust a large preferred distance. Interestingly in the field of postural control, our postural stability parameters (Area and SD-Y) did not fluctuate across emotions but only in response to the complexity of the stimulus or the face movement. Thus, our data indicate poorer stability in responses to emotional faces in comparison with the fixation cross or the empty screen, with the poorest stability being observed in response to approaching faces. One possible explanation for that phenomenon may be that approaching stimuli result in increased attentional resources reducing the capacity available for postural stability (Huxhold et al., 2006).

Our results confirm and extend previous studies on interpersonal distance showing that distances in response to neutral or happy faces are shorter than with fearful or sad faces (Ruggiero et al., 2017; Vieira et al., 2017). Our results also reinforce the idea that happy, neutral, fearful or sad faces may be associated with pro-social intentions (Marsh et al., 2005) and initiate approach behaviours observable through the analysis of CoP-Y variations (Gea et al., 2014). In addition, the large distance chosen by participants in response to faces expressing disgust and anger corroborates previous observations using computerized or virtual distance tasks (Miller et al., 2013; Ruggiero et al., 2017). Both disgusted and angry faces express some potential threat to the observer, though the degree of threat is greater in response to angry faces due to the higher probability of a confrontational situation in this context. Although both disgust and anger are associated to distancing behaviours, our results on postural analysis suggest that the two types of emotions lead to different type of avoidance behaviour. Specifically, our data show that participants exhibited freezing behaviour in response to disgusted faces and avoidance behaviour in response to angry faces, resulting in a zero and backward CoP-Y positions respectively. When the threat is apparent but not imminent, individuals generally exhibit freezing behaviours, and when the danger becomes imminent this triggers defensive responses such as avoidance or flight behaviours (Adams & Kleck, 2005; Blanchard et al., 1986). Considering that disgusted faces are

perceived as less imminent threat than angry faces, freezing behaviours triggered by disgust and avoidance behaviours in response to angry faces appear consistent with our observation.

Our data also revealed that personality traits or states shape differently the interpersonal distance depending on whether participants actively set their preferred distance or adjusted it through their spontaneous postural adjustment. Participants with a high openness score chose to set a shorter distance in response to sad and fearful faces. In addition, participants with a high anger state score, who are more prone to exhibit approaching aggressive behaviour (Veenstra et al., 2017) and perceive facial expressions in a more hostile manner, set a shorter distance in response to happy and neutral faces. Participants with a high anxiety state score, who generally demonstrate more important negative emotional response when exposed to angry faces and who would tend to avoid them (Dimberg & Thunberg, 2007; Roelofs et al., 2010), set a greater distance from angry faces (after postural blocks). Regarding the spontaneous approach-avoidance behaviours, participants with high scores of anxiety (state and trait) or neuroticism (referring to anxiety when exposed to negative or stressing events) displayed an approach behaviour in response to withdrawing fearful faces. Therefore, we argue that participants followed the face movement to flee from the threat (i.e., going in the opposite direction from the perceived danger). By contrast, participants with a high score of extroversion exhibited an avoidance behaviour in response to withdrawing fearful faces, suggesting that as they will feel being a danger to others, they will want to move away from others to stop threatening them.

6. Conclusion

To conclude, this study has proven to be relevant in highlighting how regulation of interpersonal distance –through preferred distances and approach-avoidance tendencies– varies according to emotional facial expressions of others. Based on our results, as well as insights from previous studies we argue that that interpersonal social space varies according to the emotional situation in a social context. Thus, interpersonal social space tends to increase in threatening situations and decrease in affiliative and pro-social situations. Furthermore, our study is globally consistent with other studies indicating that participants’ postural stability is reduced with the visual complexity of the stimulus. Our results provide further evidence that postural stability decreases when viewing emotional social stimuli and most notably in response to approaching faces. In addition, we believe that individual differences (i.e., personality traits and states) in the regulation of interpersonal distance need to be more explicitly considered in future experiments, as they may be crucial to our understanding of how distance to others and approach-avoidance behaviours varies in an emotional social context.

The current study is not without limitations. Although our sample size is larger than those used in previous studies on the topic of interpersonal distance (Cartaud et al., 2018; Eerland et al., 2012; Gea et al., 2014; Iachini et al., 2014; Kim & Son, 2015; Miller et al., 2013; Ruggiero et al., 2017; Vieira et al., 2017), the exploratory investigation of the effect of personality traits was conducted with a relatively small sample. Replicating similar experiments with a larger number of participants could amplify the power of the statistical tests performed and produce results on individual differences in preferred distance and approach-avoidance behaviours that were not detected here.

Acknowledgement(s)

The authors thank all the subjects for their cooperation and Philippe Bardy for his editing and proofreading work.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Funding

This work has been supported by the French National Agency (ANR) (In-PACT, project ANR-19-CE28-0011).

7. References

References

- Adams, R. B., Ambady, N., Macrae, C. N., & Kleck, R. E. (2006). Emotional expressions forecast approach-avoidance behavior. *Motivation and Emotion, 30*(2), 177–186. <https://doi.org/10.1007/s11031-006-9020-2>
- Adams, R. B., & Kleck, R. E. (2005). Effects of Direct and Averted Gaze on the Perception of Facially Communicated Emotion. *Emotion, 5*(1), 3–11. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.5.1.3>
- Ahs, F., Fredrik, Dunsmoor, J. E., Zielinski, D., & LaBar, K. S. (2015). Spatial proximity amplifies valence in emotional memory and defensive approach-avoidance [Publisher: Elsevier]. *Neuropsychologia, 70*, 476–485.
- Anderson, A. K., Christoff, K., Panitz, D., De Rosa, E., & Gabrieli, J. D. E. (2003). Neural Correlates of the Automatic Processing of Threat Facial Signals. *The Journal of Neuroscience, 23*(13), 5627–5633. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-13-05627.2003>
- Argyle, M., & Dean, J. (1965). Eye-contact, distance and affiliation [Publisher: JSTOR]. *Sociometry, 289–304*.
- Beck, A. T., Steer, R. A., Ball, R., & Ranieri, W. F. (1996). Comparison of Beck Depression Inventories-IA and-II in Psychiatric Outpatients. *Journal of Personality Assessment, 67*(3), 588–597. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa6703_13
- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 57*(1), 289–300. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x>
- Blanchard, R. J., Flannelly, K. J., & Blanchard, D. C. (1986). Defensive behaviors of laboratory and wild *Rattus norvegicus*. [Publisher: American Psychological Association]. *Journal of Comparative Psychology, 100*(2), 101.

- Cartaud, A., Ruggiero, G., Ott, L., Iachini, T., & Coello, Y. (2018). Physiological response to facial expressions in peripersonal space determines interpersonal distance in a social interaction context [Publisher: Frontiers]. *Frontiers in psychology, 9*, 657.
- Chaby, L., Boullay, V. L.-d., Chetouani, M., & Plaza, M. (2015). Compensating for age limits through emotional crossmodal integration [Publisher: Frontiers]. *Frontiers in Psychology, 6*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00691>
- Dalili, M. N., Penton-Voak, I. S., Harmer, C. J., & Munafò, M. R. (2015). Meta-analysis of emotion recognition deficits in major depressive disorder. *Psychological Medicine, 45*(6), 1135–1144. <https://doi.org/10.1017/S0033291714002591>
- Dimberg, U., & Thunberg, M. (2007). Speech anxiety and rapid emotional reactions to angry and happy facial expressions [Publisher: Wiley Online Library]. *Scandinavian Journal of Psychology, 48*(4), 321–328.
- Dosey, M. A., & Meisels, M. (1969). Personal space and self-protection. [Publisher: American Psychological Association]. *Journal of personality and social psychology, 11*(2), 93.
- Eerland, A., Guadalupe, T. M., Franken, I. H. A., & Zwaan, R. A. (2012). Posture as Index for Approach-Avoidance Behavior. *PLoS ONE, 7*(2), 5.
- Fineberg, S. K., Leavitt, J., Landry, C. D., Neustadter, E. S., Lesser, R. E., Stahl, D. S., Deutsch-Link, S., & Corlett, P. R. (2018). Individuals with Borderline Personality Disorder show larger preferred social distance in live dyadic interactions. *Psychiatry Research, 260*, 384–390. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.11.054>
- Frijda, N. H. (1953). The understanding of facial expression of emotion [Place: Netherlands Publisher: Elsevier Science]. *Acta Psychologica, 9*, 294–362. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(53\)90021-3](https://doi.org/10.1016/0001-6918(53)90021-3)
- Gea, J., Muñoz, M. A., Costa, I., Ciria, L. F., Miranda, J. G. V., & Montoya, P. (2014). Viewing Pain and Happy Faces Elicited Similar Changes in Postural Body Sway (M. Pavlova, Ed.). *PLoS ONE, 9*(8), e104381. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104381>
- Hall, E. T. (1966). *The hidden dimension* (Vol. 609). Garden City, NY: Doubleday.
- Hayduk, L. A. (1978). Personal space: An evaluative and orienting overview. [Publisher: American Psychological Association]. *Psychological bulletin, 85*(1), 117.
- Hecht, H., Welsch, R., Viehoff, J., & Longo, M. R. (2019). The shape of personal space [Publisher: Elsevier]. *Acta psychologica, 193*, 113–122.
- Huxhold, O., Li, S.-C., Schmiedek, F., & Lindenberger, U. (2006). Dual-tasking postural control: Aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Research Bulletin, 69*(3), 294–305. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2006.01.002>
- Iachini, T., Coello, Y., Frassinetti, F., & Ruggiero, G. (2014). Body space in social interactions: A comparison of reaching and comfort distance in immersive virtual reality [Publisher: Public Library of Science]. *PloS one, 9*(11), e111511.
- Kim, N.-G., & Son, H. (2015). How Facial Expressions of Emotion Affect Distance Perception. *Frontiers in Psychology, 6*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01825>
- Laurens, J., Awai, L., Bockisch, C. J., Hegemann, S., van Hedel, H. J. A., Dietz, V., & Straumann, D. (2010). Visual contribution to postural stability: Interaction between target fixation or tracking and static or dynamic large-field stimulus. *Gait & Posture, 31*(1), 37–41. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.08.241>

- Lebert, A., Chaby, L., Garnot, C., & Vergilino-Perez, D. (2020). The impact of emotional videos and emotional static faces on postural control through a personality trait approach. *Experimental Brain Research*, *238*(12), 2877–2886. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05941-5>
- Lelard, T., Stins, J., & Mouras, H. (2019). Postural responses to emotional visual stimuli. *Neurophysiologie Clinique*, *49*(2), 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2019.01.005>
- Lenth, R. (2019). Package: Estimated marginal means, aka least-squares means.
- Marsh, A. A., Ambady, N., & Kleck, R. E. (2005). The Effects of Fear and Anger Facial Expressions on Approach- and Avoidance-Related Behaviors. *Emotion*, *5*(1), 119–124. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.5.1.119>
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences [Publisher: Springer]. *Behavior research methods*, *44*(2), 314–324.
- Miller, H. C., Chabriac, A.-S., & Molet, M. (2013). The impact of facial emotional expressions and sex on interpersonal distancing as evaluated in a computerized stop-distance task. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, *67*(3), 188–194. <https://doi.org/10.1037/a0030663>
- Nelson, A. J., Adams, R. B., Stevenson, M. T., Weisbuch, M., & Norton, M. I. (2013). Approach-Avoidance Movement Influences the Decoding of Anger and Fear Expressions. *Social Cognition*, *31*(6), 745–757. <https://doi.org/10.1521/soco.2013.31.6.745>
- Ozono, H., Watabe, M., & Yoshikawa, S. (2012). Effects of facial expression and gaze direction on approach–avoidance behaviour. *Cognition & Emotion*, *26*(5), 943–949. <https://doi.org/10.1080/02699931.2011.641807>
- Plaisant, O., Courtois, R., Réveillère, C., Mendelsohn, G., & John, O. (2010). Validation par analyse factorielle du Big Five Inventory français (BFI-Fr). Analyse convergente avec le NEO-PI-R. *Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique*, *168*(2), 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.amp.2009.09.003>
- R Core Team. (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Roelofs, K., Putman, P., Schouten, S., Lange, W.-G., Volman, I., & Rinck, M. (2010). Gaze direction differentially affects avoidance tendencies to happy and angry faces in socially anxious individuals [Publisher: Elsevier]. *Behaviour research and therapy*, *48*(4), 290–294.
- Ruggiero, G., Frassinetti, F., Coello, Y., Rapuano, M., di Cola, A. S., & Iachini, T. (2017). The effect of facial expressions on peripersonal and interpersonal spaces. *Psychological Research*, *81*(6), 1232–1240. <https://doi.org/10.1007/s00426-016-0806-x>
- Sambo, C. F., & Iannetti, G. D. (2013). Better safe than sorry? The safety margin surrounding the body is increased by anxiety [Publisher: Soc Neuroscience]. *Journal of Neuroscience*, *33*(35), 14225–14230.
- Singmann, H., Bolker, B., Westfall, J., & Aust, F. (2015). Package ‘afex’.
- Skodol, A. E., Gunderson, J. G., Pfohl, B., Widiger, T. A., Livesley, W. J., & Siever, L. J. (2002). The borderline diagnosis I: Psychopathology, comorbidity, and personality structure [Publisher: Elsevier]. *Biological psychiatry*, *51*(12), 936–950.
- Spielberger, C. (1993). *STAI-Y: Inventaire d’anxiété état-trait forme Y. éditions du centre de psychologie appliquée*. centre de psychologie appliquée.

- Spielberger, C. (1999). *State-Trait Anger Expression Inventory-2: STAXI-2*. Psychological Assessment Resources.
- van Peer, J. M., Rotteveel, M., Spinhoven, P., Tollenaar, M. S., & Roelofs, K. (2010). Affect-congruent approach and withdrawal movements of happy and angry faces facilitate affective categorisation. *Cognition & Emotion*, *24*(5), 863–875. <https://doi.org/10.1080/02699930902935485>
- Veenstra, L., Schneider, I. K., Bushman, B. J., & Koole, S. L. (2017). Drawn to danger: Trait anger predicts automatic approach behaviour to angry faces. *Cognition and Emotion*, *31*(4), 765–771. <https://doi.org/10.1080/02699931.2016.1150256>
- Vieira, J. B., & Marsh, A. A. (2014). Don't stand so close to me: Psychopathy and the regulation of interpersonal distance [Publisher: Frontiers]. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00907>
- Vieira, J. B., Tavares, T. P., Marsh, A. A., & Mitchell, D. G. (2017). Emotion and personal space: Neural correlates of approach-avoidance tendencies to different facial expressions as a function of coldhearted psychopathic traits: Emotion and Personal Space. *Human Brain Mapping*, *38*(3), 1492–1506. <https://doi.org/10.1002/hbm.23467>
- Welsch, R., von Castell, C., & Hecht, H. (2019). The anisotropy of personal space (R. K. Wilson, Ed.). *PLOS ONE*, *14*(6), e0217587. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217587>
- Welsch, R., von Castell, C., & Hecht, H. (2020). Interpersonal Distance Regulation and Approach-Avoidance Reactions Are Altered in Psychopathy. *Clinical Psychological Science*, *8*(2), 211–225. <https://doi.org/10.1177/2167702619869336>
- Welsch, R., von Castell, C., Rettenberger, M., Turner, D., Hecht, H., & Fromberger, P. (2020). Sexual attraction modulates interpersonal distance and approach-avoidance movements towards virtual agents in males (R. K. Wilson, Ed.). *PLOS ONE*, *15*(4), e0231539. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231539>
- Wiesenfeller, J., Flasbeck, V., Brown, E. C., & Brüne, M. (2020). Approach and Avoidance Behavior in Female Patients With Borderline Personality Disorder. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *14*, 588874. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2020.588874>

8. Tables - supplementary material

Height (cm)	Width (cm)	Distance from the screen (cm)	Visual angle ($^{\circ}$)	Simulated distance (cm)
25	18.57	100	14.04	74
22.5	16.58	100	12.68	82.22
20	15	100	11.31	92.50
18.5	14	100	10.48	100
17.5	13	100	9.93	105.71
15	11.5	100	8.53	123.33
12.5	9.3	100	7.13	148
10	7.5	100	5.71	185
7.5	5.5	100	4.29	246.67
5	3.9	100	2.86	370

Table 1. Details of simulated distance measure (considering a height standard face of 18.5cm)

	Neutral		Happiness		Fear		Sadness		Disgust		Anger	
	IA	A	IA	A	IA	A	IA	A	IA	A	IA	A
BFI_O	-0.088	-0.03	0.03	0.104	-0.288*	-0.218	-0.264*	-0.378**	-0.226	-0.159	-0.224	-0.14
BFI_C	-0.017	-0.118	-0.068	-0.117	0.108	0.144	0.123	0.18	0.096	0.183	0.154	0.166
BFI_E	0.059	0.14	0.025	-0.031	-0.168	-0.036	-0.052	-0.105	-0.051	-0.15	-0.173	-0.133
BFI_A	-0.066	0.021	0.132	-0.004	-0.035	-0.083	-0.084	-0.168	-0.081	0.006	0.057	-0.026
BFI_N	0.078	0.213	0.22	0.127	-0.049	-0.027	0.017	-0.02	0.057	0.009	0.034	0.067
STAI_AE	0.144	0.092	-0.007	-0.037	0.082	0.079	0.051	0.053	0.13	0.159	0.18	0.242
STAI_AT	-0.042	0.03	0.047	0.061	-0.062	-0.091	-0.08	-0.091	0.004	-0.06	-0.003	-0.028
STAXI_E	-0.288*	-0.158	-0.298*	-0.133	-0.149	-0.163	-0.171	-0.212	0.001	-0.117	-0.052	-0.095
STAXI_T	-0.099	0.018	-0.1	-0.133	-0.038	-0.031	0.019	-0.028	0.003	0.024	0.011	-0.018
												W

Table 2. Spearman's correlations between preferred distances and personality traits / states (Openness, Conscientiousness, Extroversion, Neuroticism, Anxiety-state, Anxiety-trait, Aggressiveness-state, Aggressiveness-trait) in response to each emotional faces and steps conditions (IA = initial adjustment ; A = approach blocks ; W = Withdraw blocks). $p < 0.05$ * ; $p < 0.01$ ** ; $p < 0.001$ ***

	Neutral		Happiness		Fear		Sadness		Disgust		Anger	
	A	W	A	W	A	W	A	W	A	W	A	W
BFI_O	0.006	0.108	-0.164	0.114	-0.046	0.041	0.005	-0.031	0.136	-0.187	-0.046	-0.058
BFI_C	-0.152	-0.389**	-0.006	-0.216	0.086	-0.155	-0.097	0.209	-0.099	-0.006	-0.211	-0.052
BFI_E	-0.079	-0.161	-0.195	-0.038	0.019	-0.318*	-0.021	-0.089	-0.124	0.012	-0.133	-0.121
BFI_A	-0.029	0.034	0.01	-0.108	0.007	0.055	0.117	0.018	0.036	-0.191	-0.128	0.138
BFI_N	0.08	0.177	-0.053	0.061	-0.058	0.237	0.093	-0.051	0.001	0.109	0.061	-0.111
STAI_AE	0.139	-0.028	0.073	-0.115	-0.069	0.355**	0.02	0.074	0.033	0.29*	-0.201	0.1
STAI_AT	0.117	0.042	0.011	0.017	-0.064	0.262*	-0.056	0.007	0.003	0.181	0.026	-0.04
STAXI_E	-0.055	-0.08	-0.126	-0.114	-0.014	0.044	-0.074	-0.042	0.016	0.047	0.016	-0.128
STAXI_T	-0.044	0.035	-0.031	0.012	0.037	-0.177	-0.212	-0.087	-0.189	0.053	0.014	0.047

Table 3. Spearman's correlations between mean CoP-Y and personality traits / states (Openness, Conscientiousness, Extroversion, Neuroticism, Anxiety-state, Anxiety-trait, Aggressiveness-state, Aggressiveness-trait) in response to each emotional faces and steps conditions (A = approach blocks ; W = Withdraw blocks). $p < 0.05$ * ; $p < 0.01$ ** ; $p < 0.001$ ***

9. Figures

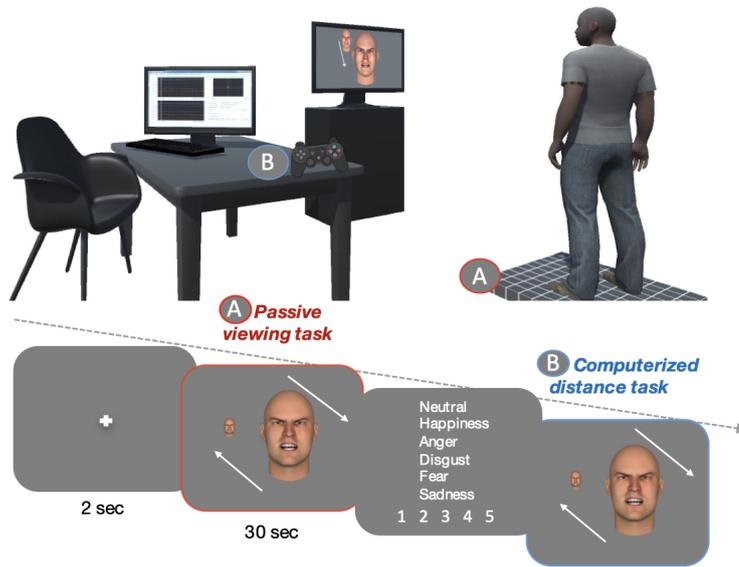


Figure 1. Schematic representation of the experimental tasks: passive viewing task on the force platform (A) computerized distance task using the joystick (B). The dotted arrow indicates the flow of time.

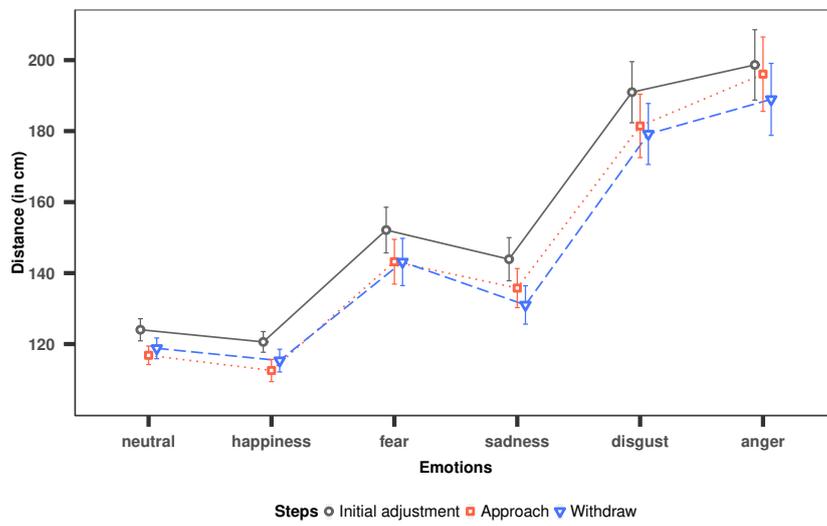


Figure 2. Mean and standard error for preferred distance based on steps and emotions (neutral, happiness, fear, sadness, disgust and anger)

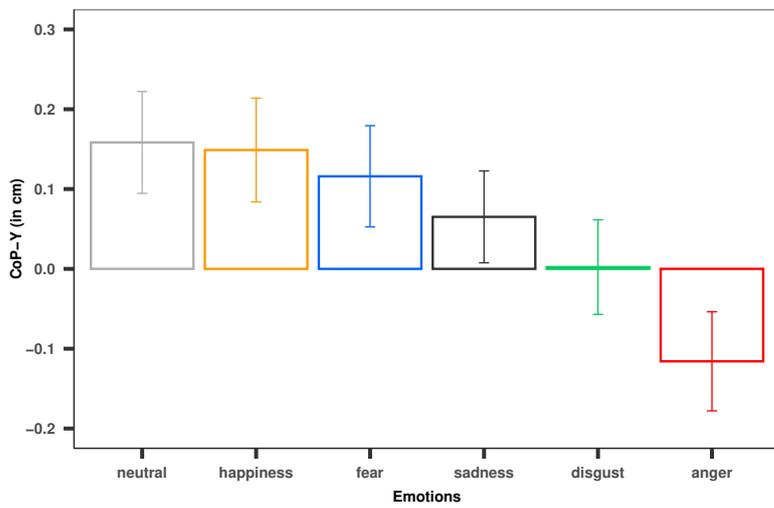


Figure 3. Area of the CoP and standard error based on steps and emotions (neutral, happiness, fear, sadness, disgust and anger)

6.3 Article 2 : Conclusions, Analyses supplémentaires & Perspectives

L'Article 2 a permis de mettre en évidence la manière dont la régulation de la distance interpersonnelle - via l'ajustement de la distance préférée et les tendances à l'approche et à l'évitement - variait en fonction des expressions faciales émotionnelles d'autrui. Sur la base de nos résultats, ainsi que des conclusions d'études précédentes, nous soutenons l'idée que l'espace social interpersonnel varie en fonction de la signification émotionnelle du stimulus. Nous avons montré que l'espace interpersonnel semblait augmenter lorsque le visage exprimait une menace, et diminuer face à des visages exprimant une émotion affiliative ou pro-sociale. Cette étude innove par rapport à la littérature existante. De fait, elle est la première étude mettant en évidence un pattern similaire de régulation de la distance interpersonnelle, à la fois lors d'un ajustement actif à l'aide d'une manette, et lors de mesures posturales quantifiant les oscillations antéro-postérieures spontanées (CoP-Y). Bien qu'il existe un pattern comportemental similaire entre la distance préférée et le CoP-Y en réponse aux visages émotionnels, l'absence de corrélation entre ces deux mesures ne nous permet pas de conclure que les participants présentant un comportement d'approche sont ceux choisissant une petite distance préférée, et que ceux présentant un comportement d'évitement sont ceux ajustant une grande distance préférée.

Nous avons également observé que les traits individuels modulaient les comportements d'approche et d'évitement ainsi que la distance préférée. Les visages de peur, combinés à un mouvement d'approche, suscitaient un comportement d'approche des participants anxieux (*état et trait*) et présentant un haut score de névrosisme, et un comportement d'évitement des participants extravertis. Les individus présentant un haut score de névrosisme réagiraient vivement à des stimuli signalant un danger (Eysenck, 1963, 1990), et rapporteraient plus d'anxiété (McCrae & Costa, 1985), ce qui pourrait expliquer les similitudes comportementales observées entre ces traits. Les individus extravertis seraient plutôt en quête de contact social, et bien que l'extraversion soit liée à l'activation du système BAs et donc à de l'approche, nous observons le pattern inverse

dans notre étude.

De surcroît, les participants présentant un score élevé d'état de colère, et étant plus enclins à présenter un comportement agressif (Veenstra et al., 2017) et à percevoir les expressions faciales de manière plus hostile, ont ajusté une distance préférée plus courte en réponse aux visages heureux et neutres. Les participants ayant un score élevé d'anxiété-état, qui manifestent généralement une réponse émotionnelle négative plus importante en réponse aux visages de colère et auraient tendance à les éviter (Dimberg & Thunberg, 2007; Roelofs, Hagenars et al., 2010), ont ajusté une plus grande distance en réponse aux visages en colère (après des blocs posturaux). Toutefois, les traits de personnalité ne prédisent pas nécessairement une distance similaire ajustée à l'aide de la manette ou via la posture. Bien que les patterns d'approche et d'évitement soient relativement proches entre ces deux mesures, l'ajustement effectué à l'aide de la manette est réalisé de manière active, tandis que la posture reflète les ajustements spontanés et automatiquement déclenchés par le stimulus. Seidel et al. (2010) évoquait par ailleurs des différences de comportements d'approche et d'évitement lorsque le participant les reportait de façon consciente, ou bien lorsqu'ils étaient relevés à un niveau plus automatique par le biais des oscillations posturales. Nous pouvons supposer que ces deux mesures reposent sur des mécanismes différents et seraient donc affectées différemment par les traits individuels. Par ailleurs, il paraît essentiel de prendre en compte la complexité des profils individuels, puisqu'un participant peut combiner de multiples traits de personnalité et états émotionnels, générant des tendances motivationnelles conflictuelles. Cette hypothèse est étayée par une récente méta-analyse soulignant l'ambiguïté des résultats entre la personnalité et les tendances motivationnelles, ceci par le chevauchement de différents traits chez un même individu (Fricke & Vogel, 2020).

Les résultats de notre étude confirment et renforcent l'Article 1 indiquant que la stabilité posturale des participants est moins bonne avec l'augmentation de la complexité visuelle des stimuli, ou plus précisément en réponse à des vidéos qu'à des visages. Plus spécifiquement, nos résultats mettent en évidence une augmentation des oscillations posturales en réponse à des stimuli sociaux émotionnels, comparativement à un écran

vide ou à une croix de fixation. De plus, cette instabilité augmentait d'autant plus en réponse à des visages combinés à un mouvement d'approche. Ces résultats corroborent l'étude de Förster et Stepper (2000) mettant en relation équilibre et traitement cognitif : la charge des informations perceptives présentées aux participants peut prédire leur instabilité. Toutefois, il est important de noter que la stabilité posturale n'était pas influencée par le type d'émotion présenté.

Pour rappel, nous avons montré dans l'Article 1 que les propriétés du stimulus, comme sa modalité de présentation, influençaient la stabilité posturale globale. La perception des émotions affectait également la stabilité posturale, mais uniquement pour les vidéos. Par ailleurs, les comportements d'approche et d'évitement n'étaient pas influencés par le type de stimulus, ni par l'émotion présentée. Dans l'Article 2, nous avons mis en évidence que la stabilité posturale était influencée par le type de stimulus (social vs non social) ainsi que par le mouvement de ce dernier. Les propriétés physiques du stimulus semblent donc être un facteur d'importance influençant les paramètres de stabilité globale. Toutefois, contrairement à l'Article 1, nous avons observé dans cette étude une influence des émotions sur les comportements d'approche et d'évitement, et ce indépendamment du mouvement du stimulus. Il semblerait que le couplage de deux signaux socio émotionnels, que sont les expressions faciales émotionnelles et les changements de distance perçus, constitue une combinaison suffisamment robuste pour déclencher des tendances à l'action visibles sur les mesures posturales.

Des analyses non présentées dans l'article ont été menées pour vérifier que les émotions avaient bien été identifiées. À partir des réponses à la tâche de catégorisation des visages émotionnels nous avons réalisé une ANOVA sur les 64 participants. Le Tableau 6.1 présente les pourcentages de bonnes réponses (BR) et les différentes intensités attribuées pour chaque type de stimulus et émotions. L'ANOVA effectuée a mis en évidence un effet du type d'Émotions sur les BR ($F(3.96, 249.64) = 4,91, p < 0,001$), mais aucun effet du type de Mouvements $F(1, 63) = 0,57, p > 0,05$, ni d'interaction Émotions * Mouvements $F(3.82, 240.52) = 1,80, p > 0.05$). Les pourcentages de BR étaient significativement meilleurs pour les visages de joie, de colère et neutres que pour les visages de dégoût,

de peur et de tristesse ($p < 0,001$.) D’après l’hypothèse du signal partagé Adams Jr et Kleck (2003), les émotions de joie, de colère et la neutralité partageraient une motivation d’approche (Adams & Kleck, 2005 ; Adams Jr & Kleck, 2003 ; Pönkänen & Hietanen, 2012 ; Willis et al., 2011) tandis que les émotions de dégoût, de peur et de tristesse partageraient une motivation d’évitement (Adams & Kleck, 2005 ; Adams Jr & Kleck, 2003 ; Sander et al., 2007). Dans le cadre de notre étude, il semble que les émotions partageant une orientation motivationnelle d’approche sont plus aisément reconnues que les émotions partageant une orientation motivationnelle d’évitement. Notons que l’expression neutre est ici la mieux reconnue tandis qu’elle était la moins bien identifiée dans l’Article 1. Néanmoins, la difficulté à identifier la neutralité était essentiellement observée pour la vidéo.

Émotions	Mouvements	BR (%)	Intensités
<i>Joie</i>	Approche	98 ($\pm 12,5$)	4 ($\pm 0,6$)
	Retrait	100	3,7 ($\pm 0,7$)
<i>Colère</i>	Approche	100	4,2 ($\pm 0,8$)
	Retrait	92 ($\pm 27,1$)	4 ($\pm 0,7$)
<i>Dégoût</i>	Approche	86 (± 35)	3,8 ($\pm 0,8$)
	Retrait	88 ($\pm 33,3$)	3,7 ($\pm 0,7$)
<i>Peur</i>	Approche	88 ($\pm 33,3$)	3,5 ($\pm 0,8$)
	Retrait	92 ($\pm 27,1$)	3,4 ($\pm 0,8$)
<i>Tristesse</i>	Approche	88 ($\pm 33,3$)	2,8 ($\pm 0,8$)
	Retrait	95 ($\pm 21,3$)	2,8 (± 1)
<i>Neutre</i>	Approche	98 ($\pm 12,5$)	-
	Retrait	97 ($\pm 17,5$)	-

TABLE 6.1 – Pourcentages de bonnes réponses, intensités moyennes et déviations standards par émotion et par mouvement pour 64 participants

Ainsi, la combinaison des émotions et du mouvement d’autrui a permis de révéler les TA de l’observateur. Nous pouvons nous demander si d’autres indices socio-émotionnels, comme que la direction du regard, influenceraient les ajustements posturaux, et notamment la stabilité posturale et les TA. Ces questions feront l’objet du Chapitre 6.

Points-clés du Chapitre 6

- Les participants présentaient un comportement postural d'approche des visages de joie, de neutralité, de peur et de tristesse, de freezing en réponse au dégoût, et d'évitement face à la colère.
- De manière similaire, les participants ajustaient la distance la plus courte en réponse à la joie et à la neutralité, une distance modérée face à la peur et à la tristesse, et la distance la plus grande pour la colère et le dégoût
- Les traits de personnalité et l'état émotionnel du participant modulaient les comportements d'approche et d'évitement et la distance préférée. Typiquement, un haut score de névrosisme prédisait un comportement d'approche des visages de peur combinés à un mouvement de retrait.
- La stabilité posturale des participants diminuait avec l'augmentation de la complexité visuelle des stimuli. De plus, les participants étaient plus instables en réponse à un mouvement d'approche que de retrait du stimulus.
- Les performances de reconnaissance des émotions étaient meilleures pour les visages de joie, de colère et neutres que pour les visages de dégoût, de peur et de tristesse. Dans le cadre d'une tâche d'identification des émotions, la perception est influencée par l'émotion indépendamment du mouvement d'approche ou de retrait du stimulus.

**INFLUENCE DE LA DIRECTION DU REGARD ET DE
L'EXPRESSION FACIALE D'AUTRUI SUR LA PERCEPTION
DU REGARD ET LE CONTRÔLE POSTURAL**

Contenu

7.1	Article 3 : Introduction	182
7.2	Article 3 : "Are you gazing at me? How others' gaze direction and facial expression influence gaze perception and postural control"	185
7.3	Article 3 : Conclusions, Analyses supplémentaires & Perspectives	210

7.1 Article 3 : Introduction

Dans l'Article 1, nous avons observé que les participants se montraient plus instables en réponse aux vidéos qu'aux visages, en particulier pour les conditions de joie, de peur et de neutralité. Nous avons également relevé que l'émotion exprimée, par l'intermédiaire d'un visage ou d'une vidéo, ne semblait pas constituer un indice suffisamment puissant pour déclencher des TA visibles sur la posture. C'est pourquoi, dans l'Article 2, nous avons combinés l'EFE à un mouvement d'approche ou d'évitement, et avons examiné leurs effets sur la régulation de la distance interpersonnelle. Nous avons ainsi observé que la stabilité posturale était également affectée par le caractère social du stimulus et d'autant plus lorsque le visage s'approchait plutôt que lorsqu'il s'éloignait. De plus, les mécanismes de régulation de la distance interpersonnelle semblaient influencés par l'émotion exprimée indépendamment du mouvement du stimulus. La combinaison de deux signaux socio-émotionnels, à savoir l'émotion et la simulation d'un mouvement d'approche ou de retrait, semble nécessaire pour déclencher des TA observables dans le cadre d'une tâche d'ajustement actif et à travers des mesures posturales.

Nous pouvons nous demander si d'autres indices socio-émotionnels comme la direction du regard, influenceraient les ajustements posturaux, et notamment la stabilité posturale et les TA? Cette troisième étude visait à affiner la compréhension des liens entre émotions et posture en intégrant un indice crucial dans les interactions sociales : la direction du regard. L'objectif de cet Article 3 est de répondre à l'Axe 1 et 2 de cette thèse concernant les liens réciproques entre émotion et posture. Plus spécifiquement, cette étude vise à examiner si la direction du regard, qui constitue un indice socio-émotionnel puissant dans le cadre d'interactions sociales, influence les capacités perceptives et posturales. D'après l'hypothèse du signal partagé proposée par Adams Jr et Kleck (2003), le traitement des émotions est renforcé lorsque la direction du regard correspond à l'orientation motivationnelle d'une émotion exprimée. A titre d'illustration, des expressions telles que la joie ou la colère seraient perçues plus rapidement et plus intensément par l'observateur lorsqu'elles seraient associées à un regard direct (partageant une motivation d'approche). La direction du regard influence donc la perception des émotions, mais la réciproque

est également vraie. Le jugement de la direction de regard a longtemps été étudié de façon binaire, en présentant des modalités de regard direct ou dévié (Ewbank, 2009). La direction du regard pouvant être ambiguë dans le cadre d'interaction sociale, notre étude s'appuie sur le cône de regard direct (CoDG, Gamer 2007), qui est un indice psychophysique permettant de caractériser précisément l'étendue des déviations du regard que les participants interprètent comme un regard direct ou dévié.

Cette étude examine l'influence de la direction du regard d'autrui et de visages émotionnels sur i) la perception de la direction du regard et ii) le contrôle postural de l'observateur. Nous supposons que des indices sociaux tels que les visages émotionnels ou la direction du regard sont de puissants vecteurs d'informations et moteurs de TA. Pour répondre à ces questions, nous avons mis en place un protocole permettant d'examiner l'effet des visages émotionnels combinés à différentes directions de regard sur la perception de la direction du regard et le contrôle postural de l'observateur, tout en considérant les traits individuels des participants à l'aide de questionnaires. La perception de la direction du regard a été indexée via le CoDG. De plus, à travers l'analyse des déplacements du CoP, nous avons étudié l'effet des émotions combinées à un regard direct ou dévié sur la stabilité posturale et les comportements posturaux d'approche et d'évitement.

Résumé de l'Article 3

Dans la vie quotidienne, les interactions sociales sont généralement modulées par la valeur attribuée à la situation, et cette dernière repose en partie sur le comportement d'autrui. Un individu agréable ou coopérant déclencherait un comportement d'approche chez l'observateur, tandis qu'un individu désagréable ou menaçant déclencherait un comportement d'évitement. Dans ce contexte, l'interprétation correcte des intentions des autres est cruciale pour parvenir à des interactions sociales satisfaisantes. Les indices socio-émotionnels tels que la direction du regard et l'expression faciale sont tous deux fondamentaux dans les interactions sociales et interdépendantes. Typiquement, lorsque la direction du regard et l'expression faciale d'autrui communiquent la même intention, cela renforce la perception de la direction du regard aussi bien que l'expression faciale d'autrui (i.e. hypothèse du signal partagé). Par exemple, un visage de colère combiné à un regard direct est perçu comme plus intense, puisqu'il suggère une confrontation à venir et représente donc une menace pour l'observateur. Dans cette étude, nous proposons d'examiner auprès de 52 participants (46 femmes ; 6 hommes) de quelle manière la combinaison de la direction du regard d'autrui (directe ou déviée) et de l'expression faciale émotionnelle (joie, peur, colère, tristesse, dégoût et neutralité) influence la perception du regard et le contrôle postural de l'observateur. La perception du regard a été indexée par le cône de regard direct (**CoDG**), désignant l'étendue des regards que l'observateur juge comme dirigés vers lui. Un **CoDG** plus large indique que l'observateur a perçu le visage comme le regardant dans une plus large gamme de directions du regard. Inversement, un **CoDG** plus étroit indique une diminution de l'éventail des directions du regard perçues comme directes. Le contrôle postural a été examiné via les déplacements du **CoP**, reflétant la stabilité posturale et les tendances à l'approche et à l'évitement. Nous avons également cherché de quelle manière la perception du regard et le contrôle postural pouvaient varier en fonction des traits de personnalité et des états émotionnels des participants. Nos résultats ont confirmé que la perception du regard était influencée par l'émotion exprimée : un **CoDG** plus large a été observé en réponse aux visages de colère et de dégoût, tandis qu'un **CoDG** plus étroit a été observé pour les visages de peur. De plus, les expressions faciales combinées à la direction du regard ont influencé la stabilité posturale des participants, mais pas les comportements d'approche-évitement. Les résultats ont été discutés à la lumière du modèle approche-évitement, en considérant la façon dont certains traits de personnalité modulent la relation entre émotion et posture.

7.2. ARTICLE 3 : "ARE YOU GAZING AT ME? HOW OTHERS' GAZE DIRECTION AND FACIAL EXPRESSION INFLUENCE GAZE PERCEPTION AND POSTURAL CONTROL"

7.2 Article 3 : "Are you gazing at me? How others' gaze direction and facial expression influence gaze perception and postural control"

- **Lebert, A.**, Chaby, L., Guillin, A., Chekroun, S. & Vergilino-Perez, D. (under review). Are you gazing at me? How others' gaze direction and facial expression influence gaze perception and postural control.

Are you "gazing" at me? How others' gaze direction and facial expression influence gaze perception and postural control

Angélique Lebert^{1,*}, Laurence Chaby^{2,3}, Amandine Guillin^{1,3}, Samuel Chekroun³ and Dorine Vergilino-Perez¹

¹ VAC Laboratory, Université de Paris, Boulogne-Billancourt, France

² ISIR Institute, Sorbonne Université, Paris, France

³ Université de Paris, Boulogne-Billancourt, France

Correspondence*:

Corresponding Author

angelique.lebert@u-paris.fr

2 ABSTRACT

3 In everyday life, interactions between humans are generally modulated by the value attributed
4 to the situation, which partly relies on the partner's behavior. A pleasant or cooperating partner
5 may trigger an approach behavior in the observer, while an unpleasant or threatening partner
6 may trigger an avoidance behavior. In this context, the correct interpretation of other's intentions
7 is crucial to achieve satisfying social interactions. Social cues such as gaze direction and facial
8 expression are both fundamental and interrelated. Typically, whenever gaze direction and facial
9 expression of others communicate the same intention, it enhances both the interlocutor's gaze
10 direction and the perception of facial expressions (i.e., shared signal hypothesis). For instance,
11 an angry face with a direct gaze is perceived as more intense since it represents a threat to the
12 observer. In this study, we propose to examine how the combination of others' gaze direction
13 (direct or deviated) and emotional facial expressions (i.e., happiness, fear, anger, sadness, disgust
14 and neutrality) influence the observer's gaze perception and postural control. Gaze perception
15 was indexed by the cone of direct gaze (CoDG) referring to the width over which an observer
16 feels someone's gaze is directed at them. A wider CoDG indicates that the observer perceived
17 the face as looking at them over a wider range of gaze directions. Conversely, a narrower
18 CoDG indicates a decrease in the range of gaze directions perceived as direct. Postural control
19 was examined through the center of pressure displacements reflecting postural stability and
20 approach–avoidance tendencies. We also investigated how both gaze perception and postural
21 control may vary according to participants' personality traits and emotional states (e.g., openness,
22 anxiety, etc). Our results confirmed that gaze perception is influenced by emotional faces : a wider
23 CoDGs was observed with angry and disgusted faces while a narrower CoDG was observed for
24 fearful faces. Furthermore, facial expressions combined with gaze direction influence participants'
25 postural stability but not approach-avoidance behaviors. Results are discussed in the light of the
26 approach-avoidance model, by considering how some personality traits modulate the relation
27 between emotion and posture.

28 **Keywords** : Gaze direction ; Emotion ; Approach Avoidance ; Individual traits ; Action tendencies

1 INTRODUCTION

29 When people are confronted with threatening social situations such as facing an angry person, they
30 acknowledge a number of cues. Gaze direction is an essential cue as it signals the direction of the threat, in
31 particular when combined with specific facial expressions. For instance, a direct gaze combined with an
32 angry face feels more threatening to the observer than a deviated gaze as the gaze focuses solely on the
33 observer. Conversely, a deviated gaze combined with a fearful face often signals a danger in the environment
34 (Adams et al., 2017). Understanding the source of the threat therefore depends on the interpretation of a
35 unique combination of emotion and gaze direction with some mutual influence. Facial expressions mainly
36 influence the way people perceive gaze directions as directed at them or at the environment (Ewbank
37 et al., 2009) and reciprocally the gaze direction of others helps to identify facial expressions (Adams and
38 Kleck, 2003). These situations trigger a series of hormonal and physiological responses in the observer
39 (Scherer, 2005), preparing their organism to act through action tendencies such as fight (approach), flight
40 (avoidance) or freeze (immobilization) (Adams et al., 2006). Furthermore, action tendencies and perception
41 of gaze direction may also depend on other significant factors such as individuals' personality traits (e.g.,
42 anger-trait, anxiety-state, extraversion) or emotional states (e.g., anger-state, anxiety-state). For instance,
43 individuals with a high anxiety-trait level are more likely to interpret the gaze direction from a fearful face
44 as directed at the environment (Hu et al., 2017).

45 Beyond the threat, accurate recognition of facial expressions is fundamental to correctly interpret
46 intentions and individuals' adjustment of social interactions. Interpreting facial expressions is mostly
47 situation-dependent and is carried out in some specific contexts where partners and observers' characteristics
48 and actions must be acknowledged (Russell, 1997). In addition to emotional facial expressions, gaze
49 directions are also among the most emotionally informative cues in social interactions. These two salient
50 social signals are powerful transmitters of information and are essential social cues integrated by the
51 observer when processing the sender's emotions (Adams Jr. and Nelson, 2016). Direct gaze perception
52 guides the attention towards the face and triggers the activation of specific brain regions recruited to
53 interpret emotions and encode face and eye movements (Wicker et al., 2003; George and Conty, 2008).
54 Conversely, a deviated gaze shifts the observer's visual attention to the gazed-at location. Then, the observer
55 needs to correctly understand the emotion and gaze direction of others because it signals their behavioral
56 intentions to approach them or avoid something from the environment (Adams and Kleck, 2003).

57 According to the shared signal hypothesis proposed by Adams and Kleck (2003), emotion processing is
58 enhanced as the gaze direction matches the motivational orientation of an expressed emotion. Expressions
59 such as happiness or anger are perceived more rapidly and more intensely by the observer when combined
60 with a direct gaze because such expressions may be associated to approach motivation (Adams and Kleck,
61 2003, 2005; Willis et al., 2011; Pönkänen and Hietanen, 2012). Conversely, sad, disgusted and fearful
62 expressions are perceived more rapidly and more intensely when combined with a deviated gaze and
63 may be associated to avoidance motivation (Adams and Kleck, 2003, 2005; Sander et al., 2007). In
64 addition, a neutral face with a direct gaze can be either categorized as anger or happiness while a neutral
65 face with a deviated gaze can be either categorized as fear or sadness (Adams and Kleck, 2005). These
66 observations highlight the importance of gaze direction in emotion processing. However, some studies
67 failed to demonstrate some modulation of emotion categorization or intensity by gaze direction. Indeed, the
68 categorization of happy, angry but also sad and fearful faces lead to shorter reaction times when combined
69 with a direct gaze compared to a deviated gaze (Graham and LaBar, 2007; Bindemann et al., 2008). In
70 addition Willis et al. (2011) did not observe any modulation of the intensity by the gaze direction in
71 response to fearful, sad and disgusted faces. Moreover, Willis et al. (2011) and Pönkänen and Hietanen

72 (2012) considered neutral expressions as approach-oriented since they are perceived more intensely with a
73 deviated gaze than when combined with a direct gaze. It appears that experimental methods (task type,
74 selected database, etc.) account for the observed discrepancies in the results looking at the gaze's effect on
75 emotion processing.

76 Reciprocally, emotions may also modulate the way one perceives gaze direction. This effect cannot be
77 examined in a binary manner presenting either direct or deviated gaze modalities (Ewbank et al., 2009),
78 because gaze direction can be ambiguous. Discriminating gaze direction may thus be a complex task to
79 complete in everyday life. Due to the multitude of iris positions in the eye, it is necessary to use a finer
80 tool to obtain a more accurate estimation of the gaze direction that is specific to an individual in any given
81 situation. The cone of direct gaze (CoDG, Gamer and Hecht (2007)) refers to a psychophysical index
82 characterizing the extent of gaze deviations that participants may interpret as a direct gaze. The CoDG can
83 be calculated in a gaze categorization task consisting of presenting faces with direct, completely deviated
84 or intermediate (i.e., ambiguous) gaze directions. Participants are then asked to indicate for each gaze
85 direction whether the presented faces are looking to their left, straight ahead or to their right, respectively.
86 The width of the gaze cone is determined from the crossover points between the response proportion for
87 the direct and left gaze direction and the response proportion for direct and right gaze direction. A wide cone
88 corresponds to an increased probability of perceiving a direct gaze, while a narrow cone is associated with
89 an increased probability of perceiving a gaze directed at the environment (Ewbank et al., 2009). Some
90 studies reported a wider CoDG (i.e., observers perceived faces looking at them over a wider range of gaze
91 directions) in response to angry faces compared to fearful and neutral faces (Lobmaier et al., 2008; Ewbank
92 et al., 2009). Lobmaier et al. (2008) found that happy faces are more likely to be interpreted by the observer
93 as looking at them than angry, fearful, or neutral faces. A narrower CoDG is observed in response to fearful
94 faces compared to neutral and angry faces (Jun et al., 2013). In addition, other factors may modulate the
95 perception of the direct gaze direction. For instance, changes in distance to others may affect gaze direction
96 processing : the further away the individual stands from the face, the more likely they will perceive the
97 gaze as directed at them (Gamer and Hecht, 2007). Furthermore, when situations are uncertain or when
98 visual information is reduced, individuals tend to perceive the gaze as directed at them (Mareschal et al.,
99 2013). Internal factors such as the observer's personality traits and emotional states may also modulate their
100 perception of gaze direction. In participants with high anxiety-trait scores, a wider CoDG was observed in
101 response to angry expressions (compared to fearful and neutral expressions). Also, a narrower CoDG was
102 reported in participants with high anxiety-trait scores in response to fearful faces (compared to individuals
103 with low anxiety-trait scores), thus suggesting hypervigilance towards a potential threat coming from the
104 environment (Hu et al., 2017). A wider CoDG was observed in participants with social phobia viewing
105 neutral faces when compared with healthy participants (Gamer et al., 2011). Additionally, Mathews et al.
106 (2003) showed that attention was guided by the deviated gaze in fearful faces more than in neutral faces,
107 but only in high anxious-trait participants.

108 Thus, emotion combined with gaze direction constitute essential cues to process the environment since
109 they simultaneously allow observers to evaluate others' intentions and detect external cues that may be
110 favorable or unfavorable or even represent a threat to them. From an evolutionary perspective, these
111 mechanisms are essential and ensure the adoption of adaptive behaviors such as approaching appetitive
112 stimuli and avoiding aversive stimuli, thus promoting the survival of the species (Darwin, 1872; Elliot,
113 2006). As observers decode facial signals in a context of social interaction, different motivational responses
114 are triggered, thus leading observers to opt for specific action tendencies such as approaching affiliative or
115 pro-social situations (e.g., a happy face) or avoiding threatening situations (e.g., an angry or happy face)
116 (Gea et al., 2014; Kim et al., 2015). Whenever some emotional stimulus is displayed in an individual's

117 perceptual field, observable slight postural changes are likely to precede the action in real life, or "spring to
118 action" (Elliot, 2006). These variations can be considered as an objective measure of action tendencies
119 and may be collected by using a force platform assessing postural control (Lebert et al., 2020). Massion
120 (1994) characterizes postural control as a coordinated adjustment of the different body segments through
121 muscle tone, whose multiple functions include stabilization and body orientation in space. Balance is
122 maintained by keeping the center of gravity in the inner part of the sustentation polygon base (i.e., the area
123 bounded by the feet). The center of gravity is a hypothetical, non-material point, and therefore difficult
124 to study. Postural measurements often substitute the study of the gravity center with the analysis of the
125 standing subject's pressure center displacements. According to Lelard et al. (2019), Center of Pressure
126 displacements on the antero-posterior axis (CoP-Y) allow for the quantification of approach and avoidance
127 behaviors. CoP-Y forward displacements may be associated with an approach tendency, whereas CoP-Y
128 backward displacements may be identified as an avoidance tendency. In addition, CoP displacements allow
129 for the calculation of several parameters that can each quantify postural stability, namely, area, total sway
130 path length and standard deviations of CoP on the medio-lateral (SD-X) and antero-posterior (SD-Y) axes.

