

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

LE RÔLE DE LA DIMENSION CORPORELLE EXPRESSIVE DES ÉMOTIONS
DANS LE RAISONNEMENT ÉMOTIONNEL

THÈSE PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE DU
DOCTORAT CONTINUUM D'ÉTUDES EN PSYCHOLOGIE
(PROFIL RECHERCHE)

PAR
MARIE-ÈVE GAGNON

AVRIL 2021

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES
DOCTORAT CONTINUUM D'ÉTUDES EN PSYCHOLOGIE
(PROFIL RECHERCHE) (Ph.D.)

Direction de recherche :

Isabelle Blanchette, Ph.D. directrice de recherche

Jury d'évaluation :

Isabelle Blanchette, Ph.D. directrice de recherche

Marie-Pierre Gagnon-Girouard, Ph.D. présidente du jury

Benjamin Boller, Ph.D. évaluateur interne

Annie Roy-Charland, Ph.D. évaluatrice externe

Thèse soutenue le 19 février 2021

Ce document est rédigé sous la forme d'article(s) scientifique(s), tel qu'il est stipulé dans les règlements des études de cycles supérieurs (Article 360) de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Les articles ont été rédigés selon les normes de publication de revues reconnues et approuvées par le Comité de programmes de cycles supérieurs du département de psychologie. Le nom du directeur de recherche pourrait donc apparaître comme co-auteur de l'article soumis pour publication

Sommaire

Le raisonnement est un processus cognitif qui permet aux individus d'analyser leur environnement et interpréter les informations qui sont disponibles dans le but de générer des inférences ou croyances qui sont cohérentes avec leurs connaissances. Le raisonnement a longtemps été étudié selon la perspective qu'il est un processus cognitif essentiellement détaché du corps et des émotions. Toutefois, depuis quelques années, plusieurs études indiquent que le raisonnement est largement influencé par les émotions. Particulièrement, quelques études suggèrent que le raisonnement serait lié à la dimension corporelle des émotions, notamment aux expressions faciales. Les études en raisonnement émotionnel et en émotion incarnée suggèrent l'existence d'un lien causal entre les émotions dans le corps et le raisonnement, mais les études actuelles ont seulement exploré le lien corrélationnel. L'objectif de cette thèse est d'explorer le rôle du corps dans le raisonnement émotionnel. Dans trois études, des participants devaient résoudre des problèmes de logique avec contenu émotionnel et neutre. Le rôle du corps était étudié par l'induction d'une expression faciale (Articles 1 et 2) ou d'une posture (Article 3) pendant la résolution des problèmes de logique. Les mesures dépendantes utilisées dans ces études incluent des mesures comportementales (exactitude et temps de réponse), physiologiques (électromyographie et pulsation cardiaque) et électrophysiologiques (potentiels évoqués N400 et LPP). Les résultats comportementaux indiquent que les expressions faciales et la posture semblent jouer un rôle dans le raisonnement émotionnel, plus précisément en modulant l'effet des émotions sur la performance au raisonnement. Les données électrophysiologiques ont permis d'explorer les mécanismes impliqués dans cet effet. Les

résultats indiquent que les expressions faciales ont un impact sur l'attention soutenue envers les informations émotionnelles et sur l'anticipation d'un problème logiquement valide. Les résultats sont interprétés à la lumière des cadres théoriques du raisonnement, de la cognition incarnée et de l'émotion incarnée. Cette thèse propose une nouvelle perspective dans l'étude du raisonnement, en illustrant le rôle de l'expression corporelle des émotions dans le raisonnement émotionnel.

Table des matières

Sommaire	iv
Liste des tableaux	xi
Liste des figures	xii
Remerciements	xiii
Introduction générale	1
Contexte théorique	5
Raisonnement et émotions	6
Tâches de raisonnement déductif.....	8
Modèles théoriques du raisonnement.....	11
Facteurs d'influence.....	14
Raisonnement émotionnel.....	17
Rôle de la dimension corporelle des émotions	22
Hypothèses explicatives.....	25
Cognition et émotion incarnées.....	29
Approches théoriques de la cognition incarnée	30
Émotion incarnée	36
L'émotion incarnée dans les expressions faciales	38
L'émotion incarnée dans la posture	41
Aspect incarné des processus de haut niveau	42
Synthèse et objectifs de recherche	44

Chapitre 1. Article 1. Voluntary Facial Expressions Affect Emotional Reasoning.....	46
Résumé.....	48
Abstract.....	49
Introduction.....	50
Facial Feedback Hypothesis	50
Initiating vs modulating effects	51
Embodied Cognition	52
Emotional reasoning	54
Overview of experiments and hypotheses	54
Pilot experiment.....	55
Main experiment.....	58
Method	59
Participants and design	59
Materials	60
Reasoning task	60
Facial expressions manipulation.....	60
Facial EMG activity.....	61
Evaluation of conclusions.....	62
Cover story.....	63
Procedure	63
Statistical analysis.....	63
Results.....	65

Reasoning performance	65
Evaluation of conclusions	66
Manipulation check.....	66
Discussion	67
References	71
Appendix A. Syllogisms with neutral and emotional content	75
Transition vers l'article 2	79
Chapitre 2. Article 2. Exploring the Mechanisms Responsible for the Modulating Role of Facial Expression in Emotional Reasoning: an ERP Study	80
Résumé.....	82
Abstract	83
Introduction.....	84
Facial expressions and reasoning.....	86
Possible mechanisms responsible for the effect of facial expressions on emotional reasoning	88
Objectives	91
Method	92
Participants.....	93
Procedure	93
Reasoning task	94
Facial expression manipulation.....	96
Heartbeat detection task.....	97
Self-reported emotional state	97

EEG recording and ERP processing	97
EMG recording and processing	99
Pulse recording and processing.....	100
Statistical analysis.....	101
Results.....	102
Manipulation check - EMG	102
Behavioral data	103
ERP data.....	103
Interoceptive accuracy	105
Emotional state self-report.....	107
Discussion	107
References.....	114
Transition vers l'article 3	119
Chapitre 3. Article 3. Posture Modulates the Impact of Emotional Content on Reasoning.....	120
Résumé.....	122
Abstract	123
Introduction.....	124
Posture and Emotional Experience	125
The Body and Reasoning	127
Objectives and Hypotheses	129
Method	130
Participants and Design.....	130

Materials	130
Reasoning Task.....	130
Posture Manipulation.....	131
Measurement of Posture	132
Cover Story	132
Heartbeat Perception Task	133
ECG Measurement.....	133
Procedure	134
Statistical Analysis.....	134
Results.....	135
Reasoning Accuracy	135
Reasoning Response Time.....	136
Interoceptive Accuracy	137
Manipulation Check.....	137
Discussion.....	137
References.....	141
Discussion générale.....	147
Références générales.....	171

Liste des tableaux

Tableau

1	Types de syllogismes	16
2	Syllogismes avec contenu neutre et émotionnel	21
3	Examples of each form of categorial syllogisms	95
4	Examples of neutral and emotional content of the reasoning task.....	131

Liste des figures

Figure

- 1 Emotional Valence × Facial Expression interaction on reasoning accuracy66
- 2 Averaged ERPs for N400, N2 and LPP106

Remerciements

Je tiens à remercier ma directrice de recherche Isabelle Blanchette. D'abord, merci de m'avoir partagé ta passion de l'enseignement et de la recherche, je suis très reconnaissante d'avoir pu développer mes compétences en recherche à tes côtés. Merci pour tes nombreux conseils qui m'ont permis de réaliser cette thèse, mais également de m'accomplir en tant que future chercheuse. Merci pour les nombreuses opportunités en enseignement et en recherche, ces expériences ont fait une énorme différence dans mon parcours. Merci pour ta rigueur, ta disponibilité, ton intégrité et ta bienveillance.

Je souhaite également remercier les membres de mon comité doctoral, les professeurs Marie-Pierre Gagnon-Girouard et Mathieu Piché. Merci pour votre intérêt et vos précieux conseils tout au long de mon parcours. Merci de m'avoir encouragée à me faire confiance et à entreprendre des défis dans la réalisation de ma thèse.

Je remercie également Martin Descarreaux pour ses conseils et sa générosité.

Il m'est important de mentionner l'aide de Valérie Beaudoin pour la collecte et l'analyse des données physiologiques. Merci pour tes conseils et tes encouragements constants.

Je souhaite également souligner la contribution de Claudine Gélinas, Annie-Pier Labbé et Raphaëlle Provencher-Veilleux à la réalisation des travaux de recherche. Merci

pour votre intérêt, votre souci du détail et votre dévouement. Travailler avec vous a été un réel plaisir.

Je tiens également à remercier mes collègues qui ont eu un impact important sur mon cheminement en tant que future chercheuse. Merci à Jérémie Gosselin de m'avoir initiée à la recherche en psychologie cognitive dès ma première session à l'université. Merci à Bastien Trémolière de m'avoir guidée et conseillée avec autant de patience pendant la réalisation de mon premier projet de recherche. Merci à Joel Gagnon et à Alexandre Williot pour vos précieux conseils concernant mon cheminement académique et professionnel.

Je souhaite remercier tous mes collègues pour les discussions enrichissantes qui ont contribué à développer ma rigueur scientifique. Merci pour votre support et vos nombreux conseils.

Merci à mes amis pour votre support moral et vos encouragements constants.

Merci à ma famille de m'avoir accompagnée et encouragée tout au long de mes études. Votre support inconditionnel a été essentiel à ma réussite.

Introduction générale

Plusieurs philosophes ont proposé que la rationalité soit une caractéristique humaine fondamentale, suggérant que les humains basent implicitement leurs motivations et leurs décisions sur la raison. Une décision est rationnelle si elle rapproche l'individu de ses buts tout en étant cohérente avec ses croyances et ses connaissances, mais surtout en se basant sur les évidences qui sont indéniablement vraies (Goel, 2019). Dans le domaine de la psychologie cognitive, la pensée rationnelle est typiquement étudiée via le raisonnement déductif, un processus cognitif qui consiste à analyser l'information disponible et s'en servir pour produire des inférences logiques et cohérentes avec ces informations (Rossi & van der Henst, 2007). Ce sont ces inférences qui permettent aux individus de comprendre l'environnement dans lequel ils évoluent et d'adopter des comportements conséquents. Conformément aux premières théories proposées pour expliquer le fonctionnement cognitif des êtres humains, la pensée rationnelle a longtemps été considérée comme étant fondamentalement désincarnée, c'est-à-dire indépendante du corps et des émotions (p. ex., Evans, 2008). Depuis la révolution cognitive, les théories du traitement de l'information proposent que la cognition repose sur une suite d'opérations mentales dont le fonctionnement serait analogue à celui d'un ordinateur. Ces théories présentent donc le fonctionnement cognitif comme étant désincarné. Encore aujourd'hui, les modèles théoriques proposés pour expliquer le raisonnement n'abordent que très peu l'impact potentiel des émotions et du corps sur le raisonnement. Pourtant, une théorie émergente propose une perspective alternative à l'étude de la psychologie cognitive. La théorie de la

cognition incarnée soutient que la cognition est incarnée dans le corps, c'est-à-dire que le corps aurait un impact et jouerait même un rôle important dans plusieurs processus cognitifs (Varela, Rosch, & Thompson, 1991). Cette théorie a notamment été appliquée dans le domaine du langage, de l'apprentissage et de la prise de décision, mais n'a pas encore été appliquée au raisonnement. Le travail de cette thèse s'inscrit dans la volonté d'explorer l'aspect incarné du raisonnement, particulièrement du raisonnement émotionnel, en étudiant le lien causal entre l'expression corporelle des émotions et la performance au raisonnement. L'aspect incarné du raisonnement est situé par rapport à deux contextes théoriques distincts : (1) les modèles théoriques du raisonnement et les mécanismes proposés pour expliquer le raisonnement émotionnel; et (2) les théories de la cognition incarnée et de l'émotion incarnée.