131 There appears to be no consensus today on the results from studies that have investigated the effect of
132 emotional stimuli (i.e., static faces, dynamic faces, scenes) on postural stability and approach-avoidance
133 behaviors. Some studies found reduced body sway (i.e. greater postural stability) indexed by smaller area,
134 length and/or SD-X/SD-Y in participants who were exposed to unpleasant pictures in comparison to neutral
135 and/or pleasant pictures (Azevedo et al., 2005; Facchinetti et al., 2006; D'Attilio et al., 2013). Stins and
136 Beek (2007) replicated this effect but only with participants in unipedal position while Hagenars et al.
137 (2014) showed a decrease in length in response to unpleasant films, but not to pleasant or neutral films.
138 Finally, the perception of angry faces that resulted in a marked decrease in SD-Y has been interpreted
139 as a freezing behaviour (Roelofs et al., 2010). Freezing behavior can be described as a "physiological
140 and somatic preparation for physical movement" first enabling the detection of relevant information, then
141 mobilizing the whole body, and ultimately triggering "fight or flight" behaviors (Elliot, 2006; Lang and
142 Bradley, 2010). D'Attilio et al. (2013) reported increased area and speed in response to pleasant pictures.
143 Comparably, Brandão et al. (2016) found that the length and speed increased in participants who were
144 shown pleasant and unpleasant films or pictures relative to neutral conditions. Regarding the approach-
145 avoidance behavior, previous studies demonstrated that mutilation pictures led to a backward leaning in
146 comparison with neutral and/or pleasant stimuli (Hillman et al., 2004; Lelard et al., 2014). While Eerland
147 et al. (2012) observed an approach behavior in response to pleasant pictures and an avoidance behavior
148 in response to unpleasant picture, Perakakis et al. (2012) identified an avoidance of pleasant, unpleasant
149 and neutral pictures. In addition, Gea et al. (2014) showed an approach behavior in participants exposed
150 to happy and pain dynamic faces. Other studies found little or no emotion effect on the CoP-Y (Azevedo
151 et al., 2005; Stins and Beek, 2007; Lebert et al., 2020).

152 Finally, postural control was also found to be affected by participant's emotional states, such as anxiety,
153 empathy or fear of falling (Roelofs et al., 2010; Gea et al., 2014; Lelard et al., 2014; Lebert et al., 2020). For
154 instance, Roelofs et al. (2010) found that the decrease in the participants' body sway was correlated with
155 their anxiety level. As the empathy score rose, as Gea et al. (2014) observed in their study, the approach
156 behavior increased in response to happy faces. Lebert et al. (2020) found that high levels of extroversion
157 and neuroticism were associated with an avoidance behavior of fear and anger. As the cognitive empathy
158 and emotional responsiveness score rose, as Lebert et al. (2020) demonstrated, the avoidance behavior
159 increased in response to anger and disgust.

160 1.1 Study goals

161 This study aims primarily to gain further knowledge of how the combination of others' gaze direction
162 across a range of gaze directions (direct or deviated) and emotional facial expressions (i.e., happiness,
163 fear, anger, sadness, disgust and neutrality) impact the observer's gaze perception and postural control.
164 To that end, we set up a protocol allowing for the exploration of emotion effect on gaze perception while
165 considering the participants' individual traits and states using personality questionnaires. Participants were
166 asked to categorize the gaze of each facial expressions across a range of gaze deviations (-9, -6, -3, 0, +3,
167 +6, +9 pixels) while completing specific tasks through different steps. First, participants completed an
168 initial gaze categorization task. We then measured postural sway in response to faces with either direct
169 or completely deviated gaze directions. After each of the postural blocks participants performed again
170 the gaze categorization task, thus allowing us to examine whether the previously seen blocks influenced
171 gaze perception. We used the CoDG psychophysical index to refer to the width over which an observer
172 feels someone's gaze is directed at them. Examining closely the CoP postural parameters, we investigated
173 the emotions effect combined with a direct or a deviated gaze on postural stability and action tendencies.
174 We also attempted to find out whether the CoDG and the postural control may be modulated by some
175 individuals' traits and states. Our research question may be stated as follows : How can others' emotions
176 (i.e., happiness, fear, anger, sadness, disgust and neutral) and gaze direction (direct or deviated) affect
177 individuals' gaze perception and postural control on the grounds of personality traits (i.e., anxiety, anger
178 and Big Five)?

179 To address this issue, we hypothesized that emotions conveyed by faces may affect gaze perception.
180 In accordance with previous studies (Lobmaier et al., 2008; Ewbank et al., 2009; Jun et al., 2013), we
181 predicted a wider CoDG in response to angry and happy faces, and a narrower CoDG in response to fearful
182 faces. Since disgusted faces may be considered as an avoidance-oriented expression, as Adams and Kleck
183 (2005) showed, we expected a narrow CoDG in response to this emotion. Furthermore, in some studies,
184 neutral faces may be considered as approach-oriented or avoidance oriented (Adams and Kleck, 2005;
185 Willis et al., 2011). In addition, sad faces express a high degree of vulnerability (Hess et al., 2000) and
186 may be associated with a pro-social intent. However, Willis et al. (2011) interpreted this expression as
187 avoidance-oriented. Therefore, we examined the CoDG in response to these two emotions in an exploratory
188 way. We also hypothesized the perception of postural blocks presenting either a direct or a deviated gaze
189 as accentuating the width/narrowness of the cone in accordance with the related motivational tendencies.
190 For instance, the CoDG in response to anger (related to approach) was anticipated to be wider after seeing
191 angry faces with a direct gaze compared to a deviated gaze (Adams and Kleck, 2003).

192 Relying on some key studies on postural stability (Azevedo et al., 2005; Facchinetti et al., 2006; D'Attilio
193 et al., 2013; Hagenars et al., 2014), we assumed that threatening emotions (i.e., angry, fearful and disgusted
194 faces), being powerful cues, would lead to a decrease in the Area, and even more so when associated with
195 the gaze direction sharing the same approach-avoidance motivational orientation. Given that happy and
196 neutral faces are better perceived with a direct gaze and that sad faces is better perceived with a deviated
197 gaze, we assumed that these conditions would likely lead to increased postural instability (Adams and
198 Kleck, 2003, 2005; Sander et al., 2007; Willis et al., 2011; Pönkänen and Hietanen, 2012). Furthermore,
199 we foresaw emotions to have some significant effects on the CoP-Y. In accordance with Gea et al. (2014),
200 we hypothesized approach behavior to be triggered by happy and sad faces relative to other emotions.
201 Considering that results on other emotions in the literature have long been a matter of debate, our hypotheses
202 were essentially exploratory. Also, we assumed that approach and avoidance behaviors could be modulated
203 by individual traits and states. In line with previous studies (Roelofs et al., 2010; Ponari et al., 2013; Lelard

204 et al., 2014; Hu et al., 2017; Lebert et al., 2020), we further conducted exploratory analysis to examine
205 whether the CoDG and postural control parameters may be modulated by some individuals' traits and
206 states.

2 MATERIALS AND METHODS

207 2.1 Participants

208 Eighty undergraduate participants in total were enrolled in this study. Participants with neurological,
209 psychiatric or postural disorders (scoliosis, recent surgery, etc) or with a depression score over 17 at
210 the Beck Depression Inventory (Beck et al., 1996) were not included in the study. The significant cut-
211 off regarding the depression score is often used in studies involving emotions owing to the fact that
212 emotional processing can be affected by the presence of significant depressive symptoms (Chaby et al.,
213 2015; Dalili et al., 2015). The data from ten participants were removed because they did not perform the
214 gaze categorization correctly (CoDG not treatable since participant provided the same answers irrespective
215 of the conditions). In addition, five participants with stabilometric parameters values greater than three
216 standard deviations beyond the group average were excluded from the following analysis. We also inspected
217 the individual time courses of the CoP-Y and excluded data from thirteen participants showing some loss
218 of postural stability due to erratic movements (moving their lower limbs, self-touching, etc). Finally, the
219 data from fifty-two participants (46 females ; 6 males) were analyzed (mean age= 20.3 \pm 2.7 years old). All
220 participants had normal or corrected-to-normal vision.

221 The study protocol was approved by the ethics committee from the Université de Paris (reference number
222 n°IRB : 20130500001072). All participants were informed about the procedure prior to the experiment and
223 provided their written informed consent. Participants received course credits for their participation.

224 2.2 Self-report measures

225 The assessment of individual traits and states was carried out using several self-questionnaires. The
226 *STAI-Y* (Spielberger, 1993) consisted of 40 items, half of the items assessed state anxiety while the other
227 half measured trait anxiety. The *STAXI-II* (Spielberger, 1999) was composed of three parts : the first part
228 (15 items) assessed state anger while the second part (10 items) measured trait anger. For the third part,
229 participants completed 32 items by checking the box that best described their usual reactions when they
230 are angry. Finally, the *BIG Five BFI-FR* (Plaisant et al., 2010) consisted of 44 questions assessing the five
231 core human personality traits of neuroticism (avoidance behavior and emotional instability), extraversion
232 (approach tendency and positive emotionality), openness (tolerance and novelty attraction), agreeableness
233 (altruism and high regard for relationships with others), and conscientiousness (inhibition, control and low
234 impulsivity).

235 2.3 Stimuli

236 In this study, face stimuli were color virtual expressive Caucasian faces from different genders and
237 intensities. Faces had been generated using the FaceGen Modeller 3.5 software. The hair was removed
238 so that only the central face area was visible. A pre-test was conducted from an independent sample of
239 fifty participants who evaluated 456 Caucasian faces of both young males and females (nineteen identities
240 * four intensities * six emotions). Participants were asked to identify the emotion and to rate (using a
241 10-point Likert scale) the intensity and the natural appearance of the face on a range from 1 (not at all)
242 to 10 (very much). Based on the percentage of correct answers and considering the homogeneity of the
243 different intensities and the degree of naturalness of the face, ten identities were selected (5 women, 5 men),
244 each one expressing six facial expressions (joy, fear, anger, sadness, disgust and a neutral expression).

245 Regarding the gaze categorization task, the gaze direction of each face was modified using Facegen. The
246 iris position of both eyes was shifted by 3, 6, or 9 pixels to the left or to the right (similar to Ewbank et al.
247 (2009)).

248 **2.4 Material**

249 Gaze categorization was performed using a Microsoft SideWinder Plug and Play GamePad (USB) joystick.
250 The antero-posterior (AP) and medio-lateral (ML) displacements of the CoP were recorded using a force
251 platform (AMTI : AccuSway+®) and allowed the calculation of the following postural parameters : i) the
252 surface area of the CoP displacements (in cm²), ii) the mean position of the CoP on the antero-posterior
253 axis (CoP-Y, in cm). The Area provided a measure of postural stability while the mean CoP-Y provided
254 information about the displacement toward, or away from the stimuli and could therefore be considered as
255 an index of the action tendencies. Data were collected at a frequency of 100 Hz. Faces were projected on
256 a Dell screen (1920*1200 pixels resolution), placed at a distance of 1 meter from every participant and
257 positioned at eye height.

258 **2.5 Procedure**

259 The experimental procedure was performed in a quiet room with a constant luminosity and was divided
260 into 4 steps i) initial gaze categorization without postural recording, ii) self-questionnaire, iii) postural
261 passive viewing task of a blank screen and a fixation cross, iv) alternation of passive viewing of faces with
262 postural recording and a gaze categorization task without postural recording (see Figure 1)

263 [Insert Figure 1 about here]

264 **2.5.1 Initial gaze categorization**

265 Participants first signed a written consent form and completed health and depression questionnaires. They
266 were then placed on a force platform with their feet hip-width apart and their arms at their sides to maintain
267 a comfortable posture. The position of each foot was marked on the platform to ensure the reproducibility
268 of the posture.

269 Subsequently, participants performed an initial gaze categorization task. Using the left, middle and right
270 buttons on the joystick, they indicated whether they considered the face looked to their left, their right, or
271 straight ahead. This task consisted of 504 trials presented randomly : 6 identities (from the 10 identities)
272 repeated twice * 6 emotions* 7 gaze directions. After completing the gaze categorization, participants filled
273 out the questionnaires.

274 **2.5.2 Postural passive viewing task of an empty screen and a fixation cross**

275 At this point, participants moved back to the force platform while their postural data were recorded as
276 they performed a passive task : viewing an empty screen and a fixation cross for 30 seconds each.

277 **2.5.3 Alternating the postural passive viewing of faces with the gaze categorization task**

278 We created twelve blocks of emotional faces, each including two tasks. Firstly, in the postural passive
279 viewing task, several postural parameters were recorded while participants passively viewed emotional
280 faces with either a direct gaze or a deviated gaze. Secondly, participants performed gaze categorization,
281 without postural recording. The procedure for each experimental block is detailed below.

282 To begin with, the postural recording started with the fixation cross appearing on the screen for 2000
283 ms. Then the fixation cross was followed by faces from the ten different identities displaying one of
284 the six emotions, with either a direct gaze or a deviated gaze (maximum deviation of 9 pixels allowing
285 little or even no ambiguity as to the deviation of the gaze direction) lasting 30 seconds. Participants were
286 instructed to simply look at the faces while keeping a natural position with their arms positioned along
287 the body. At the end of the postural recording, participants were instructed to categorize the emotion

288 perceived using the predefined list of the 6 possible expressions, and to rate the intensity of that emotion on
289 a 5-point scale. Participants then performed a similar gaze categorization as in the first step but only with
290 the emotion presented in the preceding passive viewing task. Each block consisted of 84 trials including
291 one of the six emotions displayed with the seven gaze directions and was presented twelve times. All
292 stimuli were presented in a randomized order to each participant. The order of presentation for each block
293 was counterbalanced across subjects with identical conditions maintained in no more than two consecutive
294 trials. The task was programmed and implemented using Opensesame (Mathôt et al., 2012).

295 **2.6 Statistical analysis**

296 Primary statistical analyses entailed exploring CoDG width. The calculation of the CoDG allowed for the
297 determination of three logistic functions that provided information on the probabilities for an individual to
298 categorize a gaze as either direct, left or right at any given moment (see Figure 2). Based on this calculation,
299 we defined two thresholds corresponding to the crossover points between the fitted direct and right functions
300 and the crossover point between the fitted direct and left functions. These thresholds delimited the cone
301 and thus determined its width. As the laws of psychophysics have demonstrated, a widening of the direct
302 gaze cone corresponds to increased probabilities for perceiving a direct gaze, whereas the narrowing of this
303 cone is linked to increased probabilities for perceiving a deviated gaze (Ewbank et al., 2009).

304 [Insert Figure 2 about here]

305 Subsequently, we conducted a repeated measures analysis of variance (ANOVA) on the CoDG width
306 using 3 (Gaze categorization steps : initial gaze categorization, gaze categorization after viewing direct
307 gaze - deviated gaze) x 6 (Emotions : happy, fear, anger, sadness, disgust and neutral expression) conditions.
308 Planned comparisons were used for paired comparisons and Spearman correlation coefficients between
309 CoDG width and scores related to individual traits were also computed.

310 Secondary analyses entailed exploring the following postural parameters variations : the Area indexing
311 the postural stability, the CoP-Y reflecting action tendencies behaviors. These postural parameters were
312 analyzed using 2 (Gaze directions : direct gaze, deviated gaze) x 6 (Emotions : happy, fear, anger, sadness,
313 disgust and neutral expression) repeated measures analysis of variance (ANOVA). Planned comparisons
314 were used for paired comparisons. Furthermore, correlation coefficients between postural parameters and
315 individual traits were computed. All the analyses were performed using the R-statistical environment
316 software (R Core Team, 2013). ANOVAs were computed using the “afex” package (Singmann et al., 2015),
317 then planned comparisons were performed with the “emmeans” package (Lenth, 2019). To provide clarity,
318 the corrected degrees of freedom were reported, with the p value aligned with the Huynh-Feldt adjustment.
319 Spearman correlations were computed to further explore the relationship between individual traits and
320 CoDG width or postural parameters. A significance level of $p = .05$ was used for all statistical analyses.

321 **2.7 Results**

322 **2.7.1 CoDG**

323 First, we examined whether the CoDG width was influenced by the Emotions and the Gaze categorization
324 steps. The ANOVA revealed a main effect of the Emotions ($F(4.57, 233.13) = 16.61, p < .001$), a main
325 effect of the Gaze categorization steps ($F(1.70, 86.62) = 11.35, p < .001$), and a Gaze categorization steps *
326 Emotions interaction ($F(8.13, 414.39) = 3.03, p < .005$). Interestingly (see Figure 3), the CoDG in response
327 to fearful faces ($M = 6.72, SE = 0.30$) was significantly narrower than the CoDG with all the other emotions
328 ($M = 7.88, SE = 0.27$), $p < .001$. The angry ($M = 8.14, SE = 0.29$) and disgust ($M = 8.11, SE = 0.35$)
329 CoDGs did not differ from each other ($p > .05$) but were significantly wider ($M = 8.12, SE = 0.3$) in regard
330 to neutral, happy, and sad CoDGs ($M = 7.71, SE = 0.26$), $p < .001$. Furthermore, the CoDG width did not

331 differ in response to neutral ($M = 7.66$, $SE = 0.30$) and happy faces ($M = 7.76$, $SE = 0.27$), nor with sad
332 faces ($M = 7.71$, $SE = 0.27$).

333 Planned comparisons revealed that the CoDG was wider in the initial gaze categorization ($M = 8.10$
334 $SE = 0.30$) than after viewing direct/deviated gaze in postural blocks ($M = 7.26$, $SE = 0.29$), $p < .001$.
335 This interaction showed that this difference was only significant for some emotions : happy (initial gaze
336 categorization : $M = 8.36$, $SE = 0.32$; after viewing direct/deviated gaze : $M = 7.15$, $SE = 0.32$, $p < .001$),
337 fearful (initial gaze categorization : $M = 7.25$, $SE = 0.32$; after viewing direct/deviated gaze : $M = 6.18$,
338 $SE = 0.35$, $p < .001$), sad (initial gaze categorization : $M = 8.08$, $SE = 0.30$; after viewing direct/deviated
339 gaze : $M = 7.35$, $SE = 0.30$, $p < .02$) and disgusted (initial steps : $M = 8.73$, $SE = 0.40$; after viewing
340 direct/deviated gaze : $M = 7.49$, $SE = 0.35$, $p < .001$) faces. Although the CoDG width did not generally
341 differ after direct gaze ($M = 7.20$, $SE = 0.31$) or deviated gaze ($M = 7.33$, $SE = 0.28$) in postural blocks
342 ($p = .36$), planned comparisons revealed some differences. More specifically, the observed CoDG in response
343 to happy and disgusted faces after the viewing of a deviated gaze in postural blocks (happy faces : $M =$
344 7.51 , $SE = 0.34$; disgusted faces : $M = 7.89$, $SE = 0.37$) was wider than was the CoDG after the viewing of
345 a direct gaze in postural blocks (happy faces : $M = 6.78$, $SE = 0.35$; disgusted faces : $M = 7.09$, $SE = 0.45$),
346 all $p < .05$. Conversely, the observed CoDG in response to angry faces after the viewing of a deviated gaze
347 in postural blocks ($M = 7.58$, $SE = 0.36$) was narrower than was the CoDG after the viewing of a direct
348 gaze in postural blocks ($M = 8.26$, $SE = 0.39$), $p < .02$.

349 [Insert Figure 3 about here]

350 We further explored whether individual variables could modulate CoDG width. To achieve this, we
351 examined correlations between CoDG width with scores obtained from the different self-report measures.
352 Interestingly, the CoDG width appeared to be related to depressive symptoms and anxiety trait scores. As
353 participants displayed fewer depressive symptoms (BDI-II), the CoDG became wider in response to angry
354 ($r = -.28$, $p < .05$) and sad faces ($r = -.31$, $p < .03$) (all steps averaged together), and to disgust ($r = -.28$,
355 $p < .05$) and neutral ($r = -.29$, $p < .05$) faces after the viewing of a deviated gaze in postural blocks. In
356 addition, as the anxiety state score rose, the narrowing of the CoDG increased in response to sad faces after
357 the viewing of a deviated gaze postural blocks ($r = -.42$, $p < .005$).

358 2.7.2 Postural parameters

359 As participants were liable to move on both the ML and AP axes during the presentation of the initial
360 fixation cross, the postural data were baseline-corrected. All trials started from the same coordinates (0.0) at
361 the beginning of the emotional stimuli presentation. It should be noted that the order of blocks presentation
362 did not have any effect on postural parameters nor did they interact significantly with the gaze directions or
363 the emotions for any of the analyzed postural parameters.

364 First, we compared the Area in response to the three types of stimuli (empty screen, fixation cross and
365 social stimuli by averaging the six emotions * two directions) to check whether the presence of a more
366 complex stimulation on the screen would lead to a poorer postural stability. The ANOVA performed on the
367 Area showed a main effect of the stimulus type ($F(1.85, 94.47) = 15.13$, $p < .001$). Planned comparisons
368 revealed that the Area significantly increased in response to social stimuli ($M = 2.07$, $SE = 0.21$) relative to
369 an empty screen and a fixation cross averaged together ($M = 1.22$, $SE = 0.12$), $p < .001$.

370 Secondly, we examined whether the overall postural stability (Area) and the approach-avoidance tenden-
371 cies (indexed by the CoP-Y) were influenced by the gaze direction and the emotions. The 2 (Gaze direction :
372 direct and deviated) x 6 (Emotions : happy, fear, anger, sadness, disgust and neutral expression) ANOVA
373 performed on the Area did not show any Gaze direction effect ($F(1, 51) = 3.21$, $p > .05$) nor any Emotions

374 effect ($F(4.41, 225.16) = 0.69, p > .05$). However, we observed some significant interaction between Gaze
375 direction and Emotions ($F(4.71, 240.28) = 6.10, p < .001$) (see Figure 4). Planned comparisons showed an
376 increase in Area in response to happy and neutral faces with a deviated gaze (happy : $M = 2.35, SE = 0.38$;
377 neutral : $M = 2.61, SE = 0.35$) relative to a direct gaze (happy : $M = 1.70, SE = 0.21$; neutral : $M = 1.61,$
378 $SE = 0.25$). Conversely, the Area increased in response to sad faces with a direct gaze ($M = 2.89, SE =$
379 0.34) relative to a deviated gaze ($M = 1.63, SE = 0.20$)

380 [Insert Figure 4 about here]

381 We further examined whether individual traits might modulate the postural stability of participants. A
382 high score of agreeableness (BFI) was associated with an increase in the Area in response to happy ($r =$
383 $.29, p < .05$) and angry ($r = .30, p < .05$) faces with a direct gaze. As the STAXI-ECI score (indexing of the
384 anger expression towards ourselves) rose, the Area decreased in response to disgusted (area : $r = -.33, p$
385 $< .02$) and sad faces (area : $r = -.28, p < .05$) with a direct gaze and neutral faces with a direct (area : $r =$
386 $-.36, p < .01$) and a deviated gaze (area : $r = -.29, p < .05$).

387 Finally, we did not observe any Emotions ($F(4.14, 261.09) = 1.78, p > .05$) or Gaze direction ($F(4.14,$
388 $261.09) = 1.78, p > .05$) effect nor any Faces movements * Emotions interaction ($F(4.54, 285.91) = 1.73,$
389 $p > 0.05$) on the CoP-Y (see Figure 5). Interestingly, some correlations between CoP-Y and individuals
390 traits emerged. A high score of Openness (BFI) was associated with an approach behavior in response
391 to happy faces with a deviated gaze ($r = .45, p < .001$). Conversely, a high score of Agreeableness was
392 associated with an avoidance behavior in response to happy faces with a deviated gaze ($r = -.29, p < .05$).
393 As the Neuroticism score rose, participants avoided fearful faces with a direct gaze ($r = -.43, p < .01$). A
394 high score of anger trait was associated with an approach behavior in response to happy faces with a direct
395 gaze ($r = .25, p < .05$). Furthermore, a high score of anxiety state was associated with an approach behavior
396 in response to neutral faces with a deviated gaze ($r = .28, p < .05$).

397 [Insert Figure 5 about here]

398 2.8 Discussion

399 Successful social interactions are partly based on the combinatory process of relevant emotional cues of
400 others such as emotional faces and gaze direction. Emotional expressions and gaze direction reflect the
401 behavioral intentions of others and trigger differentiated motivational orientations in the observer such as
402 approach-avoidance action tendencies. To our knowledge, no study to date has examined the perception of
403 gaze direction with such a large panel of emotions while considering the influence of individual variables.
404 Also, no author has studied the influence of emotional faces - exhibiting a direct or a completely deviated
405 gaze - on postural control by considering changes in body center of pressure (CoP) displacements. This
406 study aims primarily to better understand how the gaze direction of others in combination with emotional
407 facial expressions may impact the observer's gaze perception and postural control. A central point in our
408 study is to explore possible modulations between emotions and gaze perception while considering stable
409 personality traits and emotional states (i.e., anxiety, anger and Big Five). To this end, the range of gaze
410 deviations participants interpreted as looking directly at them was measured using a psychophysics index
411 (i.e., CoDG) in response to six facial expressions (happy, fearful, angry, disgusted, sad and neutral faces)
412 during an initial gaze categorization task, and after viewing faces with either a direct or a deviated gaze.
413 In addition, participants' postural oscillations in response to emotional faces with a direct or a deviated
414 gaze were measured using a force platform in order to index postural stability and approach-avoidance
415 behaviors. Specific self-reports were used to assess participants' personality traits and emotional states.

416 Our first finding was that the gaze direction perceived by participants was influenced by the displayed
417 emotion. As anticipated, our study confirms Ewbank et al. (2009) and Jun et al. (2013) findings : wider
418 CoDGs were observed after the viewing of angry and disgusted faces while a narrower CoDG was observed
419 with fearful faces. Both fear and anger expressions signal a threat but from different sources, coming
420 respectively from the environment and from the sender. While we expected disgusted faces to signal an
421 avoidance orientation and lead to a narrower CoDG (Adams and Kleck, 2005), we observed a similar CoDG
422 width in response to disgusted faces and angry faces. These unexpected results may be due to the fact that
423 behavioral reactions to disgusted faces have been reported to be rather complex. Disgust might trigger
424 approach or avoidance behaviors depending on the sources : danger of food consumption, social rejection,
425 or socio-moral violations situations (Seidel et al., 2010; Willis et al., 2011). Furthermore, neutral, happy and
426 sad CoDGs were wider than a fearful CoDG but narrower than angry and disgusted CoDGs. These findings
427 reinforce the notion that happy and neutral faces may be considered as approach-oriented emotions (Willis
428 et al., 2011) and support the view that fearful and sad faces may be considered as pro-social intentions.

429 In addition, we observed an effect of gaze categorization steps on the CoDG width. However, this factor
430 interacts significantly with the emotions conveyed by faces. More specifically, the CoDG was wider during
431 the initial categorization task than after the previous passive viewing of emotional faces with a direct or
432 a deviated gaze (i.e., postural block), but only in response to happy, sad, fearful and disgusted faces. As
433 discriminating gaze direction is a complex task to achieve in everyday life, especially when the gaze is
434 ambiguous, we assumed that participants in the initial trials would interpret the facial gaze as being more
435 directed at them than in subsequent trials. More interestingly, no similar effect was found with angry or
436 neutral faces. Anger was a specific case since it represented a threat to the observer. Therefore, there was
437 some behavioral relevance for individuals to interpret spontaneously the ambiguous gaze as a direct gaze
438 from an adaptive point of view. While recognizing a neutral expression, participants fixated on the eye
439 region for a longer period of time (Scheller et al., 2012). It may be assumed that by allocating more time to
440 the eye region, eye gaze discrimination had already been achieved during the initial categorization task.
441 Furthermore, the CoDG width did not generally change after the viewing of a direct gaze in postural blocks
442 or a deviated gaze in postural blocks. Overall, the pattern of width CoDG after the viewing of a deviated
443 gaze is similar to the pattern of width for the initial categorization task. Regarding the pattern of width
444 after the viewing of a direct gaze, we observed three significant differences. Happy and disgusted CoDGs
445 measured after the viewing of a direct gaze were narrower than CoDGs measured after the viewing of a
446 deviated gaze, and the pattern was inverted for the angry CoDG. In this case, our finding is consistent with
447 the literature as the previous viewing of angry faces with a direct gaze accentuated the width of angry
448 CoDG in comparison with the viewing of a deviated gaze in postural blocks. Indeed, angry faces with a
449 direct gaze signal a powerful threat to the observer since both social cues share an approach-motivation
450 (Adams and Kleck, 2003, 2005). Subsequently, the viewing of angry faces modulates the perception of the
451 gaze direction by increasing to a greater extent the participants' feeling of being looked at. However, based
452 on these assumptions, we expected CoDGs for happy and disgusted faces to be accentuated according to
453 their respective motivational tendencies. Contrary to our expectations, the observed pattern was inverted.
454 We therefore assumed that the viewing of disgusted faces with a direct gaze for 30 seconds would lead to
455 some discomfort for participants who could perceive themselves as the source of disgust. Therefore, we
456 assumed that participants would subsequently interpret disgust faces with a direct gaze as looking at the
457 environment (Seidel et al., 2010). The fact that the CoDG in response to happy faces after the viewing of a
458 deviated gaze in postural blocks was wider than after the viewing of a direct gaze in postural blocks and
459 proved difficult to explain.

460 Interestingly, the width of CoDGs was modulated by personality traits and emotional states. A low
461 score on the depression scale predicted wider CoDGs in response to angry and sad faces (irrespective
462 of the gaze categorization step) and in response to disgusted and neutral faces (after viewing a deviated
463 gaze in postural blocks). In other words, participants with higher depressive tendencies scores (but below
464 the pathological threshold) interpreted gaze directions as a gaze towards the environment in response to
465 neutral, sad, disgusted and angry faces. Although we did not include participants with high depression
466 score, this observation is consistent with Radke et al. (2014)'s observation revealing some significant
467 association between depressive symptoms and difficulties in behavioral adjustment in response to emotional
468 faces. Finally, a narrower CoDG in response to sad faces after the viewing of a deviated gaze in postural
469 blocks was measured in participants with high anxiety-state scores. According to Adams and Kleck
470 (2005), perception of sad faces with a deviated gaze is enhanced because it indicates social withdrawal
471 and dejection. Individuals with a high score of anxiety-state show feelings of apprehension, tension and
472 nervousness (Spielberger, 2010). As a result, such individuals could be biased in judging the gaze from sad
473 faces as a deviated gaze, even more so after viewing sad faces with a deviated gaze (i.e, social rejection
474 situation).

475 While other's emotion and gaze direction modulate the observers' perception indexed by the gaze
476 categorization task, they also impact the observers' motor adjustments as shown by postural measurements.
477 First, an effect of the stimulus type was characterized by postural instability (indexed by the surface area
478 of the COP displacements) in response to social stimuli found to be higher in response to the fixation
479 cross or in response to the empty screen. These results are consistent with studies that established a link
480 between balance and cognitive processing (Förster and Stepper, 2000; Lebert et al., under revision), as
481 the load of perceptual information presented to participants predicts their instability. We also expected
482 the surface area of the COP displacements to be modulated by emotions according to the gaze direction.
483 Indeed, we observed poorer postural stability in response to neutral and happy faces with a deviated gaze
484 (compared with a direct gaze) and in response to sad faces with a direct gaze (compared with a deviated
485 gaze). According to some previous studies (Adams and Kleck, 2005; Willis et al., 2011), happiness is
486 more accurately perceived in combination with a direct gaze, whereas sadness is more easily identified in
487 combination with a deviated gaze. Furthermore, several authors emphasize the facilitating effect of a direct
488 gaze on the perception of neutral and happy faces, as well as the associated approach motivation, which
489 may also account for the observations on the neutral emotion in our study (Willis et al., 2011; Pönkänen and
490 Hietanen, 2012). Instability associated with these emotions reveal the complexities of perceptual processing
491 due to the incongruence of facial expression with gaze direction. While the shared signal hypothesis implies
492 that the perception of an emotion is enhanced when gaze direction matches the underlying behavioral intent
493 communicated by the expression (Adams and Kleck, 2005), we show here that the emotion in conjunction
494 with gaze direction also plays a key role in the motor correlates as indexed by postural stability. The
495 absence of effects in response to angry and fearful faces - two emotions tightly linked to a sense of danger -
496 might be due to the phenomenon of freezing (Adams et al., 2006). Indeed, emotions from angry and fearful
497 faces are more likely to be processed irrespectively of the gaze direction, unlike other emotions, due to
498 their adaptive function

499 The surface area of the COP displacements, as it appeared in our study, is also influenced by certain
500 personality traits and emotional states. A high score of agreeableness was associated with an increase in
501 the Area in response to happy and angry faces with a direct gaze. As agreeableness is associated with
502 sympathy and compassion (DeYoung et al., 2007), this increase in postural instability might indicate
503 some sensitivity to a happy face looking directly at the observer, usually signaling an invitation to interact
504 socially. This agreeableness score might also reveal some sensitivity to an angry individual with a direct

gaze (perceived as a threat). As the STAXI-ECI score (i.e, the indexing of the anger expression towards ourselves) rose, the Area decreased in response to sad and disgusted faces with a direct gaze and in response to neutral faces with a direct or a deviated gaze. The ECI scale assesses how often the experienced anger is suppressed (Forgays et al., 1997). Participants who suppress their angry feelings would be more stable - or even freeze - in response to disgusted faces with a direct gaze, perceived as a direct threat to them. Interestingly, participants provided a similar response to sad faces with a direct gaze, indicating a high degree of vulnerability suggesting a need for help. Furthermore, neutral expressions may conceal some negative meaning (Tronick et al., 1998). As a result, the decrease in the participants' Area may be due to the repression of their angry feelings and desire for confrontation. Lastly, we did not identify any effects of emotions and gaze directions on the mean CoP-Y position. These results are consistent with the findings of previous studies showing little or no effect of emotions on CoP-Y (Azevedo et al., 2005; Stins and Beek, 2007; Horslen and Carpenter, 2011). Stins and Beek (2007), for instance, observed some modest forward shift of the CoP-Y in response to neutral and unpleasant pictures and no effect for pleasant pictures. Azevedo et al. (2005) and Horslen and Carpenter (2011) did not observe any emotion effect on the CoP-Y in response to pleasant or unpleasant stimuli. In addition, Lebert et al. (2020) did not report any effect of emotional faces on the CoP-Y but observed some correlations with individual traits. For instance, high extraversion and neuroticism scores were associated with an avoidance behavior of angry and fear conditions. Gea et al. (2014) reported an approach of happy and pain dynamic faces but also some positive correlation between "empathic concern" and increased amplitudes of forward body movements for happy faces or increased body sway movements for pain faces. Similarly, we observed that approach-avoidance tendencies were shaped by personality traits and emotional states. High scores of extraversion and openness refer to enjoyment of new experiences and to greater tolerance and were associated with an approach behavior in response to happy faces (McCrae and Costa, 1987; Rammstedt and John, 2007; Hughes et al., 2020). Conversely, neuroticism refers to being anxious and to avoidance or flight behaviors and is a good predictor of responding more strongly to negative events (Smits and Boeck, 2006; Schindler and Querengässer, 2019). Thus, the avoidance tendency observed in response to fearful faces with a direct gaze for participants with high neuroticism score is consistent with the literature. We also observed that participants with a high anger-trait score tend to approach happy faces with a direct gaze. As high anger-trait individuals are more prone to state anger and display high levels of approach motivation (Veenstra et al., 2017) and as happy expression and a direct gaze both indicate an approach-orientation, it may be assumed that participants are more likely to adopt an approaching behavior in this condition. Lastly, high anxiety-state scores were associated with an approach of neutral faces with a deviated gaze. According to the findings of LI et al. (2019), anxious participants would pay more attention to facial expressions than non-anxious participants. Thus, a neutral expression may be more difficult to interpret and even more so when associated with a deviated gaze since the neutral expression would trigger an approach-oriented behavior and would therefore be easier for participants to process than with a direct gaze. The identified approach behavior would then be underpinned by attentional mechanisms. As a result, the correlations established between personality traits and approach-avoidance tendencies suggest a great diversity of behaviors in response to the same stimulus, which may account for the lack of significant effect on the average displacement of the center of pressure on the Y axis.

2.9 Conclusion

Overall, this study expands our understanding of how emotional cues such as facial expression and the gaze direction of others modulate the gaze perception and postural control of participants. This research also shows how individual variables influence this process. To our knowledge, this is the first study to examine how emotional faces, including a large panel of emotions, and gaze deviation influence postural

550 control and the perceived gaze direction of others. Furthermore, the originality of this study lies in the
551 investigation of the crosslinks between perception and action that are modulated by individual traits and
552 states. Our results corroborate the idea that social cues such as emotional faces or gaze direction are
553 powerful vectors of information and drives for motivating social interactions. Using a psychophysics index
554 (i.e., CoDG), we demonstrated that threatening facial emotions, such as anger and disgust, increased the
555 participants' feelings of being looked at, more than other emotions. Conversely, the perception of the
556 gaze displayed by fearful faces, suggesting a threat, was interpreted as a deviated gaze. Moreover, some
557 individual variables also played a key role in the perception of the gaze direction : a low score on the
558 depression scale predicted wider CoDGs in response to angry and sad faces. We also observed some
559 specific adjustments of postural behaviors based on the displayed emotional stimuli. Participants were
560 more unstable in response to incongruent conditions such as the combination of neutral or happy faces
561 with a deviated gaze (although these are approach-oriented emotions) and sad faces with a direct gaze
562 (although this is an avoidance-oriented emotion). Therefore, the influence of emotion and gaze direction
563 on overall postural stability varies according to the motivational orientation associated with these two
564 social cues. In addition, some individual variables such as anger or agreeableness intensities influenced the
565 postural parameters used to quantify postural stability. It may also be assumed that the passive viewing
566 of emotional stimuli triggered specific action tendencies in the observer, subsequently modulating their
567 perception of the gaze direction. For instance, the passive viewing of angry faces with a direct gaze
568 increased the width of the cone associated with that emotion. These action tendencies were not observed
569 on the CoP-Y postural parameter, but personality traits and emotional states also played an important role
570 in approach and avoidance behaviors. High scores of extroversion and openness were associated with an
571 approach behavior in response to happy faces with a deviated gaze while participants with a high anger-trait
572 score tended to approach towards happy faces with a direct gaze. These various observations suggest that
573 perceptual processing and motor correlates are differentiated according to the combination of emotion and
574 gaze direction. The link between emotion and action is complex and needs to be considered through an
575 integrative approach that acknowledges the interaction between several individual factors.

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

576 The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial
577 relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

578 AL, LC and DVP involved in the conceptualization and experimental design for this project. AL, AG and
579 SC programmed the experiments, created the stimuli, ran the participants, processed the data and analyzed
580 the data. AL wrote the initial draft of the manuscript with revision from LC and DVP.

FUNDING

581 This work has been supported by the French National Agency (ANR) (In-PACT, project ANR-19-CE28-
582 0011).

ACKNOWLEDGMENTS

583 The authors thank all the subjects for their cooperation and Philippe Bardy for his editing and proofreading
584 work.

RÉFÉRENCES

- 585 Adams, R. B., Albohn, D. N., and Kveraga, K. (2017). Social Vision: Applying a Social-Functional
586 Approach to Face and Expression Perception. *Current Directions in Psychological Science* 26, 243–248.
587 doi :10.1177/0963721417706392
- 588 Adams, R. B., Ambady, N., Macrae, C. N., and Kleck, R. E. (2006). Emotional expressions forecast
589 approach-avoidance behavior. *Motivation and Emotion* 30, 177–186. doi :10.1007/s11031-006-9020-2
- 590 Adams, R. B. and Kleck, R. E. (2003). Perceived Gaze Direction and the Processing of Facial Displays of
591 Emotion. *Psychological Science* 14, 644–647. doi :10.1046/j.0956-7976.2003.psci_1479.x
- 592 Adams, R. B. and Kleck, R. E. (2005). Effects of Direct and Averted Gaze on the Perception of Facially
593 Communicated Emotion. *Emotion* 5, 3–11. doi :10.1037/1528-3542.5.1.3
- 594 Adams Jr., R. B. and Nelson, A. J. (2016). Eye behavior and gaze. In *APA handbook of nonverbal*
595 *communication* (Washington, DC, US : American Psychological Association), APA handbooks in
596 psychology®. 335–362. doi :10.1037/14669-013
- 597 Azevedo, T. M., Volchan, E., Imbiriba, L. A., Rodrigues, E. C., Oliveira, J. M., Oliveira, L. F., et al.
598 (2005). A freezing-like posture to pictures of mutilation. *Psychophysiology* 42, 255–260. doi :10.1111/j.
599 1469-8986.2005.00287.x
- 600 Beck, A. T., Steer, R. A., Ball, R., and Ranieri, W. F. (1996). Comparison of Beck Depression Inventories-
601 IA and-II in Psychiatric Outpatients. *Journal of Personality Assessment* 67, 588–597. doi :10.1207/
602 s15327752jpa6703_13
- 603 Bindemann, M., Mike Burton, A., and Langton, S. R. (2008). How do eye gaze and facial expression
604 interact? *Visual Cognition* 16, 708–733. Publisher : Taylor & Francis
- 605 Brandão, A. d. F., Palluel, E., Olivier, I., and Nougier, V. (2016). Effects of emotional videos on postural
606 control in children. *Gait & Posture* 45, 175–180. doi :10.1016/j.gaitpost.2016.01.017
- 607 Chaby, L., Boullay, V. L.-d., Chetouani, M., and Plaza, M. (2015). Compensating for age limits through
608 emotional crossmodal integration. *Frontiers in Psychology* 6. doi :10.3389/fpsyg.2015.00691. Publisher :
609 Frontiers
- 610 Dalili, M. N., Penton-Voak, I. S., Harmer, C. J., and Munafò, M. R. (2015). Meta-analysis of emotion
611 recognition deficits in major depressive disorder. *Psychological Medicine* 45, 1135–1144. doi :10.1017/
612 S0033291714002591
- 613 Darwin, C. (1872). The expression of emotions in animals and man. *London : Murray* 11, 1872
- 614 DeYoung, C. G., Quilty, L. C., and Peterson, J. B. (2007). Between facets and domains: 10 aspects of the
615 Big Five. *Journal of personality and social psychology* 93, 880. Publisher : American Psychological
616 Association
- 617 D’Attilio, M., Rodolfo, D., Abate, M., Festa, F., and Merla, A. (2013). Effects of Affective Picture
618 Viewing on Postural Control in Healthy Male Subjects. *CRANIO®* 31, 202–210. doi :10.1179/crn.2013.
619 031
- 620 Eerland, A., Guadalupe, T. M., Franken, I. H. A., and Zwaan, R. A. (2012). Posture as Index for
621 Approach-Avoidance Behavior. *PLoS ONE* 7, 5
- 622 Elliot, A. J. (2006). The Hierarchical Model of Approach-Avoidance Motivation. *Motivation and Emotion*
623 30, 111–116. doi :10.1007/s11031-006-9028-7
- 624 Ewbank, M. P., Jennings, C., and Calder, A. J. (2009). Why are you angry with me? Facial expressions of
625 threat influence perception of gaze direction. *Journal of Vision* 9, 16–16. doi :10.1167/9.12.16
- 626 Facchinetti, L. D., Imbiriba, L. A., Azevedo, T. M., Vargas, C. D., and Volchan, E. (2006). Postural
627 modulation induced by pictures depicting prosocial or dangerous contexts. *Neuroscience Letters* 410,
628 52–56. doi :10.1016/j.neulet.2006.09.063

- 629 Forgays, D. G., Forgays, D. K., and Spielberger, C. D. (1997). Factor structure of the state-trait anger
630 expression inventory. *Journal of personality assessment* 69, 497–507. Publisher : Taylor & Francis
- 631 Förster, J. and Stepper, S. (2000). Compatibility between approach/avoidance stimulation and valenced
632 information determines residual attention during the process of encoding. *European Journal of Social*
633 *Psychology* 30, 853–871
- 634 Gamer, M. and Hecht, H. (2007). Are you looking at me? Measuring the cone of gaze. *Journal*
635 *of Experimental Psychology : Human Perception and Performance* 33, 705. Publisher : American
636 Psychological Association
- 637 Gamer, M., Hecht, H., Seipp, N., and Hiller, W. (2011). Who is looking at me? The cone of gaze widens in
638 social phobia. *Cognition and Emotion* 25, 756–764. Publisher : Taylor & Francis
- 639 Gea, J., Muñoz, M. A., Costa, I., Ciria, L. F., Miranda, J. G. V., and Montoya, P. (2014). Viewing
640 Pain and Happy Faces Elicited Similar Changes in Postural Body Sway. *PLoS ONE* 9, e104381.
641 doi :10.1371/journal.pone.0104381
- 642 George, N. and Conty, L. (2008). Facing the gaze of others. *Neurophysiologie Clinique/Clinical*
643 *Neurophysiology* 38, 197–207. Publisher : Elsevier
- 644 Graham, R. and LaBar, K. S. (2007). Garner interference reveals dependencies between emotional
645 expression and gaze in face perception. *Emotion* 7, 296. Publisher : American Psychological Association
- 646 Hagensars, M. A., Roelofs, K., and Stins, J. F. (2014). Human freezing in response to affective films.
647 *Anxiety, Stress, & Coping* 27, 27–37. doi :10.1080/10615806.2013.809420
- 648 Hess, U., Blairy, S., and Kleck, R. E. (2000). The influence of facial emotion displays, gender, and ethnicity
649 on judgments of dominance and affiliation. *Journal of Nonverbal behavior* 24, 265–283. Publisher :
650 Springer
- 651 Hillman, C. H., Rosengren, K. S., and Smith, D. P. (2004). Emotion and motivated behavior: postural
652 adjustments to affective picture viewing. *Biological Psychology* 66, 51–62. doi :10.1016/j.biopsycho.
653 2003.07.005
- 654 Horslen, B. C. and Carpenter, M. G. (2011). Arousal, valence and their relative effects on postural control.
655 *Experimental Brain Research* 215, 27–34. doi :10.1007/s00221-011-2867-9
- 656 Hu, Z., Gendron, M., Liu, Q., Zhao, G., and Li, H. (2017). Trait Anxiety Impacts the Perceived Gaze
657 Direction of Fearful But Not Angry Faces. *Frontiers in Psychology* 8, 1186. doi :10.3389/fpsyg.2017.
658 01186
- 659 Hughes, D. J., Kratsiotis, I. K., Niven, K., and Holman, D. (2020). Personality traits and emotion
660 regulation: A targeted review and recommendations. *Emotion* 20, 63. Publisher : American Psychological
661 Association
- 662 Jun, Y. Y., Mareschal, I., Clifford, C. W., and Dadds, M. R. (2013). Cone of direct gaze as a marker of
663 social anxiety in males. *Psychiatry Research* 210, 193–198. doi :10.1016/j.psychres.2013.05.020
- 664 Kim, K., Rosenthal, M. Z., Gwaltney, M., Jarrold, W., Hatt, N., McIntyre, N., et al. (2015). A Virtual Joy-
665 Stick Study of Emotional Responses and Social Motivation in Children with Autism Spectrum Disorder.
666 *Journal of Autism and Developmental Disorders* 45, 3891–3899. doi :10.1007/s10803-014-2036-7
- 667 Lang, P. J. and Bradley, M. M. (2010). Emotion and the motivational brain. *Biological Psychology* 84,
668 437–450. doi :10.1016/j.biopsycho.2009.10.007
- 669 Lebert, A., Chaby, L., Garnot, C., and Vergilino-Perez, D. (2020). The impact of emotional videos and
670 emotional static faces on postural control through a personality trait approach. *Experimental Brain*
671 *Research* 238, 2877–2886. doi :10.1007/s00221-020-05941-5
- 672 Lebert, A., Vergilino-Perez, D., and Chaby, L. (under revision). Emotion as motion: How others' emotions
673 shape approach-avoidance tendencies and interpersonal distance. *Cognition and Emotion* Publisher :

- 674 Taylor & Francis
- 675 Lelard, T., Krystkowiak, P., Montalan, B., Longin, E., Bucchioni, G., Ahmaidi, S., et al. (2014). Influence
676 of postural threat on postural responses to aversive visual stimuli. *Behavioural Brain Research* 266,
677 137–145. doi :10.1016/j.bbr.2014.02.051
- 678 Lelard, T., Stins, J., and Mouras, H. (2019). Postural responses to emotional visual stimuli.
679 *Neurophysiologie Clinique* 49, 109–114. doi :10.1016/j.neucli.2019.01.005
- 680 [Dataset] Lenth, R. (2019). Package : Estimated marginal means, aka least-squares means
- 681 LI, W., HAN, S., LIU, S., YANG, Y., ZHANG, L., and XU, Q. (2019). Scene effects on facial expression
682 detection: The moderating effects of trait anxiety. *Acta Psychologica Sinica* 51, 869–878
- 683 Lobmaier, J. S., Tiddeman, B. P., and Perrett, D. I. (2008). Emotional expression modulates perceived gaze
684 direction. *Emotion* 8, 573. Publisher : American Psychological Association
- 685 Mareschal, I., Calder, A. J., and Clifford, C. W. G. (2013). Humans Have an Expectation That Gaze Is
686 Directed Toward Them. *Current Biology* 23, 717–721. doi :10.1016/j.cub.2013.03.030
- 687 Massion, J. (1994). Postural control system. *Current Opinion in Neurobiology* 4, 877–887. doi :10.1016/
688 0959-4388(94)90137-6
- 689 Mathews, A., Fox, E., Yiend, J., and Calder, A. (2003). The face of fear: Effects of eye gaze and emotion
690 on visual attention. *Visual cognition* 10, 823–835. Publisher : Taylor & Francis
- 691 Mathôt, S., Schreij, D., and Theeuwes, J. (2012). OpenSesame : An open-source, graphical experiment
692 builder for the social sciences. *Behavior research methods* 44, 314–324. Publisher : Springer
- 693 McCrae, R. R. and Costa, P. T. (1987). Validation of the five-factor model of personality across instruments
694 and observers. *Journal of personality and social psychology* 52, 81. Publisher : American Psychological
695 Association
- 696 Perakakis, P. E., Idrissi, S., Vila, J., and Ivanov, P. C. (2012). Dynamical patterns of human postural
697 responses to emotional stimuli: COP responses. *Psychophysiology* 49, 1225–1229. doi :10.1111/j.
698 1469-8986.2012.01392.x
- 699 Plaisant, O., Courtois, R., Réveillère, C., Mendelsohn, G., and John, O. (2010). Validation par analyse
700 factorielle du Big Five Inventory français (BFI-Fr). Analyse convergente avec le NEO-PI-R. *Annales*
701 *Médico-psychologiques, revue psychiatrique* 168, 97–106. doi :10.1016/j.amp.2009.09.003
- 702 Ponari, M., Trojano, L., Grossi, D., and Conson, M. (2013). “Avoiding or approaching eyes”? Intro-
703 version/extraversion affects the gaze-cueing effect. *Cognitive Processing* 14, 293–299. doi :10.1007/
704 s10339-013-0559-z
- 705 Pönkänen, L. M. and Hietanen, J. K. (2012). Eye contact with neutral and smiling faces: effects on
706 autonomic responses and frontal EEG asymmetry. *Frontiers in human neuroscience* 6, 122. Publisher :
707 Frontiers
- 708 R Core Team (2013). *R : A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical
709 Computing
- 710 Radke, S., Güths, F., André, J. A., Müller, B. W., and de Bruijn, E. R. (2014). In action or inaction? Social
711 approach–avoidance tendencies in major depression. *Psychiatry Research* 219, 513–517. doi :10.1016/j.
712 psychres.2014.07.011
- 713 Rammstedt, B. and John, O. P. (2007). Measuring personality in one minute or less: A 10-item short version
714 of the Big Five Inventory in English and German. *Journal of Research in Personality* 41, 203–212.
715 doi :10.1016/j.jrp.2006.02.001
- 716 Roelofs, K., Hagens, M. A., and Stins, J. (2010). Facing Freeze: Social Threat Induces Bodily Freeze in
717 Humans. *Psychological Science* 21, 1575–1581. doi :10.1177/0956797610384746

- 718 Russell, J. A. (1997). Reading emotions from and into faces: Resurrecting a dimensional-contextual
719 perspective. In *The Psychology of Facial Expression*, eds. J. A. Russell and J. M. Fernández-Dols
720 (Cambridge University Press). 1 edn., 295–320. doi :10.1017/CBO9780511659911.015
- 721 Sander, D., Grandjean, D., Kaiser, S., Wehrle, T., and Scherer, K. R. (2007). Interaction effects of perceived
722 gaze direction and dynamic facial expression: Evidence for appraisal theories of emotion. *European*
723 *Journal of Cognitive Psychology* 19, 470–480. doi :10.1080/09541440600757426
- 724 Scheller, E., Büchel, C., and Gamer, M. (2012). Diagnostic features of emotional expressions are processed
725 preferentially. *PloS one* 7, e41792. Publisher : Public Library of Science San Francisco, USA
- 726 Scherer, K. R. (2005). What are emotions? and how can they be measured? *Social science information* 44,
727 695–729
- 728 Schindler, S. and Querengässer, J. (2019). Coping with sadness-How personality and emotion regula-
729 tion strategies differentially predict the experience of induced emotions. *Personality and Individual*
730 *Differences* 136, 90–95. Publisher : Elsevier
- 731 Seidel, E.-M., Habel, U., Kirschner, M., Gur, R. C., and Derntl, B. (2010). The impact of facial emotional
732 expressions on behavioral tendencies in women and men. *Journal of Experimental Psychology : Human*
733 *Perception and Performance* 36, 500–507
- 734 [Dataset] Singmann, H., Bolker, B., Westfall, J., and Aust, F. (2015). Package ‘afex’
- 735 Smits, D. J. M. and Boeck, P. D. (2006). From BIS/BAS to the big five. *European Journal of Personality*
736 20, 255–270. doi :10.1002/per.583
- 737 Spielberger, C. (1993). *STAI-Y : Inventaire d’anxiété état-trait forme Y. Éditions du centre de psychologie*
738 *appliquée.* (centre de psychologie appliquée)
- 739 Spielberger, C. (1999). *State-Trait Anger Expression Inventory-2 : STAXI-2* (Psychological Assessment
740 Ressources)
- 741 Spielberger, C. D. (2010). State-trait anxiety inventory. *The Corsini encyclopedia of psychology* , 1–1
- 742 Stins, J. F. and Beek, P. J. (2007). Effects of affective picture viewing on postural control. *BMC*
743 *Neuroscience* 8, 83. doi :10.1186/1471-2202-8-83
- 744 Tronick, E. Z., Bruschiweiler-Stern, N., Harrison, A. M., Lyons-Ruth, K., Morgan, A. C., Nahum, J. P.,
745 et al. (1998). Dyadically expanded states of consciousness and the process of therapeutic change. *Infant*
746 *Mental Health Journal* 19, 290–299. doi :10.1002/(SICI)1097-0355(199823)19:3<290::AID-IMHJ4>3.0.
747 CO;2-Q
- 748 Veenstra, L., Schneider, I. K., Bushman, B. J., and Koole, S. L. (2017). Drawn to danger: trait anger
749 predicts automatic approach behaviour to angry faces. *Cognition and Emotion* 31, 765–771. doi :10.
750 1080/02699931.2016.1150256
- 751 Wicker, B., Perrett, D. I., Baron-Cohen, S., and Decety, J. (2003). Being the target of another’s emotion: a
752 PET study. *Neuropsychologia* 41, 139–146. Publisher : Elsevier
- 753 Willis, M. L., Palermo, R., and Burke, D. (2011). Social judgments are influenced by both facial expression
754 and direction of eye gaze. *Social cognition* 29, 415–429. Publisher : Guilford Press

FIGURE CAPTIONS

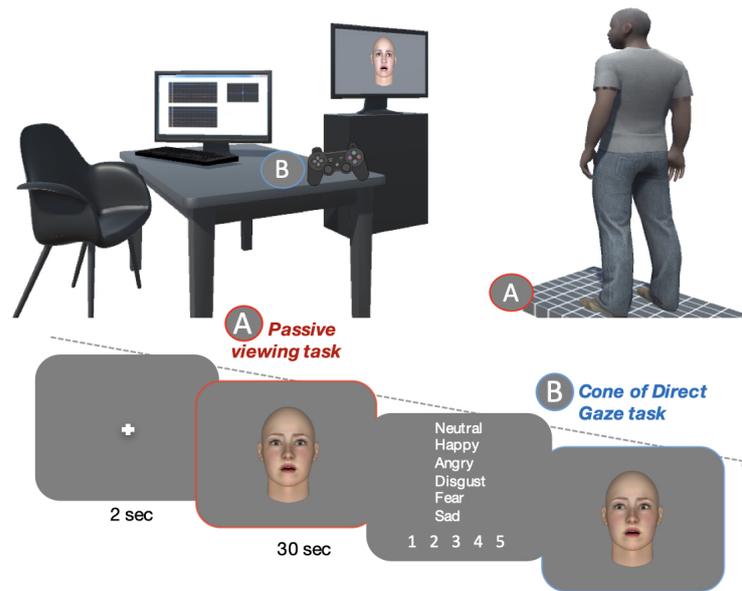


FIGURE 1. Schematic representation of the experimental tasks : Passive viewing task on the force platform (A) Gaze categorization using the joystick (B). The dotted arrow indicates the flow of time.

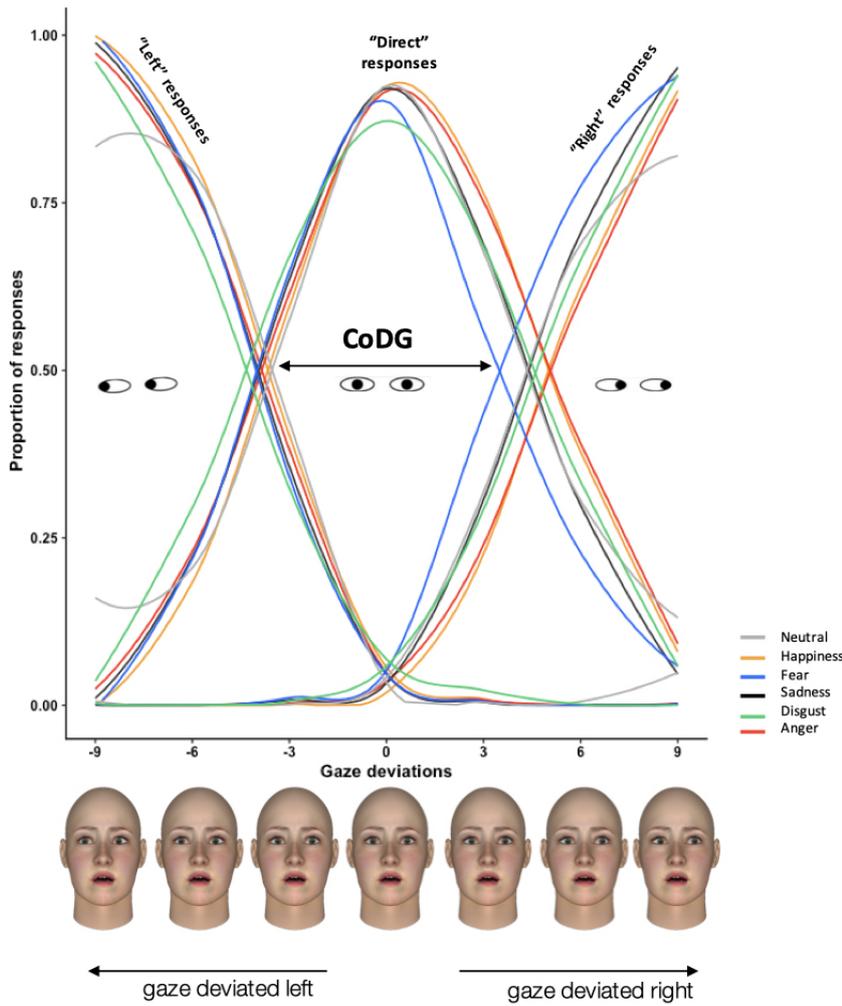


FIGURE 2. Plot showing mean fitted left, direct and right responses as a function of gaze direction for the six emotions across all participants. The arrow represents the width of cone. Each degree of gaze deviation is illustrated with a corresponding example face

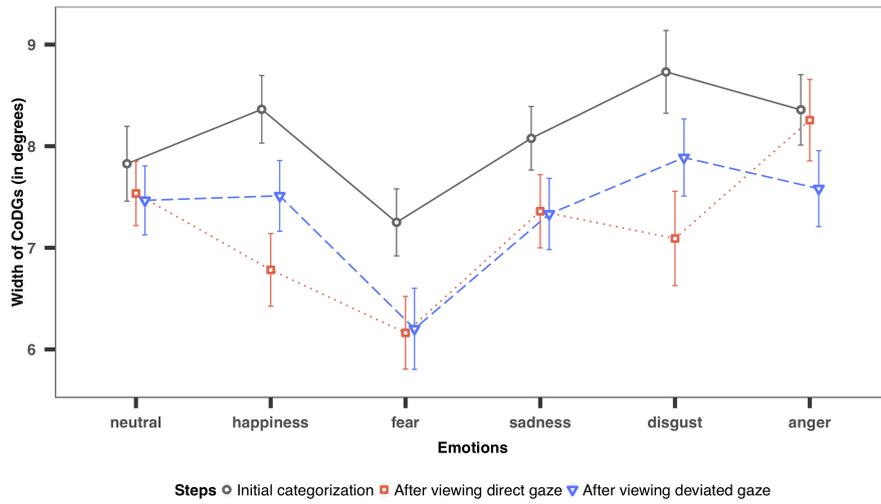


FIGURE 3. Mean and standard errors for CoDGs width (in degrees) based on steps and emotions (neutral, happiness, fear, sadness, disgust and anger)

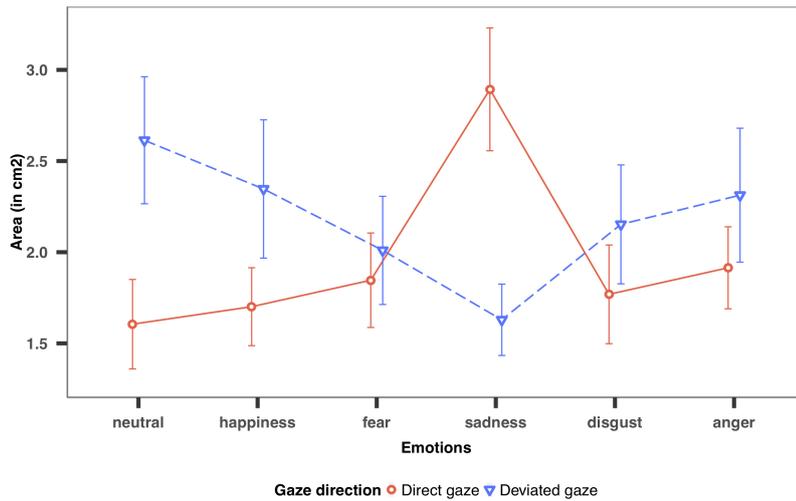


FIGURE 4. Mean Area and standard errors in response to six emotions (neutral, happiness, fear, sadness, disgust and anger) and two gaze directions (direct and deviated).

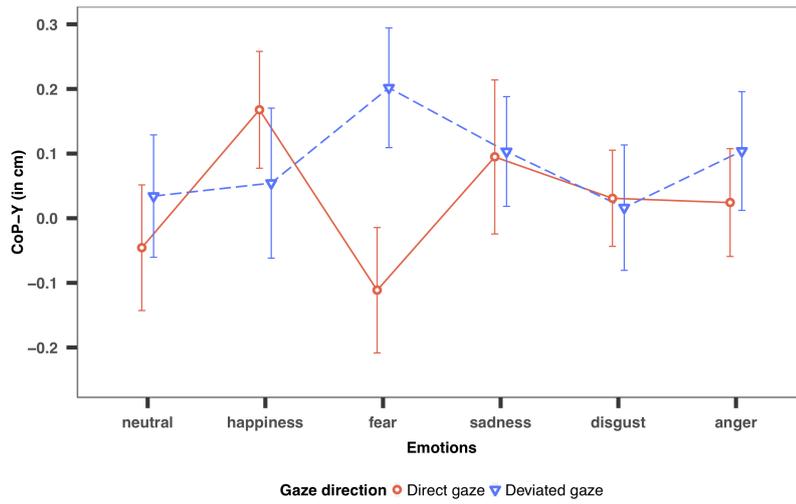


FIGURE 5. Mean CoP-Y and standard errors in response to six emotions (neutral, happiness, fear, sadness, disgust and anger) and two gaze directions (direct and deviated).

7.3 Article 3 : Conclusions, Analyses supplémentaires & Perspectives

Les résultats de notre Article 3 corroborent l'idée que les indices sociaux, tels que les visages émotionnels ou la direction du regard, constituent de puissants vecteurs d'informations et influencent de manière différenciée les capacités perceptives et posturales. A l'aide d'un indice psychophysique (i.e. **CoDG**), nous avons mis en évidence que la perception de visages exprimant de la colère et du dégoût, suggérant une menace, conduisait les participants à juger des directions de regard ambiguës comme dirigées vers eux. De plus, le **CoDG** était au plus large en réponse aux visages de colère et de dégoût, modérément large en réponse à la joie et à la neutralité, et le plus étroit pour les visages de peur. Certaines variables individuelles ont également joué un rôle clé dans la perception de la direction du regard : par exemple, un score faible sur l'échelle de dépression prédisait des **CoDGs** plus larges en réponse aux visages de colère et de tristesse.

La présente étude réplique les résultats de l'Article 2 concernant l'influence de la complexité du stimulus (social vs non social) sur la stabilité posturale. Nous avons également observé des comportements posturaux différenciés en fonction de l'émotion exprimée. Les participants étaient plus instables en réponse à des conditions incongruentes dans le contexte de l'hypothèse du signal partagé, telles que la combinaison de visages joyeux ou neutres avec un regard dévié et de visages tristes avec un regard direct. Or un certain nombre d'études suggèrent que l'émotion de joie et l'expression neutre partagent une orientation motivationnelle d'approche, et sont donc plus facilement traitées lorsqu'elles sont combinées à un regard direct (Adams Jr & Kleck, 2003, 2005 ; Pönkänen & Hietanen, 2012 ; Willis et al., 2011). L'inverse serait également observé concernant l'émotion de tristesse, qui partagerait plutôt une orientation motivationnelle d'évitement (Adams Jr & Kleck, 2003, 2005 ; Sander et al., 2007). Par conséquent, l'effet conjoint de l'émotion et de la direction du regard sur la stabilité posturale globale variait en fonction de l'orientation motivationnelle associée à ces deux signaux sociaux. La stabilité posturale était également modulée par certains traits individuels tels que le niveau de colère ou

d'agrément. Par ailleurs, bien que nous n'ayons pas mis en évidence de TA sur le CoP-Y, notre étude a mis en évidence que le visionnage passif de stimuli émotionnels déclenchait des TA spécifiques chez l'observateur, modulant ainsi sa perception de la direction du regard d'autrui. Par exemple, la perception de visages de colère combinés à un regard direct conduisait à une augmentation de la largeur du cône associé à cette émotion. En d'autres termes, après visionnage de visages de colère combinés à un regard direct (tâche de visionnage passive avec enregistrement postural), je considère les visages présentés par la suite (tâche de jugement de directions de regard) ayant directions de regard ambiguës comme me regardant davantage. Toutefois, ces TA n'ont pas été observées sur le paramètre CoP-Y. De manière similaire à l'Article 1, les corrélations établies entre les traits de personnalité et les variables posturales ont suggéré une grande diversité des comportements adoptés face à un même stimulus. Ces observations pourraient expliquer qu'aucun effet significatif n'a été retrouvé sur les comportements d'approche et d'évitement. Par exemple, des scores élevés d'extraversion et d'ouverture étaient associés à un comportement d'approche, en réponse à des visages joyeux avec un regard dévié. De plus, les participants ayant un score élevé de colère-trait avaient tendance à s'approcher des visages joyeux avec un regard direct.

Des analyses non présentées dans l'article ont été menées pour vérifier que les émotions avaient été correctement identifiées. À partir des réponses à la tâche de catégorisation des visages émotionnels, nous avons réalisé une ANOVA sur les 52 participants. Le Tableau 7.1 présente les pourcentages de bonnes réponses (BR) et les différentes intensités attribuées pour chaque type de stimulus et émotions. L'ANOVA effectuée n'a pas mis en évidence d'effet de la Direction du regard sur les BR ($F(1, 51) = 0,53$, $p > 0,05$). En revanche, nous avons observé un effet du type d'Émotions ($F(4.14, 211.03) = 5,69$, $p < 0,001$), ainsi qu'une interaction Émotions * Direction ($F(2.77, 141.46) = 2,93$, $p < 0,05$). Les pourcentages de BR étaient plus élevés en réponse aux émotions de joie et de colère que de peur et de neutralité ($p < 0,05$), et étaient les moins élevés en réponse aux émotions de dégoût et de tristesse ($p < 0,01$)(cf. Tableau 7.1). Toutefois, l'interaction montre que la direction du regard module l'identification des émotions.

Plus spécifiquement, l'identification est meilleure pour les visages de dégoût combinés à un regard dévié comparativement à un regard direct ($p < 0,001$). Ces observations sont cohérentes avec les résultats obtenus dans l'Article 2, soulignant globalement les meilleures performances de reconnaissance des émotions en réponse à la joie, la colère, le neutre et les moins bonnes performances en réponse au dégoût et à la tristesse. La reconnaissance des émotions ne semble pas être modulée par le mouvement d'approche ou d'évitement d'autrui, ni par la direction du regard, à l'exception du dégoût.

Émotions	Directions du regard	BR (%)	Intensités
<i>Joie</i>	Direct	100	3,8 ($\pm 0,8$)
	Dévié	100	3,7 ($\pm 0,7$)
<i>Colère</i>	Direct	100	4,1 ($\pm 0,9$)
	Dévié	94 ($\pm 23,5$)	4,3 ($\pm 0,8$)
<i>Dégoût</i>	Direct	77 ($\pm 42,5$)	3,3 ($\pm 1,1$)
	Dévié	94 ($\pm 23,5$)	3,8 ($\pm 0,8$)
<i>Peur</i>	Direct	92 ($\pm 26,9$)	3,3 ($\pm 1,1$)
	Dévié	94 ($\pm 29,5$)	3,2 ($\pm 0,9$)
<i>Tristesse</i>	Direct	88 ($\pm 32,3$)	2,6 ($\pm 0,9$)
	Dévié	87 ($\pm 34,5$)	2,9 (± 1)
<i>Neutre</i>	Direct	96 ($\pm 19,4$)	-
	Dévié	92 ($\pm 26,9$)	-

TABLE 7.1 – Pourcentages de bonnes réponses et intensités moyennes par émotion et direction de regard pour 52 participants

A notre connaissance, il s'agit de la première étude qui examine l'influence des EFE, incluant un large panel d'émotions, et d'une gamme étendue de directions du regard sur le traitement perceptif et les ajustements posturaux de l'observateur. L'originalité de cette étude réside dans l'investigation des liens réciproques entre la perception et l'action, tout en considérant le rôle des traits individuels. Nos différentes observations suggèrent que le traitement perceptif et les corrélats moteurs sont différenciés en fonction de la combinaison de l'émotion et de la direction du regard. De plus, les traits individuels modulent différemment les ajustements posturaux, tant sur le plan de la stabilité posturale globale que des comportements d'approche et d'évitement. A la lumière des

Articles précédents, il semble que la stabilité posturale est affectée à la fois par le type de stimuli présenté, ainsi que par son aspect dynamique et par l'EFE combinée à un mouvement (*approche vs retrait*) ou à une direction de regard (*directe vs déviée*). En revanche, les comportements posturaux d'approche et d'évitement ne sont influencés que par l'EFE combiné à un mouvement d'approche ou de retrait, soulignant le caractère spécifique d'une simulation de changement de distance dans les TA. Dans ce contexte, nous pourrions examiner dans une future étude si la perception d'EFE, combinée à une direction de regard directe ou déviée, pourrait affecter l'initiation d'un pas en avant. Si le changement de distance semble être une propriété essentielle au déclenchement des TA, un pas en avant modifiant réellement la distance à autrui, pourrait être affecté par la présentation d'indices socio-émotionnels tels que l'EFE et la direction du regard. Pour conclure, le lien entre émotion et action est complexe et doit être considéré à travers une approche intégrative qui reconnaît l'interaction entre plusieurs facteurs individuels.

Points-clés du Chapitre 7

- Le jugement de la direction du regard était influencé par l'émotion exprimée par le stimulus. En effet, le CoDG était plus large en réponse à la colère et au dégoût, puis modérément large en réponse à la joie, à la tristesse et au neutre, et enfin le cône le plus étroit était observé pour la peur.
- Les participants se montraient plus instables avec l'augmentation de la complexité visuelle des stimuli, c'est-à-dire en réponse aux stimuli sociaux par rapport aux stimuli non sociaux.
- Les participants étaient plus instables en réponse à des conditions plus incongruentes comme la combinaison de visages joyeux ou neutres avec un regard dévié, et de visages tristes avec un regard direct.
- Les tendances à l'action d'approche et d'évitement, mesurées par le CoP-Y, ne sont influencées ni par l'expression faciale émotionnelle, ni par la direction du regard du stimulus.
- Les traits de personnalité modulaient la perception de la direction du regard, mais également la stabilité posturale, ainsi que les comportements d'approche-évitement. Par exemple, un haut score d'agréabilité prédisait une moins bonne stabilité des participants en réponse à la joie et à la colère associés à un regard direct. De plus, les participants présentant un haut score d'ouverture approchaient davantage les visages de joie associés à un regard dévié.
- Les performances de reconnaissance des émotions étaient meilleures pour les visages de joie, de colère puis de peur et neutre, et enfin étaient les moins bonnes en réponse aux visages de dégoût et de tristesse.
- Ainsi, dans le cadre d'une tâche d'identification des émotions, la perception est largement influencée par l'émotion exprimée. Toutefois, la direction du regard module également la perception de l'émotion de dégoût, conduisant à une meilleure reconnaissance lorsque la direction du regard est déviée plutôt qu'avec un regard direct.

KYSTE DE LA FOSSE POSTÉRIEURE CHEZ L'ENFANT : INTERACTION ENTRE ÉMOTION ET POSTURE

Contenu

8.1	Article 4 & 5 : Introduction	216
8.2	Article 4 : "Pour une meilleure compréhension des liens réciproques entre émotion et posture"	217
8.3	Article 5 : "Kyste de la fosse postérieure chez l'enfant : intérêt de l'éva- luation posturographique et socio-émotionnelle."	227
8.4	Article 5 : Conclusions, Analyses supplémentaires & Perspectives	245

8.1 Article 4 & 5 : Introduction

L'**Article 4** est une revue de la littérature dont l'objectif est de mettre en lumière les connaissances sur les liens réciproques entre **émotions et posture**. En effet, la boucle Perception-Action est assez peu explorée dans le cadre de la littérature portant sur les émotions, et peu d'études apportent un **éclairage clinique**. Cette revue porte sur les liens entre émotions et posture à la fois chez des enfants et adultes en bonne santé, mais également porteurs de pathologies associant des perturbations **sensori-motrices** et **socio-émotionnelles** à des degrés plus ou moins sévères.

L'objectif de l'**Article 5** est d'apporter un éclairage clinique des liens entre émotion et posture dans le cadre d'une pathologie pouvant affecter à la fois la **motricité** et les **compétences socio-émotionnelles**. Le cervelet est une structure impliquée à la fois sur le plan de la coordination motrice, mais plus récemment son rôle a été étendu au traitement cognitif et affectif (Adamaszek et al., 2017 ; Baillieux et al., 2008 ; Van Overwalle et al., 2014). Le kyste arachnoïdien de la fosse cérébrale postérieure **KFP** a longtemps été considéré comme une pathologie bénigne par le milieu médical. Pourtant, de par son aspect potentiellement compressif sur le cervelet, il peut affecter les processus **cognitifs et comportementaux** (Cuny et al., 2017 ; Rechtman et al., 2020). L'intervention chirurgicale est sujette à controverse, en particulier lorsque ces kystes sont dits asymptomatiques. Or, une amélioration sur le plan du comportement et des interactions sociales a été observée après chirurgie de drainage du kyste (Cuny et al., 2017). L'évaluation neuropsychologique permet donc d'apporter un indice fonctionnel quant au retentissement cognitif du kyste, et donc à la nécessité ou non d'une intervention chirurgicale.

L'objectif de cet **Article 5** est de répondre à l'Axe 3 de cette thèse concernant l'influence de la perception des émotions sur le contrôle postural dans le cadre d'une pathologie cérébelleuse. Pour ce faire, en collaboration avec Marie-Laure Cuny, Neuropsychologue à l'Hôpital Necker, nous avons mis en place un protocole permettant d'examiner d'une part l'**atteinte motrice** sur le plan de l'ajustement postural, et d'autre part la présence ou non de difficultés **socio-émotionnelles et comportementales** ainsi que

8.2. ARTICLE 4 : "POUR UNE MEILLEURE COMPRÉHENSION DES LIENS RÉCIPROQUES ENTRE ÉMOTION ET POSTURE"

leurs répercussions dans la vie quotidienne. Le contrôle postural était mesuré à l'aide d'une plate-forme de force, en réponse à des stimuli non sociaux (écran vide et croix de fixation) et sociaux (visages émotionnels). Les stimuli présentés étaient les mêmes que ceux utilisés dans l'**Article 1**. Les difficultés socio-émotionnelles et comportementales étaient évaluées à travers différents questionnaires, remplis par l'enfant ou les parents, et épreuves neuropsychologiques. Un total de 11 patients porteurs d'un **KFP** ont été inclus dans l'étude. Trois patients ont été appariés en genre et en âge à 5 enfants typiques. Suite à la situation sanitaire, nous n'avons pas pu recruter davantage d'enfants contrôles. Trois autres patients seront présentés de manière descriptive dans la section analyse supplémentaire de ce Chapitre.

8.2 Article 4 : "Pour une meilleure compréhension des liens réciproques entre émotion et posture"

- **Lebert, A., Vergilino-Perez, D., Chaby, L. (2020).** Pour une meilleure compréhension des liens réciproques entre émotion et posture. *Revue de neuropsychologie*. 12(1), 11-18.

Pour une meilleure compréhension des liens réciproques entre émotion et posture

For a better understanding of the mutual relationships between emotion and posture

Angélique Lebert^{1,2}, Dorine Vergillino-Perez^{1,2}, Laurence Chaby^{1,3}

¹ Université de Paris, Institut de psychologie, 92100 Boulogne-Billancourt, France

² Université de Paris, VAC, 92100 Boulogne-Billancourt, France

³ Sorbonne université, Groupe « perception, interaction et robotique sociales » (PIRoS), Institut des systèmes intelligents et de robotique (ISIR), CNRS UMR 7222, 4, place Jussieu, 75005 Paris, France <laurence.chaby@parisdescartes.fr>

Pour citer cet article : Lebert A, Vergillino-Perez D, Chaby L. Pour une meilleure compréhension des liens réciproques entre émotion et posture. *Rev Neuropsychol* 2020 ; 12 (1) : 11-8 doi:10.1684/nrp.2019.0524

Résumé

La perception et l'action sont intimement liées chez l'humain. Dès le plus jeune âge, la perception des émotions et le comportement postural jouent un rôle central dans les interactions sociales, notamment dans la communication face à face. Les émotions, au-delà de véhiculer des informations sur nos états affectifs et ceux d'autrui, influencent également nos dispositions comportementales telles que les réactions d'approche, d'évitement ou d'immobilisation. Ce couplage entre la perception des émotions et les tendances à l'action peut être quantifié avec des mesures fines sur le plan sensorimoteur et postural, disponibles grâce au développement récent de nouveaux outils de mesure. En outre, il peut être modulé en fonction de différences individuelles, liées aux traits de personnalité ou à des pathologies. Cette revue a pour objectif de mettre en lumière les connaissances sur les liens réciproques entre émotions et posture, chez des enfants et des adultes en bonne santé ou porteurs de pathologies associant des perturbations sensorimotrices et socioémotionnelles, à des degrés plus ou moins sévères. La coexistence de ces difficultés au sein de différentes pathologies souligne l'importance d'évaluer finement ces domaines afin de les diagnostiquer et de les prendre en charge de manière optimale.

Mots clés : émotion • posture • troubles neurodéveloppementaux • approche-évitement

Abstract

Perception and action are closely intertwined in humans. From a very early age, emotional perception and postural behavior play a key role in social interactions, especially in face-to-face communication. Emotions, more than just providing information about our emotional states and those of others, also impact our behavioral attitudes, which include approach, avoidance, and freezing responses. This coupling between emotional perception and action tendencies has recently begun to be codified with fine sensorimotor and postural metrics on whole body reactions (e.g., micromovements, postural oscillations, center of pressure displacements). Furthermore, these relationships may be modulated based on individual differences, such as personality traits or specific disorders. This review article seeks to shed light on the reciprocal relationships between emotions and posture in children and adults with good health or presenting various disorders combining sensorimotor and socio-emotional impairments, with varying degrees of severity. We present here the results of studies in neurodevelopmental pathologies where socio-emotional and postural difficulties may co-exist, such as autism spectrum disorders, developmental coordination disorders, and in children with cerebellar pathologies. The coexistence of such difficulties in different pathologies underlines the importance of precisely assessing them in clinical practice in order to improve patient diagnosis and care.

Key words: emotion • posture • neurodevelopmental disorders • approach-avoidance

Correspondance :
L. Chaby

■ Introduction

Les interactions sociales qui débutent dès la naissance et se poursuivent tout au long de la vie nécessitent la perception, la production et l'intégration de nombreux signaux sociaux et se caractérisent par une réciprocité des actions [1]. Les expressions du visage et de la voix, la direction du regard, les gestes et les changements de postures sont des indices sociaux de l'état émotionnel et intentionnel d'une personne et contribuent à la compréhension des états mentaux d'autrui. Ainsi, une interaction dite sociale peut être considérée comme une relation dynamique, qui se caractérise par une synchronie interactionnelle, nécessitant une adaptation constante à son partenaire et permettant à chacun d'adapter ses comportements à son environnement.

Dès notre plus jeune âge, nous apprenons à reconnaître et à interpréter l'état émotionnel d'autrui. Cette compétence se développe de manière graduelle au cours de l'enfance, s'affine progressivement jusqu'à la fin de l'adolescence et serait prédictive à l'âge adulte de la qualité des relations sociales [2]. En revanche, une gestion inadéquate des émotions conduirait à des relations sociales de moins bonne qualité [3]. Les capacités motrices, telles que la capacité de se mouvoir et d'interagir en régulant sa posture, ainsi que l'exécution et la coordination du mouvement, jouent également un rôle crucial dans les domaines socioémotionnels. En revanche, des difficultés motrices peuvent être invalidantes, réduire l'estime de soi et être à l'origine de problèmes socioémotionnels [4].

Après une synthèse de l'approche motivationnelle des émotions, cette revue fait le point sur la littérature montrant des liens entre les émotions et la régulation posturale chez l'individu en bonne santé. Dans une deuxième partie, sont abordés des travaux auprès de patients porteurs de différentes pathologies entraînant des difficultés socioémotionnelles et posturales.

■ Approche motivationnelle des émotions

L'émotion (littéralement « mettre en mouvement », *emovere*) peut être considérée comme un processus complexe, constituée de plusieurs composantes [5] : les processus d'évaluation cognitive de la situation, les réactions physiologiques, l'expérience subjective qui correspond à la prise de conscience de son état émotionnel, les comportements expressifs permettant de communiquer l'émotion, et enfin les comportements motivationnels qui engendrent des tendances à l'action spécifiques (approche, évitement, incapacité de bouger ou *freezing*).

■ Tendances à l'action et régulation posturale

Les tendances à l'action correspondent à l'activation de schémas moteurs qui ont le plus souvent un caractère

non intentionnel rapide et relativement automatique [6], ce qui rend délicate leur étude en laboratoire. Dans un contexte d'interaction sociale, elles conduisent notamment à la régulation de la distance interpersonnelle en modifiant la relation entre l'individu et son environnement. Ainsi, la perception de stimuli plaisants ou déplaisants est souvent associée à des tendances à l'action susceptibles de provoquer des comportements tels que l'approche ou l'évitement (respectivement, réduction ou augmentation de la distance à l'autre). Un comportement d'immobilisation (*freezing*) [7] peut également être observé qui permettrait de détecter, dans un premier temps, les informations pertinentes puis de mobiliser l'ensemble du corps pour déclencher ultérieurement un comportement de lutte ou de fuite [8].

Les tendances à l'action en réponse à des stimuli émotionnels ont été initialement évaluées en laboratoire à l'aide de tests papier-crayon (e.g., BIS/BAS) [9] ou à l'aide de tâches manuelles, par exemple en demandant au participant d'effectuer des mouvements du bras à l'aide d'un joystick qu'il faut tirer (activation du système motivationnel d'approche) ou pousser (activation du système motivationnel d'évitement) [10]. Toutefois, en raison de leur manque de reproductibilité et de l'ambiguïté de leur interprétation, une mesure plus directe des tendances à l'action, telle que la posturographie, s'est récemment développée (voir pour revue [11]).

■ La posturographie comme mesure des tendances à l'action

La posturographie permet de quantifier la régulation posturale qui se caractérise par un ajustement coordonné des différents segments corporels, grâce au tonus musculaire, dont les multiples fonctions comprennent l'équilibration, la stabilisation et la préparation à l'action [12]. En posturographie, une des mesures les plus utilisées est la position du centre de pression (COP) recueillie chez l'individu grâce à un plateau muni de capteurs. Elle permet notamment de quantifier la préparation à l'action en posture debout passive [13] ou l'action elle-même (*i.e.* ou l'initiation d'un pas en avant/en arrière [14, 15] ou la locomotion [16]).

Le COP a pour avantage de résumer en un seul point la répartition des pressions des pieds sur le sol (*figure 1*). Ainsi, les mesures objectives des oscillations du corps entier retrouvées le plus fréquemment dans la littérature sont :

- le déplacement (en cm) de la position moyenne du COP sur l'axe médiolatéral (COP X) ou antéropostérieur (COP Y) ;
- la déviation standard du COP, qui représente l'importance de la variation d'oscillations par rapport à la position moyenne sur l'axe X ou Y ;
- l'aire des déplacements du COP (en cm²) couverte par la trajectoire du COP sur l'axe X et Y ;
- la longueur des déplacements du COP (en cm).

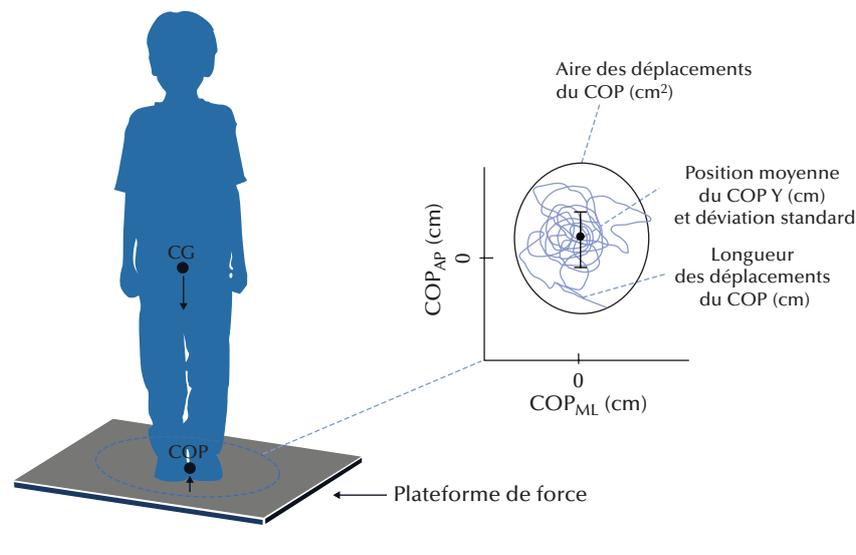


Figure 1. Principaux paramètres posturaux (aire en cm^2 , position du COP en cm, déviation standard, longueur des déplacements en cm) pris en compte lors d'études du contrôle postural, réalisées chez le participant debout sur plateforme de force. CG : centre de gravité ; COP : centre de pression ; AP : axe antéropostérieur (Y) ; AM : axe médiolatéral (X).

Au cours de cette dernière décennie, des études chez l'adulte sain ont montré que l'observation de stimuli sociaux émotionnels en station debout pouvait affecter le contrôle postural, se traduisant par des changements subtils du balancement postural, reflétés par des variations du COP dans la direction antéropostérieure (COP Y). Ainsi, il a été montré que la présentation d'images émotionnelles agréables induit un léger balancement du corps vers l'avant (approche), tandis que la présentation d'images désagréables induit un léger balancement du corps vers l'arrière (évitement) [7]. Cependant, d'autres études soutiennent que les images plaisantes comme déplaisantes induisent une déviation du COP vers l'arrière [17]. Certaines données suggèrent également que face à des stimuli déplaisants (e.g., mutilations) les adultes présentent des réactions d'immobilisation posturale (*freezing*) se traduisant par une réduction de la déviation standard du COP [18, 19]. Chez l'enfant au développement typique, il semble également que le contrôle postural soit affecté par la présentation de stimuli émotionnels. Quelques études récentes ont montré, chez des enfants d'âge scolaire, une augmentation du balancement postural lors de l'observation de films à forte intensité émotionnelle de la même manière que chez l'adulte [13].

Ainsi, l'ensemble de ces études démontre un effet de la perception des émotions sur la régulation de la conduite posturale. Chez l'enfant comme chez l'adulte, un même contexte émotionnel peut se traduire par des tendances à l'action différentes (approche, évitement, *freezing*, instabilité posturale). Ces différences comportementales pourraient s'expliquer par la présence de traits individuels spécifiques qui viendraient moduler les tendances à l'action [20, 21].

■ Les traits individuels comme modulateurs des tendances à l'action

Des études ont montré que les individus ayant une tendance générale à l'évitement rapportaient plus d'affects négatifs, un haut niveau d'anxiété, un sentiment de solitude et moins de contact avec leurs pairs, tandis que les individus ayant une tendance à l'approche rapportaient plus souvent un niveau élevé de bien-être et de nombreux contacts avec leurs pairs [22]. Réciproquement, plusieurs études ont mis en évidence l'influence de variables individuelles, telles que les traits de personnalité (e.g., extraversion, névrosisme, trait d'anxiété, trait d'agressivité) ou plus globalement l'expérience personnelle du sujet (e.g., dépression), sur le comportement face aux situations sociales de la vie quotidienne et notamment sur les tendances à l'action [23].

Un haut niveau d'anxiété serait associé chez l'adulte à un comportement de type *freezing* (réduction du balancement postural et du rythme cardiaque) face à des visages de colère [20], tandis que chez l'enfant d'âge scolaire (8-12 ans), l'anxiété conduirait au contraire à une plus grande instabilité posturale [24]. Les adultes avec un trait de « colère » élevé auraient une tendance au comportement d'approche (manifestant une tendance à l'agression) face à une situation hostile [25]. L'extraversion serait également associée à un comportement d'approche tandis que le névrosisme (*i.e.*, tendance à l'instabilité émotionnelle et à ressentir des émotions négatives) serait plutôt associé à un comportement d'évitement [26]. La présence de traits psychopathiques, impliquant une faible

empathie, conduirait également à la mise à distance (*i.e.* augmentation de la distance interpersonnelle) de personnes exprimant la peur [27] ou la tristesse [28]. Enfin, la présence de troubles dépressifs (*i.e.* diminution de l'énergie, retrait social et perte de la capacité à ressentir du plaisir) ne serait associée à aucune tendance dominante à l'action en présence de stimuli émotionnels [21].

À la lecture de ces résultats, il apparaît essentiel de prendre davantage en compte les différences individuelles dans les relations entre émotion et régulation posturale. Dans ce contexte, une analyse de réponse individuelle plutôt que de comparaisons de moyennes de groupe semble également plus adaptée.

■ Regard clinique sur les liens entre émotion et posture

Le développement de l'enfant est marqué par l'établissement précoce d'un couplage perception-action. Les habiletés motrices permettent à l'enfant d'agir sur son environnement et d'interagir avec celui-ci de façon de plus en plus complexe au cours du développement, et cette interaction renseigne l'enfant sur le monde qui l'entoure. Plusieurs études longitudinales ont rapporté que de bonnes compétences motrices seraient de bons prédicteurs des compétences socioémotionnelles futures, ainsi que du statut social avec les pairs [4]. En retour, le développement sensorimoteur de l'enfant est un processus essentiel qui repose sur des échanges imitatifs, une coordination avec les pairs et une synchronie interactionnelle permettant une adaptation de l'enfant aux comportements de son partenaire [29]. Cette synchronie est un précurseur important du comportement prosocial et joue un rôle majeur dans le développement de la régulation affective, de l'empathie et de la théorie de l'esprit [30].

Cette perspective dynamique des liens entre système sensorimoteur et système socioémotionnel implique qu'une perturbation, même minime, dans l'un des systèmes peut avoir des effets non négligeables sur l'autre système. Ainsi, différentes pathologies associent des perturbations sensorimotrices et socioémotionnelles, à des degrés plus ou moins sévères. Certaines pathologies chez l'enfant ou l'adulte avec, au cœur de la symptomatologie, des perturbations socioémotionnelles ou des interactions sociales ont des répercussions variables sur le plan sensorimoteur et postural. Réciproquement, des déficits sur le plan sensorimoteur peuvent conduire à une perturbation de l'ajustement postural qui se répercuterait au quotidien dans les interactions sociales, engendrant des comportements sociaux inadaptés ou des troubles socioémotionnels. Enfin, des pathologies liées à des atteintes plus spécifiques de structures cérébrales telles que les noyaux gris centraux ou le cervelet, impliqués à la fois dans les aspects moteurs et les aspects cognitifs

et socioémotionnels, sont également à considérer dans ces liens réciproques entre émotion et posture. La coexistence de ces difficultés au sein de différentes pathologies souligne l'importance d'évaluer finement ces domaines afin de les diagnostiquer et de les prendre en charge de manière optimale.

■ Troubles du spectre autistique

Les troubles du spectre autistique (TSA) sont des troubles neurodéveloppementaux qui se caractérisent, entre autres, par des difficultés dans les interactions sociales et la communication associées à des intérêts stéréotypés et limités. Des déficits d'intégration sensorimotrice, qui font partie des troubles associés chez les enfants et chez les adultes atteints de TSA, peuvent concerner de nombreux aspects du contrôle postural (coordination, posture, démarche et préparation motrice) et participent aux difficultés dans les activités de la vie quotidienne, pour appréhender leur environnement, maîtriser leur motricité fine (*e.g.*, écrire, faire ses lacets) ou participer à des activités sociales (*e.g.*, jeux ou sport d'équipe) [31]. Dziuk *et al.* ont montré que les difficultés pratiques prédisaient de manière significative les déficits sociaux, communicatifs et comportementaux présents dans cette pathologie [32].

Des études ont également constaté que les enfants atteints de TSA présentaient une augmentation des oscillations posturales, comparativement à des enfants typiques, dans des situations basiques (*i.e.*, yeux ouverts, debout) [33]. Cette instabilité serait majorée lors du visionnage des stimuli sociaux comparativement à des stimuli non sociaux [34]. Une plus grande instabilité posturale a également été observée chez des jeunes adultes atteints de TSA et serait majorée dans des conditions où les entrées sensorielles (visuelles et proprioceptives) sont perturbées [35]. Ces perturbations posturales pourraient s'expliquer par un défaut de régulation entre les différentes forces musculaires, avec une dominance de l'extension, se traduisant par une cambrure au niveau du dos. Ainsi, lorsqu'un aménagement postural est mis en place (*i.e.*, en position assise avec une garantie d'appui des pieds), il est relevé une amélioration de l'accrochage visuel permettant à l'enfant d'être plus sensible aux événements se déroulant en face de lui [36].

Enfin, une autre étude portant plus spécifiquement sur l'interaction enfant-robot durant une tâche d'attention conjointe (*i.e.*, l'enfant est debout face au robot, les mouvements de l'enfant sont enregistrés *via* une Kinect) a révélé la présence d'une instabilité motrice chez des enfants atteints de TSA, se traduisant par la présence de micromouvements, lesquels invisibles pour l'œil du clinicien, pourraient jouer un rôle dans les difficultés des patients dans leurs interactions sociales [37].

■ Troubles développementaux des coordinations

Les troubles développementaux des coordinations (TDC) regroupent un ensemble hétérogène de formes de dyspraxie qui entrave l'enfant dans ses capacités motrices et visuospatiales [38]. Ces difficultés qui concernent plus spécifiquement la motricité globale (e.g., posture, équilibre), la motricité fine (e.g., graphisme, utilisation de ciseaux) ou les comportements sociaux (e.g., imitation) viennent s'inscrire dans la trajectoire développementale de l'enfant gênant la mise en place d'interactions sociales de qualité et contribuant à les placer en retrait des autres enfants [39]. Par ailleurs, il a été souligné chez ces enfants la présence de déficits de coordination rythmique reflétée par une incapacité à coupler au cours du temps les différentes entrées sensorielles à l'exécution motrice souhaitée [29].

La stabilisation de la posture debout étant une fonction motrice de base moins affectée par l'expérience que les tâches motrices plus axées sur l'habileté, l'analyse de la posture s'avère appropriée lorsqu'il s'agit d'étudier la fonction motrice de base chez les enfants atteints de TDC [40]. Des études longitudinales ont montré que la majorité des enfants atteints de TDC continuent d'éprouver des difficultés de coordination motrice tout au long de l'adolescence et de l'âge adulte, et bon nombre de leurs limitations fonctionnelles sont fortement corrélées à des difficultés du contrôle postural [41]. Il a été observé chez ces enfants des déficits au niveau du contrôle postural, conduisant à une augmentation des oscillations posturales comparativement à des enfants typiques, en condition debout les yeux fermés ou les yeux ouverts dans différentes situations perceptives, par exemple dans une tâche impliquant la dénomination d'objets [42].

Les répercussions de ces perturbations motrices dans la vie quotidienne sont importantes, la faible intégration sociale chez les enfants TDC étant une plainte extrêmement fréquente [43]. Par ailleurs, des comorbidités psychosociales associées au TDC sont parfois rapportées, telles qu'une symptomatologie anxieuse et/ou dépressive, ainsi qu'une faible estime de soi [44]. Quelques études cliniques ont également mis en évidence une association fréquente entre les TDC et les troubles psychoaffectifs [45]. Dans ce contexte, plusieurs auteurs ont signalé chez les TDC une altération de la reconnaissance des expressions faciales émotionnelles ainsi qu'un déficit d'empathie [46].

■ Anomalie des noyaux gris centraux

Les noyaux gris centraux, de par leurs multiples connexions cortico-sous-corticales, sont liés à l'intégration des capacités motrices, cognitives et socioémotionnelles [47]. Chez l'enfant, les pathologies des noyaux gris centraux ont été impliquées dans la pathogenèse du trouble déficitaire de l'attention/hyperactivité [48]. Une atteinte de cette structure peut également conduire à des perturbations

de l'équilibre [49] et contribuer à la présence de troubles d'opposition/provocation, de comportements agressifs et d'une anxiété excessive [50].

Un dysfonctionnement des noyaux gris centraux est également observé dans la maladie de Parkinson [51]. Des difficultés sur le plan postural et socioémotionnel sont retrouvées dans cette pathologie et plusieurs auteurs ont souligné l'influence délétère des troubles affectifs sur la motricité contribuant aux difficultés de locomotion [51] et à une posture plus voûtée [52]. De façon intéressante, après traitement de la dépression dans le cadre de cette pathologie, une amélioration sur le plan postural a pu être observée [51].

■ Pathologies du cervelet

Le cervelet, situé dans la fosse cérébrale postérieure, est divisé en une partie médiane, le vermis, et deux parties latérales, les hémisphères cérébelleux. Les connexions du cervelet sont multiples, notamment au niveau cortical, via des boucles fermées cérébello-cortico-cérébelleuses [53]. Son rôle a été initialement associé aux fonctions motrices (i.e., coordination du mouvement volontaire, programmation motrice, contrôle du tonus et de l'équilibre), puis plus récemment étendu au traitement cognitif et affectif (i.e., reconnaissance des émotions d'autrui, régulation émotionnelle). Plus spécifiquement, une atteinte de la partie antérieure du cervelet conduit généralement à des déficits moteurs et une atteinte de la partie médiale et postérieure à des déficits cognitifs, ainsi qu'à une dysrégulation affective connue sous le nom de « syndrome cérébelleux cognitivo-affectif » [54].

Des malformations néonatales de la fosse postérieure impliquant le cervelet, telles que le syndrome de Joubert, sont associées à une diversité des profils de développement avec des difficultés non seulement sur plan moteur (e.g., hypotonie, instabilité posturale, tremblements, troubles de la coordination des mouvements), mais également sur le plan cognitif (e.g., troubles exécutifs, de la cognition spatiale et du langage, avec ou sans déficience intellectuelle) ainsi qu'au niveau affectif et comportemental (e.g., troubles de la socialisation et des interactions sociales) [55]. Des malformations congénitales, de type agénésie du vermis chez l'enfant, ont également été associées à d'importantes difficultés motrices, à une déficience intellectuelle et à des difficultés d'interactions sociales [56].

De façon intéressante, quelques études plus récentes ont également mis en évidence des déficits plus subtils du comportement moteur et socio-affectif, chez des enfants atteints de malformations bénignes prénatales, telles que les kystes arachnoïdiens de la fosse cérébrale postérieure (KFP). La présence d'un kyste, par compression du cervelet, peut se révéler délétère conduisant à une maladresse, des troubles visuospatiaux et de la motricité fine, ainsi que des problèmes de comportement, avec une efficacité intellectuelle le plus souvent préservée ; ces dif-

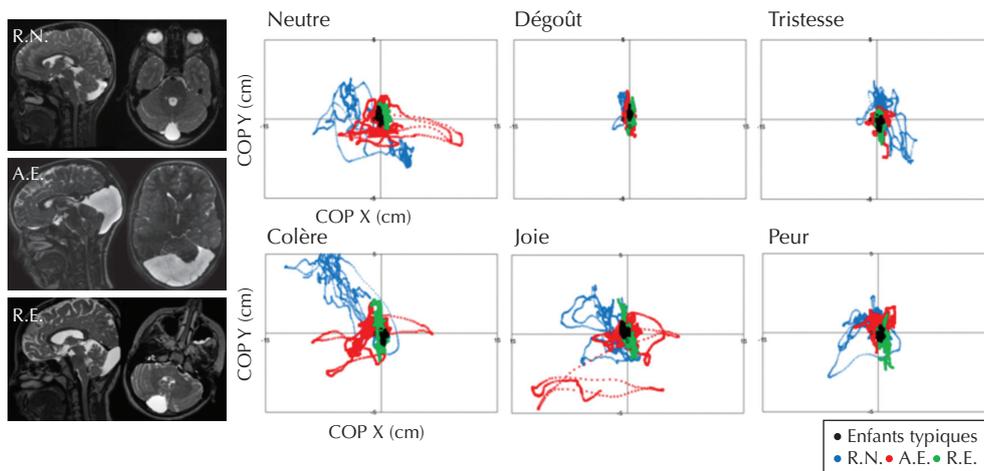


Figure 2. Gauche : kystes arachnoïdiens de la fosse cérébrale postérieure (KFP) visibles sur l’IRM en coupes sagittales et axiales. Droit : déplacements (en cm) du centre de pression dans les directions X et Y (COP X, Y) pour les six enfants typiques (en noir) et chacun des trois patients : R.N. (bleu), A.E. (rouge), R.E. (vert).

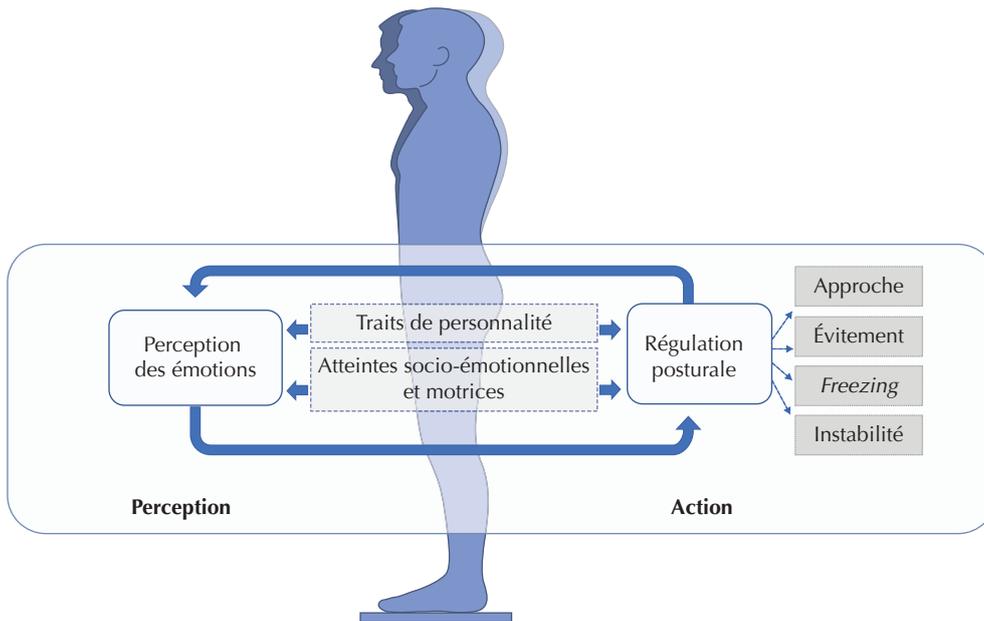


Figure 3. Modèle des liens réciproques entre émotions et tendances à l’action dans la boucle perception-action, en fonction des traits de personnalité. Le rôle de pathologies associant des perturbations sensorimotrices et socioémotionnelles à des degrés plus ou moins sévères est également schématisé dans ce modèle.

ficultés sont toutefois atténuées en post-chirurgical après drainage du kyste [57]. Les premiers résultats de l’une de nos études menée chez trois enfants porteurs d’un KFP montre que, contrairement aux enfants typiques, deux des trois patients présentent une instabilité posturale au repos, qui est majorée pour les stimuli sociaux émotion-

nels (*figure 2*). Ce pattern posturographique est associé à d’importants troubles de la socialisation pour l’ensemble des patients. L’enfant présentant la plus grande instabilité posturale présente également des difficultés cognitives (*i.e.*, exécutive) et comportementales (*i.e.* agressivité, anxiété) [58].