Le contexte théorique de cette thèse est donc divisé en deux parties. La première partie porte sur le raisonnement et les émotions, incluant une brève définition du raisonnement et des modèles théoriques actuellement utilisés, ainsi qu'un survol de l'influence des émotions sur le raisonnement. Selon cet axe de recherche, les dimensions subjectives, cognitives et corporelles des émotions ont un effet généralement délétère sur le raisonnement, mais la dimension corporelle a été peu étudiée. La deuxième partie du contexte théorique porte sur la théorie de la cognition incarnée. Selon cet axe de recherche, les mouvements du corps ont un impact sur différents processus cognitifs et émotionnels. Plus spécifiquement, selon la théorie de l'émotion incarnée, l'expression corporelle des émotions a une influence sur l'expérience subjective et cognitive des émotions.

Finalement, une synthèse de ces axes de recherche sur la cognition et l'émotion incarnés mène à l'hypothèse que le corps pourrait être impliqué dans le raisonnement, et particulièrement dans le raisonnement émotionnel. Trois études ont été menées pour vérifier cette hypothèse, plus spécifiquement en examinant le rôle de l'expression corporelle des émotions dans le raisonnement. Ces études sont présentées sous forme d'articles scientifiques. Le premier article (conditionnellement accepté à la revue *Journal of Nonverbal Behavior*) présente une manipulation de l'expression faciale et une mesure de son influence sur le raisonnement émotionnel. Le deuxième article (conditionnellement accepté à la revue *Brain and Cognition*) présente une méthode similaire à laquelle est ajoutée une mesure de l'activité cérébrale par électrophysiologie pour explorer les mécanismes influencés par l'expression faciale. Finalement, le troisième article présente une manipulation de la posture et une mesure de son influence sur le raisonnement émotionnel. Les résultats obtenus dans ces études sont interprétés dans la discussion générale à la lumière du contexte théorique des deux axes de recherche abordés en introduction. Les conclusions de la thèse soulignent l'importance d'incorporer l'aspect incarné de la cognition et des émotions dans les modèles théoriques du raisonnement.

Contexte théorique

L'exploration de la relation entre le raisonnement et les émotions dans le corps s'inscrit dans un contexte théorique qui comprend deux axes de recherche. Le premier axe concerne l'étude du raisonnement et les modèles théoriques principalement utilisés, ainsi que l'influence des émotions sur le raisonnement déductif. Le deuxième axe concerne les théories de la cognition incarnée et de l'émotion incarnée qui présentent un cadre théorique pertinent pour la relation entre le corps et le raisonnement émotionnel.

Raisonnement et émotions

Du point de vue de la psychologie cognitive, le raisonnement est un processus cognitif qui permet aux individus d'évaluer les informations qui sont disponibles et de les analyser en se référant aux règles de la logique afin de faire des inférences. Faire une inférence correspond à « produire une information qui n'est pas immédiatement disponible à partir d'informations qui le sont déjà » (Rossi & van der Henst, 2007, p. 27). La capacité de faire des inférences est essentielle au fonctionnement cognitif humain, puisque les inférences permettent de générer de nouvelles observations ou croyances tout en maintenant une cohérence avec les connaissances préexistantes. Les inférences permettent également aux individus d'ajuster leurs croyances lorsque celles-ci s'avèrent incohérentes avec les informations disponibles. Au quotidien, le raisonnement permet aux individus d'interpréter leur environnement et de faire des prédictions pour adapter leur comportement.

Le raisonnement est un processus cognitif d'intérêt puisqu'il représente une caractéristique centrale des fonctions cognitives complexes des humains. Les capacités de raisonnement sont d'ailleurs un prédicteur de différentes capacités cognitives, mais aussi de différents comportements. À titre d'exemple, les capacités de raisonnement chez les enfants à l'école primaire prédisent leur rendement en mathématique, mieux encore que leurs capacités de mémoire de travail (Nunes et al., 2007). Chez les adultes, les capacités de raisonnement sont corrélées à l'intelligence générale (Evans, Handley, Neilens, & Over, 2007). De plus, une faible capacité de raisonnement est associée à des problèmes de jeu (Toplak, Liu, MacPherson, Toneatto, & Stanovich, 2007), à des problèmes financiers ainsi qu'à l'adoption de comportements à risque dans le cadre de l'utilisation d'Internet (Toplak, West, & Stanovich, 2017). D'ailleurs, lorsqu'un individu est exposé à un événement potentiellement traumatique, ses capacités de raisonnement sont un important facteur protecteur contre le développement d'un syndrome de stress post-traumatique (Gilbertson et al., 2006). Le raisonnement est donc un élément central du fonctionnement cognitif humain, et de nombreuses études ont été réalisées pour mieux comprendre comment les individus raisonnent.

L'étude empirique du raisonnement se concentre principalement autour de deux types de raisonnement : le raisonnement inductif et le raisonnement déductif (Rossi & van der Henst, 2007). Le raisonnement inductif consiste à analyser l'information disponible pour formuler des inférences qui sont probables, mais pas certaines. Un exemple typique d'un raisonnement inductif consiste à présenter aux participants une information probabiliste

(p. ex., *Dans un échantillon de 100 personnes, il y a 70 comptables et 30 clowns*) et une information anecdotique (p. ex., *Éric est père de trois enfants, il aime se déguiser et faire rire*), puis leur demander quelle inférence est la plus probable (p. ex., *Éric est un comptable, ou Éric est un clown*; Kahneman, Slovic, Slovic, & Tversky, 1982). À l'inverse, le raisonnement déductif mène à des inférences qui sont une conséquence obligée selon les informations disponibles (p. ex., *Tous les hommes sont mortels, Socrate est un homme, donc Socrate est mortel*). Le raisonnement déductif implique une réorganisation de l'information disponible pour formuler une inférence. Ce type de raisonnement permet d'aborder les grands questionnements concernant la rationalité humaine, parce que les inférences de raisonnement déductif sont soit logiquement exactes ou erronées. Cela permet d'avoir un cadre de référence clair pour comparer le raisonnement humain au raisonnement logique.

Les prochaines sections présentent le cadre méthodologique et théorique de l'étude du raisonnement déductif, une recension des écrits concernant l'influence des émotions sur le raisonnement, et finalement les hypothèses qui ont été proposées pour expliquer cette influence.

Tâches de raisonnement déductif

La plupart des études empiriques du raisonnement reposent sur un paradigme d'évaluation, qui permet de mesurer la performance au raisonnement en demandant aux participants d'évaluer la validité logique d'une inférence donnée. Les participants doivent

considérer les informations initiales comme étant indéniablement vraies (p. ex., *Tous les hommes sont mortels, Socrate est un homme*), et déterminer si l'inférence est logiquement valide (p. ex., *Donc, Socrate est mortel*). Une inférence est valide si elle est nécessairement vraie selon les informations initiales (Kahneman et al., 1982). C'est la structure d'un syllogisme (c'est-à-dire les relations entre les éléments) qui détermine sa validité, indépendamment du contenu sémantique (Johnson-Laird, 1975). Un contenu sémantique peut être plus ou moins crédible (p. ex., *Tous les chats sont des félins* ou *Tous les chats sont des chiens*) et peut aussi être de nature plus ou moins émotionnelle (p. ex., *Tous les chats sont des félins* ou *Toutes les femmes sont battues*), mais en principe, cela n'influence pas la validité logique d'une inférence. La performance aux tâches de raisonnement déductif est généralement mesurée en termes d'exactitude et de temps de réponse. L'exactitude est généralement établie en fonction des prescriptions de la logique propositionnelle. Certains chercheurs remettent en question cette façon d'évaluer le raisonnement humain, puisqu'un raisonnement logique n'est pas nécessairement un raisonnement adapté. Cependant, il existe une vaste littérature empirique sur le raisonnement déductif qui évalue la rationalité, ce qui fournit un cadre théorique plus riche pour étudier l'impact des émotions sur le raisonnement.

Deux formes de tâches sont principalement utilisées pour étudier comment les individus raisonnent, soit les tâches de raisonnement conditionnel et de syllogismes catégoriels (Rossi & van der Henst, 2007). Dans le raisonnement conditionnel, les problèmes de logique incluent une information initiale présentée sous forme de règle

conditionnelle de la forme suivante : *Si p est vrai, alors q est vrai*. À la suite de cette règle, quatre formes d'inférences peuvent être proposées, dont deux logiquement valides (p. ex., *p est vrai, alors q est vrai*) et deux logiquement invalides (p. ex., *p n'est pas vrai, alors q n'est pas vrai*). Les participants doivent indiquer si chaque inférence est nécessairement vraie, donc logiquement valide. La tâche typique de syllogisme catégoriel inclut trois énoncés, soit deux prémisses (informations initiales) et une inférence. Chaque énoncé établit la relation entre deux éléments en utilisant les quantificateurs « tous sont », « aucun n'est », « certains sont » et « certains ne sont pas » (p. ex., *Certains A sont B*). L'inférence proposée déduit une relation nouvelle entre les éléments, à partir des relations nommées dans les prémisses (p. ex., *Certains A sont B, tous les B sont C, donc certains A sont C*). Il existe plusieurs formes de prémisses et d'inférences. Comme pour le raisonnement conditionnel, la validité de l'inférence dépend de la structure des prémisses.

L'ensemble de ces tâches a permis de montrer que les êtres humains ne sont pas toujours en mesure d'évaluer la validité d'un syllogisme et ils font fréquemment des erreurs de logique. Un grand nombre d'études empiriques ont été menées pour examiner les facteurs qui influencent le raisonnement humain. La prochaine section présente un survol des modèles théoriques proposés pour décrire comment les humains résolvent les problèmes de logique en contexte expérimental.

Modèles théoriques du raisonnement

Conformément à l'approche du traitement de l'information, les premiers modèles pour expliquer le raisonnement s'appuyaient sur la théorie de la rationalité (Revlin, Leirer, Yopp, & Yopp, 1980), en affirmant que les humains ont les capacités mentales nécessaires pour raisonner de façon parfaitement logique. Selon cette théorie, les erreurs de raisonnement seraient en réalité dues à un encodage erroné de l'information disponible (p. ex., une conversion des prémisses). Ainsi, les erreurs ne seraient pas expliquées par une mauvaise application des règles de la logique, mais plutôt par une mauvaise compréhension de l'information disponible. Cependant, les études ont rapidement démontré que la façon dont les humains raisonnent réellement est beaucoup plus complexe, notamment parce que les erreurs de raisonnement ne peuvent pas toutes être expliquées par une erreur d'encodage (Evans, Barston, & Pollard, 1983). D'autres modèles de raisonnement ont été proposés, dont la théorie des modèles mentaux (Johnson-Laird, 1975). Selon cette théorie, les humains évaluent une inférence en vérifiant l'existence de contre-exemples qui pourraient prouver son invalidité. En effet, une inférence est valide si elle est nécessairement vraie lorsque les prémisses sont vraies. Ainsi, l'existence d'une situation dans laquelle les prémisses seraient vraies, mais pas l'inférence, indiquerait que l'inférence n'est pas logiquement valide. Par exemple, le syllogisme *Tous les chats sont des animaux, tous les chiens sont des animaux, donc tous les chats sont des chiens* est invalide parce que l'élément *chats* peut faire partie de l'élément *animaux* sans faire partie de l'élément *chiens*, donc l'inférence n'est pas nécessairement vraie (Bucciarelli & Johnson-Laird, 1999; Neth & Johnson-Laird, 1999).