Conclusion

L'ensemble des travaux présentés ici souligne les liens réciproques entre les émotions ou, plus globalement, le fonctionnement socioémotionnel et les compétences motrices, notamment les tendances à l'action visibles sur le plan postural, chez les enfants et les adultes en bonne santé et dans le cadre de certaines pathologies développementales ou dégénératives. Ces liens réciproques sont modélisés sur la *figure 3*, et suggèrent qu'une meilleure compréhension des liens qui unit émotion et posture s'impose.

Chez le sujet sain, il s'agit d'affiner la compréhension des boucles entre perception et action. En effet, lorsqu'un individu est confronté à un stimulus à contenu affectif, différentes tendances comportementales peuvent émerger, telles l'approche, l'évitement ou l'immobilisation. La littérature a longtemps tenté de faire émerger des patterns comportementaux attribuables à l'ensemble des individus en lien avec différentes émotions. Plus récemment, l'étude des différences individuelles a permis de mettre en évidence des comportements différenciés, qui pourraient dépendre des traits de personnalité ou de l'expérience de chacun. Dans le futur, il semble également fondamental de mieux prendre en compte comment, en retour, nos tendances à l'action peuvent affecter notre perception du monde dans un contexte social.

De plus, certaines pathologies du développement, en particulier les TSA, les TDC ou certaines pathologies des

noyaux gris centraux et du cervelet sont marquées à la fois par des atteintes sensorimotrices et/ou posturales, ainsi que par des perturbations socioémotionnelles et comportementales qui ne sont pas toujours bien évaluées dans la pratique clinique mais peuvent avoir des répercussions sur le plan scolaire ou dans la vie quotidienne. Dans les troubles du développement de l'enfant, il s'agit d'être vigilant dans la pratique clinique sur la présence de différentes comorbidités et ne pas sous-estimer le poids des difficultés socioémotionnelles ou des troubles sensorimoteurs et posturaux au quotidien. Ces dernières années, plusieurs travaux ont montré l'intérêt des technologies du numérique (*i.e.*, jeux sérieux, robots sociaux) dans la prise en charge des troubles socioémotionnels, notamment dans les TSA, en permettant de recréer des situations de la vie réelle et fournir au thérapeute des situations de travail pour la prise en charge des patients [59, 60]. D'un autre côté, des mesures fines de l'instabilité motrice et posturale devraient être mieux évaluées dans la pratique clinique, avec des outils issus du traitement du signal (*e.g.*, vidéos, Kinect) ou des mesures posturographiques (plateforme de force), permettant d'améliorer le bilan de certains patients en offrant des indices parfois invisibles à l'œil du clinicien mais avec des répercussions dans les interactions sociales quotidiennes. ■

Liens d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts en rapport avec cet article.

Références

- Chaby L, Chetouani M, Plaza M, *et al.* Exploring multimodal social-emotional behaviors in autism spectrum disorders: an interface between social signal processing and psychopathology. In : ASE/IEEE International Conference on Social Computing, SocialCom/PASSAT, 2012, p. 950-4.
- Engelberg E, Sjöberg L. Emotional intelligence, affect intensity, and social adjustment. *Pers Individ Differ* 2004 ; 37 : 533-42.
- Lopes PN, Salovey P, Cote S, *et al.* Emotion regulation abilities and the quality of social interaction. *Emotion* 2005 ; 5 : 113-8.
- Leonard HC, Hill EL. Review: the impact of motor development on typical and atypical social cognition and language: a systematic review. *Child Adolesc Ment Health* 2014 ; 19 : 163-70.
- Sander D, Scherer KR. *Traité de psychologie des émotions*. Paris : Dunod, 2014.
- Ferguson M, Hassin R, Bargh J. Implicit motivation: past, present, and future. In : *Handbook of motivation science* New-York (US) : Guilford press, 2008. pp. 150-66.
- Eerland A, Guadalupe TM, Franken IHA, *et al.* Posture as index for approach-avoidance behavior. *PLoS One* 2012 ; 7 : e31291.
- Bradley MM, Codispoti M, Sabatinelli D, *et al.* Emotion and motivation II: sex differences in picture processing. *Emotion* 2001 ; 1 : 300.
- Elliot AJ, Thrash TM. Approach and avoidance temperament as basic dimensions of personality. *J Pers* 2010 ; 78 : 865-906.
- Rinck M, Becker ES. Approach and avoidance in fear of spiders. *J Behav Ther Exp Psychiatry* 2007 ; 38 : 105-20.
- Lelard T, Stins J, Mouras H. Postural responses to emotional visual stimuli. *Neurophysiol Clin* 2019 ; 19 : 109-14.
- Massion J. Postural control system. *Curr Opin Neurobiol* 1994 ; 4 : 877-87.
- de Freitas Brandão A, Palluel E, Olivier I, *et al.* Effects of emotional videos on postural control in children. *Gait Posture* 2016 ; 45 : 175-80.
- Gélat T, Coudrat L, Le Pellec A. Gait initiation is affected during emotional conflict. *Neurosci Lett* 2011 ; 497 : 64-7.
- Bouman D, Stins JF. Back off! The effect of emotion on backward step initiation. *Hum Mov Sci* 2018 ; 57 : 280-90.
- Vernazza-Martin S, Longuet S, Damry T, *et al.* 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* 2015 ; 233 : 2913-24.
- Perakakis PE, Idrissi S, Vila J, *et al.* Dynamical patterns of human postural responses to emotional stimuli. *Psychophysiology* 2012 ; 49 : 1225-9.
- Facchinetti LD, Imbiriba LA, Azevedo TM, *et al.* Postural modulation induced by pictures depicting prosocial or dangerous contexts. *Neurosci Lett* 2006 ; 410 : 52-6.
- Lelard T, Montalan B, Morel MF, *et al.* Postural correlates with painful situations. *Front Hum Neurosci* 2013 ; 7 : 4.
- Roelofs K, Hagens MA, Stins J. Facing freeze: social threat induces bodily freeze in humans. *Psychol Sci* 2010 ; 21 : 1575-81.
- Radke S, Güths F, André JA, *et al.* In action or inaction? Social approach-avoidance tendencies in major depression. *Psychiatry Res* 2014 ; 219 : 513-7.
- Eronen S, Nurmi JE, Salmela-Aro K. Planning-oriented, avoidant, and impulsive social reaction styles: a person-oriented approach. *J Res Pers* 1997 ; 31 : 34-57.
- Elliot AJ, McGregor HA. Test anxiety and the hierarchical model of approach and avoidance achievement motivation. *J Pers Soc Psychol* 1999 ; 76 : 628-44.
- Stins J, Ledebt A, Emck C, *et al.* Patterns of postural sway in high anxious children. *Behav Brain Funct* 2009 ; 5 : 42.

25. Veenstra L, Schneider IK, Bushman BJ, et al. Drawn to danger: trait anger predicts automatic approach behaviour to angry faces. *Cogn Emot* 2016 ; 31 : 765-71.
26. Smits PD, Boeck DJM. From BIS/BAS to the big five. *Eur J Pers* 2006 ; 270 : 255-70.
27. Hammer JL, Marsh AA. Why do fearful facial expressions elicit behavioral approach? Evidence from a combined approach-avoidance implicit association test. *Emotion* 2015 ; 15 : 223.
28. Vieira JB, Tavares TP, Marsh AA, et al. Emotion and personal space: neural correlates of approach-avoidance tendencies to different facial expressions as a function of cold hearted psychopathic traits. *Hum Brain Mapp* 2017 ; 38 : 1492-506.
29. Xavier J, Magnat J, Sherman A, et al. A developmental and clinical perspective of rhythmic interpersonal coordination: from mimicry toward the interconnection of minds. *J Physiol Paris* 2017 ; 110 : 420-6.
30. Meltzoff AN, Decety J. What imitation tells us about social cognition: a rapprochement between developmental psychology and cognitive neuroscience. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2003 ; 358 : 491-500.
31. Fournier KA, Hass CJ, Naik SK, et al. Motor coordination in autism spectrum disorders: a synthesis and meta-analysis. *J Autism Dev Disord* 2010 ; 40 : 1227-40.
32. Dziuk MA, Larson JG, Apostu A, et al. Dyspraxia in autism: association with motor, social, and communicative deficits. *Dev Med Child Neurol* 2007 ; 49 : 734-9.
33. Chang CH, Wade MG, Stoffregen TA, et al. Visual tasks and postural sway in children with and without autism spectrum disorders. *Res Dev Disabil* 2010 ; 31 : 1536-42.
34. Ghanouni P, Memari AH, Gharibzadeh S, et al. Effect of social stimuli on postural responses in individuals with autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord* 2017 ; 47 : 1305-13.
35. Doumas M, McKenna R, Murphy B. Postural control deficits in autism spectrum disorder: the role of sensory integration. *J Autism Dev Disord* 2016 ; 46 : 853-61.
36. Kloeckner A, Jutard J, Bullinger A, et al. Intérêt de l'abord sensorimoteur dans les pathologies autistiques sévères I : introduction aux travaux d'André Bullinger. *Neuropsychiatr Enfance Adolesc* 2009 ; 57 : 154-9.
37. Anzalone SM, Tilmont E, Boucenna S, et al. How children with autism spectrum disorder behave and explore the 4-dimensional (spatial 3D+ time) environment during a joint attention induction task with a robot. *Res Autism Spectr Disord* 2014 ; 8 : 814-26.
38. Costini O, Roy A, Faure S, et al. La dyspraxie développementale : actualités et enjeux. *Rev Neuropsychol* 2013 ; 5 : 200.
39. Cummins A, Piek JP, Dyck MJ. Motor coordination, empathy, and social behaviour in school-aged children. *Dev Med Child Neurol* 2005 ; 47 : 437-42.
40. Geuze RH. Postural control in children with developmental coordination disorder. *Neural Plast* 2005 ; 12 : 172-83.
41. Losse A, Henderson SE, Elliman D, et al. Clumsiness in children: do the grow out of it? A 10-year follow-up study. *Dev Med Child Neurol* 1991 ; 33 : 55-68.
42. Laufer Y, Ashkenazi T, Josman N. The effects of a concurrent cognitive task on the postural control of young children with and without developmental coordination disorder. *Gait Posture* 2008 ; 27 : 347-51.
43. Lemonnier E. La psychopathologie de l'enfant dyspraxique. *Arch Pediatr* 2010 ; 17 : 1243-8.
44. Campbell C, Missiuna C, Vaillancourt T. Peer victimization and depression in children with and without motor coordination difficulties. *Psychol Sch* 2012 ; 49 : 328-41.
45. Missiuna C, Cairney J, Pollock N, et al. Psychological distress in children with developmental coordination disorder and attention-deficit hyperactivity disorder. *Res Dev Disabil* 2014 ; 35 : 1198-207.
46. Piek JP, Bradbury GS, Elsley SC, et al. Motor coordination and social-emotional behaviour in preschool-aged children. *Int J Disabil Dev Educ* 2008 ; 55 : 143-51.
47. Qiu A, Adler M, Crocetti D, et al. Basal ganglia shapes predict social, communication, and motor dysfunctions in boys with autism spectrum disorder. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 2010 ; 49 : 539-51.
48. Shaw P, De Rossi P, Watson B, et al. Mapping the development of the basal ganglia in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 2014 ; 53 : 780-9.
49. Leisman G, Braun-Benjamin O, Melillo R. Cognitive-motor interactions of the basal ganglia in development. *Front Syst Neurosci* 2014 ; 8 : 16.
50. Yaryura-Tobias JA, Rabinowitz DC, Neziroglu F. Possible basal ganglia pathology in children with complex symptoms. *J Clin Psychiatry* 2003 ; 64(12) : 1495-501.
51. Avanzino L, Lagravinese G, Abbruzzese G, et al. Relationships between gait and emotion in Parkinson's disease: a narrative review. *Gait Posture* 2018 ; 65 : 57-64.
52. Kim Y, Cheon SM, Youm C, et al. Depression and posture in patients with Parkinson's disease. *Gait Posture* 2018 ; 61 : 81-5.
53. Strick PL, Dum RP, Fiez JA. Cerebellum and nonmotor function. *Annu Rev Neurosci* 2009 ; 32 : 413-34.
54. Stoodley CJ, Schmahmann JD. Evidence for topographic organization in the cerebellum of motor control versus cognitive and affective processing. *Cortex* 2010 ; 46 : 831-44.
55. Vanwalleghe S, Sacco S, Doummar D, et al. Profil développemental et cognitif d'enfants et d'adolescents atteints du syndrome de Joubert. *Rev Neuropsychol* 2017 ; 9 : 195-202.
56. Tavano A, Grasso R, Gagliardi C, et al. Disorders of cognitive and affective development in cerebellar malformations. *Brain* 2007 ; 130 : 2646-60.
57. Cuny ML, Pallone M, Piana H, et al. Neuropsychological improvement after posterior fossa arachnoid cyst drainage. *Childs Nerv Syst* 2017 ; 33 : 135-41.
58. Lebert A, Chaby L, Cuny ML, et al. Interaction entre émotion et contrôle postural chez des enfants et des adolescents porteurs d'un kyste de la fosse postérieure. *Neurophysiol Clin* 2018 ; 48 : 319-20.
59. Grossard C, Hun S, Serret S, et al. Rééducation de l'expression émotionnelle chez l'enfant avec trouble du spectre autistique grâce aux supports numériques : le projet JEMIME. *Neuropsychiatr Enfance Adolesc* 2017 ; 65 : 21-32.
60. Cohen D, Grossard C, Grynspan O, et al. Autisme, jeux sérieux et robotique : réalité tangible ou abus de langage ? *Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique* 2017 ; 175(5) : 438-45.

Résumé de l'Article 5

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'influence de la perception des émotions sur le contrôle postural dans le cadre d'une pathologie cérébelleuse : le **KFP**. Les liens entre émotions et posture n'ont jamais été étudiés conjointement dans le cadre des **KFP**. En enregistrant les oscillations posturales simultanément à la perception de stimuli sociaux, ainsi qu'en évaluant les compétences socio-émotionnelles et comportementales dans le cadre d'un bilan neuropsychologique, nous avons pu identifier des patterns posturaux et psycho-affectifs individuels.

Nos résultats montrent une bonne stabilité posturale chez les enfants typiques, avec cependant une légère augmentation des oscillations posturales face aux stimuli sociaux. Notre étude montre également que, contrairement aux enfants typiques, les trois patients **KFP** présentent une moins bonne stabilité posturale dès lors qu'ils sont confrontés à des stimuli sociaux. Cette instabilité est plus ou moins majorée en fonction des patients, et s'associe à des difficultés psycho-affectives variables de manière individuelle. Ces résultats suggèrent que plusieurs profils peuvent émerger dans le contexte des **KFP**, et qu'une meilleure compréhension non seulement des profils cognitifs mais également affectifs et posturographiques, paraît essentielle dans le cadre de l'évaluation neuropsychologique de ces patients.

8.3 Article 5 : "Kyste de la fosse postérieure chez l'enfant : intérêt de l'évaluation posturographique et socio-émotionnelle."

- **Lebert, A.**, Vergilino-Perez, D., Cuny, M.-L., Prodhomme, J., Puget, S., Beccaria, K., & Chaby, L. (en préparation). Kyste de la fosse postérieure chez l'enfant : intérêt de l'évaluation posturographique et socio-émotionnelle.

Kyste de la fosse postérieure chez l'enfant : intérêt de l'évaluation posturographique et socio-émotionnelle

Lebert Angélique^{a,c}, Vergilino-Perez Dorine^a, Cuny Marie-Laure^d, Prodhomme Julie^d, Puget Stéphanie^d, Beccaria Kevin^d and Chaby Laurence^{b,c}

^aUniversité de Paris, VAC, 71 avenue Edouard Vaillant, Boulogne-Billancourt, 92100, France

^bSorbonne Université, Institut des systèmes intelligents et de robotique (ISIR), Paris, France, 4 place Jussieu, Paris, 75005, France

^cInstitut de Psychologie, Université de Paris, 71, avenue Edouard Vaillant, Boulogne-Billancourt, 92774, France

^dHôpital Universitaire Necker, 149 Rue de Sèvres, Paris, 75015, France

ARTICLE INFO

Keywords:
Émotion
Posture
Cervelet
Kyste arachnoïdien

Résumé

Au cours du développement, la reconnaissance des expressions faciales, ainsi que la compréhension des émotions et des états affectifs d'autrui fournissent les bases nécessaires à l'émergence de compétences sociales futures. La régulation de la conduite posturale apparaît également essentielle, afin d'optimiser la qualité des interactions sociales et d'adapter son comportement à autrui. Des difficultés socio-émotionnelles ou de régulation posturale peuvent ainsi conduire à des déficits de cognition sociale. Différentes structures cérébrales sous-tendent ces compétences, et notamment le cervelet pour son rôle, tant sur le plan de la coordination motrice qu'au sein des acquisitions cognitives et des fonctions de communication et de socialisation. Ce travail a été conduit auprès de trois enfants porteurs d'un kyste de la fosse postérieure (KFP), âgés de 11 ans 2 mois à 11 ans 8 mois, suivis à l'Hôpital Necker Enfants-Malades. Ces enfants KFP ont été comparés à six enfants typiques du même âge. Un bilan neuropsychologique et une analyse posturographique ont permis d'explorer leurs capacités socio-émotionnelles, ainsi que leur régulation posturale, à l'aide d'une plateforme de force, en réponse à différents stimuli sociaux et non sociaux. Les résultats obtenus ont mis en évidence une bonne stabilité posturale chez les enfants typiques, avec cependant une légère augmentation des oscillations posturales face aux stimuli sociaux. Notre étude montre également que, contrairement aux enfants typiques, les trois patients KFP présentent une moins bonne stabilité posturale dès lors qu'ils sont confrontés à des stimuli sociaux. Cette instabilité est plus ou moins majorée en fonction des patients, et s'associe à des difficultés psycho-affectives variables de manière individuelle. Nous examinons la régulation posturale de chacun des patients au regard de son anamnèse et de son profil neuropsychologique sur le plan socio-émotionnel et comportemental.

1. Introduction

La présence d'une symptomatologie clinique lors d'anomalies cérébelleuses a été largement décrite dans la population pédiatrique (Levisohn et al., 2000; Grill et al., 2004; Puget et al., 2009; Schmahmann, 2010; D'Mello and Stoodley, 2015). Ces anomalies peuvent concerner l'ensemble de la fosse cérébrale postérieure ou être localisées plus spécifiquement au niveau du cervelet. D'un point de vue anatomique, la fosse cérébrale postérieure abrite le tronc cérébral, le cervelet et renferme de nombreuses structures vasculaires, ainsi que la plupart des nerfs crâniens. Les connexions du cervelet sont multiples, notamment au niveau cortical, où il est relié à des voies anatomiques correspondant principalement à des boucles fermées cérébello-cortico-cérébelleuses (Strick et al., 2009). Ces connexions lui confèrent un rôle tant au niveau moteur qu'au niveau des fonctions supérieures (Levisohn et al., 2000; Stoodley and Schmahmann, 2010; Stoodley et al., 2012).

La vue traditionnelle du cervelet comme seul coordinateur de la fonction motrice a été considérablement redéfinie au cours des dernières décennies. Ainsi, un certain nombre d'études neuro-anatomiques, cliniques, mais aussi de neuro-imagerie, ont permis d'étendre le rôle du cervelet à la modulation du traitement cognitif et affectif (Andreasen and Pierson, 2008; Baillieux et al., 2008). Plus spécifiquement, une lésion du lobe antérieur conduirait à des déficits moteurs se traduisant par des gestes maladroits et une difficulté à exécuter des gestes fins et précis (Roux and Bossu,

 angelique.lebert@u-paris.fr (L. Angélique)
ORCID(s):

2016). Une lésion du lobe postérieur serait à l'origine de perturbations du développement langagier, exécutif, visuo-spatial et altérerait certaines compétences sociales (comportements inappropriés, isolement) (Roux and Bossu, 2016). Une atteinte au niveau du vermis (région médiane) serait plutôt corrélée à des déficits de socialisation et à des signes autistiques (Biran et al., 2011). Plusieurs études ont indiqué qu'une atteinte cérébelleuse survenant pendant les périodes sensibles du développement pouvait perturber l'acquisition des compétences cognitives et sociales (Limperopoulos et al., 2007; Wang et al., 2014; Stoodley and Limperopoulos, 2016).

Les maladies et malformations congénitales du cervelet recouvrent un nombre important de pathologies, s'exprimant généralement avant l'âge d'un an, et comprennent les malformations kystiques de la fosse cérébrale postérieure. Le kyste arachnoïdien correspond à une collection de liquide de composition proche de celle du liquide cérébro-spinal, dû à une anomalie du développement des méninges (Catala and Poirier, 1998). La prévalence des kystes arachnoïdiens localisés dans la fosse cérébrale postérieure est assez faible et ces derniers donc peu étudiés sur le plan cognitivo-affectif (Boltshauser et al., 2015; Cuny et al., 2017; Rechtman et al., 2020). Le diagnostic du kyste s'effectue par imagerie, la découverte étant souvent fortuite à l'occasion d'examen médicaux prescrits pour d'autres raisons. Le KFP est souvent considéré comme bénin par le milieu médical, pourtant de par son aspect potentiellement compressif sur le cervelet, il peut venir perturber différents processus cognitifs et comportementaux (Rechtman et al., 2020). Par la suite, l'examen doit se focaliser sur l'aspect symptomatique ou non du kyste, c'est-à-dire s'il entraîne ou non un dysfonctionnement cérébral. Cet aspect est d'autant plus essentiel qu'il a été observé, après une chirurgie de drainage du kyste, une réversibilité des troubles du patient et notamment dans le domaine cognitif (Cuny et al., 2017).

Si l'étude des répercussions motrices, lors d'atteintes cérébelleuses, a été amplement examinée (Nixon and Passingham, 2000; Bioulac et al., 2004), l'impact socio-émotionnel est un champ exploré depuis peu (Okon-Singer et al., 2015; Adamaszek et al., 2017). Une récente méta-analyse a souligné l'implication du cervelet lors de tâches de cognition sociale (Van Overwalle et al., 2014) et plusieurs études lésionnelles ont mis en lumière son rôle dans la régulation émotionnelle (Schmahmann, 2010; Lupo et al., 2015) et la reconnaissance des émotions (D'Agata et al., 2011; Adamaszek et al., 2014, 2015; Hoche et al., 2016). Rechtman et al. (2020) ont également observé un déficit de perception sociale chez des enfants porteurs d'un KFP, objectivé par une diminution du temps d'observation des visages, comparativement à des stimuli non sociaux. De plus, Reiman et al. (1997) et Beauregard et al. (1998) ont mis en évidence une augmentation de l'activation cérébelleuse Lors de la perception passive de vidéos émotionnelles. Cuny et al. (2017) ont observé après drainage d'un KFP, de nettes améliorations sur le plan cognitif et comportemental, soulignant l'implication du cervelet dans ces aspects. Enfin, le cervelet jouerait un rôle de modulateur de la réponse affective de l'organisme afin que celle-ci soit adaptée au contexte (Snow et al., 2014). En résumé, le rôle du cervelet dans le champ des émotions s'étendrait de la reconnaissance de l'information émotionnelle, à l'expérience et à la régulation des états émotionnels relatifs aux comportements moteurs, cognitifs et sociaux (voir pour revue, (Adamaszek et al., 2017)).

Il est d'autant plus important d'évaluer la présence de déficits socio-émotionnels que les émotions remplissent un ensemble de fonctions indispensables à l'adaptation de l'être humain à son environnement. La capacité à reconnaître les émotions véhiculées par les expressions faciales est une compétence qui se développe de manière graduelle au cours de l'enfance, et qui s'affine progressivement jusqu'à la fin de l'adolescence (Lenti et al., 1999). Cette capacité serait prédictive de l'avenir social et des compétences scolaires et relationnelles de l'enfant (Izard et al., 2001). A partir de 5-6 ans, les enfants seraient capables de verbaliser eux-mêmes le nom de l'émotion qu'ils ont reconnue sur un visage, puis vers 7-8 ans, ils parviendraient à catégoriser toutes les émotions de base (Gosselin, 1995). Pour certains auteurs, peu de changements significatifs sont observables après 10 ans (Tremblay et al., 1987), tandis que pour d'autres, cette capacité s'améliore significativement à l'adolescence et s'étendrait même jusqu'à l'âge adulte (Herba and Phillips, 2004; Herba et al., 2006). Rodger et al. (2015), quant à eux, ont identifié deux étapes principales dans le développement de la reconnaissance des expressions faciales : de 5 à 12 ans, et de 13 ans jusqu'à l'âge adulte. Les compétences d'identification des émotions sont d'autant plus essentielles qu'elles permettent d'inférer l'état émotionnel d'autrui et d'avoir en retour une réaction adaptée. Ainsi, un stimulus serait jugé positif ou négatif par l'organisme, il en découlerait ainsi un état motivationnel pouvant induire un comportement d'approche, propice à la survie et au bien-être, ou un comportement d'évitement dans le cas d'une menace (Elliot et al., 2013). Ces processus évaluatifs s'effectueraient de manière automatique (Ferguson et al., 2008), et permettraient d'attribuer une valeur positive ou négative à tous les stimuli que nous rencontrons. Dans ce contexte, plusieurs auteurs se sont intéressés aux réponses comportementales d'approche et d'évitement en lien avec les émotions chez l'adulte en bonne santé.

Certaines émotions positives, telles que la joie, susciteraient un comportement d'approche, tandis que des émotions négatives, telles que le dégoût, provoqueraient un comportement de retrait (Gea et al., 2014; Perakakis et al., 2012).

La plupart des études s'intéressant à cette question se sont reposées sur des tâches manuelles d'extension/flexion ou d'appui/relâchement d'une touche. Dans ces tâches, les auteurs associaient le mouvement de flexion ou d'appui au système motivationnel d'approche, et le mouvement d'extension ou de relâchement au système motivationnel d'évitement (Cacioppo et al., 1993; Wentura et al., 2000; Elliot, 2006; Rutherford and Lindell, 2011; Veenstra et al., 2017). Cependant, les mouvements du bras peuvent être ambigus (Eder and Rothermund, 2008), dans la mesure où une extension du bras peut également être associée à un désir d'atteindre l'objet, et une flexion à un évitement de ce dernier. Des mesures plus directes des comportements d'approche et d'évitement, réalisées à travers l'enregistrement des oscillations posturales, devraient être davantage prises en compte.

Plusieurs auteurs se sont interrogés sur la manière dont le traitement des émotions pouvait influencer le contrôle postural, en considérant le déplacement du CoP-Y comme indicateur d'un mécanisme d'approche des informations positives (balancement postural vers l'avant) ou d'évitement des informations négatives (balancement postural vers l'arrière) (Hillman et al., 2004; Azevedo et al., 2005; Stins and Beek, 2007; Eerland et al., 2012; Perakakis et al., 2012; Gea et al., 2014; Lelard et al., 2014; Lebert et al., 2020). La quantification de ces modifications posturales peut s'effectuer via l'étude des paramètres globaux sur la stabilité, telle que l'aire couverte par les déplacements du centre de pression (CoP), ainsi que la longueur des déplacements du CoP et des paramètres d'approche et d'évitement liés à la position du CoP sur l'axe antéro-postérieur (CoP-Y). L'aire renseigne l'amplitude des oscillations posturales, et se distingue de la longueur parcourue par le CoP. De façon générale, les oscillations corporelles des enfants sont plus importantes que celles des adultes (Shumway-Cook and Woollacott, 1985; Figura et al., 1991). Plusieurs auteurs ont ainsi examiné l'influence de stimuli émotionnels sur le contrôle postural chez l'enfant. Plus spécifiquement, Goulème et al. (2015) ont observé auprès de trois groupes d'âge (7-8 ans; 9-11 ans et 14-17 ans) une augmentation de l'aire, indicatrice d'une grande instabilité posturale, en réponse à des visages joyeux ou tristes, par rapport à des visages colériques ou neutres. De plus, de Freitas Brandão et al. (2016) ont mis en évidence chez l'enfant d'âge scolaire, de la même manière que chez l'adulte, une augmentation de la vitesse et de la longueur des déplacements du CoP face à des films émotionnels plaisants et déplaisants, comparativement aux films neutres. En revanche, ils n'ont pas observé de modulation de la position moyenne du CoP-Y, c'est-à-dire de déplacements antéro-postérieurs, relativement aux films émotionnels. Bien que la stabilité s'améliore avec l'âge, les patterns d'ajustements posturaux sont similaires tant chez les enfants que les adultes, suggérant que le contrôle postural serait influencé de manière similaire par la signification émotionnelle des stimuli.

Les différentes études abordées précédemment soulignent l'implication du cervelet, non seulement sur le plan de la coordination motrice, mais également au sein des acquisitions cognitives et des fonctions de communication et de socialisation. Des anomalies cérébelleuses peuvent perturber les fonctions d'optimisation de circuits cérébo-cérébelleux spécifiques. Ainsi, une lésion du cervelet postérieur peut entraîner des déficits au niveau cognitif, et une dérégulation affective telle que le syndrome cognitivo-affectif cérébelleux (Schmahmann and Sherman, 1998). Cependant, très peu de données, à ce jour, ont été collectées concernant les répercussions cognitives ou affectives des kystes de la fosse postérieure chez l'enfant (Cuny et al., 2017; Rechtman et al., 2020).

Dans la présente étude, nous examinons l'influence des émotions sur le contrôle postural au sein d'une population pédiatrique porteuse d'un KFP. Plus spécifiquement, nous examinons à la fois l'atteinte motrice, ainsi que la présence ou non de difficultés socio-émotionnelles et comportementales qui pourraient affecter l'adaptation posturale de l'enfant en situation d'interaction sociale. Pour ce faire, nous avons mis en place un protocole permettant de quantifier l'ajustement postural spontané, tant sur le plan de la stabilité posturale globale que des comportements d'approche et d'évitement, en réponse à visages émotionnels.

2. Méthode et Matériel

2.1. Participants

Trois patients porteurs d'un KFP ($M = 11,5 \pm 0,3$ ans; RN = 11,6 ans; AE : 11,2 ans; FS : 11,8 ans) et six enfants au développement typique (EDT) ($M = 11,07 \pm 1$ an) ont participé à cette étude. Les EDT devaient être de langue maternelle française, posséder une vue normale ou corrigée et ne pas avoir de problèmes posturaux (scoliose, chirurgies récentes, etc), ni d'antécédents de troubles psychiatriques ou neurologiques. Les patients étaient suivis à l'Hôpital Necker-Enfants-Malades dans le service de Neurochirurgie Pédiatrique, et les critères d'exclusions

comprenaient la présence de pathologies d'origine génétique, neurologique, autres que le kyste, et/ou psychiatrique avérée. Le profil intellectuel de chacun des patients a été évalué à l'aide de la WISC-IV ou de la WISC-V. Plusieurs tests neuropsychologiques ont été administrés à l'ensemble des patients et EDT. Le domaine Perception Sociale de la Nepsy-II évaluait la reconnaissance d'affects et la théorie de l'esprit. Le Children's Depression Inventory (CDI; traduction française Mack et Moor, 1982) permettait une auto-évaluation du niveau de dépression. De plus, les parents ont rempli différents questionnaires concernant le fonctionnement exécutif (BRIEF), le comportement et les problèmes émotionnels (CBCL), ainsi que le niveau d'autonomie et d'adaptation de leur enfant dans la vie quotidienne (Vineland-II). L'évaluation clinique a révélé des difficultés cognitives, affectives ou comportementales chez ces patients (voir tableau 1). Tous les participants ont fourni un consentement éclairé écrit. La présente étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'Université de Paris (n°IRB : 20130500001072 et n°IRB : 2016300001072) et s'est effectué en collaboration avec l'Hôpital Necker.

2.2. Matériel

2.2.1. Plateforme de force

Les données posturales ont été recueillies à une fréquence d'échantillonnage de 100 hertz grâce à la plate-forme de force AMTI : ACS+®. Le système d'enregistrement postural est complètement non invasif et sans aucune contrainte corporelle. Nous avons recueilli les déplacements du CoP sur les 32 secondes de stimulation pour l'ensemble des essais (2 secondes de croix de fixation, 30 secondes de visages émotionnels). A partir des déplacements du CoP, plusieurs paramètres sont obtenus : l'aire (cm²) et la longueur (cm) des déplacements du CoP, la vitesse (cm/sec), le CoP-Y moyen (cm) et sa déviation standard (cm). Les données ont également été corrigées. Ainsi, pour chaque essai, nous avons supprimé les deux premières secondes de la croix de fixation afin de n'avoir l'enregistrement postural qu'en réponse aux stimuli sociaux. De plus, puisque la position de départ de chaque participant pouvait varier, nous avons remis les coordonnées de départ X et Y à 0.0 afin de pouvoir comparer les essais entre eux.

2.2.2. Stimuli

Similairement à une étude antérieure conduite dans notre laboratoire (Lebert et al., 2020) nous avons présenté six expressions faciales émotionnelle constituées de visages d'acteurs et provenant de la base de données d'Ebner (Ebner et al., 2010). Parmi la banque de visages, nous avons sélectionné 10 identités différentes, comprenant 5 hommes et 5 femmes, et exprimant six émotions : la joie, la colère, la peur, la tristesse, le dégoût et l'expression neutre. Les visages provenaient de la catégorie B de la base de données et étaient tous des individus jeunes. Afin de mesurer les oscillations posturales des participants, en réponse à des stimuli non sociaux mais impliquant des ressources attentionnelles, nous avons enregistré leur posture durant 32 secondes en réponse à un écran vide et à une croix de fixation blanche. En effet, Legrand et al. (2016) ont mis en évidence que la perception d'une croix de fixation sollicitait le recrutement de ressources attentionnelles et détériorait la posture.

2.3. Procédure

Les patients étaient reçus à l'Hôpital Necker dans le cadre de leur bilan médical et neuropsychologique. Après le recueil des informations anamnestiques, il était demandé aux parents de signer le formulaire de consentement, et de remplir les questionnaires concernant le fonctionnement exécutif (BRIEF), le comportement et les problèmes émotionnels (CBCL), ainsi que le niveau d'adaptation et d'autonomie (Vineland II). Le patient remplissait, quant à lui, l'inventaire de dépression (CDI). Puis s'ensuivait une évaluation de l'efficacité intellectuelle (WISC IV / V) et des compétences de perception sociale (NEPSY-II). Le groupe d'enfants typiques était reçu à l'Institut de Psychologie de l'Université de Paris et n'effectuait pas l'évaluation de l'efficacité intellectuelle. Pour la partie expérimentale, afin de limiter la fatigabilité des enfants, le temps d'enregistrement des oscillations posturales face à des stimuli sociaux s'élevait à 15 minutes et comprenait des pauses régulières. Le participant était installé debout sur la plate-forme de force à une distance d'un mètre de l'écran, les pieds dans l'alignement des hanches et les mains le long du corps (voir Figure 1). Les visages étaient présentés en couleur sur un fond gris au centre d'un écran Dell (1920 * 1200 pixels) et couvraient 6,4 par 10 degrés d'angle visuel. Dans une 1ère partie, 2 blocs de 32 secondes n'impliquant pas de stimuli émotionnels étaient présentés au participant. Le premier bloc consistait en un écran vide de couleur gris-sombre, tandis que le deuxième bloc consistait en une croix de fixation blanche présentée au centre de l'écran et couvrant 2° d'angle visuel. Dans une 2ème partie, 6 blocs de 32 secondes (2 sec de croix de fixation, puis 3 sec * 10 identités) étaient présentés, avec une pause de 20 secondes entre chacun d'eux. Chaque bloc comprenait une émotion en particulier (joie, peur,

colère, dégoût, tristesse), ou bien l'expression neutre. À l'issue de chaque bloc, le participant devait indiquer l'émotion identifiée, et l'intensité de cette émotion à partir de l'échelle Self-Assessment Manikin.

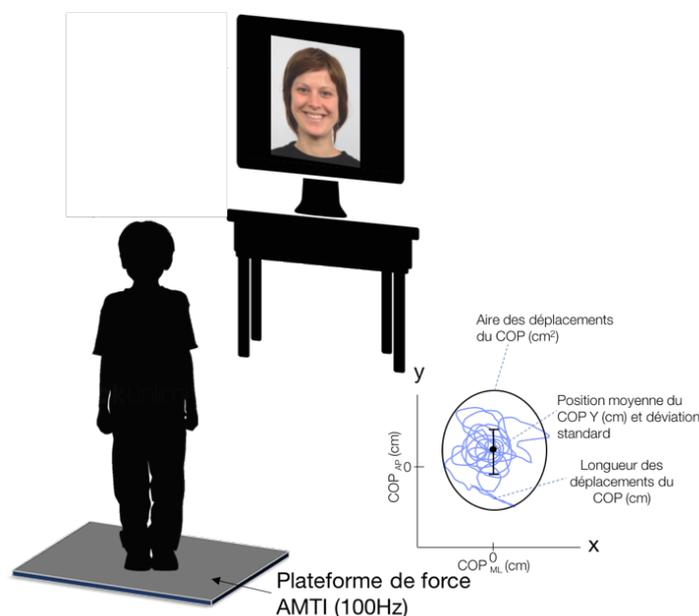


Figure 1: Principaux paramètres posturaux tels que l'aire, la longueur, la position moyenne du CoP-Y pris en compte lors de l'étude du contrôle postural réalisée chez l'enfant debout sur une plateforme de force face à un écran présentant les stimuli non sociaux et sociaux.

2.4. Analyse statistique

En raison des petits effectifs de chaque groupe, des tests non paramétriques ont été effectués. L'analyse de l'influence des types de stimuli (écran vide; croix; stimuli sociaux) sur les paramètres posturaux de stabilité globale (aire, longueur, vitesse) du groupe d'EDT s'est effectuée grâce à une ANOVA de Friedman. Puis, nous nous sommes intéressés à l'effet de l'expression faciale émotionnelle (joie, colère, dégoût, peur, tristesse et neutre) sur les paramètres de stabilité posturale globale et sur les comportements d'approche et d'évitement (CoP-Y). Enfin, nous avons effectué des tests de Wilcoxon appariés permettant des comparaisons deux à deux entre les différentes modalités de chaque facteur. Afin d'identifier les patients qui se situaient en dehors de la distribution normale, nous avons comparé chacun des patients avec l'ensemble du groupe contrôle pour chaque paramètre postural. En ce sens, nous avons appliqué la procédure de Crawford and Garthwaite (2002) permettant de comparer chaque patient avec un groupe de contrôle de taille modeste.

3. Résultats

3.1. Présentation anamnétique et résultats aux questionnaires

RN, âgé de 11 ans 6 mois au moment de l'étude, est porteur d'un kyste arachnoïdien rétro-cérébelleux. Son développement psychomoteur a été normal au niveau de la marche et le langage s'est rapidement mis en place. Actuellement en classe de 6ème, il présente des difficultés scolaires, notamment au niveau de l'orthographe en lien avec un trouble qui s'apparente à une dyslexie. Des difficultés d'écriture sont également signalées, le pénalisant dans certaines matières. Sur le plan du comportement, son père signale des crises de colère, qui se seraient un peu atténuées avec le temps. Il persisterait également une fragilité sur le plan de la concentration. Les épreuves neuropsychologiques ont mis en évidence une efficacité intellectuelle normale, homogène, et le situant globalement dans la moyenne des jeunes de son âge (QIT = 108). Le CBCL révèle un score déficitaire à l'échelle interne (intégrant l'anxiété/la dépression) et un score limite à l'échelle externe (intégrant le comportement agressif) et totale. Le questionnaire parental, portant sur les troubles exécutifs au quotidien, met en évidence des troubles significatifs dans le domaine

de la régulation comportementale, ainsi qu'au niveau métacognitif. Par ailleurs, la Vineland-II objective des difficultés significatives sur le plan de la socialisation, et notamment au niveau des relations interpersonnelles. AE, 11 ans 2 mois au moment de l'étude est porteur d'un kyste arachnoïdien rétro-cérébelleux. Actuellement en classe de 6ème, il se plaint essentiellement de difficultés en français, bien que sa moyenne soit correcte. Ses professeurs rapportent que des efforts au niveau de l'attitude doivent être faits au sein du groupe de la classe. Sur le plan du comportement, d'après ses parents, AE est un garçon agréable, mais un peu « têtue ». Par ailleurs, il fait du football 3 fois par semaine. L'efficacité intellectuelle est normale, homogène, et se situe globalement dans la moyenne forte des jeunes de son âge (QIT = 115). L'évaluation neuropsychologique ne met pas en évidence de difficultés particulières sur le plan du fonctionnement exécutif, de la dépression, du comportement et des problèmes émotionnels, ou de la cognition sociale. En revanche, il est retrouvé des troubles significatifs sur le plan de la socialisation à la Vineland-II. F.S, 11 ans 8 mois au moment de l'étude est porteur d'un kyste arachnoïdien péri-cérébelleux gauche découvert sur un épisode de convulsions en 2015. Actuellement en 6ème, F.S montre des difficultés d'apprentissage en français. Sa mère le décrit comme un enfant réservé mais sociable, plutôt sensible, maladroit dans l'espace, il tombe et se cogne très souvent mais n'a aucune difficulté pour utiliser sa trottinette et son vélo. Le bilan de 2015 en CE1 était normal avec d'excellentes performances intellectuelles. F.S présente ce jour des difficultés attentionnelles pénalisantes en classe, une écriture anormalement lente et malhabile avec une lenteur par rapport à la norme en motricité fine, l'écart par rapport à la norme s'étant creusé. Le questionnaire parental BRIEF montre des troubles exécutifs significatifs au quotidien au niveau des capacités de Méta-Cognition. Le questionnaire de la CBCL met en avant des troubles significatifs de type intériorisés tels que des signes d'anxiété/dépression, des troubles de la pensée, ainsi que des problèmes d'attention. Concernant la perception sociale, ses résultats se situent dans la moyenne des enfants de son âge avec quelques difficultés dans l'identification des expressions de peur et de dégoût. Enfin, il est noté une tendance dépressive et des difficultés sur le plan de la socialisation à la Vineland-II.

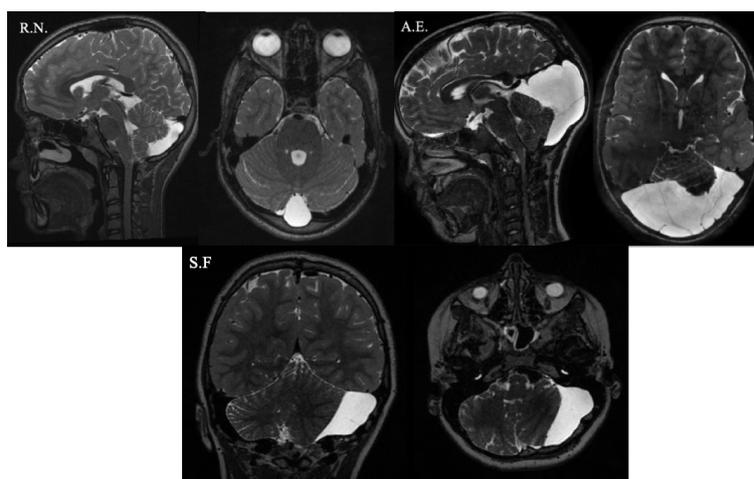


Figure 2: Coupes IRM sagittales et axiales des patients R.N et A.E. Coupes IRM frontale et axiale du patient S.F. Les kystes, en blanc, sont plus ou moins volumineux

Éclairage clinique des liens entre émotions et posture

	Enfants typiques	R.N.	A.E.	F.S.
Âge chronologique, moy (SD)	11,07 (±1,01)	11,6	11,2	11,8
<i>Kyste</i>				
Localisation		<i>Rétro-cérébelleux</i>		<i>Péri-cérébelleux gauche</i>
Volume	—	17 ml	171 ml	35cc
<i>Évaluation neuropsychologique</i>				
CDI	7 (±4,8)	15*	4	15*
BRIEF				
Inhibition	45 (±6,4)	87**	42	62
Flex. Mentale	51 (±7,2)	73**	36	69*
Contrôle émotionnel	48 (±6)	90**	39	44
Régulation Comportementale				
Initiation	50 (±4,6)	59	41	52
Mémoire de travail	52 (±6,8)	77**	41	85**
Planification/Organisation	52 (±7,9)	91**	46	84**
Organisation du matériel	51 (±4,8)	48	45	68
Contrôle	51 (±10,5)	69*	51	69
Métacognition	52 (±4)	76**	44	79**
Score Composite Exécutif Global	52 (±3)	85**	40	75**
CBCL				
Anxiété/Dépression	58 (±6,6)	73**	50	70**
Retrait	59 (±4)	54	52	62
Plainte somatique	56 (±8,4)	67*	54	68*
Problèmes sociaux	58 (±7,6)	59	58	59
Trouble de la pensée	58 (±7,6)	61	55	70**
Problème d'attention	58 (±8,7)	59	50	79**
Comportement délinquant	53 (±2,9)	57	52	59
Comportement agressif	52 (±2)	67*	50	57
Interne	58 (±6,4)	70**	47	71**
Externe	52 (±5)	65*	43	55
Total	53 (±5,4)	69*	46	68*
Vinland-II (domaine socialisation)	85 (±10,5)	69**	69**	71*
Nepsy-II (domaine perception sociale)				
Reconnaissance d'affects	12 (±1,2)	13	15	10
TOM	<cent. 2 à >cent 75	cent. 51-75	cent. 51-75	>cent 75

Figure 3: Résultats des EDT et des patients KFP aux tests neuropsychologiques et aux questionnaires (seuil limite déficit* ; déficit**).

3.2. Reconnaissance des émotions

Le groupe d'enfants typiques a parfaitement identifié les expressions faciales émotionnelles présentées lors des blocs posturaux ($M = 100\%$). De plus, ils ont attribué une intensité moyenne de 3,4 sur 5 ($\pm 0,9$). AE et FS ont également parfaitement identifié les expressions présentées et ont respectivement attribué une intensité moyenne de 4,4 ($\pm 1,3$) et de 4 ($\pm 0,7$). RN a correctement identifié cinq émotions, à l'exception de la peur catégorisée comme étant du dégoût, et a attribué une intensité moyenne de 3,8 ($\pm 1,3$).

3.3. Paramètres posturaux : stabilité globale

Premièrement, nous avons examiné auprès du groupe d'EDT si les paramètres de stabilité globale que sont l'aire, la longueur et la vitesse, étaient influencés par le type de stimuli et l'expression faciale émotionnelle présentée. L'ANOVA de Friedman a mis en évidence un effet du type de stimulation ($\chi^2(2)=9,33$, $p < 0,008$) sur l'aire. Les tests de Wilcoxon pour échantillons appariés suggèrent que l'aire était significativement plus importante en réponse aux stimuli sociaux ($M_{\text{aire}}=4,32 \pm 1,43 \text{ cm}^2$) par rapport à une croix de fixation ou à un écran vide (respectivement $M_{\text{aire}}=2,52 \pm 1,91 \text{ cm}^2$

et $M_{\text{aire}}=1,37 \pm 0,74 \text{ cm}^2$, tous les $p < 0,03$). L'ANOVA n'a pas montré d'effet du type de stimuli sur la longueur et la vitesse ($\chi^2(2)=4, p > 0,05$). L'ANOVA de Friedman effectuée sur les paramètres de stabilité posturale du groupe d'EDT a mis en évidence que ces derniers étaient modulés par le type d'expression faciale des stimuli sociaux pour l'aire ($\chi^2(5)=20,48, p < 0,002$), la longueur ($\chi^2(5)=16,67, p < 0,004$) et la vitesse ($\chi^2(5)=16,67, p < 0,004$). En particulier, les tests de Wilcoxon indiquent que les trois paramètres diminuaient significativement face à l'expression de dégoût comparativement aux autres expressions (tous les $p < 0,05$ sauf pour la comparaison dégoût vs. neutre sur l'aire). Les autres comparaisons deux à deux n'ont pas fait apparaître de pattern spécifique sur les autres expressions (Annexe 5).

Deuxièmement, nous avons examiné pour chacun des trois patients si les paramètres de stabilité posturale globale différaient du groupe d'EDT en fonction du type de stimuli présentés. Le test t de Crawford a mis en évidence chez les patients RN et SF une aire significativement plus importante que pour les EDT en réponse à un écran vide (EDT, $M=1,4 \pm 0,7 \text{ cm}^2$; RN, $M=4,4 \text{ cm}^2, t(5) > 3,81, p < 0,02$; SF, $M=21,4 \text{ cm}^2, t(5) > 24,9, p < 0,001$), une croix de fixation (EDT, $M=2,5 \pm 1,9 \text{ cm}^2$; RN, $M=12,8 \text{ cm}^2, t(5) > 4,98, p < 0,01$; SF, $M=27,4 \text{ cm}^2, t(5) > 12, p < 0,001$) ainsi qu'à des stimuli sociaux (EDT, $M=4,3 \pm 1,4 \text{ cm}^2$; RN, $M=34,2 \text{ cm}^2, t(5) > 19,37, p < 0,001$; SF = $M=33,7 \text{ cm}^2, t(5) > 19, p < 0,001$).

La longueur et la vitesse des déplacements du CoP des patients RN et SF augmentaient également face à la croix de fixation (RN = $M_{\text{longueur}}=124,5 \text{ cm}$; $M_{\text{vitesse}}=3,9 \text{ cm/sec}, t(5) > 3,87, p < 0,02$; SF = ($M_{\text{longueur}}=155,1 \text{ cm}$; $M_{\text{vitesse}}=4,8 \text{ cm/sec}, t(5) > 8, p < 0,001$) ou aux stimuli sociaux (RN = $M_{\text{longueur}}=123 \text{ cm}$; $M_{\text{vitesse}}=3,8 \text{ cm/sec}, t(5) > 3,58, p < 0,02$; SF = $M_{\text{longueur}}=136$; $M_{\text{vitesse}}=4,3 \text{ cm/sec}, t(5) > 5,3, p < 0,002$) comparativement au groupe d'EDT (croix, $M_{\text{longueur}}=95,9 \pm 6,8 \text{ cm}$; $M_{\text{vitesse}}=3 \pm 0,2 \text{ cm}$; stimuli sociaux, $M_{\text{longueur}}=96,5 \pm 6,9 \text{ cm}$; $M_{\text{vitesse}}=3 \pm 0,2 \text{ cm/sec}$).

Concernant le patient AE, l'aire, la longueur et la vitesse augmentaient de façon significativement plus importantes que pour le groupe d'EDT en réponse aux stimuli sociaux uniquement ($M_{\text{aire}}=17,2 \text{ cm}^2, t(5) > 8,36, p < 0,001$; $M_{\text{longueur}}=137,1 \text{ cm}$, $M_{\text{vitesse}}=4,3 \text{ cm/sec}, t(5) > 5,46, p < 0,01$).

Puis, nous avons examiné si les paramètres posturaux de stabilité globale des trois patients étaient influencés par le type d'émotion présentée, comparativement au groupe d'EDT. Le patient SF était le seul des trois patients présentant une aire significativement plus grande que les EDT en réponse à toutes les expressions faciales émotionnelles (tous les $p < 0,05$). La longueur et la vitesse des déplacements de son CoP étaient également significativement plus importantes que pour les EDT, en réponse à toutes les émotions, à l'exception des visages de colère (tous les $p < 0,05$). Concernant RN, l'aire était plus importante comparativement aux EDT en réponse à l'ensemble des émotions, à l'exception du dégoût (tous les $p < 0,05$). De plus, pour ce même patient la longueur et la vitesse des déplacements du CoP augmentaient significativement plus que pour les EDT face aux émotions de tristesse, de joie, de colère et de neutralité (tous les $p < 0,05$). Enfin, AE présentait une plus grande instabilité posturale que les EDT sur l'aire, la longueur et la vitesse concernant les expressions de joie, de colère et neutre (tous les $p < 0,05$). Pour le dégoût, RN et AE ne diffèrent des enfants typiques (tous les $p > 0,05$).