Même si la théorie des modèles mentaux a généré beaucoup d'études, c'est la théorie des doubles processus qui génère actuellement le plus d'intérêt.

Le modèle du double processus est basé sur la dichotomie entre deux types de processus qui caractérisent le fonctionnement cognitif humain : les processus de Type 1 basés sur la pensée heuristique et les processus de Type 2 basés sur la pensée analytique (Evans, 2008; Evans & Stanovich, 2013). Ce modèle a été appliqué dans différents domaines comme la psychologie cognitive, la psychologie sociale et les neurosciences. La pensée heuristique se définit par l'utilisation de raccourcis cognitifs pour permettre une prise de décision rapide. Elle s'appuie notamment sur l'intuition et les connaissances disponibles dans la mémoire à long terme, comme les croyances. Les raccourcis empruntés par la pensée heuristique ont une valeur adaptative, parce qu'ils permettent de prendre des décisions rapidement et généralement sans effort mental conscient. Toutefois, la pensée heuristique peut mener à des comportements irrationnels, notamment parce qu'elle est sensible aux biais cognitifs comme le biais de croyance et le biais de confirmation (Evans, 2003). À l'inverse, la pensée analytique se définit par une analyse systématique et volontaire de l'information disponible et mène à des décisions réfléchies. Comparativement à la pensée heuristique qui opère rapidement et sans effort, la pensée analytique est lente et requiert la mobilisation de ressources cognitives en mémoire de travail (Evans & Stanovich, 2013).

En contexte de raisonnement déductif, le modèle du double processus soutient que chaque réponse est générée par l'action conjointe de ces deux types de processus. Certaines versions du modèle soutiennent que les deux types de processus travaillent de façon parallèle pendant la résolution d'un problème de logique (Trippas, Thompson, & Handley, 2017), et arrivent à des réponses qui sont parfois en conflit (Evans, 2007). Par exemple, le syllogisme suivant est susceptible de mener à des réponses en conflit : *Certains arbres sont en bonne santé, tout ce qui est en bonne santé peut marcher, donc certains arbres peuvent marcher.* Pour résoudre ce syllogisme, la pensée analytique doit être engagée pour analyser la structure logique et déterminer que l'inférence est logiquement valide. Cependant, comme la pensée heuristique opère rapidement et sans effort, elle pourrait utiliser un raccourci et rapidement déterminer que la conclusion est non-valide parce qu'elle n'est pas cohérente avec les connaissances de la vie courante (il est faux d'affirmer que les arbres peuvent réellement marcher). Dans cette situation, les processus de Type 1 et de Type 2 mèneraient à deux réponses différentes. Il serait donc nécessaire d'inhiber la réponse heuristique puis de mobiliser des ressources cognitives pour engager la pensée analytique afin de formuler une réponse logique.

Le modèle du double processus soutient donc que les humains ont la capacité d'utiliser la pensée analytique pour raisonner logiquement, mais que celle-ci est parfois outrepassée par la pensée heuristique qui opère plus rapidement et sans effort. Ce modèle théorique a été utilisé pour expliquer comment différents facteurs mènent à des erreurs de

logique, par exemple en favorisant l'utilisation de la pensée heuristique, au détriment des principes de la logique (Evans, 2011).

Facteurs d'influence

Plusieurs facteurs individuels et contextuels peuvent influencer la capacité des individus à raisonner logiquement. Notamment, la performance au raisonnement est influencée par le niveau d'éducation (Hoch & Tschirgi, 1985). Également, les participants font plus d'erreurs de logique lorsqu'il y a une restriction au niveau du temps disponible pour exécuter la tâche (Evans & Curtis-Holmes, 2005; Tsujii & Watanabe, 2010) ou au niveau des ressources cognitives disponibles en mémoire de travail (De Neys & Verschueren, 2006). Ces données sont cohérentes avec le modèle du double processus, puisqu'une limite au niveau du temps et des ressources cognitives peut empêcher l'utilisation de la pensée analytique. Ainsi, certains facteurs contextuels peuvent favoriser l'utilisation de la pensée heuristique et donc mener à des erreurs de logique. À l'inverse, d'autres facteurs contextuels peuvent favoriser l'utilisation de la pensée analytique. Par exemple, les participants font moins d'erreurs de logique lorsqu'il leur est explicitement indiqué d'ignorer leurs croyances (Dias, Roazzi, & Harris, 2005) ou lorsque les instructions insistent sur l'importance d'évaluer seulement la structure logique (Newstead, Pollard, Evans, & Allen, 1992). Il semble que ces instructions puissent aider les participants à inhiber la réponse heuristique et engager la pensée analytique.

Le contenu sémantique inclus dans une tâche de raisonnement est un facteur d'influence contextuel qui a largement été étudié en contexte de raisonnement déductif, principalement parce qu'il permet de mesurer le biais de croyance (Evans et al., 1983). Le biais de croyance réfère à la tendance des individus à évaluer la validité d'un syllogisme selon leurs croyances (c.-à-d. évaluation de la crédibilité par les processus de Type 1) au lieu d'analyser la structure logique d'un problème (processus de Type 2). Il s'agit d'un des plus importants biais observés dans le cadre du raisonnement. Le biais de croyance est étudié en manipulant conjointement la validité et la crédibilité des syllogismes. Le Tableau 1 présente un exemple des quatre types de syllogismes qui peuvent être créés par ces manipulations.

Deux de ces syllogismes présentent un conflit entre la validité et la crédibilité (valide et non-crédible, non-valide et crédible). Les syllogismes avec conflit permettent d'étudier le biais de croyance puisque la pensée heuristique et la pensée analytique génèrent des réponses différentes (l'une évalue la crédibilité alors que l'autre évalue la validité). Ainsi, lorsqu'il y a un conflit entre la crédibilité et la validité d'un syllogisme, une erreur de logique indique que le participant n'a pas réussi à inhiber la réponse heuristique (basée sur les croyances) et à engager la pensée analytique. Un grand nombre d'études ont démontré que le biais de croyance a une grande influence sur le raisonnement (Goel & Dolan, 2003).

Tableau 1
Types de syllogismes

Types de syllogismes	Valides	Non-valides
Crédible	Certaines tondeuses sont des tracteurs, tous les tracteurs sont silencieux, Donc certaines tondeuses sont silencieuses.	Certains bébés ont des dents, toutes les personnes qui ont des dents mangent de la viande, Donc certains bébés ne mangent pas de viande.
Non-crédible	Certains chiens policiers sont têtus, aucun chien têtu n'est bien dressé, Donc certains chiens policiers ne sont pas bien dressés.	Certains oiseaux rouges sont des perroquets, tous les perroquets ont des ailes, Donc certains oiseaux rouges n'ont pas d'ailes.

En somme, le modèle du double processus propose que le raisonnement repose sur deux types de processus. Les processus de Type 1 permettent de raisonner rapidement, mais en prenant des raccourcis menant parfois à des erreurs de logique. Les processus de Type 2 permettent de raisonner logiquement, mais opèrent plus lentement et demandent plus de ressources que les processus de Type 1. Le raisonnement est influencé par différents facteurs contextuels dont le biais de croyance, mais aussi par des facteurs individuels comme l'intelligence (Evans et al., 2007) ou les expériences traumatiques antérieures (Blanchette & Campbell, 2012; Blanchette, Richards, Melnyk, & Lavda, 2007; Caparos & Blanchette, 2017; Eliades, Mansell, Stewart, & Blanchette, 2012). Jusqu'au début du XXI^e siècle, les modèles théoriques et les études sur le raisonnement n'abordaient pas la relation entre le raisonnement et les émotions. Depuis, un grand nombre d'études ont démontré que les émotions constituent un important facteur d'influence sur le

raisonnement, contrairement à la perspective traditionnelle du raisonnement détaché des émotions. La section suivante aborde l'impact des différentes dimensions de l'émotion sur le raisonnement.

Raisonnement émotionnel

Depuis quelques décennies, plusieurs études ont été menées pour documenter les effets de l'émotion sur le raisonnement. L'étude du raisonnement émotionnel a mis en lumière le fait que même si le raisonnement est un processus qui devrait être basé sur l'analyse de la structure d'un problème, il est en réalité influencé de différentes façons par l'expérience émotionnelle (voir les revues de la littérature de Blanchette, 2013; Blanchette & Richards, 2010; Caparos & Blanchette, 2015). Différentes dimensions de l'expérience émotionnelle sont pertinentes dans l'étude du raisonnement émotionnel, soit la dimension cognitive, la dimension subjective, et la dimension corporelle (Blanchette & Amato, 2013). La dimension cognitive fait typiquement référence à l'évaluation d'une situation – qui se fait principalement de façon inconsciente – dans le but d'adopter un comportement adéquat et une réaction émotionnelle conséquente. Cette dimension implique donc les processus de traitement de l'information et l'évaluation de différents stimuli. La dimension subjective de l'expérience émotionnelle fait référence au ressenti émotionnel conscient. Cette dimension inclut les réactions émotionnelles ponctuelles ainsi que l'humeur qui est un état émotionnel subjectif plus diffus et stable et qui est moins associée à un déclencheur spécifique. La dimension corporelle de l'expérience émotionnelle se décline en deux dimensions : les changements physiologiques et les comportements

expressifs. L'activité du système périphérique sympathique est un marqueur des changements physiologiques liés aux émotions, incluant notamment le rythme cardiaque et les réponses électrodermales. Les comportements expressifs incluent principalement les expressions faciales et la posture, mais également la gestuelle et certains éléments de la communication non-verbale comme le ton de la voix ou la prosodie. Les théories de l'émotion affirment depuis longtemps que ces dimensions de l'expérience émotionnelle sont étroitement reliées. Notamment, la dimension subjective est influencée par la dimension cognitive (Siemer, Mauss, & Gross, 2007) et la dimension corporelle (Coles, Larsen, & Lench, 2019; James, 1884), la dimension corporelle est influencée par les dimensions cognitive et subjective (Hess, Banse, & Kappas, 1995), et la dimension cognitive est influencée par les dimensions subjective (Clore & Huntsinger, 2007; Mineka & Sutton, 1992) et corporelle (Coles et al., 2019; Niedenthal, Winkielman, Mondillon, & Vermulen, 2009).

L'influence des émotions sur le raisonnement est particulièrement informative sur le fonctionnement cognitif humain au quotidien, puisqu'une grande partie des événements quotidiens sont teintés émotionnellement (Blanchette, Caparos, & Trémolière, 2018). Chaque dimension de l'expérience émotionnelle est susceptible d'influencer le raisonnement, mais la majorité des études en raisonnement émotionnel reposent sur l'induction d'un état émotionnel (dimension subjective) ou la présentation de stimuli émotionnels (dimension cognitive).

Différentes méthodes ont été utilisées pour induire des états émotionnels avant et pendant des tâches de raisonnement dans le but d'observer les impacts de la dimension émotionnelle subjective sur le raisonnement. Une des premières études dans ce domaine a induit un état émotionnel par l'écoute et la lecture d'énoncés émotionnels à valence négative ou positive. Après l'induction négative, les participants ont fait plus d'erreurs de logique qu'après l'induction positive (Radenhausen & Anker, 1988). Une autre étude a utilisé des stimuli humoristiques audios ou visuels pour induire un état émotionnel positif. Cette induction a mené à plus d'erreurs de logique que dans une condition sans induction émotionnelle (Melton, 1995). D'autres études ont induit des états émotionnels par la présentation de vidéos à valence émotionnelle neutre, positive ou négative. Un état émotionnel, qu'il soit positif ou négatif, augmentait la quantité d'erreurs de logique (Oaksford, Morris, Grainger, & Williams, 1996) ainsi que les temps de réponse (Palfai & Salovey, 1993) comparativement à un état neutre. Ces études indiquent que le vécu émotionnel subjectif, particulièrement lorsqu'il est négatif, mène à des erreurs de logique. Cet effet a été répliqué dans les études récentes avec des méthodes variées d'induction émotionnelle (p. ex., Jung, Wranke, Hamburger, & Knauff, 2014, Exp. 1). L'état émotionnel non-induit influence également le raisonnement. Les participants présentant des symptômes de dépression (Channon & Baker, 1994), d'anxiété (Derakshan & Eysenck, 1998), ou atteints de troubles psychotiques (Kemp, Chua, McKenna, & David, 1997) sont généralement moins performants aux tâches de raisonnement que les participants sans symptôme (Gangemi, Mancini, & Johnson-Laird, 2013). En somme, les

recherches montrent que la dimension subjective de l'expérience émotionnelle a un effet principalement délétère sur la performance au raisonnement.

D'autres études ont exploré l'influence de la dimension cognitive de l'expérience émotionnelle en incluant des contenus sémantiques émotionnels dans des problèmes de logique. Cela permet d'examiner comment le traitement de l'information émotionnelle influence la performance au raisonnement. Le Tableau 2 présente des exemples de syllogismes avec contenu neutre et émotionnel. Il y a plusieurs décennies, la première étude sur le raisonnement émotionnel avait révélé que les individus faisaient plus d'erreurs de logique lorsque les problèmes incluaient un contenu émotionnel négatif, comparativement à un contenu neutre (Lefford, 1946). Cet effet a par la suite été répliqué à plusieurs reprises avec des tâches de raisonnement conditionnel (Blanchette, 2006; Blanchette & Leese, 2011, Exp. 1 et Exp. 3; Blanchette & Richards, 2004) et de syllogismes catégoriels (Blanchette et al., 2007; Brunetti et al., 2014), mais également avec une tâche de raisonnement probabiliste (Eliades, Mansell, & Blanchette, 2013). L'impact du contenu à valence émotionnelle positive a été moins exploré que celui du contenu négatif, mais il semble qu'il mène également à plus d'erreurs de logique comparativement au contenu neutre (Blanchette, 2006; Blanchette & Richards, 2004; Gosselin & Blanchette, 2018).

Tableau 2

Syllogismes avec contenu neutre et émotionnel

Contenu neutre	Contenu émotionnel
Certains chiens policiers sont têtus, aucun chien têtu n'est bien dressé.	Certaines femmes battues sont démunies, aucune personne démunie ne souffre.
Donc certains chiens policiers ne sont pas bien dressés.	Donc certaines femmes battues ne souffrent pas.

D'ailleurs, l'effet du contenu émotionnel sur le raisonnement est attribué spécifiquement à la valence émotionnelle du contenu et non à sa charge sémantique. Cela a été démontré par l'utilisation d'un paradigme de conditionnement évaluatif qui a permis de conditionner des mots et des non-mots à des stimuli émotionnellement négatifs. Ces mots conditionnés ont ensuite été utilisés dans les problèmes de logique. Les résultats ont révélé que même si la charge sémantique des mots conditionnés émotionnels et neutres était la même, les contenus conditionnés émotionnels menaient à plus d'erreurs de logique (Blanchette & Richards, 2004, Exp. 2). Cette étude démontre que l'effet du contenu émotionnel est bel et bien un effet émotionnel, et non un effet sémantique.

L'ensemble de ces études montre que le raisonnement est affecté par les émotions. Particulièrement, l'induction d'un état émotionnel et la présentation de stimuli émotionnels mènent généralement à des erreurs de logique. Ainsi, les dimensions subjective et cognitive de l'expérience émotionnelle ont un effet délétère sur la performance au raisonnement. Par contre, seulement quelques études ont étudié la relation entre le raisonnement et la dimension corporelle des émotions.

Rôle de la dimension corporelle des émotions. La dimension corporelle de l'expérience émotionnelle a été très peu étudiée en contexte de raisonnement. Cela est peu surprenant considérant que les modèles théoriques utilisés pour expliquer le raisonnement reposent sur la perspective que le raisonnement est un processus fondamentalement détaché du corps et des émotions. Pourtant, de nombreuses études indiquent que le raisonnement est influencé par les émotions, et celles-ci sont étroitement liées au corps. En effet, la plupart des théories de l'émotion affirment que les changements physiologiques et les comportements expressifs associés aux émotions occupent une place importante dans l'expérience émotionnelle (Marmeleira & Santos, 2019). Une revue de la littérature a présenté les liens potentiels entre le raisonnement et la dimension corporelle des émotions (Blanchette & Amato, 2013). Jusqu'à présent, les études se sont concentrées sur l'étude de la réponse électrodermale (indice de l'activation physiologique émotionnelle) et des expressions faciales en contexte de raisonnement émotionnel et non-émotionnel.

Quelques études révèlent une relation entre le raisonnement émotionnel et les émotions dans le corps. Dans une série d'études, l'activation physiologique émotionnelle a été mesurée par la conductance électrodermale pendant une tâche de raisonnement émotionnel. La quantité d'erreurs de logique causées par la présence de différents stimuli émotionnels (contenus émotionnels, contenus conditionnés et images émotionnelles) était positivement corrélée avec l'augmentation de l'activation physiologique émotionnelle en réponse à ces stimuli (Blanchette & Leese, 2011; Caparos & Blanchette, 2017). Ainsi,

plus les stimuli émotionnels suscitaient une réaction émotionnelle physiologique, plus ces stimuli affectaient la performance au raisonnement. Une étude pilote menée par notre équipe de recherche a observé des résultats similaires en mesurant les expressions faciales pendant le raisonnement émotionnel. Dans un paradigme de conditionnement évaluatif tel que précédemment décrit (Blanchette & Richards, 2004, Exp. 2), des mots neutres ont été conditionnés à des stimuli négatifs pendant que l'activité des muscles faciaux était mesurée. Le froncement des sourcils pendant le conditionnement émotionnel était corrélé à l'effet délétère du contenu conditionné sur le raisonnement (Amato, Lindsay, Davies, & Blanchette, 2012). Ainsi, plus le conditionnement négatif suscitait une réaction expressive au niveau du visage, plus les stimuli conditionnés affectaient la performance au raisonnement. Conjointement avec les études sur l'activation physiologique, ces résultats indiquent que la dimension corporelle des émotions pourrait être un facteur déterminant de l'influence des émotions sur le raisonnement.

D'autres études ont rapporté une relation entre la dimension corporelle des émotions et le raisonnement non-émotionnel. Dans un paradigme où les participants étaient entraînés à raisonner logiquement, l'amélioration de la performance au raisonnement (post-entraînement vs pré-entraînement) était associée à une augmentation de l'activation physiologique (Spiess, Etard, Mazoyer, & Tzourio-Mazoyer, 2007). Ceci suggère une association entre l'activation physiologique et les processus de Type 2, qui ont été recrutés pour améliorer le raisonnement. Une étude a par ailleurs observé que l'activation physiologique est plus grande pendant la résolution de syllogismes qui présentent un

conflit entre la validité et la crédibilité (De Neys, Moyens, & Vansteenwegen, 2010). Ce résultat suggère que la dimension corporelle des émotions est sensible à la présence de conflit entre les réponses de Type 1 et les réponses de Type 2. Une autre étude pilote menée par notre équipe a révélé que le froncement des sourcils pendant la résolution de problèmes de logique est corrélé avec l'exactitude des réponses, indépendamment de la valence émotionnelle des contenus présentés (Amato et al., 2012). Selon Blanchette et Amato (2013), l'activation physiologique et le froncement des sourcils seraient des indicateurs de l'effort mental, reflétant la quantité de ressources cognitives mobilisées pendant une tâche cognitive. Cette idée que le froncement des sourcils reflète l'effort mental est cohérente avec les études antérieures qui ont observé un lien entre l'activité des muscles du visage et le niveau de difficulté d'une tâche (van Boxtel & Jessurun, 1993). Également, le froncement des sourcils est associé à l'utilisation de la pensée analytique, qui nécessite un haut niveau d'effort mental (Alter, Oppenheimer, Epley, & Eyre, 2007, Exp. 3; Thompson et al., 2013). Ces études montrent que la dimension corporelle des émotions semble liée aux processus de Type 2 dans les tâches de raisonnement non-émotionnel.

En résumé, seulement quelques études corrélacionnelles ont exploré la relation entre le raisonnement et la dimension corporelle des émotions. En contexte de raisonnement émotionnel, les réactions physiologiques et expressives sont associées à la production d'erreurs de logique. En revanche, certaines de ces mêmes réactions sont associées à une bonne performance au raisonnement non-émotionnel. Il est donc nécessaire de poursuivre

les recherches pour mieux comprendre le rôle de la dimension corporelle des émotions dans le raisonnement.

Hypothèses explicatives. Les études sur la relation entre le raisonnement et les émotions présentent des démonstrations robustes que le raisonnement est influencé par les émotions, particulièrement les dimensions subjective et cognitive. Cependant, les mécanismes responsables de cette influence demeurent peu connus. Quelques hypothèses ont été proposées concernant les mécanismes potentiellement impliqués dans le raisonnement émotionnel (Blanchette, 2013; Blanchette et al., 2018). Une première hypothèse suggère que certaines émotions peuvent favoriser l'utilisation de stratégies spécifiques de raisonnement, notamment la pensée heuristique et la pensée analytique. La présence de contenu émotionnel favoriserait le recours à la pensée heuristique, ce qui augmenterait les erreurs de logique (Eliades et al., 2013). Dans cet ordre d'idées, le biais de croyance – qui est causé par l'utilisation de la pensée heuristique – a une plus grande influence sur le raisonnement lorsque le contenu du problème de logique est émotionnel que lorsqu'il est neutre (Eliades et al., 2012). Selon ces études, les erreurs de logique pourraient être expliquées par le fait que les dimensions subjective et cognitive des émotions favorisent l'utilisation de la pensée heuristique, au détriment de la pensée analytique.

L'hypothèse de la charge cognitive propose que les émotions aient un effet délétère sur le raisonnement parce qu'elles constituent une source additionnelle d'informations à

traiter (Oaksford et al., 1996). Le traitement de l'information émotionnelle ajouterait donc une charge cognitive en mémoire de travail, ce qui diminuerait la quantité de ressources disponibles pour le raisonnement. Quelques données empiriques sont cohérentes avec cette hypothèse. Notamment, les participants prennent plus de temps pour raisonner en présence de stimuli émotionnels que neutres (Blanchette, Gavigan, & Johnston, 2014). Plus encore, deux études ont utilisé un paradigme de raisonnement avec une tâche secondaire qui permet d'estimer la quantité de ressources cognitives qui sont mobilisées par le raisonnement. Les résultats indiquent que pendant la résolution de syllogismes émotionnels, la performance à la tâche secondaire est plus faible que pendant la résolution de syllogismes neutres (Trémolière, Gagnon, & Blanchette, 2016; Viau-Quesnel, Savary, & Blanchette, 2019). Cela est cohérent avec l'hypothèse que le raisonnement émotionnel nécessite plus de ressources cognitives que le raisonnement neutre. Conformément avec le modèle du double processus, le raisonnement logique repose sur la pensée analytique dont l'activation nécessite la mobilisation d'une grande quantité de ressources cognitives. Ainsi, une diminution des ressources disponibles peut expliquer pourquoi la performance au raisonnement est diminuée par les émotions (De Neys, 2006).