Éclairage clinique des liens entre émotions et posture

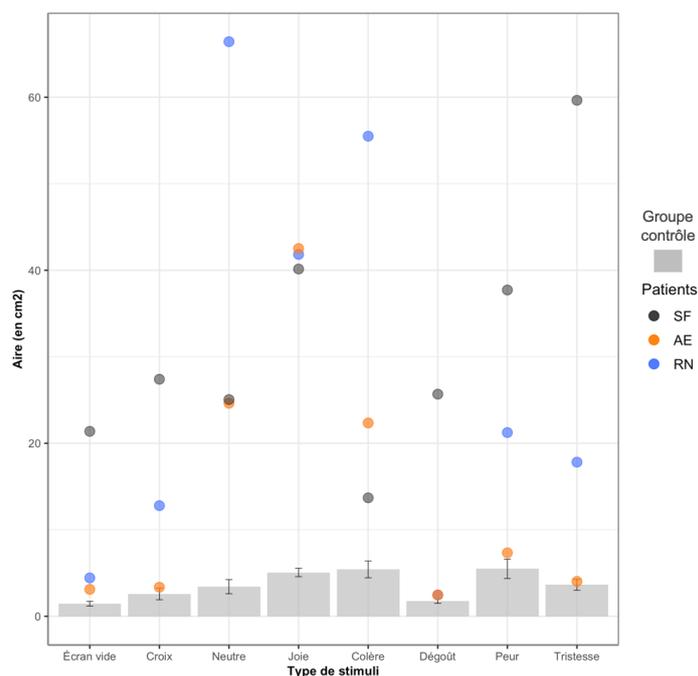


Figure 4: Schéma illustrant l'aire couvrant des déplacements du centre de pression sur les axes antéro-postérieur et médio-latéral en réponse aux expressions faciales émotionnelles pour le groupe d'EDT et les trois patients

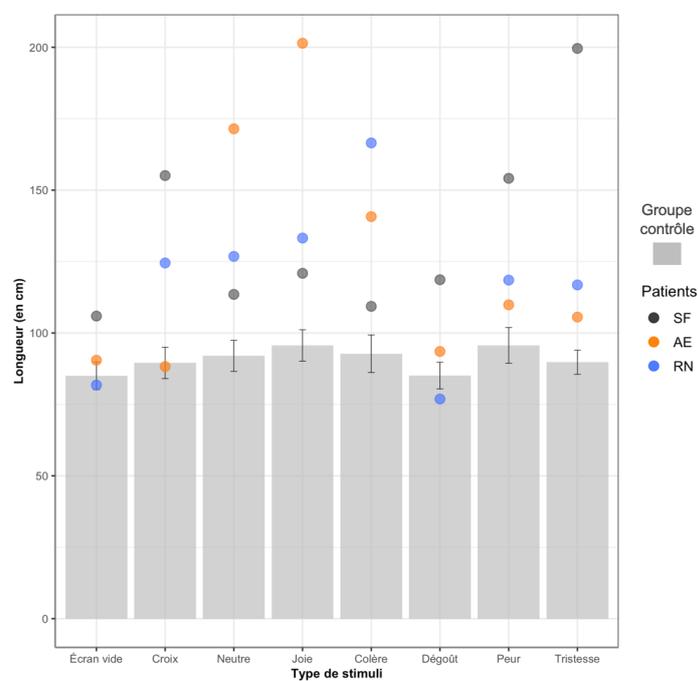


Figure 5: Schéma illustrant la longueur des déplacements du centre de pression sur les axes antéro-postérieur et médio-latéral en réponse aux expressions faciales émotionnelles pour le groupe d'EDT et les trois patients.

3.4. Paramètres posturaux : comportement d'approche et d'évitement

Les coordonnées de départ X et Y ayant été remis à 0.0, cela a permis de faciliter la comparaison des enfants de manière inter et intra-individuelle. Ainsi, un score positif traduit un comportement d'approche (i.e. balancement postural antérieur), tandis qu'un score négatif renvoie à un comportement d'évitement (i.e. balancement postural postérieur). Les déplacements du CoP sont présentés dans la Figure 6 pour les EDT et les patients. D'un point de vue descriptif, les enfants typiques présentent un balancement postural plus antérieur face à l'expression de joie, de dégoût, de colère et de peur, et un balancement postural plus postérieur lorsqu'ils visionnent des visages tristes ou neutres. Toutefois, l'ANOVA de Friedman ne montre pas d'effet significatif de l'émotion ($\chi^2(5)=1,71$, $p > .05$).

Concernant les patients, RN présentait un comportement d'approche plus important que les enfants typiques en réponse à la colère ($M=2,9\text{cm}$; EDT, $M=0,03 \pm 0,7\text{cm}^2$, $t(5) > 3$, $p < 0,05$) et au dégoût (marginal pour le dégoût) ($M=0,8\text{cm}$; EDT, $M=0,07 \pm 0,3\text{cm}^2$, $t(5) = 2,36$). De plus, il évitait marginalement plus l'expression neutre que les enfants typiques ($M=-1,3\text{cm}$; EDT, $M=-0,13 \pm 0,4\text{cm}^2$, $t(5) = -2,5$). A l'inverse, le patient SF présentait un comportement d'approche significativement plus important que les EDT en réponse à l'expression neutre ($M=1,1\text{cm}$; $t(5) > 2,7$, $p < 0,05$) et un comportement d'évitement plus prononcé en réponse au dégoût ($M=1\text{cm}$; $t(5) > -3,36$, $p < 0,05$). En revanche, AE n'a pas montré de prédominance de comportement d'approche et d'évitement comparativement aux EDT.

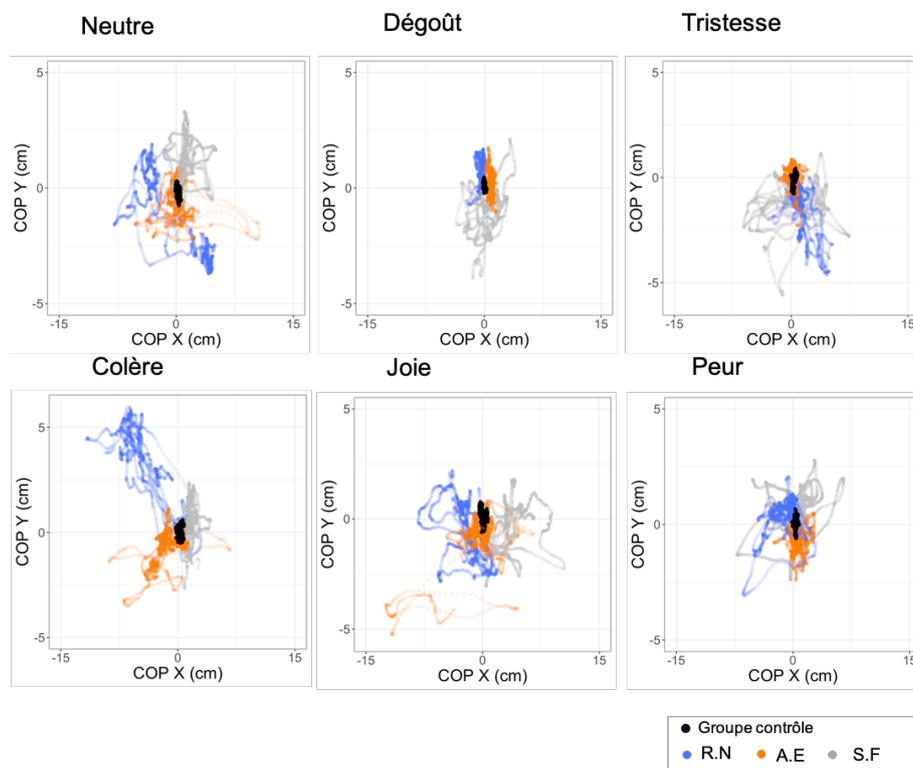


Figure 6: Schéma illustrant les déplacements du centre de pression sur les axes antéro-postérieur et médio-latéral en réponse aux expressions faciales émotionnelles pour le groupe d'EDT et les trois patients

4. Discussion

L'objectif de cette étude était d'apporter un éclairage clinique sur les liens entre émotion et posture dans le cadre d'une pathologie affectant le cervelet. Ainsi, nous avons examiné chez trois enfants porteurs d'un KFP, la présence ou non d'éventuelles difficultés sur le plan de la motricité, des compétences socio-émotionnelles et de la régulation comportementale. Il est d'autant plus important d'objectiver ces difficultés, car elles peuvent possiblement affecter l'ajustement postural de l'enfant face à des stimuli sociaux, tels que des visages émotionnels, en situation d'interaction sociale. En effet, le cervelet est une structure fortement impliquée sur le plan de la coordination motrice (Nixon and Passingham, 2000; Bioulac et al., 2004), et des lésions de la partie postérieure du cervelet peuvent également conduire à des déficits cognitifs, ainsi qu'à une dysrégulation affective (Schmahmann and Sherman, 1998).

Dans un premier temps, les performances posturales (aire, vitesse, longueur) des enfants typiques ont été analysées en fonction du type de stimulation (écran vide, croix de fixation, stimuli sociaux), puis en fonction du type d'expression faciale (neutre, dégoût, tristesse, joie, colère, peur). Nous avons observé une augmentation significative des oscillations posturales face aux stimuli sociaux, comparativement à un écran vide, ou à une croix de fixation. Le traitement d'un stimulus plus complexe implique une demande attentionnelle accrue, qui peut induire une diminution des capacités cognitives disponibles pour la stabilité posturale, et donc conduire à davantage d'oscillations posturales (Huxhold et al., 2006). Nous avons également mis en évidence un effet des émotions sur la stabilité posturale, et plus spécifiquement une diminution de l'aire, de la longueur et de la vitesse en réponse aux visages de dégoût, comparativement aux autres expressions faciales. L'expression de dégoût peut être perçue comme une menace par l'observateur, telle qu'une contamination physique ou bien une maladie (Anderson et al., 2003). Lorsque la menace est apparente mais pas imminente, telle que dans le cas du dégoût, les individus adoptent généralement des comportements de freezing (Blanchard et al., 1986). Le comportement de freezing permet d'abord la détection d'informations pertinentes dans l'environnement pour sélectionner la réponse comportementale adéquate, puis la mobilisation de l'ensemble du corps conduisant à un comportement de combat ou de fuite (Lang and Bradley, 2010). La diminution des paramètres de stabilité posturale, comparativement à toutes les autres expressions faciales, pourrait donc s'apparenter à du freezing. Nous n'avons pas répliqué les résultats de Goulème et al. (2015) concernant l'augmentation de l'aire en réponse aux stimuli de joie et de tristesse. Nous n'avons également pas observé d'augmentation de l'instabilité en réponse aux stimuli émotionnels plaisants et déplaisants, comparativement à la condition neutre telle que mise en évidence par ?. En revanche, de Freitas Brandão et al. (2016) employait dans son étude des films émotionnels, or ce type de stimuli n'affecte pas la posture de la même manière que les visages émotionnels Lebert et al. (2020).

Puis, nous avons examiné les oscillations posturales de chacun des trois patients au regard du contrôle postural du groupe d'EDT. Les patterns posturaux individuels peuvent également être interprétés au regard des résultats aux tests neuropsychologiques. Globalement, les trois patients présentaient une plus grande instabilité posturale, qui augmentait de façon importante avec la complexité des stimuli présentés.

Les patients RN et SF présentaient tous deux une moindre stabilité posturale que les EDT, objectivée par l'augmentation des paramètres d'aire, de longueur et de vitesse, à la fois en réponse à des stimuli non sociaux et sociaux. Ainsi, l'apparition d'une stimulation à l'écran semble entraîner un traitement cognitif plus coûteux chez ces deux patients comparativement aux EDT, se répercutant sur leurs oscillations posturales. Parmi les stimuli sociaux, une augmentation de l'aire était observée face à l'ensemble des expressions faciales, à l'exception du dégoût pour RN. RN présentait également une augmentation de la longueur et de la vitesse en réponse aux visages de joie, de colère et de neutralité, mais cette augmentation n'était pas retrouvée face à au dégoût ni à la peur.

Nos résultats soulignent donc chez le patient RN une moins bonne stabilité observée en réponse aux différentes expressions faciales, à l'exception du dégoût et de la peur. Ces observations sont cohérentes avec les résultats de EDT, où nous avons constaté un comportement de freezing en réponse au dégoût, qui semble ici préservé chez ce patient. De plus, RN avait identifié l'émotion de peur comme du dégoût, ce qui pourrait ici également expliquer la diminution des oscillations posturales en réponse à cette émotion. Toutefois, la reconnaissance d'affect de la Nepsy-II était préservée chez ce patient, suggérant qu'en situation de tâche cognitive peu complexe, l'identification est préservée. En revanche, en situation de double tâche, impliquant à la fois l'identification des émotions et le contrôle postural, l'une ou l'autre des tâches sera détériorée. Ces situations de doubles tâches sont typiques d'interactions sociales de la vie quotidienne, soulignant l'importance d'évaluer de manière écologique les difficultés chez ces patients.

Chez le patient SF, nous avons observé une augmentation de la longueur et de la vitesse en réponse à toutes les expressions faciales à l'exception de la colère. La présence d'anxiété chez ces deux patients, objectivée par la

CDI, pourrait être à l'origine du déclenchement de ces comportements freezing en réponse aux expressions faciales menaçantes. Ces résultats suggèrent un mode d'hypervigilance déclenché chez ces patients face à une menace potentielle provenant de l'environnement.

Concernant les comportements posturaux d'approche et d'évitement, RN s'approchait de façon importante des visages exprimant la colère et marginalement des visages exprimant le dégoût. Il évitait également de façon marginale les expressions neutres. Plusieurs éléments relevés au sein des questionnaires neuropsychologiques ont pu être mis en lien avec son pattern comportemental. D'une part, R.N. présentait des troubles significatifs à l'échelle de comportement agressif du questionnaire CBCL, ainsi que des difficultés de contrôle émotionnel au questionnaire BRIEF. Or, d'après Veenstra et al. (2017), une personne avec un niveau d'agressivité plus élevé aurait une tendance plus automatique à s'approcher d'une situation hostile, plutôt qu'à l'éviter. La colère et le dégoût expriment toutes deux un degré de menace plus ou moins important, pouvant expliquer son comportement d'approche face à ces deux émotions. RN présentait également un faible score de socialisation à la Vineland-II. De plus, les questionnaires neuropsychologiques CDI et CBCL indiquaient la présence d'une anxiété et de tendances dépressives chez R.N. Ces difficultés sur le plan psycho-affectif pourraient conduire à une dysrégulation de l'ajustement comportemental face aux expressions faciales émotionnelles (Radke et al., 2014)

Concernant SF, de façon intéressante, en plus d'une instabilité posturale en réponse aux différentes expressions faciales, présentait un comportement d'approche de l'expression neutre et d'évitement du dégoût. La présence de tendances anxieuses et dépressives chez ce patient pourrait être à l'origine de l'évitement de l'expression de dégoût, suggérant une menace dans l'environnement. De plus, la présence de difficultés sur le plan de la socialisation à la Vineland-II pourrait expliquer la moins bonne stabilité posturale face aux stimuli sociaux, impliquant un coût attentionnel d'autant plus important.

Enfin, le patient AE présentait un profil différent des deux autres patients avec une bonne stabilité posturale en réponse aux stimuli non sociaux, et une moins bonne en réponse aux stimuli sociaux. Plus spécifiquement, AE présentait une augmentation des paramètres d'aire, de longueur et de vitesse en réponse aux expressions de joie, de colère et de neutralité. En revanche, aucune prédominance de comportements d'approche ou d'évitement n'a été observée. D'après l'hypothèse de signal partagé, les expressions de joie, de colère et neutre suggéreraient une motivation d'autrui à approcher l'observateur (Adams Jr and Kleck, 2005; Willis et al., 2011; Pönkänen and Hietanen, 2012). Or, bien qu'aucunes TA n'ait été observées, l'observation d'un score significativement plus faible que la moyenne au domaine socialisation de la Vineland-II et la présence de cette instabilité posturale, pourrait impliquer que le traitement d'expressions faciales suggérant une interaction sociale à venir affectent spécifiquement la régulation posturale de AE.

Les différents profils observés associant troubles posturaux et / ou psycho-affectifs pourraient découler d'une atteinte plus ou moins importante du cervelet. L'implication du cervelet sur le plan socio-émotionnel est examinée depuis peu de temps (Adamaszek et al., 2017), toutefois un certain nombre d'études lésionnelles ont permis de conforter son rôle dans la régulation de nos propres émotions (Lupo et al., 2015), la reconnaissance des émotions d'autrui (Hoche et al., 2016) et la modulation de la réponse affective de l'organisme, de telle sorte qu'elle soit adaptée au contexte (Snow et al., 2014). Lors d'une atteinte cérébelleuse, il est également rapporté des troubles comportementaux, mais surtout d'affect et de gestion des émotions (Fabbro et al., 2004; Levisohn et al., 2000). De plus, l'étude de Cuny et al. (2017) a mis en évidence la présence de difficultés socio-comportementales chez deux frères porteurs de KFP. Après l'intervention chirurgicale, consistant en un drainage du kyste, il a été relevé une amélioration sur le plan du comportement et des interactions sociales, soulignant l'implication du cervelet dans ces domaines.

En complément du bilan IRM, le bilan neuropsychologique apparaît essentiel afin de rechercher d'éventuelles répercussions cognitives, ou socio-émotionnelles et comportementales. La pathologie kystique, au niveau de la fosse postérieure, apparaît comme ne devant pas être négligée, et considérée trop rapidement comme bénigne. Même en présence d'un quotient intellectuel normal, la présence du kyste peut être délétère pour différentes fonctions cognitives et ce, avec une intensité variable. L'intervention chirurgicale est sujette à controverse, en particulier lorsque ces kystes sont dits asymptomatiques. Cependant, il est relevé, dans plusieurs études en post-chirurgie, une amélioration chez l'enfant (Gjerde et al., 2013; Park et al., 2009) et chez l'adulte (Isaksen et al., 2013; Soukup et al., 1998). L'évaluation neuropsychologique permet donc d'apporter un indice fonctionnel quant au retentissement cognitif du kyste, et donc à la nécessité, ou non, d'une intervention chirurgicale. Si les difficultés cognitives et comportementales sont évaluées à l'aide d'épreuves neuropsychologiques, d'autres facteurs, tels que les ajustements posturaux en contexte d'interaction sociale, sont plus complexes et font pourtant partie des difficultés pouvant peser dans le quotidien de ces enfants. Il est d'autant plus important d'évaluer la présence de déficits posturaux et socio-émotionnels que ces processus remplissent

un ensemble de fonctions indispensables à l'adaptation de l'être humain à son environnement. Dans notre étude, le couplage de mesures posturales au visionnage de stimuli non sociaux et sociaux permet d'objectiver des difficultés pouvant se répercuter dans des situations d'interactions sociales de la vie quotidienne.

5. Conclusion

Notre étude permet donc d'apporter des données supplémentaires quant au lien entre émotions et posture. La situation de double tâche permet de mettre en lumière la difficulté pour ces enfants KFP à traiter les stimuli sociaux, et à y répondre de manière adéquate le cadre d'une posture de la vie quotidienne. Cette étude permet également de faire émerger deux profils neuropsychologiques principaux. Le premier profil (patient AE) comprend des difficultés essentiellement sur le plan de la régulation de la posture en réponse aux visages émotionnels, sans difficultés socio-émotionnelles majeures. Le deuxième profil (patients RN et SF) associe des difficultés à la fois posturales, ainsi que socio-émotionnelles et comportementales. De plus, les difficultés observées dans le cadre de ce deuxième profil s'étendent également dans la vie quotidienne de ces patients, entravant leurs interactions sociales. La sévérité des atteintes de chaque profil pourrait être liée à différents facteurs, tels que le volume et/ou la forme du kyste pouvant conduire à une compression plus ou moins important du cervelet. Dans ce contexte, il paraît essentiel d'améliorer l'évaluation de ces patients dans le cadre de leurs bilans neuropsychologiques, en fournissant des mesures observables pour le praticien. Sur le plan clinique, une meilleure compréhension, non seulement des profils cognitifs mais également affectifs et posturographiques, paraît nécessaire afin de permettre la mise en place d'une intervention précoce et ciblée chez de nombreux patients.

CRedit authorship contribution statement

Lebert Angélique: Conceptualization, Methodology, Data curation, Writing - Original Draft. **Vergilino-Perez Dorine:** Conceptualization, Methodology, Supervision, Review & Editing. **Cuny Marie-Laure:** Resources, Project administration. **Prodhomme Julie:** Resources. **Puget Stéphanie:** Resources. **Beccaria Kevin:** Resources. **Chaby Laurence:** Conceptualization, Methodology, Supervision, Review & Editing.

Références

- Adamaszek, M., D'Agata, F., Ferrucci, R., Habas, C., Keulen, S., Kirkby, K.C., Leggio, M., Mariën, P., Molinari, M., Moulton, E., 2017. Consensus paper : cerebellum and emotion. *The Cerebellum* 16, 552–576. Publisher : Springer.
- Adamaszek, M., D'Agata, F., Kirkby, K.C., Trenner, M.U., Sehm, B., Steele, C.J., Berneiser, J., Strecker, K., 2014. Impairment of emotional facial expression and prosody discrimination due to ischemic cerebellar lesions. *The Cerebellum* 13, 338–345. Publisher : Springer.
- Adamaszek, M., Kirkby, K.C., Olbrich, S., Langner, S., Steele, C., Sehm, B., Busse, S., Kessler, C., Hamm, A., 2015. Neural correlates of impaired emotional face recognition in cerebellar lesions. *Brain Research* 1613, 1–12. Publisher : Elsevier.
- Adams Jr, R.B., Kleck, R.E., 2005. Effects of direct and averted gaze on the perception of facially communicated emotion. *Emotion* 5, 3. Publisher : American Psychological Association.
- Anderson, A.K., Christoff, K., Panitz, D., De Rosa, E., Gabrieli, J.D., 2003. Neural correlates of the automatic processing of threat facial signals. *Journal of Neuroscience* 23, 5627–5633. Publisher : Soc Neuroscience.
- Andreasen, N.C., Pierson, R., 2008. The role of the cerebellum in schizophrenia. *Biological psychiatry* 64, 81–88. Publisher : Elsevier.
- Azevedo, T.M., Volchan, E., Imbiriba, L.A., Rodrigues, E.C., Oliveira, J.M., Oliveira, L.F., Lutterbach, L.G., Vargas, C.D., 2005. A freezing-like posture to pictures of mutilation. *Psychophysiology* 42, 255–260. doi :10.1111/j.1469-8986.2005.00287.x.
- Baillieux, H., De Smet, H.J., Paquier, P.F., De Deyn, P.P., Mariën, P., 2008. Cerebellar neurocognition : insights into the bottom of the brain. *Clinical neurology and neurosurgery* 110, 763–773. Publisher : Elsevier.
- Beauregard, M., Leroux, J.M., Bergman, S., Arzoumanian, Y., Beaudoin, G., Bourgouin, P., Stip, E., 1998. The functional neuroanatomy of major depression : an fMRI study using an emotional activation paradigm. *Neuroreport* 9, 3253–3258. Publisher : LWW.
- Bioulac, B., Burbaud, P., Cazalets, J.R., Gross, C., 2004. Fonctions motrices. *EMC-Neurologie* 1, 277–329. Publisher : Elsevier.
- Biran, V., Bodiou, A.M., Zana, E., Gaudin, A., Farnoux, C., Hovhannisyann, S., Alison, M., Elmaleh, M., Oury, J.F., Maury, L., 2011. Lésions acquises du cervelet chez le grand prématuré : prévalence, facteurs de risque et conséquences fonctionnelles. *Archives de pédiatrie* 18, 261–266. Publisher : Elsevier.
- Blanchard, R.J., Flannelly, K.J., Blanchard, D.C., 1986. Defensive behaviors of laboratory and wild *Rattus norvegicus*. *Journal of Comparative Psychology* 100, 101. Publisher : American Psychological Association.
- Boltshauser, E., Scheer, I., Huisman, T.A., Poretti, A., 2015. Cerebellar cysts in children : a pattern recognition approach. *The Cerebellum* 14, 308–316. Publisher : Springer.
- Cacioppo, J.T., Priester, J.R., Berntson, G.G., 1993. Rudimentary determinants of attitudes : II. Arm flexion and extension have differential effects on attitudes. *Journal of personality and social psychology* 65, 5. Publisher : American Psychological Association.
- Catala, M., Poirier, J., 1998. Arachnoid cysts : histologic, embryologic and physiopathologic review. *Revue Neurologique* 154, 489–501.

- Crawford, J.R., Garthwaite, P.H., 2002. Investigation of the single case in neuropsychology : confidence limits on the abnormality of test scores and test score differences. *Neuropsychologia* 40, 1196–1208. Publisher : Elsevier.
- Cuny, M.L., Pallone, M., Piana, H., Boddaert, N., Sainte-Rose, C., Vaivre-Douret, L., Piolino, P., Puget, S., 2017. Neuropsychological improvement after posterior fossa arachnoid cyst drainage. *Child's Nervous System* 33, 135–141. Publisher : Springer.
- D'Mello, A.M., Stoodley, C.J., 2015. Cerebro-cerebellar circuits in autism spectrum disorder. *Frontiers in neuroscience* 9, 408. Publisher : Frontiers.
- D'Agata, F., Caroppo, P., Baudino, B., Caglio, M., Croce, M., Bergui, M., Tamietto, M., Mortara, P., Orsi, L., 2011. The recognition of facial emotions in spinocerebellar ataxia patients. *The Cerebellum* 10, 600–610. Publisher : Springer.
- Ebner, N.C., Riediger, M., Lindenberger, U., 2010. FACES—A database of facial expressions in young, middle-aged, and older women and men : Development and validation. *Behavior research methods* 42, 351–362. Publisher : Springer.
- Eder, A.B., Rothermund, K., 2008. When do motor behaviors (mis) match affective stimuli ? An evaluative coding view of approach and avoidance reactions. *Journal of Experimental Psychology : General* 137, 262. Publisher : American Psychological Association.
- Eerland, A., Guadalupe, T.M., Franken, I.H.A., Zwaan, R.A., 2012. Posture as Index for Approach-Avoidance Behavior. *PLoS ONE* 7, 5.
- Elliot, A.J., 2006. The hierarchical model of approach-avoidance motivation. *Motivation and emotion* 30, 111–116. Publisher : Springer.
- Elliot, A.J., Eder, A.B., Harmon-Jones, E., 2013. Approach–avoidance motivation and emotion : Convergence and divergence. *Emotion Review* 5, 308–311. Publisher : Sage Publications Sage UK : London, England.
- Fabbro, F., Tavano, A., Corti, S., Bresolin, N., De Fabritiis, P., Borgatti, R., 2004. Long-term neuropsychological deficits after cerebellar infarctions in two young adult twins. *Neuropsychologia* 42, 536–545. Publisher : Elsevier.
- Ferguson, M.J., Hassin, R., Bargh, J.A., 2008. *Implicit motivation : Past, present, and future*. Publisher : The Guilford Press.
- Figura, F., Cama, G., Capranica, L., Guidetti, L., Pulejo, C., 1991. Assessment of static balance in children. *J Sports Med Phys Fitness* 31, 235–242.
- de Freitas Brandão, A., Palluel, E., Olivier, I., Nougier, V., 2016. Effects of emotional videos on postural control in children. *Gait & posture* 45, 175–180. Publisher : Elsevier.
- Gea, J., Muñoz, M.A., Costa, I., Ciria, L.F., Miranda, J.G., Montoya, P., 2014. Viewing pain and happy faces elicited similar changes in postural body sway. *PLoS One* 9, e104381. Publisher : Public Library of Science San Francisco, USA.
- Gjerde, P.B., Schmid, M., Hammar, \., Wester, K., 2013. Intracranial arachnoid cysts : impairment of higher cognitive functions and postoperative improvement. *Journal of neurodevelopmental disorders* 5, 1–10. Publisher : Springer.
- Gosselin, P., 1995. Le développement de la reconnaissance des expressions faciales des émotions chez l'enfant. *Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement* 27, 107. Publisher : Canadian Psychological Association.
- Goulème, N., Seassau, M., Bucci, M.P., 2015. The effect of face exploration on postural control in healthy children. *Gait & posture* 42, 178–185. Publisher : Elsevier.
- Grill, J., Viguier, D., Kieffer, V., Bulteau, C., Sainte-Rose, C., Hartmann, O., Kalifa, C., Dellatolas, G., 2004. Critical risk factors for intellectual impairment in children with posterior fossa tumors : the role of cerebellar damage. *Journal of Neurosurgery : Pediatrics* 101, 152–158. Publisher : Journal of Neurosurgery Publishing Group.
- Herba, C., Phillips, M., 2004. Annotation : Development of facial expression recognition from childhood to adolescence : Behavioural and neurological perspectives. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 45, 1185–1198. Publisher : Wiley Online Library.
- Herba, C.M., Landau, S., Russell, T., Ecker, C., Phillips, M.L., 2006. The development of emotion-processing in children : Effects of age, emotion, and intensity. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 47, 1098–1106. Publisher : Wiley Online Library.
- Hillman, C.H., Rosengren, K.S., Smith, D.P., 2004. Emotion and motivated behavior : postural adjustments to affective picture viewing. *Biological Psychology* 66, 51–62. doi :10.1016/j.biopsycho.2003.07.005.
- Hoche, F., Guell, X., Sherman, J.C., Vangel, M.G., Schmahmann, J.D., 2016. Cerebellar contribution to social cognition. *The Cerebellum* 15, 732–743. Publisher : Springer.
- Huxhold, O., Li, S.C., Schmiedek, F., Lindenberger, U., 2006. Dual-tasking postural control : aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain research bulletin* 69, 294–305. Publisher : Elsevier.
- Isaksen, E., Leet, T.H., Helland, C.A., Wester, K., 2013. Maze learning in patients with intracranial arachnoid cysts. *Acta neurochirurgica* 155, 841–848. Publisher : Springer.
- Izard, C., Fine, S., Schultz, D., Mostow, A., Ackerman, B., Youngstrom, E., 2001. Emotion knowledge as a predictor of social behavior and academic competence in children at risk. *Psychological science* 12, 18–23. Publisher : SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA.
- Lang, P.J., Bradley, M.M., 2010. Emotion and the motivational brain. *Biological psychology* 84, 437–450. Publisher : Elsevier.
- Lebert, A., Chaby, L., Garnot, C., Vergilino-Perez, D., 2020. The impact of emotional videos and emotional static faces on postural control through a personality trait approach. *Experimental Brain Research* 238, 2877–2886. Publisher : Springer.
- Legrand, A., Mazars, K.D., Lemoine, C., Nougier, V., Olivier, I., 2016. Interference between oculomotor and postural tasks in 7–8-year-old children and adults. *Experimental brain research* 234, 1667–1677. Publisher : Springer.
- Lelard, T., Krystkowiak, P., Montalan, B., Longin, E., Bucchioni, G., Ahmaidi, S., Godefroy, O., Mouras, H., 2014. Influence of postural threat on postural responses to aversive visual stimuli. *Behavioural Brain Research* 266, 137–145. doi :10.1016/j.bbr.2014.02.051.
- Lenti, C., Lenti-Boero, D., Giacobbe, A., 1999. Decoding of emotional expressions in children and adolescents. *Perceptual and Motor Skills* 89, 808–814. Publisher : SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA.
- Levisohn, L., Cronin-Golomb, A., Schmahmann, J.D., 2000. Neuropsychological consequences of cerebellar tumour resection in children : cerebellar cognitive affective syndrome in a paediatric population. *Brain* 123, 1041–1050. Publisher : Oxford University Press.
- Limperopoulos, C., Bassan, H., Gauvreau, K., Robertson, R.L., Sullivan, N.R., Benson, C.B., Avery, L., Stewart, J., Soul, J.S., Ringer, S.A., 2007. Does cerebellar injury in premature infants contribute to the high prevalence of long-term cognitive, learning, and behavioral disability in survivors ? *Pediatrics* 120, 584–593. Publisher : Am Acad Pediatrics.
- Lupo, M., Troisi, E., Chiricozzi, F.R., Clausi, S., Molinari, M., Leggio, M., 2015. Inability to process negative emotions in cerebellar damage : a functional transcranial doppler sonographic study. *The Cerebellum* 14, 663–669. Publisher : Springer.

- Nixon, P.D., Passingham, R.E., 2000. The cerebellum and cognition : cerebellar lesions impair sequence learning but not conditional visuomotor learning in monkeys. *Neuropsychologia* 38, 1054–1072. Publisher : Elsevier.
- Okon-Singer, H., Hendlér, T., Pessoa, L., Shackman, A.J., 2015. The neurobiology of emotion–cognition interactions : fundamental questions and strategies for future research. *Frontiers in human neuroscience* 9, 58. Publisher : Frontiers.
- Park, Y.S., Eom, S., Shim, K.W., Kim, D.S., 2009. Neurocognitive and psychological profiles in pediatric arachnoid cyst. *Child’s Nervous System* 25, 1071–1076. Publisher : Springer.
- Perakakis, P.E., Idrissi, S., Vila, J., Ivanov, P.C., 2012. Dynamical patterns of human postural responses to emotional stimuli. *Psychophysiology* 49, 1225–1229. Publisher : Wiley Online Library.
- Puget, S., Boddaert, N., Viguier, D., Kieffer, V., Bulteau, C., Garnett, M., Callu, D., Sainte-Rose, C., Kalifa, C., Dellatolas, G., 2009. Injuries to inferior vermis and dentate nuclei predict poor neurological and neuropsychological outcome in children with malignant posterior fossa tumors. *Cancer* 115, 1338–1347. Publisher : Wiley Online Library.
- Pönkänen, L.M., Hietanen, J.K., 2012. Eye contact with neutral and smiling faces : effects on autonomic responses and frontal EEG asymmetry. *Frontiers in human neuroscience* 6, 122. Publisher : Frontiers.
- Radke, S., Güths, F., André, J.A., Müller, B.W., de Bruijn, E.R., 2014. In action or inaction? Social approach–avoidance tendencies in major depression. *Psychiatry research* 219, 513–517. Publisher : Elsevier.
- Rechtman, E., Puget, S., Saitovitch, A., Lemaitre, H., Fillion, L., Tacchella, J.M., Boisgontier, J., Cuny, M.L., Boddaert, N., Zilbovicius, M., 2020. Posterior Fossa Arachnoid Cyst in a Pediatric Population is Associated with Social Perception and Rest Cerebral Blood Flow Abnormalities. *The Cerebellum* 19, 58–67. Publisher : Springer.
- Reiman, E.M., Lane, R.D., Ahern, G.L., Schwartz, G.E., 1997. Neuroanatomical correlates of externally and internally generated human emotion. *The American journal of psychiatry* Publisher : American Psychiatric Assn.
- Rodger, H., Vizioli, L., Ouyang, X., Caldara, R., 2015. Mapping the development of facial expression recognition. *Developmental science* 18, 926–939. Publisher : Wiley Online Library.
- Roux, S., Bossu, J.L., 2016. Le cervelet : des troubles moteurs à l’autisme. *Revue de neuropsychologie* 8, 182–191. Publisher : John Libbey Eurotext.
- Rutherford, H.J., Lindell, A.K., 2011. Thriving and surviving : Approach and avoidance motivation and lateralization. *Emotion Review* 3, 333–343. Publisher : Sage Publications Sage UK : London, England.
- Schmahmann, J.D., 2010. The role of the cerebellum in cognition and emotion : personal reflections since 1982 on the dysmetria of thought hypothesis, and its historical evolution from theory to therapy. *Neuropsychology review* 20, 236–260. Publisher : Springer.
- Schmahmann, J.D., Sherman, J.C., 1998. The cerebellar cognitive affective syndrome. *Brain : a journal of neurology* 121, 561–579.
- Shumway-Cook, A., Woollacott, M.H., 1985. The growth of stability : postural control from a developmental perspective. *Journal of motor behavior* 17, 131–147. Publisher : Taylor & Francis.
- Snow, W.M., Stoesz, B.M., Anderson, J.E., 2014. The cerebellum in emotional processing : evidence from human and non-human animals. *AIMS Neuroscience* 1, 96–119.
- Soukup, V.M., Patterson, J., Trier, T.T., Chen, J.W., 1998. Cognitive improvement despite minimal arachnoid cyst decompression. *Brain and Development* 20, 589–593. Publisher : Elsevier.
- Stins, J.F., Beek, P.J., 2007. Effects of affective picture viewing on postural control. *BMC Neuroscience* 8, 83. doi :10.1186/1471-2202-8-83.
- Stoodley, C.J., Limperopoulos, C., 2016. Structure–function relationships in the developing cerebellum : evidence from early-life cerebellar injury and neurodevelopmental disorders, in : *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*, Elsevier. pp. 356–364. Issue : 5.
- Stoodley, C.J., Schmahmann, J.D., 2010. Evidence for topographic organization in the cerebellum of motor control versus cognitive and affective processing. *cortex* 46, 831–844. Publisher : Elsevier.
- Stoodley, C.J., Valera, E.M., Schmahmann, J.D., 2012. Functional topography of the cerebellum for motor and cognitive tasks : an fMRI study. *Neuroimage* 59, 1560–1570. Publisher : Elsevier.
- Strick, P.L., Dum, R.P., Fiez, J.A., 2009. Cerebellum and nonmotor function. *Annual review of neuroscience* 32, 413–434. Publisher : Annual Reviews.
- Tremblay, C., Kirouac, G., Dore, F.Y., 1987. The recognition of adults’ and children’s facial expressions of emotions. *The Journal of Psychology* 121, 341–350. Publisher : Taylor & Francis.
- Van Overwalle, F., Baetens, K., Mariën, P., Vandekerckhove, M., 2014. Social cognition and the cerebellum : a meta-analysis of over 350 fMRI studies. *Neuroimage* 86, 554–572. Publisher : Elsevier.
- Veenstra, L., Schneider, I.K., Bushman, B.J., Koole, S.L., 2017. Drawn to danger : trait anger predicts automatic approach behaviour to angry faces. *Cognition and Emotion* 31, 765–771. Publisher : Taylor & Francis.
- Wang, S.S.H., Kloth, A.D., Badura, A., 2014. The cerebellum, sensitive periods, and autism. *Neuron* 83, 518–532. Publisher : Elsevier.
- Wentura, D., Rothermund, K., Bak, P., 2000. Automatic vigilance : the attention-grabbing power of approach-and avoidance-related social information. *Journal of personality and social psychology* 78, 1024. Publisher : American Psychological Association.
- Willis, M.L., Palermo, R., Burke, D., 2011. Social judgments are influenced by both facial expression and direction of eye gaze. *Social cognition* 29, 415–429. Publisher : Guilford Press.

6. Annexes

		EXPRESSIONS											
		Neutre		Dégoût		Tristesse		Joie		Colère		Peur	
		Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
ENFANTS TYPIQUES	Neutre			1,78	0,07	0,94	0,35	1,36	0,17	1,99	0,05	2,20	0,03
	Dégoût					2,20	0,03	2,20	0,03	2,20	0,03	2,20	0,03
	Tristesse							2,20	0,03	1,78	0,07	1,78	0,07
	Joie									0,31	0,75	0,10	0,92
	Colère											0,10	0,92
	Peur												

Annexe 5a. Tests de Wilcoxon pour l'aire (cm²) comprenant le Z et le p en fonction des expressions des visages (joie, dégoût, tristesse, colère, peur et neutre) chez les enfants typiques. Les comparaisons significatives sont de couleur rouge.

Figure 7: Tests de Wilcoxon pour l'aire (cm²) comprenant le Z et le p en fonction des expressions des visages (joie, dégoût, tristesse, colère, peur et neutre) chez les enfants typiques. Les comparaisons significatives sont signifiées couleur rouge

		EXPRESSIONS											
		Neutre		Dégoût		Tristesse		Joie		Colère		Peur	
		Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
ENFANTS TYPIQUES	Neutre			1,99	0,05	1,78	0,07	1,99	0,05	0,94	0,35	1,15	0,25
	Dégoût					2,20	0,03	2,20	0,03	1,99	0,05	2,20	0,03
	Tristesse							2,20	0,03	1,15	0,25	2,20	0,03
	Joie									0,94	0,35	0,10	0,92
	Colère											0,31	0,75
	Peur												

Figure 8: Tests de Wilcoxon pour la longueur (cm) comprenant le Z et le p en fonction des expressions des visages (joie, dégoût, tristesse, colère, peur et neutre) chez les enfants typiques. Les comparaisons significatives sont signifiées couleur rouge

		EXPRESSIONS											
		Neutre		Dégoût		Tristesse		Joie		Colère		Peur	
		Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
ENFANTS TYPIQUES	Neutre			1,99	0,05	1,78	0,07	1,99	0,05	0,73	0,46	1,15	0,25
	Dégoût					2,20	0,03	2,20	0,03	1,99	0,05	2,20	0,03
	Tristesse							2,20	0,03	1,15	0,25	2,20	0,03
	Joie									0,94	0,35	0,10	0,92
	Colère											0,31	0,75
	Peur												

Figure 9: Tests de Wilcoxon pour la vitesse (cm/sec) comprenant le Z et le p en fonction des expressions des visages (joie, dégoût, tristesse, colère, peur et neutre) chez les enfants typiques. Les comparaisons significatives sont signifiées couleur rouge

Éclairage clinique des liens entre émotions et posture

		EXPRESSIONS							
		Écran vide	Croix	Neutre	Dégoût	Tristesse	Joie	Colère	Peur
ENFANTS TYPIQUES	ET 1	0,57	1,48	1,23	0,82	1,40	5,34	4,15	3,20
	ET 2	0,74	0,54	2,80	1,07	3,23	4,08	7,43	6,46
	ET 3	1,21	5,26	4,65	2,16	6,29	6,51	6,68	5,35
	ET 4	1,91	0,82	1,11	1,72	1,96	6,04	4,77	3,09
	ET 5	2,55	2,84	3,88	2,41	4,49	5,42	3,07	5,11
	ET 6	1,26	4,17	7,35	1,46	4,23	5,34	9,52	11,57
	Moy ET (± SD)	1,37 (±0,7)	2,52 (±1,9)	3,50 (±2,4)	1,61 (±0,6)	3,60 (±1,8)	5,46 (±0,8)	5,94 (±2,4)	5,79 (±3,1)
PATIENTS	RN	4,44	12,79	66,43	2,47	17,82	41,83	55,50	21,24
	AE	3,11	3,36	24,63	2,47	4,03	42,52	22,35	7,34
	SF	21,38	27,40	25,05	25,68	59,65	40,14	13,7	37,8

Figure 10: Aire (cm²) en fonction de l'écran vide, de la croix de fixation et de l'expression des visages (joie, dégoût, tristesse, colère, peur et neutre) chez les enfants typiques et les patients.

		EXPRESSIONS							
		Écran vide	Croix	Neutre	Dégoût	Tristesse	Joie	Colère	Peur
ENFANTS TYPIQUES	ET 1	94,10	98,72	98,33	94,64	95,01	100,81	101,76	99,50
	ET 2	90,47	91,90	105,04	92,06	98,22	111,96	109,31	115,44
	ET 3	77,76	100,26	91,95	74,50	81,61	96,27	96,75	84,73
	ET 4	98,73	91,38	94,42	91,91	93,56	100,15	100,84	99,93
	ET 5	81,12	87,43	88,79	89,18	90,35	92,06	82,37	93,25
	ET 6	91,68	105,80	103,49	91,82	100,98	102,29	100,14	110,41
	Moy ET (± SD)	88,98 (±8)	95,91 (±6,8)	97,00 (±6,5)	89,02 (±7,3)	93,29 (±6,8)	100,59 (±6,7)	98,53 (±8,9)	100,54 (±11,2)
PATIENTS	RN	81,77	124,50	126,80	76,88	116,82	133,22	166,51	118,51
	AE	90,46	88,26	171,46	93,53	105,56	201,41	140,73	109,85
	SF	105,91	155,09	113,5	118,63	199,6	120,89	109,32	154,13

Figure 11: Longueur (cm), en fonction de de l'écran vide, de la croix de fixation et de l'expression des visages (joie, dégoût, tristesse, colère, peur et neutre) chez les enfants typiques et les patients.

		EXPRESSIONS							
		Écran vide	Croix	Neutre	Dégoût	Tristesse	Joie	Colère	Peur
ENFANTS TYPIQUES	ET 1	2,94	3,09	3,07	2,96	2,97	3,15	3,18	3,11
	ET 2	2,83	2,87	3,28	2,88	3,07	3,50	3,42	3,61
	ET 3	2,43	3,13	2,87	2,33	2,55	3,01	3,02	2,65
	ET 4	3,09	2,86	2,95	2,87	2,92	3,13	3,15	3,12
	ET 5	2,54	2,73	2,78	2,79	2,82	2,88	2,57	2,91
	ET 6	2,87	3,31	3,23	2,87	3,16	3,20	3,13	3,45
	Moy ET (± SD)	2,78 (±0,3)	3,00 (±0,2)	3,03 (±0,2)	2,78 (±0,2)	2,92 (±0,2)	3,14 (±0,2)	3,08 (±0,3)	3,14 (±0,4)
PATIENTS	RN	2,56	3,89	3,96	2,40	3,65	4,16	5,20	3,70
	AE	2,83	2,76	5,36	2,92	3,30	6,29	4,40	3,43
	SF	3,31	4,85	3,55	3,71	6,24	3,78	3,42	4,82

Figure 12: Vitesse (cm/sec), en fonction de l'écran vide, de la croix de fixation et de l'expression des visages (joie, dégoût, tristesse, colère, peur et neutre) chez les enfants typiques et les patients.

8.4 Article 5 : Conclusions, Analyses supplémentaires & Perspectives

L'Article 5 a (1) confirmé que le traitement de stimuli sociaux conduisait à une moins bonne stabilité posturale chez l'enfant au développement typique (EDT) âgé en moyenne de 11 ans et (2) a mis en évidence des profils posturaux et neuropsychologiques différenciés en fonction des patients porteurs d'un KFP. La moins bonne stabilité des EDT en réponse aux stimuli sociaux, comparativement aux stimuli non sociaux, est similaire à nos observations des Articles 2 et 3 chez l'adulte sain. Dans cette étude, nous n'avons pas observé d'influence des visages émotionnels sur les comportements posturaux d'approche et d'évitement chez les EDT. Ces résultats suggèrent que le visage émotionnel à lui seul ne constituerait pas un indice social suffisamment fort pour déclencher des TA visibles sur la posture, corroborant les observations de l'Article 1.

Concernant les patients de notre étude, deux profils ont émergé. Le patient présentant le premier profil présentait essentiellement des difficultés sur le plan de la régulation posturale en réponse aux visages émotionnels, mais se montrait stable face à des stimuli non sociaux. Le contrôle postural semble donc être régulé de manière adéquate lors de tâches cognitives simples mais, dès lors que les stimuli impliquent un aspect social, la stabilité se détériore. De plus, ce patient ne présentait pas de difficultés socio-émotionnelles majeures aux épreuves neuropsychologiques, ni dans la vie quotidienne. Les deux autres patients présentaient un deuxième type de profil associant des difficultés à la fois posturales, ainsi que socio-émotionnelles et comportementales. En effet, dès lors qu'ils étaient confrontés à un stimulus, leur stabilité était moins bonne, et cet effet était majoré en réponse à des stimuli sociaux. Le traitement des visages émotionnels semble donc impliquer des ressources cognitives d'autant plus importantes chez ces deux patients. Par ailleurs, des difficultés psycho-affectives impliquant des tendances anxio-dépressives, des difficultés comportementales et de socialisation ont pu être mises en évidence sur le plan clinique ainsi que par l'entourage des patients. De plus, ces deux patients montraient des difficultés d'apprentissage en français. Nous avons également rapporté chez l'un des patients des tendances à des comportements agressifs et une fra-

CHAPITRE 8. KYSTE DE LA FOSSE POSTÉRIEURE CHEZ L'ENFANT : INTERACTION ENTRE ÉMOTION ET POSTURE

gilité du contrôle émotionnel. Enfin, ces deux patients présentaient des comportements posturaux d'approche et d'évitement différenciés en fonction de l'émotion exprimée par le visage. Ces résultats renforcent l'idée que le cervelet joue un rôle clé sur le plan de la coordination motrice, tout comme dans les domaines socio-émotionnels, ainsi que dans la modulation de la réponse affective de l'organisme dans un contexte d'interaction sociale. Les difficultés que nous avons observées ne sont pas toujours bien évaluées dans la pratique clinique, mais peuvent avoir des répercussions sur le plan scolaire ou dans la vie quotidienne. Des mesures fines de l'instabilité motrice et posturale, grâce à des mesures posturographiques notamment, permettent d'objectiver des difficultés parfois invisibles à l'œil du clinicien, mais ayant des répercussions dans les interactions sociales quotidiennes. Bien que nous n'ayons pas encore apparié de groupe contrôle aux autres patients ayant participé à notre étude, je vais présenter les quelques résultats que nous avons pu observer de manière descriptive.

Présentation anamnétique et bilan neuropsychologique

N.G, 13 ans 3 mois au moment de l'étude présente un kyste arachnoïdien rétrocrânielle droit. Son développement psychomoteur a été normal au niveau de la marche et le langage s'est rapidement mis en place. Actuellement en 4ème, N.G. a toujours eu des résultats scolaires autour de la moyenne, avec quelques difficultés de lecture et une certaine lenteur d'écriture. Selon la maman, ses résultats connaissent cette année un déclin notable. Les enseignants rapportent un désinvestissement de N.G ainsi que la présence de comportements de plus en plus perturbateurs en classe. L'efficacité intellectuelle est hétérogène et évolue entre la zone moyenne et la zone supérieure à la moyenne de son groupe d'âge. Le CBCL révèle un score déficitaire à l'échelle interne (intégrant l'anxiété/la dépression et le retrait). Le questionnaire BRIEF met en évidence des troubles significatifs dans le domaine métacognitif ainsi qu'au Score Composite Exécutif Global. Il est noté une fragilité sur le plan de la socialisation (Vineland-II) et dans l'identification des expressions de peur.

O.F, 15 ans 9 mois au moment de l'étude, présente un volumineux kyste arachnoïdien latéralisé à gauche refoulant l'hémisphère cérébelleux gauche et le vermis vers le haut. L'acquisition de la marche ne s'est effectuée que vers l'âge de 18 mois et un retard d'acquisition du langage a été relevé, qui s'est développé vers 2-3 ans. O.F a été étiquetée tour à tour dyslexique, dyspraxique visuo-spatiale ou présentant un trouble déficitaire de l'attention, jusqu'à la découverte récente d'un kyste comprimant le cervelet, structure connue pour son rôle de régulateur cognitif et émotionnel et qui participe à l'automatisation des apprentissages. Actuellement, O.F est en seconde générale dans une classe « dys » où la lecture reste laborieuse. Sur le plan du comportement, sa mère décrit une enfant assez anxieuse et colérique. L'efficacité intellectuelle est hétérogène et évolue entre la limite basse de la norme (indice de Raisonnement perceptif et la Vitesse de traitement) et la moyenne pour l'indice de Compréhension verbale et la Mémoire de travail. Sur le plan de la motricité fine, on note une lenteur modérée de la main gauche. La lecture est encore un peu difficile avec de nombreuses erreurs pour son âge. En cognition sociale, O.F a quelques difficultés au test de la théorie de l'esprit, ainsi que dans l'identification des expressions neutres. Le questionnaire parental BRIEF montre des troubles exécutifs significatifs au quotidien au niveau des capacités de régulation comportementale en inhibition, en flexibilité, et en contrôle émotionnel. Le questionnaire de la CBCL, rempli par les parents, montre des scores significatifs aux échelles Anxiété et dépression, Troubles de la pensée, et des scores limites aux échelles Problèmes sociaux, Problèmes d'attention, Comportements agressifs. Le questionnaire de Conners rempli par les parents montre un score significatif au facteur de l'anxiété. Par ailleurs, il est retrouvé des difficultés significatives sur le plan de la socialisation à la Vineland-II.