D'autres facteurs sont considérés dans la formulation d'hypothèses visant à expliquer le raisonnement émotionnel. Notamment, la pertinence de l'émotion semble être un facteur modérateur important dans le raisonnement avec contenu émotionnel (Blanchette & Caparos, 2013; Blanchette et al., 2018). La pertinence de l'émotion réfère à la relation entre l'historique affectif du participant et le contenu émotionnel présenté dans une tâche.

À titre d'exemple, le syllogisme suivant présente un contenu émotionnel pertinent pour les participants qui ont vécu un accident de voiture : *Aucun criminel n'est conducteur, certains récidivistes sont des conducteurs, donc tous les récidivistes sont des criminels.* Pour les participants qui n'ont pas vécu d'accident de voiture, ce contenu est émotionnel, mais non-pertinent. Certaines études ont révélé que les contenus émotionnels ont un effet différent sur le raisonnement selon qu'ils sont pertinents ou non-pertinents. Par exemple, les participants qui ont été exposés à la guerre (Blanchette & Campbell, 2012), qui ont été témoins d'une attaque terroriste (Blanchette et al., 2007), qui ont été victimes d'une agression sexuelle ou d'un accident de voiture (Caparos & Blanchette, 2017), ou encore qui sont atteints d'un trouble mental (Gangemi et al., 2013) sont meilleurs pour résoudre des syllogismes dont le contenu émotionnel est spécifiquement relié à leur vécu. Ces études indiquent que l'effet délétère des émotions sur le raisonnement peut être diminué ou même renversé lorsque les participants raisonnent à propos du contenu qui est pertinent par rapport à leurs expériences émotionnelles personnelles. D'ailleurs, la pertinence des émotions semble avoir un effet sur les stratégies de raisonnement ou sur la charge cognitive. En effet, les participants prennent plus de temps à répondre aux syllogismes avec contenu émotionnel, mais pas si le contenu émotionnel est pertinent pour eux (Blanchette et al., 2014).

Les mécanismes impliqués dans la relation entre le raisonnement et la dimension corporelle des émotions sont très peu connus. Cependant, Blanchette et Leese (2011) soulignent que le lien entre les changements physiologiques et le raisonnement émotionnel

semble analogue au lien entre les changements physiologiques et la production du langage. En effet, les erreurs dans la production du langage sont plus fréquentes lorsque le message communiqué est émotionnel et cet effet est associé à une augmentation de la réponse émotionnelle dans le corps (Burbridge, Larsen, & Barch, 2005). Par ailleurs, De Neys (2012) propose que l'activation physiologique pendant le raisonnement serait un indicateur d'une intuition logique, puisqu'elle est sensible à la présence d'un conflit entre la validité et la crédibilité des énoncés (De Neys, 2010). Cela suggère que la dimension corporelle des émotions est liée aux mécanismes impliqués dans le raisonnement, mais cette relation demeure peu connue.

En conclusion, un grand nombre d'études ont été réalisées dans le but de comprendre le raisonnement et comment il est influencé par différents facteurs. Les modèles théoriques actuels ne permettent toujours pas d'expliquer le raisonnement humain dans toute sa complexité, et aucun d'entre eux n'aborde la relation importante entre le raisonnement et les émotions. En effet, le raisonnement est encore largement étudié sous la perspective qu'il est détaché des émotions et du corps. Pourtant, un certain nombre d'études démontrent que les émotions ont un effet délétère sur le raisonnement. Quelques hypothèses explicatives ont été proposées pour expliquer cet effet, notamment en évoquant la charge cognitive ainsi que la pertinence des émotions. Il est toutefois nécessaire de poursuivre les recherches pour comprendre comment les nombreux facteurs d'influence interagissent entre eux. De plus, la grande majorité des études en raisonnement émotionnel portent sur les dimensions subjective et cognitive des émotions, alors que la

dimension corporelle a été très peu étudiée. Quelques études ont rapporté un lien entre le raisonnement et les émotions dans le corps, mais seulement des études corrélationnelles ont été réalisées. Ainsi, contrairement aux dimensions subjective et cognitive, le rôle causal de la dimension corporelle dans le raisonnement n'a pas été exploré. Pourtant, l'émergence des théories de la cognition incarnée et de l'émotion incarnée met en lumière la pertinence d'étudier l'influence du corps sur la cognition et les émotions. Ces théories sont abordées dans la prochaine section.

Cognition et émotion incarnées

Depuis quelques années, la communauté scientifique porte un intérêt grandissant envers la théorie de la cognition incarnée. Cette théorie a été introduite par Varela et ses collègues, dans leur livre « The Embodied Mind » (1991). Aujourd'hui, il existe plusieurs versions de cette théorie (Anderson, 2003; Marmeleira & Santos, 2019; Wilson & Golonka, 2013), qui convergent sur l'idée centrale que les pensées ne sont pas complètement séparées du corps. En effet, contrairement à ce que prétend la perspective traditionnelle du fonctionnement cognitif, la théorie de la cognition incarnée propose que la cognition ne soit pas seulement une succession mécanique d'opérations mentales logiques et abstraites. Les processus cognitifs seraient plutôt dynamiques et étroitement liés au corps ainsi qu'à l'environnement dans lequel il évolue. En effet, les données récentes ont révélé que les expériences sensori-motrices jouent un rôle dans plusieurs opérations mentales, notamment le langage, les perceptions et les jugements sociaux (Dijkstra, Eerland, Zijlmans, & Post, 2012; Glenberg & Kaschak, 2002; Proffitt, 2006).

La théorie de la cognition incarnée est encore en émergence et plusieurs auteurs critiquent ses fondements et la robustesse de ses démonstrations empiriques (p. ex., Goldinger, Papesh, Barnhart, Hansen, & Hout, 2016; Rabelo, Keller, Pilati, & Wicherts, 2015; Wilson & Golonka, 2013). Notamment, plusieurs études rapportent des petites tailles d'effet, et la répliquabilité de certains résultats semble problématique. Toutefois, cette théorie propose un cadre théorique novateur et pertinent pour l'étude de la relation entre le corps et le raisonnement émotionnel, qui comprend un aspect corporel important. La présente section comprend un survol des différentes approches théoriques de la cognition incarnée, puis un aperçu des démonstrations empiriques de l'émotion incarnée qui porte sur les mêmes phénomènes appliqués au domaine de l'émotion.

Approches théoriques de la cognition incarnée

Différentes approches théoriques ont été proposées pour expliquer comment le corps contribue aux opérations mentales. La présente section comprend un survol des approches qui constituent un cadre théorique pertinent à l'étude de l'aspect incarnée du raisonnement émotionnel.

Certains chercheurs ont proposé que le rôle du corps dans les processus cognitifs passe par une influence sur les représentations mentales (Marmeleira & Santos, 2019; Spackman & Yanchar, 2014). Selon cette approche, les représentations mentales des concepts sont formées et structurées à partir du système sensorimoteur, contrairement à des représentations mentales abstraites et désincarnées. Les concepts sont donc

représentés mentalement de façon multimodale, et l'activation de ces concepts implique l'activation des réseaux sensorimoteurs (Barsalou, 2008). Par exemple, la représentation mentale du concept *Pomme* serait créée à partir de l'expérience sensorielle (p. ex., goût et odeur) et l'expérience motrice (p. ex., prendre une pomme dans sa main, la porter à sa bouche et croquer dedans). Lorsque le concept *Pomme* est activé en mémoire, les réseaux associés à ces expériences sensori-motrices seraient activés. Les démonstrations principales de cette approche révèlent que le fait de regarder un objet ou lire son nom crée une activation du système moteur permettant la manipulation physique de l'objet (p. ex., une activation du système moteur de la main droite devant une tasse avec une poignée située à droite; Bub & Masson, 2012; Tucker & Ellis, 2004). De plus, la performance à une tâche de jugement verbal indique que l'activation de représentations mentales d'objets fréquemment manipulés est plus difficile lorsque le système moteur est occupé à produire un mouvement non compatible avec la manipulation des mêmes objets (Yee, Chrysikou, Hoffman, & Thompson-Schill, 2013). Ainsi, le système moteur semble contribuer aux représentations mentales en permettant une simulation des actions cohérentes avec un concept. L'approche de la cognition incarnée dans les représentations mentales est également appuyée par le fait que les actions du corps peuvent favoriser l'activation de certaines représentations. Par exemple, un mouvement de bas en haut avec le bras facilite la récupération de souvenirs à valence émotionnelle positive, alors qu'un mouvement de haut en bas facilite la récupération de souvenirs négatifs (Casasanto & Dijkstra, 2010). Cela suggère que les concepts positifs et négatifs sont généralement représentés sur un continuum vertical avec les concepts positifs vers le haut, et que les mouvements du corps

sont impliqués dans cette représentation. De façon similaire, les jugements de valeur monétaire, les estimations de quantité et la perception des distances font également appel à des représentations mentales ancrées dans le corps puisqu'ils sont influencés par les perceptions et actions corporelles. Les estimations de quantité sont plus grandes lorsque le corps est incliné vers la droite (Eerland, Guadalupe, & Zwaan, 2011), les jugements de valeur monétaire sont influencés par le poids des objets tenus en main (Jostmann, Lakens, & Schubert, 2009) et les objets sont perçus comme étant plus près lorsque le participant a l'illusion que son corps est plus grand (van der Hoort, Guterstam, & Ehrsson, 2011). Cette approche de la cognition incarnée dans les représentations mentales propose un cadre théorique pertinent pour explorer comment l'expression corporelle des émotions pourrait influencer le processus de raisonnement. Selon cette approche, les expressions faciales pourraient faciliter l'accès aux représentations mentales associées à différentes émotions, ce qui influencerait par la suite d'autres processus dont le raisonnement, qui utilise ces représentations mentales.

D'autres chercheurs proposent que la contribution du corps dans les processus cognitifs passe par une influence sur la compréhension du langage (Glenberg, 2015; Glenberg & Kaschak, 2002). Selon cette approche, les systèmes neuraux et périphériques de l'action et de l'émotion contribueraient à la compréhension du langage en permettant une simulation corporelle du contenu du langage. Par exemple, la lecture de la phrase *Marc te donne le crayon* provoque une activation du système moteur de la main (Glenberg, Sato, Cattaneo, Riggio et al., 2008). Cela appuie l'idée que le système moteur est activé

pendant la compréhension du langage pour simuler les actions pertinentes. De plus, lorsque le système moteur ne peut pas être mobilisé, la compréhension du langage est ralentie (Glenberg, Sato, & Cattaneo, 2008). Ainsi, le système moteur semble apporter une contribution importante à la compréhension du langage, au-delà d'une simple activation passive. L'approche de la cognition incarnée dans la compréhension du langage s'applique également à la compréhension des concepts émotionnels. À titre d'exemple, la compréhension du langage a été étudiée pendant la lecture de phrases décrivant une situation émotionnelle. La compréhension du langage était ralentie si les individus n'étaient pas en mesure de simuler dans leur visage l'émotion congruente à la situation décrite (Havas, Glenberg, Gutowski, Lucarelli, & Davidson; 2010). Cette approche théorique est pertinente dans l'étude de la relation entre le corps et le raisonnement émotionnel, particulièrement parce que la compréhension du langage est nécessaire au raisonnement et celle-ci peut être affectée par l'expression corporelle d'une émotion.

Une autre approche de la cognition incarnée repose sur l'idée que les mouvements du corps peuvent influencer les motivations d'approche ou d'évitement. La motivation d'approche est généralement causée par la présence de stimuli attrayants, alors que la motivation d'évitement est généralement causée par la présence de stimuli aversifs. Selon la théorie de la cognition incarnée, certains mouvements du corps peuvent influencer ces motivations même en l'absence de ces stimulations externes. Concrètement, il est proposé que les actions du corps puissent induire un type de motivation selon qu'elles permettent de se rapprocher d'un objet ou de s'en éloigner. Par exemple, le mouvement du bras qui

permet d'ouvrir un tiroir est associé à une motivation d'approche, alors que le mouvement de fermer un tiroir est associé à une motivation d'évitement. Les études indiquent que les mouvements d'évitement améliorent la performance à des tâches impliquant le contrôle cognitif (Koch, Holland, Hengstler, & van Knippenberg, 2009; Koch, Holland, & van Knippenberg, 2008). Selon les auteurs de ces études, le lien entre l'évitement et le contrôle cognitif s'explique par l'idée qu'en présence de stimuli aversifs, le contrôle cognitif permet de porter attention à l'information pertinente et d'éviter les conséquences négatives. Les mouvements d'approche et d'évitement ont également une influence sur les processus émotionnels (Niedenthal, Barsalou, Winkielman, Krauth-Gruber, & Ric, 2005). Notamment, les mouvements d'approche mènent à une évaluation plus positive d'idéogrammes chinois sans valeur émotionnelle, alors que les mouvements d'évitement mènent à une évaluation plus négative (Cacioppo, Priester, & Bernston, 1993; Tom, Pettersen, Lau, Burton, & Cook, 1991). Ces études indiquent que les mouvements d'approche et d'évitement influencent la façon dont l'information est traitée, en induisant une valence émotionnelle à des stimuli neutres. Également, les mouvements-réponse associés à l'approche (p. ex., tirer un levier) facilitent la réponse motrice aux stimuli à valence positive, alors que les mouvements-réponse associés à l'évitement (p. ex., pousser un levier) facilitent la réponse aux stimuli à valence négative (Chen & Bargh, 1999; Krieglmeier, Deutsch, De Houwer, & De Raedt, 2010). Cette approche théorique est pertinente pour l'étude du raisonnement incarnée dans l'expression corporelle parce que certaines expressions corporelles peuvent être associées à une motivation d'approche (p. ex., sourire) ou d'évitement (p. ex., froncer les sourcils ou rehausser le nez). Ces

motivations peuvent influencer le contrôle cognitif ainsi que le traitement de l'information qui sont tous les deux impliqués dans le raisonnement.

L'ensemble de ces approches théorique et ces démonstrations de la cognition incarnée illustrent l'éventail des processus cognitifs qui sont influencés par les mouvements du corps. Il est toutefois important de noter que la théorie de la cognition incarnée présente plusieurs limites. D'une part, la plupart des démonstrations empiriques sont spécifiques et plusieurs n'ont pas été répliquées (Skulmowski & Rey, 2018). Ainsi, les connaissances actuelles ne permettent pas d'affirmer que l'ensemble des opérations mentales sont influencées par le corps. D'autre part, l'ampleur des effets observés semble relativement faible. Même si le corps contribue à certains processus cognitifs, son impact réel sur le fonctionnement cognitif semble négligeable. Finalement, plusieurs mécanismes ont été proposés pour expliquer comment la cognition est incarnée, mais il n'y a toujours pas de consensus permettant une vision globale de ce phénomène. Malgré ces limites, la théorie de la cognition incarnée propose tout de même un cadre théorique pertinent pour la formulation d'hypothèses novatrices concernant la relation entre le corps et différents processus cognitifs (Marmeleira & Santos, 2019). Comparativement à la perspective traditionnelle de la cognition, la perspective de la cognition incarnée est davantage représentative de la complexité du fonctionnement humain puisqu'elle n'occulte pas l'influence possible du corps sur les processus mentaux. Par ailleurs, de plus en plus de chercheurs appliquent la perspective de la cognition incarnée à l'étude des processus émotionnels (Winkielman, Niedenthal, Wielgosz, Eelen, & Kavanagh, 2015). Il y a

quelques années, l'idée de l'émotion incarnée a été mise de l'avant, en faisant référence principalement à l'influence de l'expression corporelle des émotions sur différents processus émotionnels (Barrett & Lindquist, 2008; Niedenthal, 2007). Gallagher (2014) souligne d'ailleurs que les approches de la cognition incarnée qui n'abordent pas l'émotion incarnée présentent une perspective incomplète de la cognition incarnée puisque les processus émotionnels jouent un rôle important dans la relation entre le corps et l'esprit.

Émotion incarnée

La théorie de l'émotion incarnée propose que les processus émotionnels soient influencés par les changements dans le corps. Particulièrement, le vécu émotionnel subjectif ainsi que le traitement d'informations émotionnelles seraient influencés par l'expression corporelle des émotions incluant les expressions faciales et la posture, mais aussi par les changements physiologiques émotionnels comme le rythme cardiaque, le rythme respiratoire et l'activation physiologique (Price & Harmon-Jones, 2015). Concrètement, la théorie de l'émotion incarnée propose que l'expression ou la sensation d'une émotion dans le corps mène à une perception de l'information et à un état émotionnel qui sont congruents avec l'émotion incarnée.

Historiquement, la majorité des théories de l'émotion incluaient une composante corporelle, principalement sous la perspective que le vécu émotionnel provoque des changements au niveau du corps, incluant des réactions physiologiques et expressives

comme la réponse électrodermale et les expressions faciales (Marmeleira & Santos, 2019). L'expression corporelle des émotions est typiquement considérée comme une conséquence des émotions (Hess et al., 1995), mais les théories de la cognition incarnée ont apporté une nouvelle perspective concernant la relation entre le corps et l'esprit, en introduisant le concept de « l'émotion incarnée » (Niedenthal, 2007). La théorie de l'émotion incarnée propose que la dimension corporelle des émotions puisse avoir un impact causal sur les autres dimensions. La théorie des émotions de James-Lange a été une des premières à aborder l'idée que l'émotion était incarnée, il y a plus d'un siècle (James, 1884; Marmeleira & Santos, 2019). Cette idée réfère à la relation réciproque entre l'expérience émotionnelle et la composante corporelle des émotions, suggérant que les manifestations physiologiques des émotions ne seraient pas seulement une conséquence des émotions, mais auraient à leur tour une influence sur l'expérience émotionnelle (Niedenthal, 2007).

Depuis quelques années, un grand nombre d'études ont exploré cette influence du corps sur les dimensions subjective et cognitive des émotions, principalement en manipulant la position du corps ou en induisant des sensations corporelles. L'impact de ces manipulations corporelles est principalement observé au niveau de l'état émotionnel autorapporté et du traitement de l'information. Par exemple, les expressions faciales volontaires améliorent la performance de jugement sémantique pour les stimuli dont la valence émotionnelle est cohérente à l'émotion exprimée dans le visage (Topolinski & Deutsch, 2013, Exp. 4; Topolinski & Strack, 2009, Exp. 4). Cela est cohérent avec

l'approche de la cognition incarnée dans le langage, puisque la compréhension de langage semble facilitée lorsque le langage est cohérent avec l'expression faciale. Également, le fait de serrer les poings influence la rapidité de classement de mots plaisants, comparativement à l'action de relâcher le serrement du poing (Tops & De Jong, 2006). Une induction de la sensation de l'eau qui coule sur les joues – comme le font les larmes – mène à un sentiment autorapporté de tristesse (Mori & Mori, 2007). Ces études montrent que des sensations au niveau du corps ont un impact sur un éventail de processus émotionnels subjectifs et cognitifs. La grande majorité des études de l'émotion incarnée reposent sur une manipulation des comportements d'expression émotionnelle, spécifiquement les expressions faciales et la posture.

L'émotion incarnée dans les expressions faciales. Comme mentionné précédemment, les expressions faciales sont typiquement considérées comme une conséquence des émotions (Hess et al., 1995). Cependant, plusieurs démonstrations empiriques ont révélé qu'elles jouent également un rôle dans la construction de l'expérience émotionnelle, conformément avec l'hypothèse de la rétroaction faciale. Cette hypothèse soutient que les expressions faciales produisent une rétroaction sensorimotrice qui contribue à la construction de l'expérience subjective des émotions (Adelmann & Zajonc, 1989; McIntosh, 1996). James D. Laird a été un des premiers à explorer empiriquement l'influence de la rétroaction faciale sur le vécu émotionnel subjectif, en demandant à des participants de contracter volontairement des muscles du visage de façon à créer différentes expressions faciales. Lorsque les participants avaient les sourcils

froncés (expression associée à la colère), les participants ont rapporté se sentir plus en colère, alors que lorsqu'ils souriaient (expression associée à la joie), ils ont rapporté se sentir plus joyeux (Laird, 1974). Plusieurs études ont par la suite été menées pour explorer l'influence des expressions faciales sur le vécu émotionnel subjectif et sur le traitement de l'information. Ces études reposent sur l'utilisation de diverses méthodes de manipulation des expressions faciales (Coles et al., 2019). Par exemple, certains auteurs ont demandé aux participants de tenir un stylo entre leurs dents ou leurs lèvres (Strack, Martin, & Stepper, 1988), d'autres ont utilisé des bandes autocollantes (Mori & Mori, 2009) pour faciliter ou inhiber la production du sourire. Dimberg et ses collègues ont développé la technique de l'action faciale volontaire (*Voluntary facial action technique*; Dimberg, Thunberg, Grunedal, 2002) en demandant aux participants de contracter des muscles faciaux spécifiques. Ces contractions permettent de créer différentes configurations faciales associées aux émotions (p. ex., le corrugateur supercillii pour froncer les sourcils, le zygomatique majeur pour sourire). Plusieurs études ont révélé que les expressions faciales volontaires de peur, tristesse, colère et joie menaient à une augmentation des sentiments autorapportés associés à l'émotion exprimée (Duclos et al., 1989; Flack, 2006; Flack, Laird, & Cavallaro, 1999; Mori & Mori, 2009; Schnall & Laird, 2003). De plus, ces sentiments induits par l'expression faciale sont accompagnés de réponses physiologiques émotionnelles cohérentes avec l'émotion induite (Ekman, Levenson, & Friesen, 1983; Hess, Kappas, McHugo, Lanzetta, & Kleck, 1992; Levenson & Ekman, 2002). D'ailleurs, le froncement de sourcils semble jouer un rôle essentiel dans le vécu émotionnel subjectif, puisque l'inhibition du froncement des sourcils par injection

de BOTOX mène à une diminution de l'expérience émotionnelle (Davis, Senghas, Brandt, & Ochsner, 2010).

Conformément à l'hypothèse de la rétroaction faciale, les expressions faciales sont également impliquées dans le traitement de l'information émotionnelle. Une des premières démonstrations de cette relation a été répliquée plusieurs fois, démontrant que l'induction d'un sourire mène à une évaluation plus positive de stimuli humoristiques (Dzokoto, Wallace, Peters, & Bentsi-Enchill, 2014; Laird, 1974; Marsh, Rhoads, & Ryan, 2019; Soussignan, 2002; Strack et al., 1988). Également, les expressions faciales ont un impact sur l'évaluation de stimuli neutres ou ambigus (Meeten et al., 2015) et de stimuli émotionnels (Dimberg & Söderkvist, 2011; Larsen, Kasimatis, & Frey, 1992). Dans ces études, le froncement volontaire des sourcils a mené à une évaluation plus négative des stimuli, alors que le sourire a mené à une évaluation plus positive. De façon similaire à l'effet sur le vécu émotionnel subjectif, il semble que le rôle des expressions faciales soit également important dans le traitement de l'information émotionnelle. En effet, lorsque les expressions faciales sont inhibées, la compréhension de phrases avec contenu émotionnel est plus difficile (Havas et al., 2010) de même que la détection de contenu émotionnel (Niedenthal et al., 2009). L'ensemble de ces études suggèrent que les expressions faciales sont impliquées dans la représentation mentale des concepts émotionnels. Cela est cohérent avec la théorie de la cognition incarnée qui suggère que l'activation spontanée des expressions faciales pendant le traitement d'information (Hess et al., 1995) contribue à la construction des représentations mentales.