I.M, 14 ans 6 mois au moment de l'étude, est porteuse d'un kyste arachnoïdien rétro-vertébral et rétro-cérébelleux gauche. Le développement psychomoteur a été normal au niveau de la marche. A l'école, I.M est en difficultés depuis le CP, notamment concernant l'apprentissage de la lecture. Sur le plan du comportement, d'après sa mère, I.M serait impulsive et aurait beaucoup de mal à gérer son agressivité au quotidien. De la Ritaline a été prescrite, puis du Concerta suite à des difficultés sur le plan attentionnel, sans succès et avec des céphalées. L'efficacité intellectuelle est normale, homogène et se situe globalement dans la moyenne des enfants de son âge (QIT = 102). Toutefois, la compréhension orale élaborée et écrite reste un peu difficile. Le CBCL révèle un score déficitaire à l'échelle interne (intégrant l'anxiété/la dépression) ainsi qu'à l'échelle externe (intégrant le comportement agressif) et totale. Le questionnaire parental, portant sur les troubles exécutifs au quotidien, met en évidence des troubles significatifs dans le domaine de la régulation comportementale, ainsi qu'au niveau métacognitif. Il est noté une fragilité sur le plan de la socialisation (Vineland-II) et des difficultés modérées de perception des émotions faciales, ainsi qu'au niveau de la capacité d'identification des états mentaux d'autrui. Par ailleurs, le questionnaire de Conners révèle des scores significatifs concernant les problèmes de conduite, d'apprentissage et l'index d'hyperactivité.

Régulation posturale & Profils neuropsychologiques

De façon descriptive, nous pouvons observer que pour les patients N.G et I.M, la stabilité posturale objectivée par les paramètres d'aire et de longueur semble être moins bonne en réponse aux stimuli sociaux, comparativement aux stimuli non sociaux. Les déplacements du centre de pression sur l'axe antéro-postérieur semblent également plus importants en réponse aux émotions de joie, de colère, de peur, de tristesse et à l'expression neutre, comparativement aux visages exprimant le dégoût. De plus, ces deux patientes présentent des difficultés d'apprentissage au niveau de la lecture, des tendances anxio-dépressives, une fragilité sur le plan de la socialisation et du comportement rapporté au niveau clinique, ainsi que par l'entourage. De plus, il est également relevé chez I.M des troubles de régulation comportementale, de contrôle émotionnel et de théorie de l'esprit. Ces deux patientes sembleraient donc associer des difficultés de régulation posturale, ainsi que sur le plan psycho-affectif, suggérant un profil similaire à R.N et S.F. A l'inverse, O.F semble présenter une bonne stabilité posturale en réponse aux stimuli non sociaux et sociaux. Cette patiente témoigne en revanche de difficultés

d'apprentissage en lecture, ainsi qu'au niveau de la régulation du comportement et du contrôle émotionnel. Elle présente également des tendances anxio-dépressives et une fragilité sur le plan de la socialisation. Nous pourrions supposer ici la présence d'un troisième type de profil, impliquant une bonne stabilité posturale, que ce soit en réponse à des stimuli non sociaux ou sociaux, mais présentant des difficultés psycho-affectives ayant des répercussions dans les interactions sociales quotidiennes.

CHAPITRE 8. KYSTE DE LA FOSSE POSTÉRIEURE CHEZ L'ENFANT :
INTERACTION ENTRE ÉMOTION ET POSTURE

	N.G.	I.M.	O.F.
Âge chronologique	13,3	14,6	15,9
<i>Kyste</i>	<i>Rétro-cérébelleux</i>		
Localisation	<i>droit</i>	<i>gauche + rétrovermien</i>	<i>extra-axial gauche</i>
Volume	175 cc	12 ml	70*43*44mm
<i>Évaluation neuropsychologique</i>			
CDI	8	24**	11
BRIEF			
Inhibition	59	88**	75**
Flex. Mentale	54	91**	82**
Contrôle émotionnel	56	88**	78**
Régulation Comportementale	58	97**	84**
Initiation	59	73**	59
Mémoire de travail	77**	83**	45
Planification/Organisation	71**	82**	60
Organisation du matériel	62	50	51
Contrôle	69*	46	69*
Métacognition	73**	79**	58
Score Composite Exécutif			
Global	70**	88**	69*
CBCL			
Anxiété/Dépression	65*	72**	72**
Retrait	78**	66*	63
Plainte somatique	64	65*	56
Problèmes sociaux	54	70**	68*
Trouble de la pensée	51	71**	70**
Problème d'attention	55	70**	65*
Comportement délinquant	60	65*	50
Comportement agressif	54	73**	65*
Interne	70**	70**	68*
Externe	56	70**	60
Total	62	72**	66*
Vinland-II (domaine socialisation)	71*	76*	61**
Nepsy-II (domaine perception sociale)			
Reconnaissance d'affects	9	12	8
TOM	>cent 75	<cent. 2**	cent. 11-25

FIGURE 8.1 – Résultats des patients N.G, I.M et O.F aux tests neuropsychologiques et aux questionnaires (seuil limite déficit* ; déficit**).

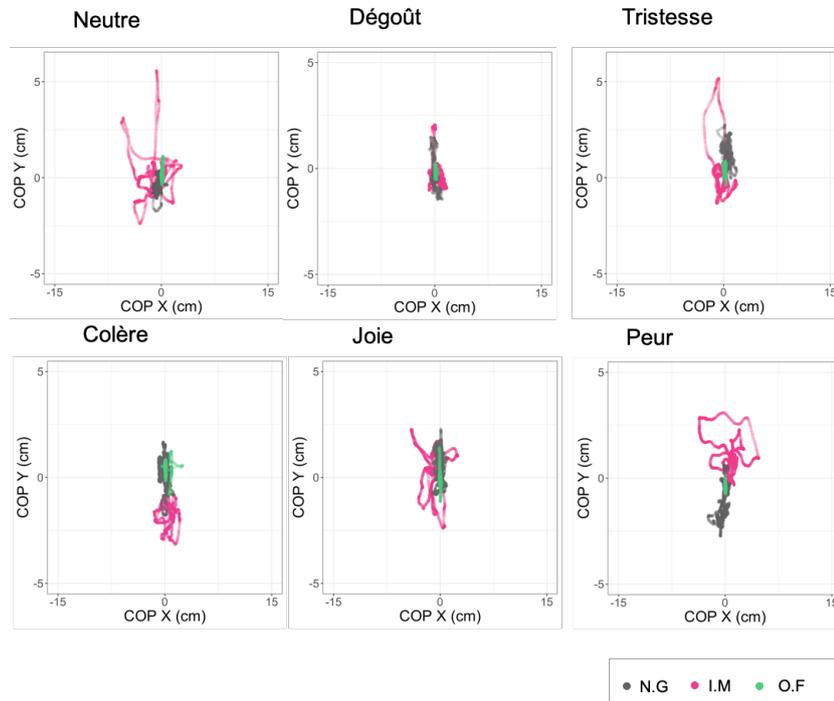


FIGURE 8.2 – Schéma illustrant les déplacements du centre de pression sur les axes antéro-postérieur et médio-latéral en réponse aux expressions faciales émotionnelles pour les trois patients N.G, I.M et O.F

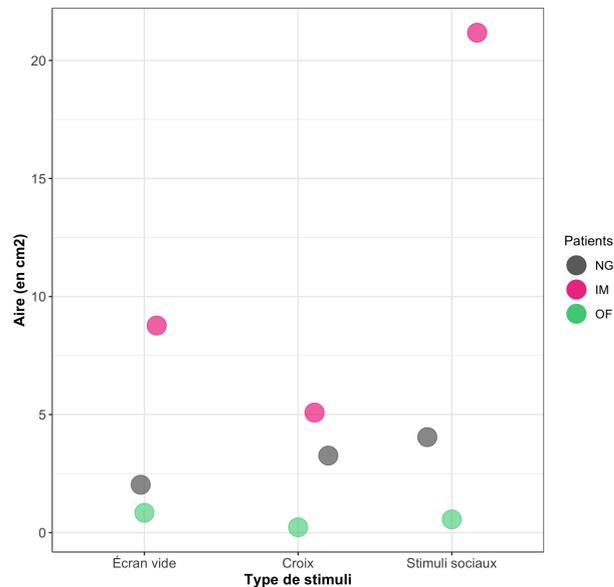


FIGURE 8.3 – Aire (en cm²) couvrant les déplacements du centre de pression sur les axes antéro-postérieur et médio-latéral en réponse à un écran vide, une croix de fixation et les stimuli sociaux pour les patients N.G, I.M et O.F.

CHAPITRE 8. KYSTE DE LA FOSSE POSTÉRIEURE CHEZ L'ENFANT :
INTERACTION ENTRE ÉMOTION ET POSTURE

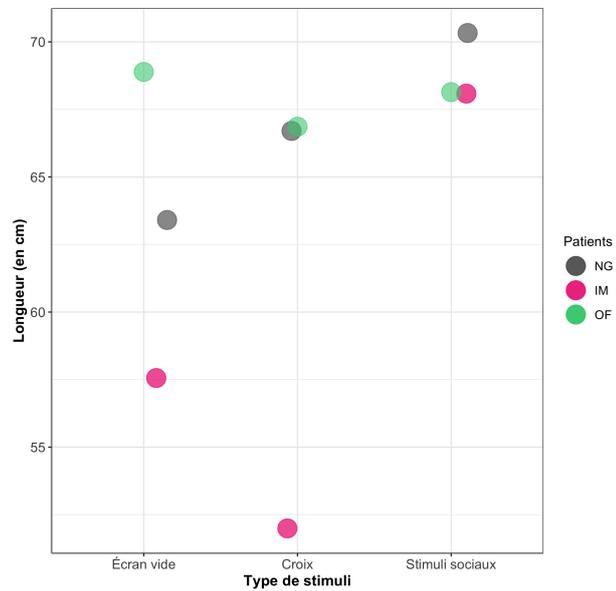


FIGURE 8.4 – Longueur (en cm) des déplacements du centre de pression sur les axes antéro-postérieur et médio-latéral en réponse à un écran vide, une croix de fixation et les stimuli sociaux pour les patients N.G, I.M et O.F.

La prévalence du **KFP** étant assez faible, cette pathologie reste à ce jour très peu étudiée. C'est pourquoi une étude impliquant une cohorte plus importante et/ou effectuée de manière longitudinale pourrait fournir des données supplémentaires quant aux facteurs impliqués dans la sévérité des troubles. En effet, différents facteurs peuvent influencer la sévérité des déficits socio-émotionnels, et la capacité à ajuster sa posture face à des stimuli sociaux. Le volume et/ou la forme du kyste peut amener à une compression plus ou moins importante du cervelet et affecter de manière différenciée les compétences cognitives et comportementales. Une cohorte plus importante permettrait d'examiner d'éventuelles corrélations entre la taille du kyste et la sévérité des déficits posturaux et socio-émotionnels. Le développement de l'enfant, la maturation corticale et cérébelleuse, les facteurs environnementaux, ainsi que la mise en place d'une prise en charge, pourraient conduire à une atténuation des déficits avec le temps. Par ailleurs, le contrôle postural mature progressivement avec l'âge, et vers 7-8 ans une période critique survient pour la posture. Une atteinte cérébelleuse, de par son rôle privilégié dans le contrôle de l'activité posturale, mais également dans la modulation de la réponse affective de l'organisme, pourrait le conduire à un développement plus lent des processus de régulation posturale et altérer le couplage perception-action. Une étude menée dans une perspective plus développementale pourrait permettre d'étudier le développement progressif du couplage entre processus perceptif et postural dans le cadre des **KFP**, et voir ainsi de quelle manière ce dernier peut être perturbé.

Points-clés du Chapitre 8

- Les **EDT** présentent une bonne stabilité posturale, avec cependant une légère augmentation des oscillations posturales face aux stimuli sociaux.
- Les trois patients **KFP** présentent une moins bonne stabilité posturale dès lors qu'ils sont confrontés à des stimuli sociaux. Cette instabilité est plus ou moins majorée en fonction des patients, et s'associe à des difficultés psycho-affectives variables de manière individuelle.
- Deux profils neuropsychologiques principaux émergent : un 1^{er} profil comprenant essentiellement des difficultés sur le plan de la régulation de la posture en réponse aux visages émotionnels, sans difficultés socio-émotionnelles majeures. Le 2^{ème} profil associe des difficultés à la fois posturales ainsi que socio-émotionnelles et comportementales.
- Nos résultats corroborent l'implication du cervelet sur le plan de la motricité mais également dans le traitement cognitif et affectif.
- Bien que le kyste arachnoïdien est une affection d'apparence bénigne, ses potentielles répercussions au sein des processus cognitifs, affectifs et comportementaux ne doivent pas être négligées et devraient être prises en compte dans le cadre de leur bilan neuropsychologique.

Quatrième partie

Discussion Générale

RAPPEL DES OBJECTIFS DE LA THÈSE ET RÉSULTATS

Contenu

9.1	Rappel des objectifs de la thèse	258
9.2	La place des signaux socio-émotionnels dans la boucle Perception- Action : le rôle des traits individuels	260
9.3	Éclairage clinique des liens entre émotion et posture : le rôle du cervelet	262

9.1 Rappel des objectifs de la thèse

Dans le cadre de nos interactions sociales, nous **percevons** de multiples indices socio-émotionnels auxquels nous attribuons une **valeur** au regard de nos objectifs, du contexte, mais également de notre expérience et de nos motivations individuelles. Ces différentes étapes conduisent au déclenchement d'une **action**, que ce soit en exprimant une émotion ou bien en ajustant notre posture (Gross, 2015 ; Ochsner & Gross, 2014). Typiquement, vous évalueriez comme menaçant un individu en colère qui vous regarde et se trouve dans votre espace personnel, ce qui pourra vous conduire à le fuir (i.e. *comportement d'évitement*). L'évaluation du degré de menace s'effectue en considérant l'ensemble des indices perceptifs. Dans notre exemple, l'observateur se réfère à la fois à **l'expression faciale émotionnelle**, à la **direction du regard**, mais également à la **distance** à laquelle se trouve son interlocuteur. Le traitement combinatoire de ces indices sociaux permet d'inférer un sens à la situation et de répondre par un comportement adapté (Adams & Kveraga, 2015 ; Adams Jr et al., 2017). Comme évoqué dans l'introduction, chacun de ces indices pris individuellement est traité de manière différenciée et suscite des tendances à l'action spécifiques. Si pendant de nombreuses années, l'évaluation de ces tendances à l'action s'est effectuée à l'aide d'un **questionnaire**, **d'un joystick ou d'un bouton**, l'émergence de l'utilisation de la **posturographie** dans ce domaine d'étude a permis de rendre cette mesure plus fine et précise. De plus, les mesures posturographiques ont pour avantage de refléter les ajustements posturaux spontanés et automatiques, permettant une mesure objective des tendances à l'action. Si la relation entre la perception des émotions et la posture est amplement documentée dans la littérature, elle n'est pas pour autant univoque. En effet, les études à ce sujet ne s'accordent pas sur des patterns comportementaux communs à l'ensemble des individus. Cette divergence peut s'expliquer par l'emploi d'un **nombre limité d'émotions**, ou par des scènes visuelles ne mettant pas nécessairement d'individu en jeu et qui sont éloignées d'un contexte social.

Au quotidien, il est rare de se retrouver confronté à une situation ne mettant en jeu qu'un seul indice social. C'est pourquoi, d'un point de vue expérimental, il paraît plus

écologique de combiner ces différents indices entre eux afin de mesurer leurs effets sur le comportement humain. Toutefois, peu d'études se sont intéressées à la place d'autres indices sociaux que l'**EFE**, tels que la direction du regard ou la distance interpersonnelle dans la **boucle Perception-Action**. Dans cette thèse, nous nous sommes interrogés sur le poids de ces différents indices dans nos interactions sociales, et comment ces derniers interagissaient entre eux. De manière réciproque, il nous a semblé également fondamental de mieux prendre en compte comment, en retour, nos **TA** pouvaient affecter notre **perception** du monde dans un contexte social. Ces questions sont plus spécifiquement examinées dans les **Articles 1, 2 et 3** de cette thèse.

Finalement, la valeur positive ou négative attribuée à chacun des stimuli dépend d'un certain nombre d'éléments tels que le contexte, les objectifs de l'individu, et ses **motivations individuelles** (Gross, 2015 ; Ochsner & Gross, 2014). Ces motivations sont intrinsèquement liées aux traits stables de la personnalité ou bien aux états émotionnels (Elliot, 2006). *De quelle manière ces caractéristiques individuelles sont-elles liées à notre objet d'étude ?* Si nous reprenons notre exemple de départ, la perception d'un individu en colère vous regardant et se trouvant dans votre espace personnel pourrait déclencher chez vous un sentiment de menace. Il est présumable que face à cette situation, vous fuirez l'individu, déclenchant donc un comportement d'évitement. Pourtant, la littérature ne parvient pas à systématiser le lien entre la perception de ces indices sociaux et le déclenchement de patterns comportementaux d'approche ou d'évitement. Parmi les facteurs pouvant être à l'origine de ces divergences comportementales, les **traits de personnalité et les états émotionnels** semblent être des facteurs cruciaux à considérer. En effet, un observateur particulièrement agressif n'aurait-il pas eu un **comportement d'approche** (i.e. *combat*) en réponse à cette situation menaçante ? Au delà de l'approche et de l'évitement, un comportement de *freezing* peut être observé (Elliot, 2006) : un observateur anxieux se serait peut-être immobilisé dans ce contexte menaçant. La prise en compte des traits de personnalité et des états émotionnels est au coeur de cette thèse, et leur place dans la boucle Perception-Action est étudiée à travers les **Articles 1, 2 et 3**.

Cette perspective dynamique des liens entre **système moteur** et **système socio-émotionnel** implique qu'une perturbation, même minime dans l'un des systèmes, peut avoir des effets non négligeables sur l'autre système. Différentes pathologies telles que le **TSA** ou le **TDC** associent des perturbations **sensori-motrices** et **socio-émotionnelles** à des degrés plus ou moins sévères. D'autres pathologies liées à des atteintes plus spécifiques de certaines structures cérébrales, par exemple le **cervelet**, impliqué à la fois dans les aspects moteurs et les aspects cognitifs et socio-émotionnels, sont également à considérer dans ces liens réciproques entre émotion et posture. La coexistence de ces difficultés au sein de différentes pathologies souligne l'importance **d'évaluer finement** ces domaines afin de les diagnostiquer et de les prendre en charge de manière optimale. L'examen des liens entre émotion et posture chez des enfants et adolescents porteurs d'un **KFP** constitue le dernier article de cette thèse.

9.2 La place des signaux socio-émotionnels dans la boucle Perception-Action : le rôle des traits individuels

Dans **l'Article 1**, nous avons étudié *l'influence de la perception des émotions et de la modalité de présentation, statique ou dynamique, sur le contrôle postural. De plus, nous nous sommes interrogés sur la manière dont ce lien entre Perception et Action est modulé par les traits individuels.* Nous avons montré que les participants étaient plus instables face aux vidéos qu'aux visages, et ce pour les émotions de joie, de peur et l'expression neutre. De plus, la perception de vidéos mettant en scène des individus joyeux ou apeurés conduisait à une instabilité plus importante que pour les autres émotions. Nos résultats n'ont pas mis en évidence d'effet du type de stimuli ou d'émotions sur les comportements posturaux d'approche et d'évitement, toutefois nous avons observé des corrélations entre le **CoP-Y** et les traits de personnalité. Par exemple, plus les participants présentaient un haut score d'extraversion, plus ils évitaient des vidéos de peur ainsi que des visages de colère.

Les **Articles 2 et 3** visaient à mieux comprendre la place de deux signaux socio-

9.2. LA PLACE DES SIGNAUX SOCIO-ÉMOTIONNELS DANS LA BOUCLE PERCEPTION-ACTION : LE RÔLE DES TRAITS INDIVIDUELS

émotionnels dans la boucle Perception-Action. L'objectif de **l'Article 2** était d'examiner *de quelle manière la perception des émotions influençait la régulation de la distance interpersonnelle des individus*. **L'Article 3** explorait *le rôle de la direction du regard dans les liens entre perception des émotions et contrôle postural*. L'originalité de **l'Article 2** résidait dans la mesure de la distance préférée qui était effectuée dans le cadre d'une tâche de distance informatisée et à travers l'étude du CoP-Y permettant d'apprécier les comportements d'approche et d'évitement. **L'Article 3** s'intéressait au jugement de la direction du regard à l'aide du CoDG, ainsi qu'à l'influence des émotions et de la direction du regard sur le contrôle postural. Dans ces deux Articles, nous avons montré que la stabilité posturale était moins bonne en réponse à des stimuli sociaux comparativement à des stimuli non sociaux (i.e. écran vide et croix de fixation). De plus **l'Article 2** a mis en évidence que cette instabilité augmentait face à un mouvement d'approche du visage comparativement à un mouvement de retrait, mais n'était pas modulée par les émotions. A l'inverse, dans **l'Article 3** nous avons montré que la stabilité des participants était modulée par l'émotion exprimée combinée à une direction de regard. Les visages joyeux et neutres conduisaient à une instabilité plus importante lorsqu'ils étaient associés à un regard dévié comparativement à un regard direct, et l'effet s'inversait pour les visages de peur.

De façon intéressante, si dans **l'Article 3**, aucun effet n'a été observé sur le CoP-Y, dans **l'Article 2**, la combinaison d'une émotion à un mouvement d'approche ou de retrait –indépendamment de la direction de ce mouvement–déclenchait des TA chez les participants i) un comportement d'approche des visages de joie, de tristesse, de peur et de neutralité, ii) un comportement de freezing en réponse aux visages de dégoût et iii) un comportement d'évitement des visages de colère. De plus, la distance préférée ajustée dans le cadre d'une tâche informatisée, suivait un pattern similaire. **Dans l'Article 3**, la largeur du CoDG variait en fonction de l'émotion : le cône était le plus large en réponse aux visages de colère et de dégoût, et le plus étroit en réponse aux visages de peur. Certains traits de personnalité modulaient aussi bien les composantes posturales que perceptives. Par exemple, un haut score d'anxiété-état prédisait un comportement

postural d'évitement des visages de dégoût, combiné à un mouvement de retrait, mais également l'ajustement d'une distance préférée plus grande en réponse aux visages de colère.

Au total, les **Articles 1, 2 et 3** ont permis de mieux comprendre le rôle de l'expression faciale émotionnelle, de la distance interpersonnelle et de la direction du regard dans la boucle **Perception–Action**, et ce à la lumière des **traits individuels**.

9.3 Éclairage clinique des liens entre émotion et posture : le rôle du cervelet

L'Article 4 était une revue de littérature dont l'objectif était de mettre en lumière les connaissances sur les liens réciproques entre émotion et posture. Cette revue portait à la fois sur des enfants et adultes en bonne santé, mais également porteurs de pathologies associant des perturbations **sensori-motrices** et **socio-émotionnelles** à des degrés plus ou moins sévères. Enfin, **l'Article 5** était consacré à l'examen clinique des liens entre émotion et posture chez l'enfant et l'adolescent porteurs d'un **KFP**. Les résultats obtenus ont mis en évidence une bonne stabilité posturale chez les enfants typiques, avec cependant une légère augmentation des oscillations posturales face aux stimuli sociaux. Notre étude montre également que, contrairement aux enfants typiques, les trois patients **KFP** présentent une moins bonne stabilité posturale dès lors qu'ils sont confrontés à des **stimuli sociaux**. Par ailleurs, cela a permis de faire émerger **deux profils neuropsychologiques distincts**. Le premier profil comprenait des difficultés essentiellement sur le **plan postural** sans difficultés socio-émotionnelles majeures. Le deuxième profil associait des difficultés à la fois **posturales**, ainsi que **socio-émotionnelles et comportementales**. Ainsi, ces deux articles ont permis d'étayer la littérature existante concernant les liens entre émotion et posture, et plus particulièrement chez des enfants/adolescents porteurs d'un **KFP**.

**QUELLE PLACE POUR LES SIGNAUX
SOCIO-ÉMOTIONNELS DANS LA BOUCLE
PERCEPTION-ACTION ET QUEL RÔLE DES TRAITS
INDIVIDUELS ?**

Contenu

10.1	La stabilité posturale est-elle affectée par les caractéristiques de la stimulation?	264
10.2	La perception influence-t-elle les comportements d'approche et d'évitement? Quel est le rôle des traits individuels dans ces liens Perception-Action?	267
10.3	Quels facteurs influencent l'ajustement de la distance interpersonnelle et le jugement de la direction du regard?	271
10.4	Eclairage clinique des liens entre émotions et posture	274
10.5	Intégration des travaux de thèse dans le modèle d'Ochsner (WPVA : World-Perception-Valuation-Action)	276
10.6	Limites et perspectives	278

10.1 La stabilité posturale est-elle affectée par les caractéristiques de la stimulation?

L'interaction entre **système perceptif et système moteur** est dépendante de plusieurs facteurs tels que l'âge de l'individu et de la difficulté de chacune des tâches réalisées (Boisgontier et al., 2011). Selon le **modèle d'interaction non linéaire en forme de U**, le maintien de l'équilibre est amélioré pour une tâche secondaire simple, mais détérioré pour une tâche secondaire plus complexe (Brown et al., 1999; Wulf & Prinz, 2001). *A partir de quand pouvons-nous parler de tâche secondaire complexe?* La réalisation de **saccades oculaires** lors du visionnage d'une cible en mouvement (Stoffregen et al., 2007) ou d'un dessin animé (Olivier et al., 2008) semble avoir un effet positif sur la performance posturale, tandis que la fixation d'une croix statique la détériore (Legrand et al., 2016). Dans nos différentes études, la complexité de la tâche posturale ne varie pas : les participants sont en position debout, statiques, les pieds à la largeur des hanches, ce qui nous permet d'observer directement les effets de la complexité de la tâche secondaire sur le **contrôle postural**. Ainsi, dans le contexte de cette thèse, nous nous sommes demandés dans un premier temps *de quelle manière la stabilité posturale était affectée par les caractéristiques du stimulus*.

L'influence de la perception de stimuli non sociaux sur la stabilité posturale

En accord avec Legrand et al. (2016), nous nous attendions à une moins bonne stabilité posturale en réponse à une croix de fixation plutôt qu'à un écran vide. Cet effet a été observé dans **l'Article 2** mais n'a pas été répliqué dans **l'Article 3**, laissant supposer que d'autres mécanismes pourraient intervenir dans le traitement des **stimuli non sociaux**. Cette différence entre les deux Articles n'a pas pu s'expliquer en terme de méthodologie et n'était pas liée aux caractéristiques démographiques qui étaient similaires. Le seul élément qui différait était la ligne de base effectuée préalablement à la tâche posturale mais dont le contenu était distinct (*tâche d'ajustement de la distance vs tâche de jugement de direction de regard*). Pour les deux tâches, les participants se tenaient debout et devaient donc maintenir leur **équilibre**, parallèlement à la réalisation de la **tâche perceptive**.

10.1. LA STABILITÉ POSTURALE EST-ELLE AFFECTÉE PAR LES CARACTÉRISTIQUES DE LA STIMULATION?

Il est possible qu'une tâche de discrimination impliquant une différenciation précise de déviations de directions de regard, variant de 3 pixels, soit plus coûteuse en terme de **ressources attentionnelles** qu'une tâche d'ajustement de distance, et ainsi que les participants, après habitude de cette situation de double tâche, présentent un meilleur contrôle postural par la suite dans **l'Article 3** en réponse à un stimuli demandant moins de ressources (i.e. *croix de fixation*). De plus, Vuillerme et al. (2000) ont montré que la stabilité des jeunes adultes s'améliorait lorsqu'ils réalisaient simultanément une tâche mesurant **les temps de réaction** en réponse à des stimuli visuels. Or, il était demandé aux participants effectuant la tâche de jugement de direction de regard de répondre le plus rapidement possible, tandis que la contrainte temporelle n'était pas aussi présente pour la tâche d'ajustement de la distance. Toutefois, l'amélioration du contrôle postural observée ici serait uniquement circonscrite à des stimuli peu complexes, puisqu'une augmentation de l'instabilité a ensuite été mise en évidence en réponse aux stimuli sociaux. Cette observation est particulièrement intéressante puisqu'elle suggère qu'une situation prolongée de double tâche, recrutant des **ressources attentionnelles** à la fois pour la tâche cognitive et pour le maintien de l'équilibre, pourrait potentiellement **améliorer le contrôle postural** mis en jeu de manière ultérieure, en réponse à des stimuli moins complexes.

L'influence de la perception de stimuli sociaux sur la stabilité posturale

Dans les **Articles 2 et 3**, nous avons mis en évidence une **moins bonne stabilité posturale** en réponse aux stimuli sociaux, comparativement à la présentation d'un écran vide et d'une croix de fixation. Cette observation corrobore l'idée que le **traitement des visages** est une tâche complexe, qui, lorsqu'elle est effectuée simultanément au maintien de l'équilibre, est priorisée au détriment de la posture. Notons que dans **l'Article 1**, nous n'avons pas intégré d'enregistrements posturaux en réponse à des stimuli non sociaux (i.e. *écran vide, croix*), restreignant l'analyse de l'instabilité aux stimuli sociaux uniquement.

Nous avons observé que la **stabilité posturale** était moins bonne en réponse à des **vidéos**, comparativement à des visages (**Article 1**), ainsi qu'en réponse à la présentation

CHAPITRE 10. QUELLE PLACE POUR LES SIGNAUX SOCIO-ÉMOTIONNELS DANS LA BOUCLE PERCEPTION-ACTION ET QUEL RÔLE DES TRAITS INDIVIDUELS?

de visages ayant un **mouvement d'approche**, par rapport à un mouvement de retrait (**Article 2**). Ces observations soulignent le caractère spécifique de **l'aspect dynamique** du stimulus puisqu'il influencerait le contrôle postural. De plus, si la stabilité posturale ne variait pas en fonction des émotions et de la direction du regard, la combinaison de ces deux facteurs affectait la stabilité posturale (**Article 3**). Les résultats de l'étude 3 sont cohérents avec **l'hypothèse du signal partagé**, indiquant que la concordance de la direction du regard avec **l'orientation motivationnelle**, c'est-à-dire la TA de l'émotion, conduit à une amélioration du traitement de cette même émotion (Adams Jr & Kleck, 2003). Dans le cadre de notre étude, la stabilité posturale était moins bonne en réponse aux visages de **joie** et de **neutralité**, combinés à un **regard dévié** par rapport à un regard direct, ainsi qu'en réponse aux visages **tristes** combinés à un **regard direct** comparativement à un regard dévié. Un certain nombre d'études suggèrent qu'un visage exprimant la joie et une expression neutre partagent une **orientation motivationnelle d'approche**, et sont donc plus facilement traités lorsqu'ils sont combinés à un regard direct (Adams Jr & Kleck, 2003, 2005; Pönkänen & Hietanen, 2012; Willis et al., 2011). L'inverse serait également observé concernant l'émotion de tristesse, qui partagerait plutôt une **orientation motivationnelle d'évitement** (Adams Jr & Kleck, 2003, 2005; Sander et al., 2007). Il est possible que dans notre étude, les conditions conduisant à une moins bonne stabilité posturale soient plus difficilement traitées, puisque **incongruente** d'un point de vue **motivational**, générant ainsi un coût attentionnel plus important et détériorant le contrôle postural. En effet, plusieurs auteurs ont montré que la réalisation d'une tâche cognitive, simultanément au maintien de la stabilité posturale, détournait l'attention de la posture, et que cette dernière s'améliorait en passant vers un mode de contrôle plus **automatique** (Lacour et al., 2008; Vuillerme et al., 2000; Wulf & Prinz, 2001; Wulf et al., 2007). L'influence d'une tâche cognitive sur la stabilité posturale n'est pas toujours bénéfique, et peut être inexistante voire négative, en conduisant à une augmentation de l'instabilité posturale (Bayot et al., 2018). L'ensemble de ces résultats soutient le **modèle d'interaction non linéaire**, selon lequel une tâche cognitive simple détourne l'attention de la posture et améliore celle-ci, tandis qu'une tâche cognitive

10.2. LA PERCEPTION INFLUENCE-T-ELLE LES COMPORTEMENTS D'APPROCHE ET D'ÉVITEMENT? QUEL EST LE RÔLE DES TRAITS INDIVIDUELS DANS CES LIENS PERCEPTION-ACTION?

complexe implique une demande attentionnelle trop élevée et conduit à une détérioration de la stabilité posturale (Lacour et al., 2008).

Concernant nos **Articles 1 et 2**, il est probable que le traitement de vidéos émotionnelles (*Article 1*), ainsi que de visages associés à un mouvement d'approche ou de retrait (*Article 2*), puisse nécessiter davantage de ressources attentionnelles que le traitement combiné de visages émotionnels à des directions de regard (*Article 3*). Cette majoration du coût attentionnel pourrait trouver son origine dans deux explications : 1) **l'aspect dynamique** du stimulus représenterait un poids plus important que la direction du regard dans le traitement des stimuli sociaux, 2) le **flux visuel** serait une caractéristique plus complexe à traiter et nécessiterait davantage de ressources attentionnelles, conduisant à une moins bonne stabilité posturale.

10.2 La perception influence-t-elle les comportements d'approche et d'évitement? Quel est le rôle des traits individuels dans ces liens Perception-Action?

Les tendances à l'action d'approche et d'évitement sont-elles modulées par les caractéristiques du stimulus ainsi que par les traits individuels? D'après **la théorie de l'équilibration**, la distance interpersonnelle est régulée par des forces d'approche et d'évitement jusqu'à atteindre un point d'équilibration, c'est à dire une distance de confort social (Argyle & Dean, 1965). Lorsque nous interagissons avec autrui, toutes modifications, que ce soit en termes de distance à autrui ou bien de contact oculaire, mènerait à des changements compensatoires, par exemple en diminuant (i.e. approche) ou augmentant (i.e. évitement) la distance à autrui. Ce répertoire de comportements d'approche et d'évitement serait fondé sur la biomécanique du système de contrôle postural humain, qui permet au corps de s'engager dans un mouvement vers l'avant ou vers l'arrière (Eerland et al., 2012). Pourtant, dans **l'Article 1**, nous n'avons pas observé d'effet des émotions ni du type de stimuli (visages vs vidéos) sur les comportements d'approche et d'évitement quantifiés par le CoP-Y. Une hypothèse quant à cette absence d'effet

CHAPITRE 10. QUELLE PLACE POUR LES SIGNAUX SOCIO-ÉMOTIONNELS DANS LA BOUCLE PERCEPTION-ACTION ET QUEL RÔLE DES TRAITS INDIVIDUELS?

reposerait sur l'idée que le visionnage passif d'images/vidéos ne serait que faiblement couplé à la posture (Stins & Beek, 2007). Il est possible que le visionnage passif d'une émotion ne constitue pas un indice social suffisamment puissant pour déclencher des **TA** visibles sur la posture. Ainsi, la combinaison d'un **visage émotionnel** à un **mouvement d'approche ou de retrait** (i.e. simulant une augmentation ou diminution de la distance interpersonnelle) ou bien à une direction de regard (i.e. directe ou déviée) s'approcherait au plus près d'une interaction sociale de la vie quotidienne et, d'après la théorie de l'équilibration, permettrait de constituer des indices suffisamment puissants pour amener à des changements compensatoires. Afin de confirmer cette hypothèse, nous avons examiné l'influence de ces différents signaux socio-émotionnels sur le contrôle postural dans les **Articles 2 et 3**. De façon intéressante, un effet des **émotions**, indépendamment du mouvement du visage, a été observé sur le **CoP-Y** dans **l'Article 2**, mais n'a pas été répliqué dans **l'Article 3**. Les **TA** dépendraient des émotions et du mouvement d'autrui, se traduisant notamment par un **comportement d'approche** face à des visages de joie, de tristesse ou de peur, un comportement de *freezing* en réponse à des visages de dégoût et un **comportement d'évitement** face à des visages de colère.

L'explication de ces résultats pourrait reposer sur la théorie de la **cognition incarnée** : l'information visuelle associée à un mouvement d'autrui vers soi, et à l'aide d'un flux visuel, (Proffitt & Linkenauger, 2013), simulerait une perspective à la première personne (Rougier, 2016). Les représentations en mémoire de chaque stimuli contiendraient des stimulations visuelles codant pour un flux visuel associé (Barsalou, 1999 ; Gibson, 1979 ; Rougier, 2016). Par exemple, un stimuli serait encodé en lien avec une augmentation de sa taille, et donc avec un flux visuel associé à un mouvement vers l'avant dans l'environnement. Une perspective égocentrée favoriserait donc la **simulation sensorimotrice**, c'est-à-dire réactiverait des patterns d'activation cérébrale sensorimoteurs qui sont activés lors de l'expérience réelle (Dutriaux & Gyselinck, 2016). Ainsi, d'après Rougier (2016), les traces en mémoire épisodique de ces informations seraient intrinsèquement liées aux activations musculaires nécessaires pour effectuer un **mouvement vers l'avant ou vers l'arrière**. La perception et les représentations en mémoire des mouvements

10.2. LA PERCEPTION INFLUENCE-T-ELLE LES COMPORTEMENTS D'APPROCHE ET D'ÉVITEMENT? QUEL EST LE RÔLE DES TRAITS INDIVIDUELS DANS CES LIENS PERCEPTION-ACTION?

associés à chaque stimuli guideraient donc l'action (Dutriaux & Gyselinck, 2016). La réactivation de ces tendances comportementales à l'approche et à l'évitement serait particulièrement ancrée dans nos expériences sensori-motrices, puisqu'elles seraient à l'origine dépendantes de réflexes fonctionnels (i.e. liés à la survie), mais ont également évolué par le biais de **l'interaction avec l'environnement**, notamment dans un contexte social (Barsalou, 1999; Rougier, 2016). Ce **couplage perception-action** laisse suggérer que les paramètres posturaux refléteraient fidèlement les **TA** d'approche et d'évitement associées aux stimuli perçus.

Il semblerait que les **émotions**, prises de manière indépendantes, ne déclenchent pas de **TA** visibles sur la posture. En revanche, si la combinaison de certains indices socio-émotionnels, à savoir **l'émotion et le mouvement**, représente un poids suffisamment important pour le déclenchement de comportements d'approche et d'évitement posturaux, la **direction du regard**, seule ou combinée aux émotions, ne déclenche pas de **TA** posturales.

Le déclenchement de **TA** visibles sur la posture, semblent donc être influencées par la combinaison **d'indices socio-émotionnels** spécifiques. Toutefois dans notre étude cet effet est modulé, de façon modérée, par les caractéristiques propres à la personne qui traite l'information, tels que ses **traits de personnalité** et son **état émotionnel**. L'évaluation de l'intérêt qu'un individu attribue à une situation s'effectue relativement à ses buts, ses besoins mais également ses motivations (Sander & Scherer, 2014). Les **motivations individuelles** sont par ailleurs intrinsèquement liées aux traits stables de la personnalité (Eysenck, 1985). Au sein de nos différentes études, certains traits individuels corrèlent davantage que d'autres avec les comportements posturaux d'approche et d'évitement, et c'est le cas notamment des traits du Big Five. Typiquement, un haut score **d'extraversion** prédisait un comportement d'évitement i) des visages de colère et des vidéos de peur (Article 1), ii) des visages de peur combinés à un mouvement d'évitement (Article 2). Un haut score de **névrosisme** prédisait un comportement d'évitement i) des visages de peur et des vidéos de colère (Article 1), ii) des visages de peur combinés à un regard direct (Article 3), et un comportement

CHAPITRE 10. QUELLE PLACE POUR LES SIGNAUX SOCIO-ÉMOTIONNELS DANS LA BOUCLE PERCEPTION-ACTION ET QUEL RÔLE DES TRAITS INDIVIDUELS?

d'approche iii) des visages de peur s'éloignant (Article 2). Si d'après Gray l'extraversion et le névrosisme sont respectivement reliés à une activation du **système BAS** et une activation du **système BIS**, nos résultats ne fournissent pas de données en ce sens (Gray & McNaughton, 1996 ; Gray, 1987). Nous observons qu'au sein d'un même trait, les comportements d'approche et d'évitement peuvent varier en fonction i) de l'émotion, ii) du format de présentation (visages vs vidéos) iii) du mouvement du visage et/ou iv) de la direction du regard. Plus récemment, plusieurs auteurs ont critiqué l'association entre les systèmes appétifs/défensifs et les comportements d'approche/retrait (Boureau & Dayan, 2011 ; Frijda, 2010). L'activation du système défensif peut entraîner un comportement de retrait mais peut néanmoins déclencher un comportement d'approche de type combat (Boureau & Dayan, 2011 ; Frijda, 2010). De plus, il paraît essentiel de prendre en compte la complexité des profils individuels, puisqu'un participant peut combiner de multiples traits de personnalité et états émotionnels, générant des **tendances motivationnelles conflictuelles**. Cette hypothèse est étayée par une récente méta-analyse soulignant l'ambiguïté des résultats entre la personnalité et les tendances motivationnelles, ceci par le chevauchement de différents traits chez un même individu (Fricke & Vogel, 2020). L'identification de **tempéraments** associant plusieurs traits de personnalité et en lien avec les comportements d'approche et d'évitement, pourrait nous permettre d'affiner la place des traits individuels dans la boucle Perception-Action.

10.3 Quels facteurs influencent l'ajustement de la distance interpersonnelle et le jugement de la direction du regard ?

Plusieurs auteurs ont montré que l'estimation de la **distance interpersonnelle** est influencée par l'**EFE**. Les expressions faciales positives entraîneraient une estimation de la distance interpersonnelle plus courte (Ruggiero et al., 2017), tandis que les expressions faciales négatives entraîneraient une estimation de la distance interpersonnelle plus grande (Cartaud et al., 2018). De plus, les participants ajusteraient une plus grande distance face à des visages exprimant la colère, la peur et la tristesse, et une distance plus courte face à la joie et la neutralité (Miller et al., 2013 ; Ruggiero et al., 2017 ; Vieira et al., 2017). En plus d'influencer l'estimation de la distance interpersonnelle, l'**EFE** a également un effet sur la **perception de la direction du regard**. Le **CoDG** permet de caractériser l'étendue des déviations du regard que les participants interprètent comme un **regard direct**. Le cône serait le plus large pour l'émotion de joie, puis pour l'émotion colère, et il serait modérément large en réponse à l'expression neutre. Enfin, il serait le plus étroit pour l'émotion de peur (Ewbank et al., 2009 ; Jun et al., 2013 ; Lobmaier et al., 2008).

Comment l'ajustement de la distance interpersonnelle et le jugement de la direction du regard varient en fonction des expressions faciales d'autrui ?

Les résultats de notre **Article 2** sont cohérents avec la littérature (Miller et al., 2013 ; Ruggiero et al., 2017 ; Vieira et al., 2017). En effet, nous avons observé que les participants ajustaient la **distance la plus courte** face à l'émotion de joie et à l'expression neutre, une **distance modérée** en réponse à la peur et à la tristesse, et la **distance la plus grande** face aux émotions de colère et de dégoût. Il semblerait donc que l'espace interpersonnel tende à diminuer en réponse à des émotions **affiliatives et pro-sociales** (joie, neutre, peur et tristesse) et à augmenter face à des émotions suggérant une **menace** (colère et dégoût). Nos résultats soutiennent l'idée que nous régulons la distance interpersonnelle par des **forces d'approche et d'évitement** jusqu'à atteindre une distance de confort social (Argyle & Dean, 1965). Cette distance de confort social serait modulée par

CHAPITRE 10. QUELLE PLACE POUR LES SIGNAUX SOCIO-ÉMOTIONNELS DANS LA BOUCLE PERCEPTION-ACTION ET QUEL RÔLE DES TRAITS INDIVIDUELS?

l'**EFE**. Cependant, d'après Argyle et Dean (1965), le **contact oculaire** serait également une dimension que l'observateur prendrait en considération dans la régulation de sa **distance interpersonnelle**. La direction du regard est un indice essentiel à considérer, car elle permet de signaler la direction de la menace, et d'autant plus lorsqu'elle est combinée à des expressions faciales spécifiques comme la colère. À titre d'illustration, **un regard direct associé à un visage en colère** est plus menaçant pour l'observateur qu'un **regard dévié**, car la direction désigne alors l'observateur comme objet de la menace (Adams & Franklin, 2009). L'**EFE** influencerait donc la manière dont nous interprétons la **direction du regard**. Comme constaté dans l'**Article 3**, la perception de visages de colère et de dégoût suggérant une menace conduisait les participants à juger des directions de regard ambiguës comme étant **dirigés vers eux**. De plus, le **CoDG**, en réponse aux émotions de joie, de tristesse et à l'expression neutre était plus **étroit** comparativement à la colère et au dégoût, mais plus **large** qu'en réponse à la peur.

De façon intéressante, nous avons également observé que certains traits individuels modulaient l'ajustement de la **distance interpersonnelle** ainsi que le jugement de la **direction du regard**. Par exemple, un haut score *d'anxiété-état* prédisait i) l'ajustement de distances plus courtes en réponse à l'émotion de joie et à l'expression neutre, ii) l'ajustement de distances plus grandes face aux émotions de colère, iii) l'établissement d'un cône plus étroit après le visionnage passif de visages tristes au regard dévié. Toutefois, nous n'avons pas trouvé de pattern cohérent concernant les corrélations observées entre les traits et les **mesures perceptives**, et les corrélations observées dans le cadre des **comportements d'approche et d'évitement**. De façon surprenante, tandis que les traits du Big Five corrélaient particulièrement avec le **CoP-Y**, cela n'a pas été le cas pour les mesures perceptives. Ceci pourrait suggérer que les traits du Big-Five seraient pertinents à mesurer dans le cadre de mesures d'approche et d'évitement posturales, et seraient particulièrement liées à des tempéraments d'approche et d'évitement impliquant une **action du corps entier**.

Nos résultats suggèrent qu'un certain nombre de facteurs, liés à la fois au **mouve-**

10.3. QUELS FACTEURS INFLUENCENT L'AJUSTEMENT DE LA DISTANCE INTERPERSONNELLE ET LE JUGEMENT DE LA DIRECTION DU REGARD ?

ment du visage, à la **direction du regard**, et aux **caractéristiques individuelles**, modulerait le traitement perceptif des **stimuli émotionnels**, et seraient donc à considérer dans les liens entre Perception-Action.

Les ajustements posturaux influencent-ils la distance préférée et le jugement de la direction du regard ?

Nous avons observé que l'étape à laquelle les participants réalisaient la tâche de distance préférée et la tâche de jugement des directions de regard affectait les **mesures perceptives**, et que cet effet allait dans le même sens pour les deux études. La distance préférée et la largeur du cône étaient toutes deux respectivement plus courtes et plus étroites en **ligne de base**, qu'après la tâche posturale de visionnage passif de visages émotionnels combinés soit à un mouvement - soit à une direction de regard.

Les ajustements posturaux, suite à la présentation des visages émotionnels, semblent modifier en retour le **traitement perceptif** des stimuli présentés consécutivement, d'une part en réduisant la distance préférée à autrui, et d'autre part en conduisant à juger davantage un regard ayant une direction ambiguë comme orientée vers soi. Toutefois, si dans l'**Article 2** la distance préférée ajustée était plus courte après le visionnage de blocs posturaux qu'en ligne de base, elle n'était pas modifiée en fonction de l'approche ou de l'éloignement des visages émotionnels.

Il est possible que cet effet soit dû à un **phénomène d'habituation** aux visages, toutefois l'effet d'interaction observé dans l'**Article 3** suggère une explication différente. En effet, dans l'**Article 3**, les participants établissaient un cône plus étroit après le visionnage de blocs posturaux qu'en ligne de base, et la largeur du cône variait en fonction de la présentation préalable de visages émotionnels au regard direct ou dévié. Après le visionnage passif de visages de joie et de dégoût au regard dévié, les participants jugeaient les directions de regard intermédiaires de ces mêmes émotions comme étant direct. De plus, après le visionnage passif de visages de colère au regard direct, les participants jugeaient les directions de regard intermédiaires de ces mêmes émotions comme étant direct. Les résultats observés pour la joie et le dégoût sont cohérents avec Jenkins et al. (2006), qui ont mis en évidence que la perception de regards déviés

modifiait le **jugement de la direction du regard** des visages présentés par la suite. Ainsi, l'adaptation à un regard dévié (soit vers la gauche, soit vers la droite) produirait une illusion, donnant l'impression à l'observateur que l'orientation du regard dévié (à un degré plus faible que la déviation initiale) présenté juste après est **dirigé droit devant**. Toutefois, il semblerait que d'autres mécanismes interviendraient puisque, dans notre étude, ce phénomène n'est pas observé pour la peur, la tristesse et le neutre. Enfin, la présentation d'un visage de colère, couplé à un regard direct, pourrait renforcer le **sentiment de menace** chez l'observateur et conduire à interpréter des directions de regard intermédiaires comme étant directes.

10.4 Eclairage clinique des liens entre émotions et posture

La littérature fait état d'un nombre croissant d'études portant sur les liens entre **émotion et posture** chez l'adulte sain. Il est donc surprenant que ce champ d'étude soit aussi peu exploré dans un cadre clinique, et d'autant plus chez des patients atteints de **pathologies cérébelleuses**. Le **KFP**, bien que souvent considéré comme bénin par le milieu médical, peut venir compresser le cervelet et ainsi perturber les processus **moteurs, cognitifs et socio-émotionnels** (Cuny et al., 2017; Rechtman et al., 2020). Des chirurgies de drainage du kyste ont mis en évidence une réversibilité des troubles observés (Cuny et al., 2017). Toutefois, la prévalence de cette pathologie étant faible, le milieu médical examine assez peu les difficultés présentées. De plus, dans notre étude, ces enfants sont plutôt bien insérés scolairement, et participent également à des activités extra-scolaires. Pourtant, lorsque nous nous intéressons de plus près à leur insertion, un certain nombre de difficultés sont objectivées : des difficultés d'apprentissage oral, écrit, des troubles du comportement ainsi que des difficultés de **socialisation** et un trouble de l'orientation du regard vers les yeux de l'interlocuteur (Rechtman et al., 2020). L'évaluation neuropsychologique est essentielle dans ce contexte puisqu'elle permet d'évaluer les répercussions cognitives et comportementales du kyste dans la vie quotidienne de l'enfant. L'enjeu principal du bilan est également de pouvoir répondre, de manière claire, à

la question du chirurgien concernant la décision opératoire. Si les difficultés **cognitives et comportementales** sont évaluées à l'aide d'épreuves neuropsychologiques, d'autres facteurs, tels que les ajustements posturaux en contexte d'interaction sociale, sont plus complexes et font pourtant partie des difficultés pouvant peser dans le quotidien de ces enfants. Il est d'autant plus important d'évaluer la présence de déficits posturaux et socio-émotionnels que ces processus remplissent un ensemble de fonctions indispensables à l'adaptation de l'être humain à son environnement. Dans notre étude, le couplage de mesures posturales au visionnage de stimuli non sociaux et sociaux permet d'objectiver des difficultés pouvant se répercuter dans des situations **d'interactions sociales de la vie quotidienne**. La situation de double tâche a notamment permis de mettre en lumière la difficulté pour ces enfants **KFP** à traiter les stimuli sociaux, et à y répondre de manière adéquate dans le cadre d'une posture de la vie quotidienne. Ces observations sont cohérentes avec l'étude de Rechtman et al. (2020) qui ont observé un déficit de perception sociale chez des enfants porteurs d'un **KFP**, objectivé par une diminution du temps d'observation des visages, comparativement à des stimuli non sociaux.

Notre étude a également permis de faire émerger deux **profils neuropsychologiques** principaux. Le premier profil comprenait des difficultés essentiellement sur le plan de la régulation de la posture en réponse aux visages émotionnels, sans difficultés socio-émotionnelles majeures. Le deuxième profil associait des difficultés à la fois posturales, ainsi que socio-émotionnelles et comportementales. De plus, les difficultés observées dans le cadre de ce deuxième profil s'étendaient également dans la vie quotidienne de ces patients, entravant leurs interactions sociales. Nos observations corroborent les différentes études portant sur le rôle du cervelet dans les aspects moteurs, cognitivo-affectifs et comportementaux (Cuny et al., 2017 ; Rechtman et al., 2020 ; Van Overwalle et al., 2014).

Ces résultats suggèrent que plusieurs profils peuvent émerger dans le contexte des **KFP**, et qu'une meilleure compréhension non seulement des profils cognitifs mais également affectifs et posturographiques, paraît essentielle dans le cadre de l'évaluation neuropsychologique de ces patients.