En conclusion, l'hypothèse de la rétroaction faciale a récemment fait l'objet d'une méta-analyse dont les conclusions confirment que les expressions faciales influencent le vécu émotionnel subjectif ainsi que le traitement de l'information émotionnelle. Toutefois, cette méta-analyse révèle que les effets sont généralement petits et hétérogènes (Coles et al., 2019).

L'émotion incarnée dans la posture. De façon similaire aux expressions faciales, la posture est étroitement reliée à l'expérience émotionnelle. En effet, la posture est généralement une conséquence des dimensions subjective et cognitive de l'expérience émotionnelle (Oosterwijk, Rotteveel, Fischer, & Hess, 2009; Schneider et al., 2013). Cependant, plusieurs études rapportent que la relation entre la posture et l'expérience émotionnelle est bidirectionnelle, puisque la posture a une influence sur les dimensions subjective et cognitive des émotions. De façon similaire à l'effet des expressions faciales sur le vécu subjectif, l'adoption d'une posture associée à la colère, la tristesse, la peur ou la joie mène à un sentiment autorapporté de l'émotion véhiculée par la posture (Duclos et al., 1989; Flack, 2006; Flack et al., 1999). Il est également rapporté qu'une posture droite augmente le sentiment de fierté (Stepper & Strack, 1993), l'estime de soi et l'humeur (Nair, Sagar, Sollers III, Consedine, & Broadbent, 2015), tout en diminuant le sentiment de peur (Nair et al., 2015), l'anxiété et les pensées négatives (Peper, Harvey, & Hamiel, 2019). À l'inverse, une posture affaissée (vs naturelle) favorise l'humeur négative et les pensées négatives (Nair et al., 2015) tout en diminuant la récupération émotionnelle à la suite d'une induction d'émotions négatives (Veenstra, Schneider, & Koole, 2017). L'effet

de la posture sur le vécu émotionnel a également été observé auprès d'individus atteints de symptômes dépressifs, pour qui la posture droite a diminué l'humeur négative ainsi que l'anxiété (Wilkes, Kydd, Sagar, & Broadbent, 2017). Par ailleurs, l'impact de la posture semble s'étendre au-delà du vécu émotionnel subjectif, puisqu'une posture affaissée augmente l'utilisation de mots négatifs dans la production de la parole (Nair et al., 2015) et facilite la récupération de souvenirs négatifs (Peper, Lin, Harvey, & Perez, 2017; Tsai, Peper, & Lin, 2016). L'ensemble de ces études illustre que la posture a un impact sur l'expérience émotionnelle, de façon similaire aux expressions faciales.

Aspect incarné des processus de haut niveau

Les sections précédentes présentent diverses démonstrations de la cognition incarnée et de l'émotion incarnée, mais peu de ces études portent sur des processus cognitifs de haut-niveau. Les processus de haut-niveau se caractérisent par une mobilisation consciente et volontaire des ressources cognitives, et font généralement appel à la pensée analytique. Même si ces processus sont rarement abordés selon cette perspective, la théorie de la cognition incarnée soutient qu'ils pourraient être influencés par les actions et perceptions du corps, au même titre que les processus de bas-niveau. Il y a maintenant 60 ans, des chercheurs s'intéressaient déjà à la relation entre le corps et les fonctions cognitives de haut niveau, en étudiant le lien entre l'intelligence et l'activation physiologique (Ellis & Sloan, cité dans Blanchette & Amato, 2013). Ces études présentent des limitations méthodologiques importantes, mais une étude plus récente a rapporté que l'activité parasympathique est associée à une bonne performance aux tests de QI (Melis

& van Boxtel, 2007). D'autres études ont exploré la relation entre le corps et certains processus cognitifs de haut-niveau. À titre d'exemple, la sensation d'une mauvaise odeur (Schnall, Haidt, Clore, & Jordan, 2008) ou d'un goût amer (Eskine, Kacinik, & Prinz, 2011) influence la sévérité des jugements moraux, et la manipulation d'objets améliore la compréhension de concepts physiques abstraits (Kontra, Lyons, Fischer, & Beilock, 2015). Certaines études ont exploré plus spécifiquement le rôle des émotions incarnées dans les processus de haut-niveau. Par exemple, la prise de décision et la production du langage semblent incarnées dans l'activation physiologique associée aux émotions (Bechara, Damasio, & Damasio, 2000; Burbridge et al., 2005). Toutefois, la relation entre les processus de haut-niveau et l'émotion incarnée demeure très peu étudiée.

En conclusion, la théorie de l'émotion incarnée repose sur les principes théoriques de la cognition incarnée, qui propose que les perceptions et actions au niveau du corps jouent un rôle dans les processus cognitifs. Malgré l'absence de consensus au niveau théorique, de nombreuses études empiriques ont démontré qu'un éventail de processus cognitifs et émotionnels sont effectivement influencés par le corps. Particulièrement, plusieurs recherches appuient l'hypothèse de la rétroaction faciale qui s'inscrit dans la théorie de l'émotion incarnée. Les recherches indiquent que les expressions faciales influencent le vécu émotionnel subjectif ainsi que le traitement de l'information émotionnelle. De plus, certains auteurs proposent que l'hypothèse de la rétroaction faciale pourrait s'appliquer de façon plus générale aux rétroactions périphériques, en incluant notamment la rétroaction de la posture. Les études indiquent que la posture aurait une influence sur les

processus émotionnels de façon similaire aux expressions faciales. En somme, conformément à la théorie de la cognition incarnée et à l'hypothèse de la rétroaction périphérique, l'expression corporelle des émotions peut influencer les processus cognitifs ainsi que les processus émotionnels.

Synthèse et objectifs de recherche

Les études en raisonnement émotionnel indiquent que le raisonnement est influencé par les dimensions subjective et cognitive des émotions. Particulièrement, l'état émotionnel négatif et la présence de contenus émotionnels négatifs mènent généralement à une diminution de la performance au raisonnement. Conformément aux théories de l'émotion incarnée, l'expression corporelle des émotions constitue un aspect central de l'expérience émotionnelle, mais son influence sur le raisonnement a été très peu étudiée jusqu'à maintenant. Quelques études corrélationnelles ont rapporté que les émotions dans le corps sont associées à une moins bonne performance au raisonnement émotionnel, mais à une meilleure performance au raisonnement non-émotionnel. Ces études suggèrent que l'aspect incarné des émotions pourrait jouer un rôle dans le raisonnement. Toutefois, davantage de recherches sont nécessaires pour mieux comprendre comment le raisonnement est lié aux processus corporels. La présente thèse vise à faire le pont entre les théories de la cognition incarnée et le raisonnement émotionnel, en explorant la relation causale entre l'expression corporelle des émotions et le raisonnement émotionnel.

Trois études ont été menées pour répondre aux questions de recherche suivantes :

(1) Est-ce que les expressions faciales jouent un rôle dans l'impact des émotions sur le raisonnement? (2) Quels sont les mécanismes responsables de la relation entre le raisonnement et les expressions faciales? et (3) Est-ce que la posture joue un rôle dans l'impact des émotions sur le raisonnement? Les travaux réalisés sont rapportés ci-dessous sous la forme de trois articles scientifiques.

Chapitre 1

Article 1. Voluntary Facial Expressions Affect Emotional Reasoning

Voluntary Facial Expressions Affect Emotional Reasoning

Marie-Ève Gagnon¹ (ORCID : 0000-0001-7588-8807)

Jean-Noël Amato¹ (ORCID : 0000-0001-8275-9819)

Isabelle Blanchette^{1 2} (ORCID : 0000-0003-4020-5089)

¹ Psychology Department, Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

² École de Psychologie, Université Laval, Canada

Correspondence should be addressed to Marie-Ève Gagnon: marie-eve.gagnon@uqtr.ca

Declarations

Funding: This study was funded by the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada.

Conflicts of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Ethics approval: This research was approved by the Ethic committee at Université du Québec à Trois-Rivières (Date: February 10th, 2016; No : CER-16-220-07.06)

Consent to participate: Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

Consent for publication: Not applicable.

Availability of data and material: Data supporting our findings will be made available upon publication.

Code availability: Not applicable.

Résumé

L'hypothèse de la rétroaction faciale propose que les expressions faciales influencent l'expérience subjective et cognitive des émotions. Cette hypothèse est cohérente avec la théorie de la cognition incarnée qui suggère que les perceptions et les actions du corps ont un impact sur les processus cognitifs. Dans la présente étude, nous explorons le rôle de l'expression faciale dans une tâche de raisonnement avec contenu émotionnel et neutre. Les expressions faciales des participants étaient manipulées par des contractions musculaires volontaires (froncement des sourcils, sourire, muscle non-facial) pendant qu'ils devaient résoudre des problèmes de logique. L'activité des muscles faciaux était mesurée à l'aide de l'électromyographie. Les résultats ont révélé que les participants faisaient plus d'erreurs de logique pour les problèmes avec contenu émotionnel comparativement aux problèmes neutres, mais seulement lorsqu'ils avaient les sourcils volontairement froncés pendant la tâche. Cela indique que les expressions faciales ont modulé l'impact des émotions sur le raisonnement. Dans l'ensemble, cette étude apporte un nouvel appui à l'hypothèse de la rétroaction faciale et à la théorie de la cognition incarnée, et élargit leur champ d'application en montrant qu'un processus de haut-niveau comme le raisonnement déductif peut être influencé par les mouvements musculaires du visage.

Abstract

The Facial Feedback Hypothesis suggests that facial expressions influence the subjective experience of emotion as well as affective judgments. This hypothesis is in line with the theory of Embodied Cognition, which suggests that perceptions and actions of the body have an impact on cognitive processes. In this paper, we explore the role of facial expressions in a reasoning task that includes emotional and neutral information. Participants' facial expressions were manipulated through voluntary muscle contractions (frowning, smiling or contracting a non-facial muscle) while they were reasoning about logical statements. Emotional and neutral information was included via the semantic content of the syllogisms. We measured muscle contraction using electromyography. Results showed that reasoning performance was poorer when the syllogisms included emotional content compared to neutral, but only when participants were voluntarily frowning during the task. This suggests that facial expressions modulate the impact of emotion on reasoning. Overall, this study provides new support to the Facial Feedback Hypothesis and the Embodied Cognition Theory, showing that high-level cognitive processes such as deductive reasoning can be influenced by facial movements.

Keywords: Facial Expressions, Emotion, Reasoning, Facial EMG

Introduction

The body is involved in several cognitive processes, including emotion-related processes (Blanchette & Amato, 2013; Niedenthal, 2007). This relationship between the body and the experience of emotion is referred to as “embodied emotion” which means that emotional processes rely at least partly on the actions and perceptions that occur in the body. Particularly, facial expressions can have a causal effect on emotional experiences, as suggested by the Facial Feedback Hypothesis. However, there is yet little work relating embodied aspects to higher-level cognitive processes other than language. In this paper, we examine how facial expressions are related to reasoning, a high-level cognitive process that is also impacted by emotional experience.