10.5 Intégration des travaux de thèse dans le modèle d'Ochsner (WPVA : World-Perception-Valuation-Action)

L'ensemble de ces travaux suggère que les liens entre perception et action sont **bi-directionnels**, modulés de manière différenciée par différents signaux socio-émotionnels, et de façon modérée par les traits individuels. Ces processus peuvent être considérés de manière cyclique, impliquant une série d'étapes se répétant à chaque nouveau stimulus. Nos différentes observations corroborent le modèle d'Ochsner et Gross (2014) qui considère l'émotion comme une séquence **Monde-Perception-Evaluation-Action (WPVA)** (cf. Figure 10.1). Le monde, interne ou externe, est perçu et évalué en fonction de nos objectifs et de nos expériences, déclenchant des actions qui modifieront en retour notre monde interne ou externe. La dernière flèche entre l'étape 3 et l'étape 1 illustre également l'influence des réponses motrices, par exemple les tendances à l'action déclenchées sur l'aspect perceptif. Cette dernière étape intègre la vision de Gibson et des théoriciens de la cognition incarnée. En effet, la perception du stimulus serait intrinsèquement liée à nos potentialités d'action sur ce même stimulus, et ces potentialités seraient stockées en mémoire, en se basant sur nos interactions avec l'environnement et donc sur nos expériences.

Toutefois, ce travail de thèse a démontré que les indices socio-émotionnels, ou plus précisément l'expression faciale émotionnelle, la direction du regard et la distance à autrui, n'ont pas le même poids dans les liens entre Perception-Action. Sur le plan moteur, la stabilité posturale dépend de la complexité et du caractère dynamique de la stimulation aussi bien que de la combinaison des indices socio-émotionnels, tandis que les tendances à l'action dépendent des émotions et du mouvement d'autrui. Sur le plan perceptif, l'ajustement de la distance interpersonnelle et le jugement de l'étendue des directions de regard dirigé vers soi dépendent de l'émotion d'autrui. Les traits individuels, quant à eux, modulent de façon modérée les effets tant sur le plan de la perception que de l'action. Enfin, il nous est apparu essentiel de considérer les liens entre émotion et posture en adoptant une approche clinique, puisqu'un nombre important de pathologies

affectent le versant moteur et/ou le versant socio-émotionnel.

L'intégration de ces indices, mais également la pondération de leurs influences en fonction de l'étape considérée et des traits individuels sont des facteurs cruciaux à prendre en compte dans nos perspectives futures. Dans un contexte d'interaction sociale, **l'étape perceptive** devrait tenir compte de la multiplicité des **indices socio-émotionnels** : une **EFE** est rarement rencontrée de manière isolée. **L'évaluation** de la pertinence du stimulus s'effectuerait au regard des objectifs et des besoins de l'individu, mais devrait également prendre en considération les **traits stables de la personnalité** ainsi que les **états émotionnels**. **L'étape d'action** comprend à la fois les activations physiologiques (e.g. augmentation du rythme cardiaque), les comportements manifestes (e.g. comportement de fuite), et pourrait tenir compte de la stabilité posturale qui constitue un indicateur direct des processus attentionnels recrutés. Enfin, **l'action déclenchée** influence en retour la manière dont nous percevons le monde qui nous entoure (Cf. Figure 10.1).

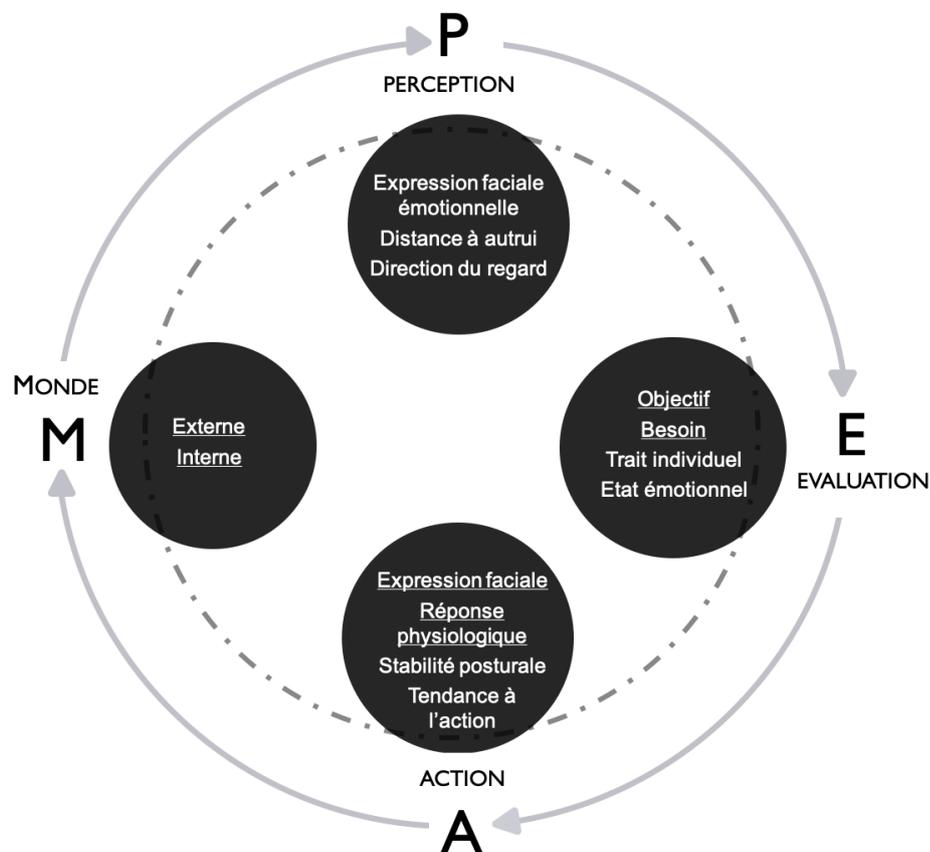


FIGURE 10.1 – Les éléments soulignés font partie du modèle initial tandis que les éléments non soulignés constituent des propositions de processus supplémentaires pouvant affecter les étapes du modèle. *Tiré de Yih et al. (2019)*

10.6 Limites et perspectives

Ce travail de thèse comporte certaines limites à prendre en compte dans nos perspectives de travail futures. Tout d'abord, si nous avons pu observer que la présentation de stimuli sociaux affectait la stabilité posturale, en comparaison de stimuli non sociaux, les résultats sont moins clairs quant à un potentiel effet du visionnage d'une croix de fixation comparativement à un écran vide. Afin de déterminer si l'instabilité observée en réponse à la perception des visages est circonscrite au traitement spécifique des **visages émotionnels**, il aurait été pertinent de mesurer les oscillations posturales en réponse à un stimuli plus complexe qu'une croix de fixation mais **non social**, tel qu'un objet par

exemple, ou bien une scène visuelle ne comportant pas d'êtres humains.

Ensuite, grâce à la retransmission de la caméra du box expérimental, nous étions vigilants quant à d'éventuels participants n'étant pas concentrés sur la tâche, en revanche il était impossible de surveiller en permanence que ces derniers fixaient l'écran. Un **oculomètre** aurait permis, d'une part de vérifier que les participants effectuaient correctement la tâche, d'autre part d'obtenir davantage d'informations quant aux **réglions visuellement explorées** en fonction du type de stimuli (visages vs vidéos vs mouvement), de l'émotion, et de la direction du regard. Typiquement, Smith et Mital (2013) ont montré que le pattern d'exploration oculaire était différent lors de l'exploration de **scènes dynamiques**, par rapport à des **stimuli statiques**, et comprenait des durées de fixation plus longues ainsi que des amplitudes de saccade plus importantes. De plus, plusieurs auteurs ont mis en évidence que la réalisation de **saccades améliorait la stabilisation posturale** (Legrand et al., 2013; Rodrigues et al., 2013; Rougier & Garin, 2007). Le **couplage des enregistrements posturaux et oculaires** permettrait également de mieux comprendre les mécanismes de la **stabilité posturale** : une bonne stabilité posturale est-elle due à un type de stimuli engendrant un plus grand nombre de saccades ? A une immobilisation posturale (i.e. *freezing*) ? A une tâche cognitive simple qui, en détournant l'attention de la posture, améliore cette dernière ?

De plus, l'une des limites à prendre en compte dans nos différentes études tient à la difficulté de recruter des participants de sexe masculin. Notre échantillon se compose essentiellement de femmes, et ce déséquilibre est à considérer dans nos résultats puisque certaines études observent des **différences de genre** dans les tendances à l'action, telle qu'un comportement d'évitement majoré chez les femmes, par rapport aux hommes, en réponse aux stimuli déplaisants (Hillman et al., 2004; Perakakis et al., 2012). Toutefois, il convient tout de même de noter que la littérature portant sur l'influence de stimuli émotionnels sur la posture compte un nombre non négligeable d'études conduites uniquement chez les femmes ou comportent une majorité de femmes (Eerland et al., 2012; Gea et al., 2014; Hagenaars et al., 2014; Hagenaars et al., 2012; Roelofs, Hagenaars et al., 2010; Stins, Roerdink et al., 2011).

CHAPITRE 10. QUELLE PLACE POUR LES SIGNAUX SOCIO-ÉMOTIONNELS DANS LA BOUCLE PERCEPTION-ACTION ET QUEL RÔLE DES TRAITS INDIVIDUELS?

Afin d'affiner la compréhension de la place des émotions dans la boucle Perception-Action, nous avons intégré **six expressions faciales** dans nos différentes études. Si ce choix a pu nous permettre de comparer les réponses posturales et perceptives en réponse à un large panel d'émotions, l'analyse s'est avérée complexe et a rendu plus difficile l'observation de **patterns associés à chacune des émotions**. Si l'un des objectifs était tout de même de pouvoir contraster plus de deux émotions dans nos différentes études, un nombre plus limité pourrait nous permettre à l'avenir de nous concentrer sur d'autres aspects tels que l'exploration approfondie des **traits de personnalité**. La prise en compte des traits de personnalités comme modulateurs des liens entre Perception-Action, constituait un axe essentiel de cette thèse. Nous avons pu extraire un nombre important de traits de personnalité, grâce aux différents questionnaires proposés, en revanche il nous a été difficile d'identifier une cohérence dans l'ensemble de ces traits ou de systématiser l'observation **d'associations de traits à des TA spécifiques**. Des analyses en composantes principales ont été effectuées afin d'extraire des profils ou des tempéraments, mais n'ont pas donné de résultats probants. Nous avons pu constater que certains traits de personnalités corrélaient plus fréquemment que d'autres avec nos mesures posturales et perceptives, notamment les traits du **Big-Five** ainsi que les **scores d'anxiété**. Nos études futures pourraient donc davantage se concentrer sur le rôle de ces traits de personnalités dans les liens entre émotion et posture.

L'ensemble des éléments évoqués dans cette discussion nous amène à considérer la perspective suivante. **L'émotion** associée au **mouvement d'approche ou d'évitement** semble être une combinaison suffisamment robuste pour déclencher des **TA** visibles sur la posture, suggérant que la **perception d'un changement de distance** est un facteur essentiel dans les **tendances à l'action**. Nous pouvons nous demander si l'initiation d'un pas en avant, réduisant objectivement la distance à autrui, serait affectée de manière différenciée par l'émotion et la direction du regard. L'utilisation de visages de colère et de peur combinés à des directions de regard directes ou complètement déviées, permettrait de mesurer l'ajustement postural en réponse à des stimuli dont la source du danger varie : un visage de colère au regard direct suppose une menace provenant de ce

même individu tandis qu'un visage de peur au regard dévié suggère une menace provenant de l'environnement. La dynamique du CoP (Koch et al., 2009) pourrait être utilisée pour calculer les temps de réaction, l'ajustement postural, la taille du pas, la vitesse du pas, ceci en tant que marqueurs spatio-temporels objectifs des tendances à l'approche et à l'évitement (Bouman & Stins, 2018). En collaboration avec le Dr. John Stins, nous avons débuté la mise en place de cette étude dans son laboratoire de recherche (Département des Sciences du Mouvement Humain, Université Vrije d'Amsterdam), durant un séjour recherche d'un mois que j'ai effectué en mars 2021. Nous poursuivons actuellement notre collaboration sur l'étude des liens entre la perception des émotions et le contrôle postural dynamique.

Le volet clinique de cette thèse apporte également un éclairage sur les liens entre **émotion et posture** chez des enfants et des adolescents porteurs d'un kyste arachnoïdien de la fosse postérieure, qui par son aspect potentiellement compressif sur le cervelet, affecte les **processus moteurs, cognitifs et socio-émotionnels**. L'une des principales limites de cette étude constitue le faible échantillon du groupe contrôle, dont le recrutement a été interrompu suite à la situation sanitaire. Nous souhaitons poursuivre cette étude afin d'étayer notre cohorte tant chez l'enfant au développement typique que pour les patients. Nos données ont permis de faire émerger deux profils neuropsychologiques distincts, et l'analyse complémentaire effectuée de manière descriptive chez trois autres patients a mis en évidence un troisième type de profil. A l'avenir, un échantillon plus important pourrait nous permettre d'étudier l'influence de la taille et de la forme des kystes sur la sévérité de l'atteinte motrice et socio-émotionnelle. Sur le plan clinique, une meilleure compréhension, non-seulement des profils cognitifs mais également affectifs et posturographiques, paraît nécessaire, ceci afin de permettre la mise en place d'une intervention précoce et ciblée chez de nombreux patients.

CONCLUSION GÉNÉRALE

En conclusion, l'objectif de cette thèse était d'examiner l'effet des expressions faciales émotionnelles sur les plans moteur et perceptif, en intégrant des facteurs modulateurs, tels qu'un mouvement d'approche ou d'évitement et une orientation directe ou déviée du regard. L'originalité de cette recherche résidait également dans la prise en compte des traits individuels du participant, dans l'étude des liens entre Perception-Action.

Si les études précédentes ont montré que la présentation de stimuli émotionnels influençait les ajustements posturaux, cette thèse aura permis d'affiner le rôle de plusieurs **indices socio-émotionnels** dans la boucle Perception-Action, et de préciser le poids de chacun de ces indices dans le **traitement perceptif** et le **contrôle postural**.

Nous avons montré sur le **plan moteur**, que i) la stabilité posturale dépendait à la fois de la complexité et du caractère dynamique de la stimulation, ainsi que de la combinaison des indices socio-émotionnels. De plus ii) les tendances à l'action pouvaient être influencées par les émotions et le mouvement d'autrui, se traduisant notamment par un **comportement d'approche** face à des visages de joie, de tristesse ou de peur, un *comportement de freezing* en réponse à des visages de dégoût et un **comportement d'évitement** face à des visages de colère. Sur le **plan perceptif**, nous avons mis en évidence que l'ajustement de la distance interpersonnelle et le jugement de l'étendue des directions de regard dirigé vers soi dépendaient de l'émotion d'autrui. Enfin, les traits individuels modulaient de façon toutefois modérée les effets tant sur le plan de la perception que de l'action.

D'un **point de vue clinique**, l'étude chez des patients porteurs d'un kyste arachnoïdien de la fosse cérébrale postérieure a permis de souligner la présence de difficultés **motrices, cognitives et/ou socio-émotionnelle**. Nos données ont permis de faire émerger deux profils neuropsychologiques distincts : un premier profil où le patient

CHAPITRE 10. QUELLE PLACE POUR LES SIGNAUX SOCIO-ÉMOTIONNELS DANS LA BOUCLE PERCEPTION-ACTION ET QUEL RÔLE DES TRAITS INDIVIDUELS?

présentait des difficultés essentiellement sur le plan postural sans difficultés socio-émotionnelles majeures, et un deuxième profil où le patient associait des difficultés à la fois posturales, socio-émotionnelles et comportementales.

Ces travaux offrent de nouvelles perspectives sur les liens entre les émotions et la posture dans les **interactions sociales**, qui pourraient notamment être pertinentes pour des investigations cliniques prenant en compte les relations entre des perturbations des **systèmes moteur et socio-émotionnel**.

BIBLIOGRAPHIE

- Achenbach, T. (2001). Child Behavior Checklist (CBCL), Achenbach System of Empirically Based Assessment. *ASEBA, Burlington*.
- Adamaszek, M., D'Agata, F., Kirkby, K. C., Trenner, M. U., Sehm, B., Steele, C. J., Berneiser, J. & Strecker, K. (2014). Impairment of emotional facial expression and prosody discrimination due to ischemic cerebellar lesions. *The Cerebellum*, 13(3), 338-345.
- Adamaszek, M., D'Agata, F., Ferrucci, R., Habas, C., Keulen, S., Kirkby, K. C., Leggio, M., Mariën, P., Molinari, M. & Moulton, E. (2017). Consensus paper : cerebellum and emotion. *The Cerebellum*, 16(2), 552-576.
- Adamaszek, M., Kirkby, K. C., Olbrich, S., Langner, S., Steele, C., Sehm, B., Busse, S., Kessler, C. & Hamm, A. (2015). Neural correlates of impaired emotional face recognition in cerebellar lesions. *Brain Research*, 1613, 1-12.
- Adams, R. B., Ambady, N., Macrae, C. N. & Kleck, R. E. (2006). Emotional expressions forecast approach-avoidance behavior. *Motivation and Emotion*, 30(2), 177-186. <https://doi.org/10.1007/s11031-006-9020-2>
- Adams, R. B. & Franklin, R. G. (2009). Influence of emotional expression on the processing of gaze direction [Publisher : Springer]. *Motivation and Emotion*, 33(2), 106-112.
- Adams, R. B. & Kleck, R. E. (2005). Effects of Direct and Averted Gaze on the Perception of Facially Communicated Emotion. *Emotion*, 5(1), 3-11. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.5.1.3>
- Adams, R. B. & Kveraga, K. (2015). Social vision : functional forecasting and the integration of compound social cues. *Review of Philosophy and Psychology*, 6(4), 591-610.
- Adams Jr, R. B., Albohn, D. N. & Kveraga, K. (2017). Social vision : applying a social-functional approach to face and expression perception [Publisher : Sage Publications Sage CA : Los Angeles, CA]. *Current Directions in Psychological Science*, 26(3), 243-248.
- Adams Jr, R. B. & Kleck, R. E. (2003). Perceived gaze direction and the processing of facial displays of emotion. *Psychological science*, 14(6), 644-647.
- Adams Jr, R. B. & Kleck, R. E. (2005). Effects of direct and averted gaze on the perception of facially communicated emotion. *Emotion*, 5(1), 3.
- Adams Jr., R. B. & Nelson, A. J. (2016). Eye behavior and gaze. *APA handbook of nonverbal communication* (p. 335-362). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/14669-013>
- Adolphs, R. (2010). What does the amygdala contribute to social cognition? [Publisher : NIH Public Access]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1191(1), 42.
- Adolphs, R. & Tranel, D. (1999). Intact recognition of emotional prosody following amygdala damage [Publisher : Elsevier]. *Neuropsychologia*, 37(11), 1285-1292.

- Ahs, F., Fredrik, Dunsmoor, J. E., Zielinski, D. & LaBar, K. S. (2015). Spatial proximity amplifies valence in emotional memory and defensive approach-avoidance [Publisher : Elsevier]. *Neuropsychologia*, 70, 476-485.
- Andric, S., Maric, N. P., Knezevic, G., Mihaljevic, M., Mirjanic, T., Velthorst, E. & van Os, J. (2016). Neuroticism and facial emotion recognition in healthy adults [Publisher : Wiley Online Library]. *Early Intervention in Psychiatry*, 10(2), 160-164.
- Anzalone, S. M., Tilmont, E., Boucenna, S., Xavier, J., Jouen, A.-L., Bodeau, N., Maharatna, K., Chetouani, M., Cohen, D. & Group, M. S. (2014). How children with autism spectrum disorder behave and explore the 4-dimensional (spatial 3D+ time) environment during a joint attention induction task with a robot. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 8(7), 814-826.
- Argyle, M. & Dean, J. (1965). Eye-contact, distance and affiliation [Publisher : JSTOR]. *Sociometry*, 289-304.
- Assaiante, C. & Chabrol, B. (2010). Développement et troubles de la marche chez l'enfant. *Revue Neurologique*, 166(2), 149-157. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2009.10.014>
- Assaiante, C. & Amblard, B. (1995). An ontogenetic model for the sensorimotor organization of balance control in humans. *Human Movement Science*, 14(1), 13-43.
- Assaiante, C. (2015). Construction du schéma corporel au cours du développement sensori-moteur de l'enfant. *Les effets de la gravité sur le développement du bébé* (p. 41). ERES. <https://doi.org/10.3917/eres.absm.2015.01.0041>
- Assaiante, C. & Amblard, B. (1993). Ontogenesis of head stabilization in space during locomotion in children : influence of visual cues. *Experimental Brain Research*, 93(3), 499-515.
- Assaiante, C., Thomachot, B., Aurenty, R. & Amblard, B. (1998). Organization of lateral balance control in toddlers during the first year of independent walking. *Journal of Motor Behavior*, 30(2), 114-129.
- Avanzino, L., Lagravinese, G., Abbruzzese, G. & Pelosin, E. (2018). Relationships between gait and emotion in Parkinson's disease : a narrative review. *Gait & posture*, 65, 57-64.
- Azevedo, T. M., Volchan, E., Imbiriba, L. A., Rodrigues, E. C., Oliveira, J. M., Oliveira, L. F., Lutterbach, L. G. & Vargas, C. D. (2005). A freezing-like posture to pictures of mutilation. *Psychophysiology*, 42(3), 255-260. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2005.00287.x>
- Baillieux, H., De Smet, H. J., Paquier, P. F., De Deyn, P. P. & Mariën, P. (2008). Cerebellar neurocognition : insights into the bottom of the brain. *Clinical neurology and neurosurgery*, 110(8), 763-773.
- Baron-Cohen, S. & Wheelwright, S. (2004). The Empathy Quotient : An Investigation of Adults with Asperger Syndrome or High Functioning Autism, and Normal Sex Differences. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 34(2), 163-175. <https://doi.org/10.1023/B:JADD.0000022607.19833.00>
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and brain sciences*, 22(4), 577-660.
- Bayot, M., Dujardin, K., Tard, C., Defebvre, L., Bonnet, C. T., Allart, E. & Delval, A. (2018). The interaction between cognition and motor control : A theoretical framework

- for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning. *Neurophysiologie Clinique*, 48(6), 361-375.
- Beaudry, O., Roy-Charland, A., Perron, M., Cormier, I. & Tapp, R. (2014). Featural processing in recognition of emotional facial expressions [Publisher : Taylor & Francis]. *Cognition & emotion*, 28(3), 416-432.
- Beauregard, M., Leroux, J.-M., Bergman, S., Arzoumanian, Y., Beaudoin, G., Bourgouin, P. & Stip, E. (1998). The functional neuroanatomy of major depression : an fMRI study using an emotional activation paradigm. *Neuroreport*, 9(14), 3253-3258.
- Beck, A. T., Steer, R. A., Ball, R. & Ranieri, W. F. (1996). Comparison of Beck Depression Inventories-IA and-II in Psychiatric Outpatients. *Journal of Personality Assessment*, 67(3), 588-597. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa6703_13
- Bernard-Demanze, L., Burdet, C., Berger, L. & Rougier, P. (2004). Recalibration of somesthetic plantar information in the control of undisturbed upright stance maintenance. *Journal of integrative neuroscience*, 3(04), 433-451.
- Bindemann, M., Mike Burton, A. & Langton, S. R. (2008). How do eye gaze and facial expression interact? [Publisher : Taylor & Francis]. *Visual Cognition*, 16(6), 708-733.
- Bioulac, B., Burbaud, P., Cazalets, J.-R. & Gross, C. (2004). Fonctions motrices. *EMC-Neurologie*, 1(3), 277-329.
- Biran, V., Bodiou, A.-M., Zana, E., Gaudin, A., Farnoux, C., Hovhannisyan, S., Alison, M., Elmaleh, M., Oury, J.-F. & Maury, L. (2011). Lésions acquises du cervelet chez le grand prématuré : prévalence, facteurs de risque et conséquences fonctionnelles. *Archives de pédiatrie*, 18(3), 261-266.
- Bizzo, G., Guillet, N., Patat, A. & Gagey, P. M. (1985). Specifications for building a vertical force platform designed for clinical stabilometry. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 23(5), 474-476.
- Blanchard, R. J., Flannelly, K. J. & Blanchard, D. C. (1986). Defensive behaviors of laboratory and wild *Rattus norvegicus*. [Publisher : American Psychological Association]. *Journal of Comparative Psychology*, 100(2), 101.
- Blascovich, J., Loomis, J., Beall, A. C., Swinth, K. R., Hoyt, C. L. & Bailenson, J. N. (2002). TARGET ARTICLE : Immersive Virtual Environment Technology as a Methodological Tool for Social Psychology. *Psychological Inquiry*, 13(2), 103-124. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1302_01
- Boisgontier, M., Mignardot, J.-B., Nougier, V., Olivier, I. & Palluel, E. (2011). Le coût attentionnel associé aux fonctions exécutives impliquées dans le contrôle postural. *Science & Motricité*, (74), 53-64. <https://doi.org/10.1051/sm/2011106>
- Boltshauser, E., Scheer, I., Huisman, T. A. G. M. & Poretti, A. (2015). Cerebellar Cysts in Children : a Pattern Recognition Approach. *The Cerebellum*, 14(3), 308-316. <https://doi.org/10.1007/s12311-014-0633-9>
- Borelli, G. A. (1680). *De motu animalium* (Ex Typographia Angeli Bernabò).
- Bouman, D. & Stins, J. F. (2018). Back off! The effect of emotion on backward step initiation. *Human Movement Science*, 57, 280-290. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.09.006>

- Boureau, Y.-L. & Dayan, P. (2011). Opponency revisited : competition and cooperation between dopamine and serotonin [Publisher : Nature Publishing Group]. *Neuropsychopharmacology*, 36(1), 74-97.
- Brown, L. A., Shumway-Cook, A. & Woollacott, M. H. (1999). Attentional demands and postural recovery : the effects of aging. *Journals of Gerontology Series A : Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 54(4), M165-M171.
- Bruce, V. & Young, A. (1986). Understanding face recognition [Publisher : Wiley Online Library]. *British journal of psychology*, 77(3), 305-327.
- Calder, A. J., Lawrence, A. D. & Young, A. W. (2001). Neuropsychology of fear and loathing [Publisher : Nature Publishing Group]. *Nature reviews neuroscience*, 2(5), 352-363.
- Campbell, W. N., Missiuna, C. & Vaillancourt, T. (2012). Peer victimization and depression in children with and without motor coordination difficulties. *Psychology in the Schools*, 49(4), 328-341.
- Cardinali, L., Brozzoli, C. & Farne, A. (2009). Peripersonal space and body schema : two labels for the same concept? [Publisher : Springer]. *Brain topography*, 21(3), 252-260.
- Cartaud, A., Ruggiero, G., Ott, L., Iachini, T. & Coello, Y. (2018). Physiological response to facial expressions in peripersonal space determines interpersonal distance in a social interaction context [Publisher : Frontiers]. *Frontiers in psychology*, 9, 657.
- Carver, C. S. & White, T. L. (1994). Behavioral inhibition, behavioral activation, and affective responses to impending reward and punishment : the BIS/BAS scales. [Publisher : American Psychological Association]. *Journal of personality and social psychology*, 67(2), 319.
- Chaby, L. (2020). *De la perception sociale à l'intégration multimodale de signaux socioémotionnels : une approche life-span* (thèse de doct.) [Habilitation à Diriger des Recherches]. Université de Paris.
- Chaby, L., Boullay, V. L.-d., Chetouani, M. & Plaza, M. (2015). Compensating for age limits through emotional crossmodal integration. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00691>
- Chang, C.-H., Wade, M. G., Stoffregen, T. A., Hsu, C.-Y. & Pan, C.-Y. (2010). Visual tasks and postural sway in children with and without autism spectrum disorders. *Research in Developmental Disabilities*, 31(6), 1536-1542.
- Chen, M. & Bargh, J. A. (1999). Consequences of automatic evaluation : Immediate behavioral predispositions to approach or avoid the stimulus [Publisher : Sage Publications Sage CA : Thousand Oaks, CA]. *Personality and social psychology bulletin*, 25(2), 215-224.
- Collins, J. J. & De Luca, C. J. (1993). Open-loop and closed-loop control of posture : A random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. *Experimental Brain Research*, 95(2), 308-318. <https://doi.org/10.1007/BF00229788>
- Compton, R. J. (2003). The interface between emotion and attention : A review of evidence from psychology and neuroscience [Publisher : Sage Publications]. *Behavioral and cognitive neuroscience reviews*, 2(2), 115-129.

- Conty, L., N'Diaye, K., Tijus, C. & George, N. (2007). When eye creates the contact! ERP evidence for early dissociation between direct and averted gaze motion processing [Publisher : Elsevier]. *Neuropsychologia*, 45(13), 3024-3037.
- Cook, W. W. & Medley, D. M. (1954). Proposed hostility and pharisaic-virtue scales for the MMPI. [Publisher : American Psychological Association]. *Journal of applied psychology*, 38(6), 414.
- Costini, O., Roy, A., Faure, S. & Le Gall, D. (2013). La dyspraxie développementale : actualités et enjeux. *Revue de neuropsychologie*, 5(3), 200-212.
- Cuisinier, R., Olivier, I., Vaugoyeau, M., Nougier, V. & Assaiante, C. (2011). Reweighting of sensory inputs to control quiet standing in children from 7 to 11 and in adults. *PLoS One*, 6(5), e19697.
- Cummins, A., Piek, J. P. & Dyck, M. J. (2005). Motor coordination, empathy, and social behaviour in school-aged children. *Developmental medicine and child neurology*, 47(7), 437-442.
- Cuny, M. L., Pallone, M., Piana, H., Boddaert, N., Sainte-Rose, C., Vaivre-Douret, L., Piolino, P. & Puget, S. (2017). Neuropsychological improvement after posterior fossa arachnoid cyst drainage. *Child's Nervous System*, 33(1), 135-141. <https://doi.org/10.1007/s00381-016-3285-x>
- D'Agata, F., Caroppo, P., Baudino, B., Caglio, M., Croce, M., Bergui, M., Tamietto, M., Mortara, P. & Orsi, L. (2011). The recognition of facial emotions in spinocerebellar ataxia patients. *The Cerebellum*, 10(3), 600-610.
- Dalili, M. N., Penton-Voak, I. S., Harmer, C. J. & Munafò, M. R. (2015). Meta-analysis of emotion recognition deficits in major depressive disorder. *Psychological Medicine*, 45(6), 1135-1144. <https://doi.org/10.1017/S0033291714002591>
- Darwin, C. (1872). The expression of emotions in animals and man. *London : Murray*, 11, 1872.
- D'Attilio, M., Rodolfo, D., Abate, M., Festa, F. & Merla, A. (2013). Effects of Affective Picture Viewing on Postural Control in Healthy Male Subjects. *CRANIO®*, 31(3), 202-210. <https://doi.org/10.1179/crn.2013.031>
- Davidson, R. J., Abercrombie, H., Nitschke, J. B. & Putnam, K. (1999). Regional brain function, emotion and disorders of emotion [Publisher : Elsevier]. *Current opinion in neurobiology*, 9(2), 228-234.
- Davidson, R. J., Ekman, P., Saron, C. D., Senulis, J. A. & Friesen, W. V. (1990). Approach-withdrawal and cerebral asymmetry : emotional expression and brain physiology : I. *Journal of personality and social psychology*, 58(2), 330.
- Davies-Thompson, J. & Andrews, T. J. (2012). Intra- and interhemispheric connectivity between face-selective regions in the human brain [Publisher : American Physiological Society]. *Journal of Neurophysiology*, 108(11), 3087-3095. <https://doi.org/10.1152/jn.01171.2011>
- de Freitas Brandão, A., Palluel, E., Olivier, I. & Nougier, V. (2016). Effects of emotional videos on postural control in children. *Gait & posture*, 45, 175-180.
- Deliagina, T. G., Orlovsky, G. N., Zelenin, P. V. & Beloozerova, I. N. (2006). Neural bases of postural control. *Physiology*, 21(3), 216-225.

- Dimberg, U. & Thunberg, M. (2007). Speech anxiety and rapid emotional reactions to angry and happy facial expressions. *Scandinavian Journal of Psychology*, 48(4), 321-328.
- Dosey, M. A. & Meisels, M. (1969). Personal space and self-protection. [Publisher : American Psychological Association]. *Journal of personality and social psychology*, 11(2), 93.
- Doumas, M., McKenna, R. & Murphy, B. (2016). Postural Control Deficits in Autism Spectrum Disorder : The Role of Sensory Integration. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(3), 853-861. <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2621-4>
- Duchaine, B. & Yovel, G. (2015). A revised neural framework for face processing [Publisher : Annual Reviews]. *Annual review of vision science*, 1, 393-416.
- Duke, M. P. & Nowicki, S. (1972). A new measure and social-learning model for interpersonal distance. *Journal of Experimental Research in Personality*.
- Dupui, P. & Montoya, R. (2003). Approche physiologique des analyses posturographiques statique et dynamique. *Physiologie, Techniques, Pathologies*. Marseille : Solal, 13-29.
- Durand, K., Gallay, M., Seigneureic, A., Robichon, F. & Baudouin, J.-Y. (2007). The development of facial emotion recognition : The role of configural information. *Journal of Experimental Child Psychology*, 97(1), 14-27. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.12.001>
- Dutriaux, L. & Gyselinck, V. (2016). Cognition incarnée : un point de vue sur les représentations spatiales. *L'Année psychologique*, Vol. 116(3), 419-465.
- Dziuk, M. A., Larson, J. G., Apostu, A., Mahone, E. M., Denckla, M. B. & Mostofsky, S. H. (2007). Dyspraxia in autism : association with motor, social, and communicative deficits. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(10), 734-739.
- Eder, A. B. & Rothermund, K. (2008). When do motor behaviors (mis)match affective stimuli? An evaluative coding view of approach and avoidance reactions. *Journal of Experimental Psychology : General*, 137(2), 262-281. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.137.2.262>
- Eerland, A., Guadalupe, T. M., Franken, I. H. A. & Zwaan, R. A. (2012). Posture as Index for Approach-Avoidance Behavior. *PLoS ONE*, 7(2), 5.
- Egeth, H. & Kahneman, D. (1975). Attention and Effort. *The American Journal of Psychology*, 88(2), 339. <https://doi.org/10.2307/1421603>
- Eisenbarth, H. & Alpers, G. W. (2011). Happy mouth and sad eyes : scanning emotional facial expressions. [Publisher : American Psychological Association]. *Emotion*, 11(4), 860.
- Ekman, P. (1993). Facial expression and emotion. *American psychologist*, 48(4), 384.
- Ekman, P. (2002). Facial action coding system (FACS). *A human face*.
- Ekman, P. & Friesen, W. V. (1976). Measuring facial movement [Publisher : Springer]. *Environmental psychology and nonverbal behavior*, 1(1), 56-75.
- Ekman, P. & Keltner, D. (1997). Universal facial expressions of emotion. *Seegerstrale U, P. Molnar P, eds. Nonverbal communication : Where nature meets culture*, 27, 46.

- Elliot, A. J. (2006). The Hierarchical Model of Approach-Avoidance Motivation. *Motivation and Emotion*, 30(2), 111-116. <https://doi.org/10.1007/s11031-006-9028-7>
- Elliot, A. J. & Thrash, T. M. (2002). Approach-avoidance motivation in personality : Approach and avoidance temperaments and goals. *Journal of Personality and Social Psychology*, 82(5), 804-818. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.82.5.804>
- Elsherif, M. M., Saban, M. I. & Rotshtein, P. (2017). The perceptual saliency of fearful eyes and smiles : A signal detection study [Publisher : Public Library of Science]. *PLOS ONE*, 12(3), e0173199. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173199>
- Erickson, K. & Schulkin, J. (2003). Facial expressions of emotion : A cognitive neuroscience perspective. *Brain and Cognition*, 52(1), 52-60. [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00008-3](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00008-3)
- Ewbank, M. P., Jennings, C. & Calder, A. J. (2009). Why are you angry with me? Facial expressions of threat influence perception of gaze direction. *Journal of Vision*, 9(12), 16-16. <https://doi.org/10.1167/9.12.16>
- Eysenck, H. J. (1963). Biological basis of personality. *Nature*, 199(4898), 1031-1034.
- Eysenck, H. J. (1985). Personality, cancer and cardiovascular disease : A causal analysis [Publisher : Elsevier]. *Personality and individual differences*, 6(5), 535-556.
- Eysenck, H. J. (1990). Biological dimensions of personality. *Handbook of personality : Theory and research* (p. 244-276). The Guilford Press.
- Facchinetti, L. D., Imbiriba, L. A., Azevedo, T. M., Vargas, C. D. & Volchan, E. (2006). Postural modulation induced by pictures depicting prosocial or dangerous contexts. *Neuroscience Letters*, 410(1), 52-56. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.09.063>
- Fantino, E. (1973). Emotion. *The study of behavior : Learning, motivation, emotion, and instinct*, 281-322.
- Ferguson, M. J., Hassin, R. & Bargh, J. A. (2008). Implicit motivation : Past, present, and future. *Handbook of motivation science* (The Guilford Press, p. 150-166).
- Figura, F., Cama, G., Capranica, L., Guidetti, L. & Pulejo, C. (1991). Assessment of static balance in children. *J Sports Med Phys Fitness*, 31(2), 235-242.
- Fineberg, S. K., Leavitt, J., Landry, C. D., Neustadter, E. S., Lesser, R. E., Stahl, D. S., Deutsch-Link, S. & Corlett, P. R. (2018). Individuals with Borderline Personality Disorder show larger preferred social distance in live dyadic interactions. *Psychiatry Research*, 260, 384-390. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.11.054>
- Förster, J. & Stepper, S. (2000). Compatibility between approach/avoidance stimulation and valenced information determines residual attention during the process of encoding. *European Journal of Social Psychology*, 30(6), 853-871.
- Fournier, K. A., Hass, C. J., Naik, S. K., Lodha, N. & Cauraugh, J. H. (2010). Motor coordination in autism spectrum disorders : a synthesis and meta-analysis. *Journal of autism and developmental disorders*, 40(10), 1227-1240.
- Fraizer, E. V. & Mitra, S. (2008). Methodological and interpretive issues in posture-cognition dual-tasking in upright stance. *Gait & posture*, 27(2), 271-279.
- Fricke, K. & Vogel, S. (2020). How interindividual differences shape approach-avoidance behavior : Relating self-report and diagnostic measures of interindividual differences to behavioral measurements of approach and avoidance. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 111, 30-56.

- Frijda, N. (2005). Emotion experience. *Cognition & Emotion*, 19(4), 473-497.
- Frijda, N. H. (1953). The understanding of facial expression of emotion [Place : Netherlands Publisher : Elsevier Science]. *Acta Psychologica*, 9, 294-362. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(53\)90021-3](https://doi.org/10.1016/0001-6918(53)90021-3)
- Frijda, N. H. (2007). *The laws of emotion*. Psychology Press.
- Frijda, N. H. (2010). Impulsive action and motivation. *Biological Psychology*, 84(3), 570-579. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.01.005>
- Frijda, N. H. & Zeelenberg, M. (2001). Appraisal : What is the dependent? [Publisher : Oxford University Press].
- Frijda, N. H. (2003). Passions : l'émotion comme motivation [Publisher : Sprimont]. *Les émotions. Cognition, langage et développement*, 15-32.
- Gagey, N., Quillard, J., Gagey, O., Meduri, G., Bittoun, J. & Lassau, J. P. (1995). Tendon of the normal supraspinatus muscle : correlations between MR imaging and histology. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 17(4), 329-334.
- Gamer, M. & Hecht, H. (2007). Are you looking at me? Measuring the cone of gaze. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 33(3), 705.
- Gamer, M., Hecht, H., Seipp, N. & Hiller, W. (2011). Who is looking at me? The cone of gaze widens in social phobia [Publisher : Taylor & Francis]. *Cognition and Emotion*, 25(4), 756-764.
- Gea, J., Muñoz, M. A., Costa, I., Ciria, L. F., Miranda, J. G. & Montoya, P. (2014). Viewing pain and happy faces elicited similar changes in postural body sway [Publisher : Public Library of Science San Francisco, USA]. *PLoS One*, 9(8), e104381.
- Gendron, M. & Barrett, L. F. (2017). Facing the past. *The science of facial expression*.
- George, N. & Conty, L. (2008). Facing the gaze of others [Publisher : Elsevier]. *Neurophysiologie Clinique / Clinical Neurophysiology*, 38(3), 197-207.
- Geuze, R. H. (2005). Postural control in children with developmental coordination disorder. *Neural plasticity*, 12(2-3), 183-196.
- Ghanouni, P., Memari, A.-H., Gharibzadeh, S., Eghlidi, J. & Moshayedi, P. (2017). Effect of Social Stimuli on Postural Responses in Individuals with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 47(5), 1305-1313. <https://doi.org/10.1007/s10803-017-3032-5>
- Gibson, E. J. (2000). Where is the information for affordances? [Publisher : Taylor & Francis]. *Ecological Psychology*, 12(1), 53-56.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception* Houghton Mifflin. New York.
- Gioia, G. A., Isquith, P. K., Guy, S. C. & Kenworthy, L. (2000). *Behavior rating inventory of executive function : BRIEF*. Psychological Assessment Resources Odessa, FL.
- Goïc, M. L. (2013). *Etude du contrôle postural chez l'homme : analyse des facteurs neurophysiologiques, biomécaniques et cognitifs, impliqués dans les 500 premières millisecondes d'une chute* (thèse de doct.).
- Goldberg, L. R. (1981). Language and individual differences : The search for universals in personality lexicons. *Review of personality and social psychology*, 2(1), 141-165.

- Gosselin, P. (1995). Le développement de la reconnaissance des expressions faciales des émotions chez l'enfant. [Publisher : Canadian Psychological Association]. *Canadian Journal of Behavioural Science / Revue canadienne des sciences du comportement*, 27(1), 107.
- Gosselin, P. (2005). Le décodage de l'expression faciale des émotions au cours de l'enfance. [Publisher : Canadian Psychological Association]. *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*, 46(3), 126.
- Goulème, N., Seassau, M. & Bucci, M. P. (2015). The effect of face exploration on postural control in healthy children. *Gait & posture*, 42(2), 178-185.
- Graham, R. & LaBar, K. S. (2007). Garner interference reveals dependencies between emotional expression and gaze in face perception. [Publisher : American Psychological Association]. *Emotion*, 7(2), 296.
- Gray, J. A. & McNaughton, N. (2000). *The neuropsychology of anxiety : an enquiry into the functions of the septohippocampal system*. Oxford : Oxford University Press.
- Gray, J. A. & McNaughton, N. (1996). The neuropsychology of anxiety : reprise.
- Gray, J. A. (1987). *The psychology of fear and stress* (T. 5). CUP Archive.
- Graziano, M. S. & Cooke, D. F. (2006). Parieto-frontal interactions, personal space, and defensive behavior. *Neuropsychologia*, 44(6), 845-859.
- Gross, J. J. (2015). Emotion Regulation : Current Status and Future Prospects. *Psychological Inquiry*, 26(1), 1-26. <https://doi.org/10.1080/1047840X.2014.940781>
- Gross, J. J. & Levenson, R. W. (1995). Emotion elicitation using films. *Cognition & Emotion*, 9(1), 87-108. <https://doi.org/10.1080/02699939508408966>
- Gross, K. & D'ambrosio, L. (2004). Framing emotional response [Publisher : Wiley Online Library]. *Political psychology*, 25(1), 1-29.
- Hagenaars, M. A., Roelofs, K. & Stins, J. F. (2014). Human freezing in response to affective films. *Anxiety, Stress, & Coping*, 27(1), 27-37. <https://doi.org/10.1080/10615806.2013.809420>
- Hagenaars, M. A., Stins, J. F. & Roelofs, K. (2012). Aversive life events enhance human freezing responses. *Journal of Experimental Psychology : General*, 141(1), 98-105. <https://doi.org/10.1037/a0024211>
- Hall, C. W. (2006). Self-Reported Aggression and the Perception of Anger in Facial Expression Photos. *The Journal of Psychology*, 140(3), 255-267. <https://doi.org/10.3200/JRLP.140.3.255-267>
- Hall, E. T. (1959). *The silent language*.
- Hall, E. T. (1966). *The hidden dimension* (T. 609). Doubleday.
- Harmon-Jones, E. & Allen, J. J. (1998). Anger and frontal brain activity : EEG asymmetry consistent with approach motivation despite negative affective valence. [Publisher : American Psychological Association]. *Journal of personality and social psychology*, 74(5), 1310.
- Haxby, J. V., Hoffman, E. A. & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in cognitive sciences*, 4(6), 223-233.
- Hayduk, L. A. (1978). Personal space : An evaluative and orienting overview. [Publisher : American Psychological Association]. *Psychological bulletin*, 85(1), 117.

- Hecht, H., Welsch, R., Viehoff, J. & Longo, M. R. (2019). The shape of personal space [Publisher : Elsevier]. *Acta psychologica*, 193, 113-122.
- Henriques, J. B. & Davidson, R. J. (1991). Left frontal hypoactivation in depression. *Journal of abnormal psychology*, 100(4), 535.
- Herba, C. & Phillips, M. (2004). Annotation : Development of facial expression recognition from childhood to adolescence : Behavioural and neurological perspectives [Publisher : Wiley Online Library]. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(7), 1185-1198.
- Herba, C. M., Landau, S., Russell, T., Ecker, C. & Phillips, M. L. (2006). The development of emotion-processing in children : Effects of age, emotion, and intensity [Publisher : Wiley Online Library]. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(11), 1098-1106.
- Hernandez, N., Metzger, A., Magné, R., Bonnet-Brilhault, F., Roux, S., Barthelemy, C. & Martineau, J. (2009). Exploration of core features of a human face by healthy and autistic adults analyzed by visual scanning. *Neuropsychologia*, 47(4), 1004-1012. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.10.023>
- Hillman, C. H., Rosengren, K. S. & Smith, D. P. (2004). Emotion and motivated behavior : postural adjustments to affective picture viewing. *Biological Psychology*, 66(1), 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2003.07.005>
- Hoche, F., Guell, X., Sherman, J. C., Vangel, M. G. & Schmahmann, J. D. (2016). Cerebellar Contribution to Social Cognition. *The Cerebellum*, 15(6), 732-743. <https://doi.org/10.1007/s12311-015-0746-9>
- Honk, J. V., Tuiten, A., de Haan, E., van de Hout, M. & Stam, H. (2001). Attentional biases for angry faces : Relationships to trait anger and anxiety. *Cognition & Emotion*, 15(3), 279-297.
- Horak, F. B. (1996). Postural orientation and equilibrium. *Handbook of Physiology, Section 12 : Exercise*, 255-292.
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium : what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, 35(2), ii7-ii11. <https://doi.org/10.1093/ageing/afl077>
- Horak, F. B. & Nashner, L. M. (1986). Central programming of postural movements : adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of neurophysiology*, 55(6), 1369-1381.
- Horslen, B. C. & Carpenter, M. G. (2011). Arousal, valence and their relative effects on postural control. *Experimental Brain Research*, 215(1), 27-34. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2867-9>
- Hu, Z., Gendron, M., Liu, Q., Zhao, G. & Li, H. (2017). Trait Anxiety Impacts the Perceived Gaze Direction of Fearful But Not Angry Faces. *Frontiers in Psychology*, 8, 1186. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01186>
- Iachini, T., Coello, Y., Frassinetti, F. & Ruggiero, G. (2014). Body space in social interactions : a comparison of reaching and comfort distance in immersive virtual reality [Publisher : Public Library of Science]. *PloS one*, 9(11), e111511.

- Ito, T., Yokokawa, K., Yahata, N., Isato, A., Suhara, T. & Yamada, M. (2017). Neural basis of negativity bias in the perception of ambiguous facial expression [Publisher : Nature Publishing Group]. *Scientific reports*, 7(1), 1-9.
- Izard, C., Fine, S., Schultz, D., Mostow, A., Ackerman, B. & Youngstrom, E. (2001). Emotion knowledge as a predictor of social behavior and academic competence in children at risk [Publisher : SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA]. *Psychological science*, 12(1), 18-23.
- Jenkins, R., Beaver, J. D. & Calder, A. J. (2006). I thought you were looking at me : Direction-specific aftereffects in gaze perception [Publisher : SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA]. *Psychological Science*, 17(6), 506-513.
- Jian, Y., Winter, D. A., Ishac, M. G. & Gilchrist, L. (1993). Trajectory of the body COG and COP during initiation and termination of gait. *Gait & posture*, 1(1), 9-22.
- Jun, Y. Y., Mareschal, I., Clifford, C. W. & Dadds, M. R. (2013). Cone of direct gaze as a marker of social anxiety in males. *Psychiatry Research*, 210(1), 193-198. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2013.05.020>
- Karnath, H.-O., Ferber, S. & Dichgans, J. (2000). The neural representation of postural control in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(25), 13931-13936.
- Kerr, B., Condon, S. M. & McDonald, L. A. (1985). Cognitive spatial processing and the regulation of posture. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 11(5), 617.
- Kim, N.-G. & Son, H. (2015). How Facial Expressions of Emotion Affect Distance Perception. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01825>
- Kim, Y., Cheon, S.-M., Youm, C., Son, M. & Kim, J. W. (2018). Depression and posture in patients with Parkinson's disease [Publisher : Elsevier]. *Gait & posture*, 61, 81-85.
- Kloeckner, A., Jutard, C., Bullinger, A., Nicoulaud, L., Tordjman, S. & Cohen, D. (2009). Intérêt de l'abord sensorimoteur dans les pathologies autistiques sévères I : introduction aux travaux d'André Bullinger. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 57(2), 154-159.
- Knyazev, G. G., Bocharov, A. V., Slobodskaya, H. R. & Ryabichenko, T. I. (2008). Personality-linked biases in perception of emotional facial expressions. *Personality and Individual Differences*, 44(5), 1093-1104. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2007.11.001>
- Koch, S., Holland, R. W., Hengstler, M. & Van Knippenberg, A. (2009). Body locomotion as regulatory process : Stepping backward enhances cognitive control. *Cognitive Control in Motion*, 81.
- Kohler, C. G., Turner, T., Stolar, N. M., Bilker, W. B., Brensinger, C. M., Gur, R. E. & Gur, R. C. (2004). Differences in facial expressions of four universal emotions [Publisher : Elsevier]. *Psychiatry research*, 128(3), 235-244.
- Korkman, M., Kirk, U. & Kemp, S. (2012). Bilan neuropsychologique de l'enfant, Seconde Edition : NEPSY II. Paris : Les Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Krieglmeyer, R. & Deutsch, R. (2010). Comparing measures of approach-avoidance behaviour : The manikin task vs. two versions of the joystick task. *Cognition & Emotion*, 24(5), 810-828. <https://doi.org/10.1080/02699930903047298>

- Kroczek, L. O., Lingnau, A., Schwind, V., Wolff, C. & Mühlberger, A. (2021). Angry facial expressions bias towards aversive actions [Publisher : Public Library of Science San Francisco, CA USA]. *Plos one*, 16(9), e0256912.
- Lacour, M., Bernard-Demanze, L. & Dumitrescu, M. (2008). Posture control, aging, and attention resources : models and posture-analysis methods. *Neurophysiologie Clinique / Clinical Neurophysiology*, 38(6), 411-421.
- Laham, S. M., Kashima, Y., Dix, J. & Wheeler, M. (2015). A meta-analysis of the facilitation of arm flexion and extension movements as a function of stimulus valence [Publisher : Taylor & Francis]. *Cognition and Emotion*, 29(6), 1069-1090.
- Lajoie, Y., Teasdale, N., Bard, C. & Fleury, M. (1993). Attentional demands for static and dynamic equilibrium. *Experimental brain research*, 97(1), 139-144.
- Lang, P. J. & Bradley, M. M. (2010). Emotion and the motivational brain. *Biological Psychology*, 84(3), 437-450. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.10.007>
- Larkin, K. T., Martin, R. R. & McClain, S. E. (2002). Cynical hostility and the accuracy of decoding facial expressions of emotions [Publisher : Springer]. *Journal of Behavioral Medicine*, 25(3), 285-292.
- Laufer, Y., Ashkenazi, T. & Josman, N. (2008). The effects of a concurrent cognitive task on the postural control of young children with and without developmental coordination disorder. *Gait & posture*, 27(2), 347-351.
- Lavender, T. & Hommel, B. (2007). Affect and action : Towards an event-coding account [Publisher : Taylor & Francis]. *Cognition and Emotion*, 21(6), 1270-1296.
- Lawrence, K., Bernstein, D., Pearson, R., Mandy, W., Campbell, R. & Skuse, D. (2008). Changing abilities in recognition of unfamiliar face photographs through childhood and adolescence : Performance on a test of non-verbal immediate memory (Warrington RMF) from 6 to 16 years [Publisher : Wiley Online Library]. *Journal of neuropsychology*, 2(1), 27-45.
- Lebert, A., Chaby, L., Garnot, C. & Vergilino-Perez, D. (2020). The impact of emotional videos and emotional static faces on postural control through a personality trait approach. *Experimental Brain Research*, 238(12), 2877-2886.
- Legrand, A., Mazars, K. D., Lazzareschi, J., Lemoine, C., Olivier, I., Barra, J. & Bucci, M. P. (2013). Differing effects of prosaccades and antisaccades on postural stability [Publisher : Springer]. *Experimental brain research*, 227(3), 397-405.
- Legrand, A., Mazars, K. D., Lemoine, C., Nougier, V. & Olivier, I. (2016). Interference between oculomotor and postural tasks in 7–8-year-old children and adults. *Experimental brain research*, 234(6), 1667-1677.
- Leisman, G., Braun-Benjamin, O. & Melillo, R. (2014). Cognitive-motor interactions of the basal ganglia in development. *Frontiers in systems neuroscience*, 8, 16.
- Lelard, T., Krystkowiak, P., Montalan, B., Longin, E., Bucchioni, G., Ahmaidi, S., Godefroy, O. & Mouras, H. (2014). Influence of postural threat on postural responses to aversive visual stimuli. *Behavioural brain research*, 266, 137-145.
- Lelard, T., Stins, J. & Mouras, H. (2019). Postural responses to emotional visual stimuli. *Neurophysiologie clinique*, 49(2), 109-114.
- Lemonnier, E. (2010). La psychopathologie de l'enfant dyspraxique. *Archives de pédiatrie*, 17(8), 1243-1248.

- Lenti, C., Lenti-Boero, D. & Giacobbe, A. (1999). Decoding of emotional expressions in children and adolescents [Publisher : SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA]. *Perceptual and Motor Skills*, 89(3), 808-814.
- Leonard, H. C. & Hill, E. L. (2014). The impact of motor development on typical and atypical social cognition and language : A systematic review [Publisher : Wiley Online Library]. *Child and Adolescent Mental Health*, 19(3), 163-170.
- Levisohn, L., Cronin-Golomb, A. & Schmahmann, J. D. (2000). Neuropsychological consequences of cerebellar tumour resection in children : cerebellar cognitive affective syndrome in a paediatric population. *Brain*, 123(5), 1041-1050.
- Limperopoulos, C., Bassan, H., Gauvreau, K., Robertson, R. L., Sullivan, N. R., Benson, C. B., Avery, L., Stewart, J., Soul, J. S. & Ringer, S. A. (2007). Does cerebellar injury in premature infants contribute to the high prevalence of long-term cognitive, learning, and behavioral disability in survivors? *Pediatrics*, 120(3), 584-593.
- Liu, T., Ode, S., Moeller, S. K. & Robinson, M. D. (2013). Neuroticism as distancing : Perceptual sources of evidence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 104(5), 907-920. <https://doi.org/10.1037/a0031969>
- Lobaugh, N. J., Gibson, E. & Taylor, M. J. (2006). Children recruit distinct neural systems for implicit emotional face processing [Publisher : LWW]. *Neuroreport*, 17(2), 215-219.
- Lobmaier, J. S., Tiddeman, B. P. & Perrett, D. I. (2008). Emotional expression modulates perceived gaze direction. [Publisher : American Psychological Association]. *Emotion*, 8(4), 573.
- Losse, A., Henderson, S. E., Elliman, D., Hall, D., Knight, E. & Jongmans, M. (1991). Clumsiness in children-do they grow out of it? A 10-year follow-up study. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 33(1), 55-68.
- Lowe, R. (2011). The feeling of action tendencies : on the emotional regulation of goal-directed behavior. *Frontiers in psychology*, 2, 346.
- Lupo, M., Troisi, E., Chiricozzi, F. R., Clausi, S., Molinari, M. & Leggio, M. (2015). Inability to Process Negative Emotions in Cerebellar Damage : a Functional Transcranial Doppler Sonographic Study. *The Cerebellum*, 14(6), 663-669. <https://doi.org/10.1007/s12311-015-0662-z>
- Mack, C. & Moor, L. (1982). Versions françaises d'échelles d'évaluation de la dépression. II. Les échelles DCI et ISC de Maria Kovacs. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*.
- Mancini, G., Agnoli, S., Baldaro, B., Ricci Bitti, P. E. & Surcinelli, P. (2013). Facial expressions of emotions : recognition accuracy and affective reactions during late childhood [Publisher : Taylor & Francis]. *The Journal of psychology*, 147(6), 599-617.
- Mareschal, I., Calder, A. J., Dadds, M. R. & Clifford, C. W. G. (2013). Gaze categorization under uncertainty : Psychophysics and modeling. *Journal of Vision*, 13(5), 18-18. <https://doi.org/10.1167/13.5.18>
- Massion, J. (1992). Movement, posture and equilibrium : interaction and coordination. *Progress in neurobiology*, 38(1), 35-56.

- Massion, J. (1994). Postural control system. *Current opinion in neurobiology*, 4(6), 877-887.
- Massion, J. (1998). Postural Control Systems in Developmental Perspective. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 22(4), 465-472. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(97\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(97)00031-6)
- Mathews, A., Fox, E., Yiend, J. & Calder, A. (2003). The face of fear : Effects of eye gaze and emotion on visual attention [Publisher : Taylor & Francis]. *Visual cognition*, 10(7), 823-835.
- McCrae, R. R. & Costa, P. T. (1985). Updating Norman's" adequacy taxonomy" : Intelligence and personality dimensions in natural language and in questionnaires. [Publisher : American Psychological Association]. *Journal of personality and social psychology*, 49(3), 710.
- Miller, H. C., Chabriac, A.-S. & Molet, M. (2013). The impact of facial emotional expressions and sex on interpersonal distancing as evaluated in a computerized stop-distance task. *Canadian Journal of Experimental Psychology / Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 67(3), 188-194. <https://doi.org/10.1037/a0030663>
- Missiuna, C., Cairney, J., Pollock, N., Campbell, W., Russell, D. J., Macdonald, K., Schmidt, L., Heath, N., Veldhuizen, S. & Cousins, M. (2014). Psychological distress in children with developmental coordination disorder and attention-deficit hyperactivity disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 35(5), 1198-1207. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.01.007>
- Montirosso, R., Peverelli, M., Frigerio, E., Crespi, M. & Borgatti, R. (2010). The development of dynamic facial expression recognition at different intensities in 4-to 18-year-olds [Publisher : Wiley Online Library]. *Social Development*, 19(1), 71-92.
- Morey, L. C. (1991). *Personality assessment inventory*. Psychological Assessment Resources Odessa, FL.
- Murray, M. P., Seireg, A. & Scholz, R. C. (1967). Center of gravity, center of pressure, and supportive forces during human activities. *Journal of applied physiology*, 23(6), 831-838.
- Nashner, L. M. (1985). Strategies for organization of human posture. *Vestibular and visual control on posture and locomotor equilibrium* (p. 1-8). Karger Publishers.
- Nashner, L. M. (1977). Fixed patterns of rapid postural responses among leg muscles during stance. *Experimental Brain Research*, 30(1), 13-24.
- Naugle, K. M., Joyner, J., Hass, C. J. & Janelle, C. M. (2010). Emotional influences on locomotor behavior. *Journal of Biomechanics*, 43(16), 3099-3103. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.08.008>
- Nelson, A. J., Adams, R. B., Stevenson, M. T., Weisbuch, M. & Norton, M. I. (2013). Approach-Avoidance Movement Influences the Decoding of Anger and Fear Expressions. *Social Cognition*, 31(6), 745-757. <https://doi.org/10.1521/soco.2013.31.6.745>
- Nelson, C. A. (1987). The Recognition of Facial Expressions in the First Two Years of Life : Mechanisms of Development [Publisher : [Wiley, Society for Research in Child Development]]. *Child Development*, 58(4), 889-909. <https://doi.org/10.2307/1130530>

- Neumann, R. & Strack, F. (2000). Approach and avoidance : The influence of proprioceptive and exteroceptive cues on encoding of affective information. *Journal of Personality and Social Psychology*, 79(1), 39-48. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.79.1.39>
- Nixon, P. D. & Passingham, R. E. (2000). The cerebellum and cognition : cerebellar lesions impair sequence learning but not conditional visuomotor learning in monkeys. *Neuropsychologia*, 38(7), 1054-1072.
- Ochsner, K. N. & Gross, J. J. (2014). The neural bases of emotion and emotion regulation : A valuation perspective. *Handbook of emotion regulation*, 2nd ed (p. 23-42). The Guilford Press.
- Okon-Singer, H., Hendl, T., Pessoa, L. & Shackman, A. J. (2015). The neurobiology of emotion–cognition interactions : fundamental questions and strategies for future research. *Frontiers in human neuroscience*, 9, 58.
- Olivier, I., Palluel, E. & Nougier, V. (2008). Effects of attentional focus on postural sway in children and adults. *Experimental Brain Research*, 185(2), 341-345. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1271-6>
- Ozono, H., Watabe, M. & Yoshikawa, S. (2012). Effects of facial expression and gaze direction on approach–avoidance behaviour. *Cognition & Emotion*, 26(5), 943-949. <https://doi.org/10.1080/02699931.2011.641807>
- Paillard, J. (1971). Les déterminants moteurs de l'organisation de l'espace. *Cahiers de psychologie*, 14(4), 261-316.
- Palermo, R. & Coltheart, M. (2004). Photographs of facial expression : Accuracy, response times, and ratings of intensity [Publisher : Springer]. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(4), 634-638.
- Palermo, R. & Rhodes, G. (2007). Are you always on my mind? A review of how face perception and attention interact [Publisher : Elsevier]. *Neuropsychologia*, 45(1), 75-92.
- Panksepp, J. & Modell, A. H. (2000). *The Feeling of What Happens : Body and Emotion in the Making of Consciousness*.
- Pedersen, D. M. (1973). Prediction of behavioral personal space from simulated personal space. *Perceptual and Motor Skills*, 37(3), 803-813.
- Pellijeff, A., Bonilha, L., Morgan, P. S., McKenzie, K. & Jackson, S. R. (2006). Parietal updating of limb posture : an event-related fMRI study. *Neuropsychologia*, 44(13), 2685-2690.
- Perakakis, P. E., Idrissi, S., Vila, J. & Ivanov, P. C. (2012). Dynamical patterns of human postural responses to emotional stimuli : COP responses. *Psychophysiology*, 49(9), 1225-1229. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2012.01392.x>
- Phaf, R. H., Mohr, S. E., Rotteveel, M. & Wicherts, J. M. (2014). Approach, avoidance, and affect : a meta-analysis of approach-avoidance tendencies in manual reaction time tasks. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00378>
- Piek, J. P., Bradbury, G. S., Elsley, S. C. & Tate, L. (2008). Motor Coordination and Social–Emotional Behaviour in Preschool-aged Children. *International Journal of Disability, Development and Education*, 55(2), 143-151. <https://doi.org/10.1080/10349120802033592>

- Plaisant, O., Courtois, R., Réveillère, C., Mendelsohn, G. & John, O. (2010). Validation par analyse factorielle du Big Five Inventory français (BFI-Fr). Analyse convergente avec le NEO-PI-R. *Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique*, 168(2), 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.amp.2009.09.003>
- Pollock, A. S., Durward, B. R., Rowe, P. J. & Paul, J. P. (2000). What is balance? *Clinical rehabilitation*, 14(4), 402-406.
- Pönkänen, L. M. & Hietanen, J. K. (2012). Eye contact with neutral and smiling faces : effects on autonomic responses and frontal EEG asymmetry [Publisher : Frontiers]. *Frontiers in human neuroscience*, 6, 122.
- Proffitt, D. R. & Linkenauger, S. A. (2013). Perception viewed as a phenotypic expression. *Action science : Foundations of an emerging discipline*, 171.
- Qiu, A., Adler, M., Crocetti, D., Miller, M. I. & Mostofsky, S. H. (2010). Basal ganglia shapes predict social, communication, and motor dysfunctions in boys with autism spectrum disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 49(6), 539-551.
- R Core Team. (2013). *R : a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Rammstedt, B. & John, O. P. (2007). Measuring personality in one minute or less : A 10-item short version of the Big Five Inventory in English and German. *Journal of Research in Personality*, 41(1), 203-212. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2006.02.001>
- Raper, S. A. & Soames, R. W. (1991). The influence of stationary auditory fields on postural sway behaviour in man. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 63(5), 363-367. <https://doi.org/10.1007/BF00364463>
- Rechtman, E., Puget, S., Saitovitch, A., Lemaitre, H., Fillion, L., Tacchella, J.-M., Boisgontier, J., Cuny, M.-L., Boddaert, N. & Zilbovicius, M. (2020). Posterior Fossa Arachnoid Cyst in a Pediatric Population is Associated with Social Perception and Rest Cerebral Blood Flow Abnormalities. *The Cerebellum*, 19(1), 58-67.
- Riach, C. L. & Hayes, K. C. (1987). Maturation of postural sway in young children. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 29(5), 650-658.
- Ridgeway, D., Waters, E. & Kuczaj, S. A. (1985). Acquisition of emotion-descriptive language : Receptive and productive vocabulary norms for ages 18 months to 6 years. [Publisher : American Psychological Association]. *Developmental Psychology*, 21(5), 901.
- Rigato, S., Farroni, T. & Johnson, M. H. (2010). The shared signal hypothesis and neural responses to expressions and gaze in infants and adults [Publisher : Oxford University Press]. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 5(1), 88-97.
- Rodger, H., Vizioli, L., Ouyang, X. & Caldara, R. (2015). Mapping the development of facial expression recognition. *Developmental Science*, 18(6), 926-939. <https://doi.org/10.1111/desc.12281>
- Rodrigues, S. T., Aguiar, S. A., Polastri, P. F., Godoi, D., Moraes, R. & Barela, J. A. (2013). Effects of saccadic eye movements on postural control stabilization. *Motriz : Revista de Educação Física*, 19(3), 614-619. <https://doi.org/10.1590/S1980-65742013000300012>

- Roelofs, K., Hagenaaars, M. A. & Stins, J. (2010). Facing Freeze : Social Threat Induces Bodily Freeze in Humans. *Psychological Science*, 21(11), 1575-1581. <https://doi.org/10.1177/0956797610384746>
- Roelofs, K., Putman, P., Schouten, S., Lange, W.-G., Volman, I. & Rinck, M. (2010). Gaze direction differentially affects avoidance tendencies to happy and angry faces in socially anxious individuals. *Behaviour research and therapy*, 48(4), 290-294.
- Roncesvalles, M. N., Schmitz, C., Zedka, M., Assaiante, C. & Woollacott, M. (2005). From Egocentric to Exocentric Spatial Orientation : Development of Posture Control in Bimanual and Trunk Inclination Tasks. *Journal of Motor Behavior*, 37(5), 404-416. <https://doi.org/10.3200/JMBR.37.5.404-416>
- Roncesvalles, M. N. C., Woollacott, M. H. & Jensen, J. L. (2001). Development of lower extremity kinetics for balance control in infants and young children. *Journal of motor behavior*, 33(2), 180-192.
- Rougier, M. (2016). *Mesure des tendances comportementales d'approche / évitement : le rôle des processus sensorimoteurs* (Sciences cognitives, psychologie et neurocognition). Université Grenoble Alpes.
- Rougier, P. & Garin, M. (2007). Performing saccadic eye movements or blinking improves postural control [Publisher : Human Kinetics, Inc.]. *Motor control*, 11(3), 213-223.
- Roux, S. & Bossu, J.-L. (2016). Le cervelet : des troubles moteurs à l'autisme. *Revue de neuropsychologie*, 8(3), 182-191.
- Ruggiero, G., Frassinetti, F., Coello, Y., Rapuano, M., di Cola, A. S. & Iachini, T. (2017). The effect of facial expressions on peripersonal and interpersonal spaces. *Psychological Research*, 81(6), 1232-1240. <https://doi.org/10.1007/s00426-016-0806-x>
- Russell, J. A. (1997). Reading emotions from and into faces : Resurrecting a dimensional-contextual perspective. In J. A. Russell & J. M. Fernández-Dols (Éd.), *The Psychology of Facial Expression* (1^{re} éd., p. 295-320). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511659911.015>
- Sá, C. d. S. C. d., Boffino, C. C., Ramos, R. T. & Tanaka, C. (2018). Development of postural control and maturation of sensory systems in children of different ages a cross-sectional study. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 22(1), 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2017.10.006>
- Sambo, C. F. & Iannetti, G. D. (2013). Better safe than sorry? The safety margin surrounding the body is increased by anxiety [Publisher : Soc Neuroscience]. *Journal of Neuroscience*, 33(35), 14225-14230.
- Sander, D., Grandjean, D., Kaiser, S., Wehrle, T. & Scherer, K. R. (2007). Interaction effects of perceived gaze direction and dynamic facial expression : Evidence for appraisal theories of emotion [Publisher : Taylor & Francis]. *European Journal of Cognitive Psychology*, 19(3), 470-480.
- Sander, D. & Scherer, K. R. (2014). *Traité de psychologie des émotions*. Dunod Paris.
- Schaefer, A., Nils, F., Sanchez, X. & Philippot, P. (2010). Assessing the effectiveness of a large database of emotion-eliciting films : a new tool for emotion researchers. *Cognition & Emotion*, 24(7), 1153-1172. <https://doi.org/10.1080/02699930903274322>

- Scheller, E., Büchel, C. & Gamer, M. (2012). Diagnostic features of emotional expressions are processed preferentially [Publisher : Public Library of Science San Francisco, USA]. *PloS one*, 7(7), e41792.
- Scherer, K. R. (1984). On the nature and function of emotion : A component process approach. *Approaches to emotion*, 2293(317), 31.
- Scherer, K. R. (2005). What are emotions? And how can they be measured? [Publisher : SAGE Publications Ltd]. *Social Science Information*, 44(4), 695-729. <https://doi.org/10.1177/0539018405058216>
- Scherer, K. R., Schorr, A. & Johnstone, T. (2001). *Appraisal processes in emotion : Theory, methods, research*. Oxford University Press.
- Schirmer, A. & Adolphs, R. (2017). Emotion Perception from Face, Voice, and Touch : Comparisons and Convergence. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(3), 216-228. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.01.001>
- Schmahmann, J. D. (2010). The Role of the Cerebellum in Cognition and Emotion : Personal Reflections Since 1982 on the Dysmetria of Thought Hypothesis, and Its Historical Evolution from Theory to Therapy. *Neuropsychology Review*, 20(3), 236-260. <https://doi.org/10.1007/s11065-010-9142-x>
- Schmahmann, J. D. & Sherman, J. C. (1998). The cerebellar cognitive affective syndrome. *Brain : a journal of neurology*, 121(4), 561-579.
- Schmid, M., Conforto, S., Lopez, L., Renzi, P. & D'alessio, T. (2005). The development of postural strategies in children : a factorial design study [Publisher : BioMed Central]. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2(1), 1-11.
- Schurigin, M. W., Nelson, J., Iida, S., Ohira, H., Chiao, J. Y. & Franconeri, S. L. (2014). Eye movements during emotion recognition in faces [Publisher : The Association for Research in Vision and Ophthalmology]. *Journal of vision*, 14(13), 14-14.
- Schyns, P. G., Petro, L. S. & Smith, M. L. (2009). Transmission of facial expressions of emotion co-evolved with their efficient decoding in the brain : behavioral and brain evidence [Publisher : Public Library of Science San Francisco, USA]. *PloS one*, 4(5), e5625.
- Seidel, E.-M., Habel, U., Kirschner, M., Gur, R. C. & Derntl, B. (2010). The impact of facial emotional expressions on behavioral tendencies in women and men. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 36(2), 500.
- Seyama, J. & Nagayama, R. S. (2006). Eye direction aftereffect [Publisher : Springer]. *Psychological research*, 70(1), 59-67.
- Shaw, P., De Rossi, P., Watson, B., Wharton, A., Greenstein, D., Raznahan, A., Sharp, W., Lerch, J. P. & Chakravarty, M. M. (2014). Mapping the Development of the Basal Ganglia in Children With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 53(7), 780-789.e11. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2014.05.003>
- Shumway-Cook, A. & Woollacott, M. H. (1985). The growth of stability : postural control from a developmental perspective. *Journal of motor behavior*, 17(2), 131-147.
- Skodol, A. E., Gunderson, J. G., Pfohl, B., Widiger, T. A., Livesley, W. J. & Siever, L. J. (2002). The borderline diagnosis I : psychopathology, comorbidity, and personality structure. *Biological psychiatry*, 51(12), 936-950.

- Slobounov, S., Wu, T. & Hallett, M. (2006). Neural basis subserving the detection of postural instability : an fMRI study. *Motor Control*, 10(1), 69-89.
- Smith, M. L., Cottrell, G. W., Gosselin, F. & Schyns, P. G. (2005). Transmitting and decoding facial expressions [Publisher : SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA]. *Psychological science*, 16(3), 184-189.
- Smith, T. J. & Mital, P. K. (2013). Attentional synchrony and the influence of viewing task on gaze behavior in static and dynamic scenes. *Journal of Vision*, 13(8), 16-16. <https://doi.org/10.1167/13.8.16>
- Smits, D. J. M. & Boeck, P. D. (2006). From BIS/BAS to the big five. *European Journal of Personality*, 20(4), 255-270. <https://doi.org/10.1002/per.583>
- Snow, W. M., Stoesz, B. M. & Anderson, J. E. (2014). The cerebellum in emotional processing : evidence from human and non-human animals. *AIMS Neuroscience*, 1(1), 96-119.
- Solarz, A. K. (1960). Latency of instrumental responses as a function of compatibility with the meaning of eliciting verbal signs. [Publisher : American Psychological Association]. *Journal of experimental psychology*, 59(4), 239.
- Sommer, R. (2002). Personal space in a digital age [Publisher : New York, NY : John Wiley]. *Handbook of environmental psychology*, 647-660.
- Sparrow, S. S., Cicchetti, D. V. & Balla, D. A. (2005). Vineland Adaptive Behavior Scales—Second Edition (Vineland—II). *Circle Pines, MN : American Guidance Service*.
- Spielberger, C. D. (1993). *Inventaire d'anxiété état-Trait : Forme Y*. ECPA, les Éditions du centre de Psychologie Appliquée.
- Spielberger, C. D. (1999). *Staxi-2 : state-trait anger expression inventory-2*. Psychological Assessment Resources Odessa, FL.
- Stemmler, G., Aue, T. & Wacker, J. (2007). Anger and fear : Separable effects of emotion and motivational direction on somatovisceral responses [Publisher : Elsevier]. *International journal of psychophysiology*, 66(2), 141-153.
- Stins, J. F. & Beek, P. J. (2007). Effects of affective picture viewing on postural control. *BMC Neuroscience*, 8(1), 83. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-8-83>
- Stins, J. F., Roelofs, K., Villan, J., Kooijman, K., Hagenars, M. A. & Beek, P. J. (2011). Walk to me when I smile, step back when I'm angry : emotional faces modulate whole-body approach—avoidance behaviors. *Experimental Brain Research*, 212(4), 603-611. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2767-z>
- Stins, J. F., Roerdink, M. & Beek, P. J. (2011). To freeze or not to freeze? Affective and cognitive perturbations have markedly different effects on postural control. *Human Movement Science*, 30(2), 190-202. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2010.05.013>
- Stoffregen, T. A. (2003). Affordances as properties of the animal-environment system. *Ecological psychology*, 15(2), 115-134.
- Stoffregen, T. A., Bardy, B. G., Bonnet, C. T., Hove, P. & Oullier, O. (2007). Postural sway and the frequency of horizontal eye movements. *Motor Control*, 11(1).
- Stoodley, C. J. (2016). The Cerebellum and Neurodevelopmental Disorders. *The Cerebellum*, 15(1), 34-37. <https://doi.org/10.1007/s12311-015-0715-3>

- Stoodley, C. J. & Schmahmann, J. D. (2010). Evidence for topographic organization in the cerebellum of motor control versus cognitive and affective processing. *cortex*, 46(7), 831-844.
- Stoodley, C. J., Valera, E. M. & Schmahmann, J. D. (2012). Functional topography of the cerebellum for motor and cognitive tasks : an fMRI study. *Neuroimage*, 59(2), 1560-1570.
- Stoyanova, R. S., Ewbank, M. P. & Calder, A. J. (2010). "You talkin' to me?" Self-relevant auditory signals influence perception of gaze direction. *Psychological Science*, 21(12), 1765-1769.
- Strick, P. L., Dum, R. P. & Fiez, J. A. (2009). Cerebellum and nonmotor function. *Annual review of neuroscience*, 32, 413-434.
- Sundermier, L., Woollacott, M., Roncesvalles, N. & Jensen, J. (2001). The development of balance control in children : comparisons of EMG and kinetic variables and chronological and developmental groupings. *Experimental Brain Research*, 136(3), 340-350.
- Susskind, J. M., Lee, D. H., Cusi, A., Feiman, R., Grabski, W. & Anderson, A. K. (2008). Expressing fear enhances sensory acquisition. *Nature neuroscience*, 11(7), 843-850.
- Sutton, S. K. & Davidson, R. J. (1997). Prefrontal brain asymmetry : A biological substrate of the behavioral approach and inhibition systems [Publisher : SAGE Publications Sage CA : Los Angeles, CA]. *Psychological science*, 8(3), 204-210.
- Suzuki, M., Miyai, I., Ono, T., Oda, I., Konishi, I., Kochiyama, T. & Kubota, K. (2004). Prefrontal and premotor cortices are involved in adapting walking and running speed on the treadmill : an optical imaging study. *Neuroimage*, 23(3), 1020-1026.
- Takakusaki, K. (2017). Functional Neuroanatomy for Posture and Gait Control. *Journal of Movement Disorders*, 10(1), 1-17. <https://doi.org/10.14802/jmd.16062>
- Tavano, A., Grasso, R., Gagliardi, C., Triulzi, F., Bresolin, N., Fabbro, F. & Borgatti, R. (2007). Disorders of cognitive and affective development in cerebellar malformations. *Brain*, 130(10), 2646-2660.
- Tcherkassof, A. & Frijda, N. H. (2014). Les émotions : une conception relationnelle. *L'annee psychologique*, Vol. 114(3), 501-535.
- Thomas, K. M., Drevets, W. C., Whalen, P. J., Eccard, C. H., Dahl, R. E., Ryan, N. D. & Casey, B. J. (2001). Amygdala response to facial expressions in children and adults [Publisher : Elsevier]. *Biological psychiatry*, 49(4), 309-316.
- Tremblay, C., Kirouac, G. & Dore, F. Y. (1987). The recognition of adults' and children's facial expressions of emotions [Publisher : Taylor & Francis]. *The Journal of Psychology*, 121(4), 341-350.
- Van Overwalle, F., Baetens, K., Mariën, P. & Vandekerckhove, M. (2014). Social cognition and the cerebellum : A meta-analysis of over 350 fMRI studies. *NeuroImage*, 86, 554-572. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.09.033>
- van Peer, J. M., Rotteveel, M., Spinhoven, P., Tollenaar, M. S. & Roelofs, K. (2010). Affect-congruent approach and withdrawal movements of happy and angry faces facilitate affective categorisation. *Cognition & Emotion*, 24(5), 863-875. <https://doi.org/10.1080/02699930902935485>

- Vanwalleghem, S., Sacco, S., Doummar, D., Dorison, N., Héron, B., Moutard, M.-L., Billette, T., Ponsot, G., Rodriguez, D. & Burglen, L. (2017). Profil développemental et cognitif d'enfants et d'adolescents atteints du syndrome de Joubert. *Revue de neuropsychologie*, 9(3), 195-202.
- Veenstra, L., Schneider, I. K., Bushman, B. J. & Koole, S. L. (2017). Drawn to danger : trait anger predicts automatic approach behaviour to angry faces. *Cognition and Emotion*, 31(4), 765-771.
- Vicari, S., Reilly, J. S., Pasqualetti, P., Vizzotto, A. & Caltagirone, C. (2000). Recognition of facial expressions of emotions in school-age children : the intersection of perceptual and semantic categories. *Acta Paediatrica*, 89(7), 836-845.
- Vieira, J. B. & Marsh, A. A. (2014). Don't stand so close to me : psychopathy and the regulation of interpersonal distance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 907.
- Vieira, J. B., Tavares, T. P., Marsh, A. A. & Mitchell, D. G. (2017). Emotion and personal space : Neural correlates of approach-avoidance tendencies to different facial expressions as a function of coldhearted psychopathic traits. *Human brain mapping*, 38(3), 1492-1506.
- Vuillerme, N. & Nafati, G. (2007). How attentional focus on body sway affects postural control during quiet standing. *Psychological research*, 71(2), 192-200.
- Vuillerme, N. & Nougier, V. (2004). Attentional demand for regulating postural sway : the effect of expertise in gymnastics. *Brain Research Bulletin*, 63(2), 161-165.
- Vuillerme, N., Nougier, V. & Teasdale, N. (2000). Effects of a reaction time task on postural control in humans [Publisher : Elsevier]. *Neuroscience Letters*, 291(2), 77-80.
- Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J. & Dolan, R. J. (2003). Distinct spatial frequency sensitivities for processing faces and emotional expressions [Publisher : Nature Publishing Group]. *Nature neuroscience*, 6(6), 624-631.
- Waller, B. M. & Micheletta, J. (2013). Facial expression in nonhuman animals [Publisher : Sage Publications Sage UK : London, England]. *Emotion Review*, 5(1), 54-59.
- Wang, S. S.-H., Kloth, A. D. & Badura, A. (2014). The cerebellum, sensitive periods, and autism. *Neuron*, 83(3), 518-532.
- Wang, S., Tudusciuc, O., Mamelak, A. N., Ross, I. B., Adolphs, R. & Rutishauser, U. (2014). Neurons in the human amygdala selective for perceived emotion [Publisher : National Acad Sciences]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(30), E3110-E3119.
- Wechsler, D. (2003). *Wechsler intelligence scale for children* (4th Edn San Antonia). TX : PsychCorp.
- Welsch, R., von Castell, C. & Hecht, H. (2019). The anisotropy of personal space (R. K. Wilson, Éd.). *PLOS ONE*, 14(6), e0217587. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217587>
- Welsch, R., von Castell, C. & Hecht, H. (2020). Interpersonal Distance Regulation and Approach-Avoidance Reactions Are Altered in Psychopathy. *Clinical Psychological Science*, 8(2), 211-225.
- Wicker, B., Perrett, D. I., Baron-Cohen, S. & Decety, J. (2003). Being the target of another's emotion : a PET study [Publisher : Elsevier]. *Neuropsychologia*, 41(2), 139-146.

- Widen, S. C. & Russell, J. A. (2008). Children acquire emotion categories gradually [Publisher : Elsevier]. *Cognitive development*, 23(2), 291-312.
- Wiesenfeller, J., Flasbeck, V., Brown, E. C. & Brüne, M. (2020). Approach and Avoidance Behavior in Female Patients With Borderline Personality Disorder. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 14, 588874. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2020.588874>
- Willis, M. L., Palermo, R. & Burke, D. (2011). Social judgments are influenced by both facial expression and direction of eye gaze [Publisher : Guilford Press]. *Social cognition*, 29(4), 415-429.
- Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & posture*, 3(4), 193-214.
- Woollacott, M. & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait : a review of an emerging area of research. *Gait & posture*, 16(1), 1-14.
- Wulf, G., McNevin, N. & Shea, C. H. (2001). The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 54(4), 1143-1154. <https://doi.org/10.1080/713756012>
- Wulf, G. & Prinz, W. (2001). Directing attention to movement effects enhances learning : A review. *Psychonomic bulletin & review*, 8(4), 648-660.
- Wulf, G., Töllner, T. & Shea, C. H. (2007). Attentional focus effects as a function of task difficulty [Publisher : Taylor & Francis]. *Research quarterly for exercise and sport*, 78(3), 257-264.
- Xavier, J., Magnat, J., Sherman, A., Gauthier, S., Cohen, D. & Chaby, L. (2016). A developmental and clinical perspective of rhythmic interpersonal coordination : from mimicry toward the interconnection of minds. *Journal of Physiology-Paris*, 110(4), 420-426.
- Yaryura-Tobias, J. A., Rabinowitz, D. C. & Neziroglu, F. (2003). Possible Basal Ganglia Pathology in Children With Complex Symptoms. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 64(12), 1495-1501. <https://doi.org/10.4088/JCP.v64n1214>
- Yih, J., Uusberg, A., Taxer, J. L. & Gross, J. J. (2019). Better together : a unified perspective on appraisal and emotion regulation. *Cognition and Emotion*, 33(1), 41-47.
- Young, A. W. & Burton, A. M. (2018). Are we face experts? [Publisher : Elsevier]. *Trends in cognitive sciences*, 22(2), 100-110.

Détail des vidéos présentées dans l'Article 1

Émotions	Films	Extrait
Joie	<i>La vie est belle</i> 	Un petit garçon joyeux retrouve sa mère à la sortie d'un camp de concentration libéré par l'armée américaine.
Colère	<i>Seven</i> 	En apprenant la mort de sa femme, un homme devient fou furieux contre son meurtrier
Dégoût	<i>Transpotting</i> 	Un homme fouille dans l'eau sale d'une toilette insalubre, puis plonge dans la cuvette des toilettes
Peur	<i>Scream</i> 	Une jeune femme paniquée tente de s'échapper d'un couloir avec peu d'issues
Tristesse	<i>Dangerous Mind</i> 	Une classe d'adolescents apprend la mort d'un de leurs camarades de classe
Neutre	<i>The Lover</i> 	Une jeune fille quittant le lycée monte dans une voiture conduite par un chauffeur

Détail des vidéos présentées dans l'Article 1

Création des visages Facegen

Émotions	options Facegen	Unités d'Action
Joie	Smile Open + Smile Closed	
Colère	Colère Facegen	AU04 + AU07 + AU23
Peur	Peur Facegen	AU01 + AU02 + AU05
Tristesse	Tristesse Facegen	AU01 + AU04 + AU15
Dégoût	Dégoût Facegen + SneerLefet + Eyeswide	AU09 + AU11 + AU15 + AU25

Détail des Unités d'Action et des options Facegen utilisées pour chacune des émotions des Articles 2 et 3. L'expression neutre n'a pas fait l'objet de changement puisque le visage initial était déjà neutre.

Ordres de présentation des conditions de l'Article 1

Position	Ordre 1a		Ordre 2a		Ordre 1b		Ordre 2b		Ordre 1c		Ordre 2c	
	Émotion	Type de stimulus										
1	dégoût	visage	joie	film	joie	visage	neutre	film	neutre	visage	dégoût	film
2	tristesse	visage	peur	film	peur	visage	colère	film	colère	visage	tristesse	film
3	neutre	visage	colère	film	colère	visage	tristesse	film	tristesse	visage	neutre	film
4	joie	visage	neutre	film	neutre	visage	dégoût	film	dégoût	visage	joie	film
5	colère	visage	tristesse	film	tristesse	visage	peur	film	peur	visage	colère	film
6	peur	visage	dégoût	film	dégoût	visage	joie	film	joie	visage	peur	film
7	joie	film	dégoût	visage	neutre	film	joie	visage	dégoût	film	neutre	visage
8	peur	film	tristesse	visage	colère	film	peur	visage	tristesse	film	colère	visage
9	colère	film	neutre	visage	tristesse	film	colère	visage	neutre	film	tristesse	visage
10	neutre	film	joie	visage	dégoût	film	neutre	visage	joie	film	dégoût	visage
11	tristesse	film	colère	visage	peur	film	tristesse	visage	colère	film	peur	visage
12	dégoût	film	peur	visage	joie	film	dégoût	visage	peur	film	joie	visage

Ordres de présentation des conditions de l'Article 1 en fonction du type de stimuli (visages vs vidéos) et des émotions (joie, colère, dégoût, peur, tristesse et neutre)

Ordres de présentation des conditions de l'Article 2

Position	Ordre 1		Ordre 2		Ordre 3	
	Émotion	Distance interpersonnelle	Émotion	Distance interpersonnelle	Émotion	Distance interpersonnelle
1	écran vide	-	écran vide	-	écran vide	-
2	croix	-	croix	-	croix	-
3	peur	approche	dégoût	évitement	joie	évitement
4	tristesse	approche	neutre	évitement	dégoût	approche
5	colère	évitement	joie	approche	tristesse	approche
6	neutre	approche	tristesse	approche	neutre	évitement
7	dégoût	approche	peur	évitement	colère	approche
8	joie	évitement	colère	approche	peur	évitement
9	peur	évitement	joie	évitement	dégoût	évitement
10	colère	approche	tristesse	évitement	joie	approche
11	neutre	évitement	peur	approche	colère	évitement
12	dégoût	évitement	colère	évitement	peur	approche
13	joie	approche	neutre	approche	tristesse	évitement
14	tristesse	évitement	dégoût	approche	neutre	approche

Ordres de présentation des conditions de l'Article 2 en fonction du mouvement du visage (approche vs retrait) et des émotions (joie, colère, dégoût, peur, tristesse et neutre)

Ordres de présentation des conditions de l'Article 3

Position	Ordre 1		Ordre 2		Ordre 3	
	Émotion	Direction regard	Émotion	Direction regard	Émotion	Direction regard
1	écran vide	-	écran vide	-	écran vide	-
2	croix	-	croix	-	croix	-
3	peur	dévié	dégout	direct	joie	direct
4	tristesse	dévié	neutre	direct	dégout	dévié
5	colère	direct	joie	dévié	tristesse	dévié
6	neutre	dévié	tristesse	dévié	neutre	direct
7	dégout	dévié	peur	direct	colère	dévié
8	joie	direct	colère	dévié	peur	direct
9	peur	direct	joie	direct	dégout	direct
10	colère	dévié	tristesse	direct	joie	dévié
11	neutre	direct	peur	dévié	colère	direct
12	dégout	direct	colère	direct	peur	dévié
13	joie	dévié	neutre	dévié	tristesse	direct
14	tristesse	direct	dégout	dévié	neutre	dévié

Ordres de présentation des conditions de l'Article 3 en fonction de la direction de la direction du regard (directe vs déviée et des émotions (joie, colère, dégout, peur, tristesse et neutre))

Questionnaires et épreuves neuropsychologiques

Échelles	Âges	Traits	Articles
The Beck Depression Inventory-II (BDI Beck et al., 1996)	Adultes	Dépression	1, 2, 3
The State-Trait Anxiety Inventory (STAI-Y Spielberger, 1993)	Adultes	Anxiété-État, Anxiété-Trait	1, 2, 3
(EQ) Baron-Cohen & Wheelwright, 2004)	Adultes	Habiletés sociales (HS), Empathie cognitive (EC), Réactivité émotionnelle (RE), Empathie total	1
The Big Five Inventory 10 items (BFI-10 Rammstedt & John, 2007)	Adultes	Ouverture, Conscienciosité, Extraversion, Agréabilité, Névrosisme	1
BIG Five (BFI-FR Plaisant et al., 2010)	Adultes	Idem BFI-10	2, 3
The State-Trait Anger (STAXI-II Spielberger, 1999)	Adultes	Colère État, Colère Trait, Expression Colère Extériorisée, Expression Colère Intériorisée, Contrôle Colère Extériorisé, Contrôle Colère Intériorisé	1, 2, 3
Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC-IV Wechsler, 2003)	7 ans à 16 ans 11 mois	Quotient Intellectuel Total, Indice de Compréhension Verbale, Indice de Raisonnement Perceptif,	5
A Developmental NEuroPSychological Assessment (Nepsy-II Korkman et al., 2012)	3 ans à 16 ans 11 mois	Indice de Vitesse de Traitement, Indice de Mémoire de Travail Perception sociale : Reconnaissance d'Affects & Théorie de l'Esprit	5
Behavior Rating Inventory of Executive Function (BRIEF Gioia et al., 2000)	5 ans à 18 ans	Score Composite Exécutif Global,	5
Child Behavior Checklist (CBCL Achenbach, 2001)	6 ans à 18 ans	Indice de Régulation Comportementale, Indice de Métacognition Echelle Interne, Echelle Externe, Echelle Totale	5
Vineland Adaptive Behavior Scales (Vineland-II Sparrow et al., 2005)	1 ans à 90 ans	Socialisation	5
Children's Depression Inventory (CDI Mack & Moor, 1982)	7 ans à 17 ans	Dépression	5

Tableau présentant les différents questionnaires et épreuves neuropsychologiques proposés dans les Articles 1, 2, 3 et 4

Présentation anamnétique des patients non inclus dans l'Article 5 ou dans les analyses supplémentaires

R.J, 16 ans 9 mois, est porteur d'un kyste arachnoïdien rétro-cérébelleux médian. Le développement psychomoteur a été normal au niveau de la marche (11 mois), et le langage s'est mis en place avec un peu de retard. Actuellement en 1ère S, il n'est pas rapporté de difficultés scolaires. R.J. fait régulièrement du sport et souhaite intégrer par la suite une filière STAPS. Par ailleurs, R.J. est diagnostiqué avec un trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité depuis un peu plus de 3 ans et est traité par Quasym. L'efficacité intellectuelle est normale. R.J semble moins à l'aise lors des tâches de motricité fine. L'évaluation neuropsychologique ne met pas en évidence de difficultés particulières sur le plan du fonctionnement exécutif, du comportement et de la socialisation ; en revanche R.J. est en difficulté dans la reconnaissance de certaines émotions (i.e. peur).

V.E, 8 ans 10 mois au moment de l'étude, présente un kyste arachnoïdien rétro-cérébelleux droit. L'acquisition de la marche ne s'est effectuée que vers l'âge de 2 ans et sur le plan de la motricité, V.E est décrite comme maladroite. Le développement langagier s'est fait tardivement, à partir de la Petite Section Maternelle. Au niveau scolaire, V.E dit aimer le français, mais se plaint de difficultés en mathématiques. Par ailleurs, elle est assez lente et n'arrive pas toujours à suivre les cours. Sur le plan du comportement, elle se plaint souvent d'être fatiguée, sa mère rapporte également des moments de « dépressions » où V.E pleure et fait des cauchemars. L'efficacité intellectuelle est hétérogène et se situe entre la moyenne des enfants de son âge et la zone déficitaire (pour l'indice de vitesse de traitement). Par ailleurs, celle-ci présente des scores plus fragiles dans la sphère verbale (lexique, compréhension, évocation et élaboration) ainsi qu'en vitesse de traitement.

E.G, 9 ans 10 mois au moment de l'étude, présente un volumineux kyste arachnoïdien supra-cérébelleux avec effet de masse sur le cervelet. Elle est également suivie pour des brèves crises d'épilepsie généralisées. E.G a dit ses 1ers mots autour de 1 an et a marché à 14 mois avec une moindre aisance en termes d'équilibre. Aucune difficulté d'apprentissage n'a été repérée, E.G a appris à lire et à écrire aisément. Actuellement en CM2, sa progression scolaire est tout à fait satisfaisante. Les commentaires des enseignants ont toujours été élogieux, tant sur le plan des acquisitions que sur son comportement en classe. Ses parents décrivent une petite fille vive, au caractère affirmé. L'efficacité intellectuelle est hétérogène et évolue entre la zone moyenne (indices de Compréhension Verbale, de Raisonnement Visuospatial et de Raisonnement Fluide) et la zone supérieure à la moyenne (indice de Mémoire de travail) de son groupe d'âge. Le contrôle moteur et les capacités de coordination sont conformes à ce qui est attendu pour l'âge. Le bilan ne met pas en évidence de difficultés particulières sur le plan du fonctionnement exécutif, de la dépression, du comportement et des problèmes émotionnels, ou de la cognition sociale avec cependant une faiblesse dans l'identification des expressions de colère. En revanche, il est retrouvé quelques difficultés sur le plan de la socialisation à la Vineland-II (note globale).

F.S, 11 ans 8 mois au moment de l'étude est porteur d'un kyste arachnoïdien péri-cérébelleux gauche découvert sur un épisode de convulsions en 2015. Actuellement en 6ème, F.S montre des difficultés d'apprentissage en français et a du mal à finir ses contrôles. Sa mère le décrit comme un enfant réservé mais sociable, plutôt sensible (p. ex. : pleurs, eczéma, cauchemars la nuit), maladroit dans l'espace, il tombe et se cogne très souvent mais n'a aucune difficulté pour utiliser sa trottinette et son vélo. Alors que le bilan de 2015 en CE1 était normal avec d'excellentes performances intellectuelles. F.S présente ce jour des difficultés attentionnelles pénalisantes en classe, une écriture anormalement lente et malhabile avec une lenteur par rapport à la norme en motricité fine, l'écart par rapport à la norme s'étant creusé. F.S présente également nystagmus et une tendance à se mettre de côté pour travailler avec une hypotonie axiale amenant à une posture mauvaise pour l'écriture.

Le questionnaire parental BRIEF montre des troubles exécutifs significatifs au quotidien au niveau des capacités de Métacognition. Le questionnaire de la CBCL met en avant des troubles significatifs de type intériorisés tels que des signes d'anxiété/dépression, des troubles de la pensée, ainsi que des problèmes d'attention. Concernant les habiletés sociales, ses résultats se situent dans la moyenne des enfants de son âge avec quelques difficultés dans l'identification des expressions de peur et de dégoût. Enfin, il est noté une tendance dépressive et des difficultés sur le plan de la socialisation à la Vineland-II.

J.R., 13 ans 4 mois au moment de l'étude présente un volumineux kyste arachnoïdien descendant dans le trou occipital. L'acquisition de la marche s'est effectuée vers un an, en revanche l'acquisition du langage a été problématique pour J.R qui a commencé à dire ses premiers mots à partir de 7 ans. J.R est actuellement en 5ème, il a été maintenu en grande section de maternelle du fait d'un retard sévère du langage oral. J.R a bénéficié de la présence d'une AVS du CP à la 6ème. Ses notes sont actuellement correctes grâce au soutien actif de sa mère et de son beau-père, sauf en langue étrangère (allemand). Au niveau du comportement, les parents expliquent que J.R peut avoir des attitudes inadaptées ou « étranges ». Sur le plan des relations sociales, J.R. a peu d'amis et sur le plan de la gestion des émotions sa mère note une labilité émotionnelle avec des accès de colère, mais également un manque d'empathie et d'attention envers les autres. En cognition sociale, J.R a d'importantes difficultés au test de la théorie de l'esprit ainsi que dans l'identification des expressions neutres. Le questionnaire parental BRIEF montre des difficultés exécutives au quotidien au niveau des capacités de mémoire de travail, de planification et de contrôle inhibiteur. Le questionnaire de la CBCL met en évidence des troubles significatifs tel que des signes de retrait comportemental. Enfin, il est noté une tendance dépressive et des difficultés significatives sur le plan de la socialisation à la Vineland-II (le contact avec les autres, le jeu et l'adaptation)

D.M. 9 ans 8 mois au moment de l'étude est suivi dans le service suite à la découverte d'un kyste de la fosse postérieure rétro-cérébelleux lors de l'exploration des causes de son TDA-H. L'apprentissage de la lecture et de l'écriture n'a pas présenté de particularités. La marche a été acquise vers 14 mois, il fait du vélo à deux roues depuis ses 5-6 ans. D'après son père, D.M serait maladroit et fait tomber les objets régulièrement, toutefois il semble progresser. Il ne présente pas de difficulté de motricité globale. D.M est en CE2, il passe en CM1. Un programme personnalisé de réussite éducative a été mis en place depuis le CE1 pour alléger l'écrit et faciliter la mise au travail et l'autonomie. Une AVS a été demandée depuis 2 ans. Les enseignants soulignent des difficultés attentionnelles et de régulation émotionnelle depuis la maternelle. Son père rapporte également qu'au niveau du comportement, D.M a des difficultés à réguler ses émotions, indépendamment de leur intensité.

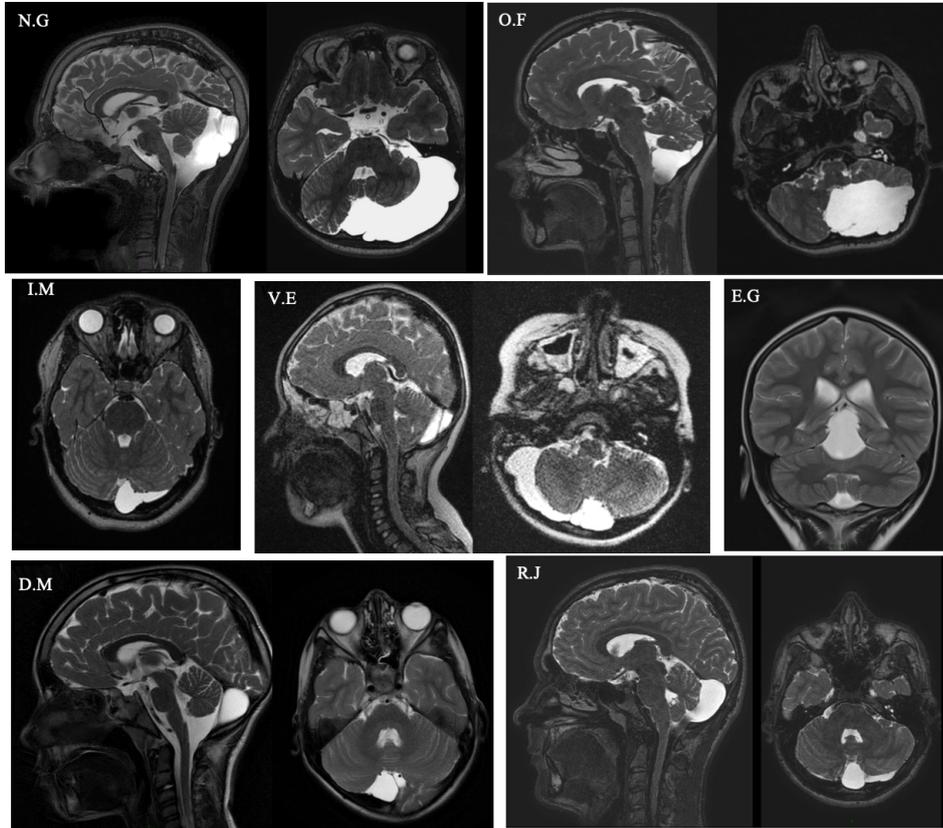
Le questionnaire parental BRIEF montre des troubles exécutifs significatifs au quotidien au niveau des capacités de Métacognition mais également au niveau des échelles d'Inhibition et de Flexibilité. Le questionnaire de la CBCL met en avant des scores limites aux échelles Anxiété/ Dépression et Problèmes sociaux et des scores significatifs aux échelles Troubles de la pensée et Problèmes d'attention. Concernant les habiletés sociales, ses résultats se situent dans la moyenne des enfants de son âge. Enfin, il est noté des difficultés sur le plan de la socialisation à la Vineland-II.

Résultats aux tests et questionnaires neuropsychologiques des patients hors Article 5

	E.G.	R.J.	V.E.	J.R.	D.M.
Âge chronologique, moy (SD)	9,10	16,9	8,10	13,4	9,8
<i>Kyste</i>					
Localisation	<i>Supra-cérébelleux</i>	<i>Rétro-cérébelleux médian</i>	<i>Péri-cérébelleux gauche</i>	<i>Rétro-cérébelleux</i>	<i>Rétro-cérébelleux médian</i>
Volume	42*43*31mm	8cc	35cc		
<i>Évaluation neuropsychologique</i>					
CDI	6	5	13*	14*	9
BRIEF					
Inhibition	59	41	42	47	76**
Flex. Mentale	41	36	44	58	66*
Contrôle émotionnel	46	44	65*	44	55
Régulation					
Comportementale	48	39	52	57	68*
Initiation	36	37	68*	58	76**
Mémoire de travail	52	48	73**	67*	86**
Planification/Organisation	38	39	57	66*	73**
Organisation du matériel	34	46	48	12	69*
Contrôle	37	41	58	76**	71**
Métacognition	38	41	64*	52	82**
Score Composite Exécutif Global	41	40	60	50	79**
CBCL					
Anxiété/Dépression	54	50	64	51	66*
Retrait	50	50	50	78**	58
Plainte somatique	56	54	50	61	57
Problèmes sociaux	51	50	57	51	67*
Trouble de la pensée	51	55	51	63	76**
Problème d'attention	55	54	66*	57	71**
Comportement délinquant	55	50	60	63	53
Comportement agressif	50	50	53	50	53
Interne	52	43	57	66*	65
Externe	44	44	57	53	55
Total	48	45	57	59	66*
Vinland-II (domaine socialisation)	82*	110	76*	47**	80*
Nepsy-II (domaine perception sociale)					
Reconnaissance d'affects	11	9	9	8	13
TOM	cent. 26-50	>cent. 75	cent. 26-50	<cent. 2**	cent. 26-50

Résultats des patients non inclus dans l'Article 5, à savoir les patients E.G, R.J, V.E, J.R et D.M, aux tests neuropsychologiques et aux questionnaires (seuil limite déficit* ; déficit**).

Coupes IRM des patients non inclus dans l'Article 5



Coupes IRM sagittales, axiales ou frontales des patients N.G, O.F, I.M, V.E, E.G, D.M et R.J Les kystes, en blanc, sont plus ou moins volumineux.