Facial Feedback Hypothesis

According to the Facial Feedback Hypothesis, facial movements are not only an expression of emotions, but they can also influence the subjective experience of emotion and the affective judgment of external stimuli (Adelmann & Zajonc, 1989; Coles, Larsen, & Lench, 2019; McIntosh, 1996). One of the precursor demonstrations of the Facial Feedback Hypothesis showed that cartoons were rated funnier when participants’ smile was facilitated compared to inhibited (Strack, Martin, & Stepper, 1988). A recent attempt to replicate this study was unsuccessful in all 17 labs involved in a registered replication report (Wagenmakers et al., 2016). However, a meta-analysis revealed that facial feedback manipulations have a small but significant effect on self-reports of emotional experience and on affective judgments (Coles et al., 2019). The manipulation of facial expressions to

create expressions of fear, sadness and anger lead to congruent self-reported feelings (Duclos et al., 1989; Schnall & Laird, 2003). Facial feedback also impacts affective judgments of external stimuli. For instance, cartoons are evaluated as funnier when individuals are smiling voluntarily (Laird, 1974; Strack et al., 1988), and aversive pictures are evaluated as sadder when voluntarily frowning (Larsen, Kasimatis, & Frey, 1992). Voluntary facial movements also induce physiological changes associated with emotions such as heart rate and skin temperature (Ekman, Levenson, & Friesen, 1983; Hess, Kappas, McHugo, Lanzetta, & Kleck, 1992; Levenson & Ekman, 2002). It is suggested that the sensorimotor feedback provided by facial movements have a three-fold effect. It can be used as a reference to recognize ongoing feelings that are spontaneously expressed on the face, it can induce a sensation of emotion, and it can facilitate the activation of emotional concepts (Coles et al., 2019). The two latter effects are often referred to as an initiation effect and a modulating effect.

Initiating vs modulating effects. The Facial Feedback Hypothesis suggests that facial expressions can have two main effects: the initiation and the modulation of emotional experience (Coles et al., 2019). Some argue that facial expressions can themselves initiate emotional states, while others argue that they can only modulate the ongoing experience of emotion. The distinction between the initiating and the modulating effects generally relies on the absence (initiation) or the presence (modulation) of external emotional stimuli. Few studies compared both effects within the same tasks by presenting emotional or neutral stimuli during the manipulation of facial movements. Some of these

studies showed only a modulation effect: voluntary facial movements modulated self-reported feelings (Soussignan, 2002) and affective judgements (Dimberg & Söderkvist, 2011), but only in the presence of emotional stimuli. However, a recent meta-analysis of 98 articles on the Facial Feedback Hypothesis revealed that facial movements have both an initiation effect and a modulation effect on emotional experience and affective judgments, although the overall initiation effect size was larger than the modulation effect size (Coles et al., 2019). Overall, previous studies establish that facial movements can have an impact on emotions, and it seems that initiation and modulation effects are observed in different contexts. Therefore, when studying the process of emotional information, taking into consideration facial expressions could contribute to our understanding of the interaction between emotions and cognitive processes.

Embodied Cognition

In addition to emotional experience, facial expressions also seem to impact cognitive processes that are not directly related to emotions. For instance, smiling or frowning voluntarily can modulate lexical judgments (Topolinski & Deutsch, 2013; Topolinski & Strack, 2009) and judgments of notoriety (Strack & Neumann, 2000). Moreover, maxillofacial activity (e.g., while chewing gum) can influence reported alertness (Allen & Smith, 2012). Some might argue that these effects of facial activity could be explained by an effect on emotions because the cognitive tasks that were used are similar to affective judgement tasks or emotional self-reports. However, the Embodiment Theory suggests that various cognitive processes should be influenced by perceptions and actions of the

body, even when emotions are not involved (for a review see Glenberg, 2015). For instance, when understanding language, the actions, perceptions and emotions included in a sentence are simulated by the sensorimotor networks and that simulation contributes to language comprehension (see Hauk, Johnsrude, & Pulvermüller, 2004; Havas, Glenberg, Gutowski, Lucarelli, & Davidson, 2010; and Rueschemeyer, Glenberg, Kaschak, Mueller, & Friederici, 2010).

The numerous demonstrations of embodied cognitive processes have mostly focused on lower-level cognitive processes, usually not requiring working memory or analytic thinking. We are aware of only two studies that explored the embodiment of higher-level cognitive processes. Exposure to a bad smell (Schnall, Haidt, Clore, & Jordan, 2008) or to a bitter taste (Eskine, Kacinik, & Prinz, 2011) increased the severity of moral judgments. However, it is possible that affective judgments were involved in the thinking process, meaning that high-level processes are not necessarily embodied themselves but only influenced by embodied emotions.

Although this field remains largely unexplored, the role of facial expressions in emotional experience (Facial Feedback Hypothesis) and the embodiment of several cognitive processes (Embodied Cognition Theory) suggests that facial expressions might play a role in high-level cognitive processes that are often influenced by emotions. As mentioned earlier, the impact of facial feedback can operate through different mechanisms that are also involved in high-level processes, such as the activation of emotional concepts.

Emotional reasoning

In the study we report here, we investigated the role of facial expressions in reasoning, a high-level cognitive process that requires working memory and analytic thinking. Several studies showed that deductive reasoning is altered by emotional content (Blanchette, 2006; Blanchette & Leese, 2011; Blanchette & Richards, 2004) and by induced emotional states (Blanchette & Richards, 2010; Oaksford, Morris, Grainger, & Williams, 1996). Moreover, some studies suggest that the impact of emotion on reasoning is related to how strongly emotions are embodied. An increase of skin conductance and heart rate are physiological indicators of emotional arousal, and both are related to poorer analytic thinking (Ell, Cosley, & McCoy, 2011) and reasoning (Blanchette & Leese, 2011). In sum, emotional experience, especially embodied aspects of emotion, has a negative impact on reasoning. Studies have only examined the embodied aspects that are related to the autonomic nervous system. In this paper, we explore the role of facial expressions in a reasoning task that includes emotional information.

Overview of experiments and hypotheses

Previous studies established that emotional negative content and emotional negative states generally decrease reasoning accuracy. A meta-analysis of the Facial Feedback Hypothesis showed that induced facial expressions can initiate and modulate the experience of emotion. In the study we report here, we asked participants to solve syllogisms involving neutral and emotional information, while displaying induced facial expressions. We predict that voluntarily frowning will (1) initiate a negative emotional

experience even in the absence of emotional stimuli and that this emotional experience will impair reasoning; and (2) modulate the ongoing experience of emotion that is induced by external emotional stimuli and consequently increase their impact on reasoning. We first conducted a Pilot Experiment to test the feasibility of the induction of facial expressions during a reasoning task and to verify if this induction would be successfully implemented within subjects using different facial expressions across blocks.

Pilot experiment

Previous studies on facial feedback induced facial expressions before or during evaluation tasks (i.e., affective judgments) or self-reports of emotional experience. Reasoning tasks are much more complex; they require a greater amount of cognitive resources and rely on analytic thinking. Therefore, we conducted a pilot experiment to determine whether the induction of facial expressions, through voluntary muscle contractions, during a reasoning task would be too demanding for participants, which could lead to a fatigue effect.

We asked 64 participants to solve 64 conditional syllogisms. Each syllogism consisted of a rule of the form *If p, then q*, followed by a conclusion that was either valid or not (e.g., *q is true, therefore p is true*). The syllogisms were divided into two blocks. In one of two blocks, we asked participants to voluntarily frown while they solved the syllogisms. In the other, control block, no instructions regarding facial expressions were given to participants. The order of the two blocks (frowning block and control block) was

counterbalanced between subjects. In each block, half of the syllogisms were presented simultaneously with an aversive picture, while the other half were presented with neutral pictures.

Overall, data from the second block (regardless of the facial expression conditions) revealed short response times and repetitive patterns of responses (e.g., valid, invalid, valid, invalid, valid...). This suggests that after completing the first block, most participants ceased to complete the task diligently and instead gave repetitive responses without trying to solve the syllogisms. This might be due to fatigue, or to a detection of the repetitive order of presentation for valid and invalid syllogisms. Moreover, the aversive or neutral pictures did not have a significant impact on reasoning accuracy in the second block, and no interaction with facial expressions was found (all p s > .104). Therefore, we concentrated our analyses on the first block.

Results from the first block showed a marginally significant interaction between Facial Expression (frowning or not) and the Emotional Valence of the pictures (aversive or neutral) on reasoning accuracy, $F(1, 55) = 3.06, p = .086, \eta_p^2 = .053$. Post-hoc comparisons (with Bonferroni's correction) revealed that participants who were frowning performed more poorly on the reasoning task when aversive pictures were presented ($M = 52.17, SD = 15.10$) compared to neutral pictures ($M = 57.66, SD = 14.26$), $t(28) = 1.91, p = .066, \eta_p^2 = .115$. For participants who were not frowning, the Emotional

Valence of the pictures did not significantly impact reasoning, $t(27) = 0.59$, $p = .558$, $\eta_p^2 = .014$. Facial expressions did not have an overall effect on accuracy, $F(1, 55) = 2.62$, $p = .111$, $\eta_p^2 = .045$, suggesting that frowning had a modulation effect only.

Based on the results of the Pilot experiment, we concluded that in order to increase the likelihood of observing the effect of facial expressions on emotional reasoning, it would be necessary to: (1) use a within-block design to avoid experimental fatigue or carry over effects from the first instructions given to participants; and (2) reduce the number of syllogisms presented to avoid fatigue or disengagement. We also concluded that, since the overall accuracy of the pilot was close to chance level even in the first block ($M = 57.29$, $SD = 11.51$), we would need to use an easier reasoning task to avoid a floor effect.

Moreover, some aspects of the method restricted the interpretation of the results regarding the effect of emotional stimuli and facial expressions. First, participants were asked to voluntarily frown during half of the syllogisms, which represents an additional task compared to the control condition. Thus, the comparison of the two conditions might not reflect the effect of frowning, but instead the effect of the increased cognitive resources required for the additional task in the frowning condition. Second, the emotional stimuli were not relevant to the reasoning task, so their effect might be interpreted as a distractor effect instead of a manipulation of emotion. As pointed out by Blanchette and colleagues (Blanchette, Gavigan, & Johnston, 2014), the presence of emotional pictures that are

irrelevant to the reasoning task may result in uncontrolled variations of their impact. Finally, we were not able to check whether participants complied with the instructions regarding facial expressions through the whole experiment. We address these issues in Experiment 1.

Main experiment

In this experiment, we explore the role of facial expressions in emotional reasoning. We asked participants to solve syllogisms that included emotional and neutral content. During this task, we also asked them to contract specific facial and non-facial muscles in three conditions, in order to induce a frown, a smile or a neutral expression (control). As a manipulation check, we used electromyography (EMG) to measure the activity of facial muscles involved in frowning and smiling.

According to previous studies with similar stimuli (Blanchette, Richards, Melnyk, & Lavda, 2007; Eliades, Mansell, Stewart, & Blanchette, 2012), we predicted that the emotional content would impair reasoning accuracy compared to neutral content. More importantly, based on the Facial Feedback Hypothesis (Coles et al., 2019; Duclos et al., 1989; Schnall & Laird, 2003; Strack et al., 1988), we hypothesized that voluntarily frowning would have an initiation effect, reflected by a decrease in reasoning accuracy compared to the control condition. Based on the results of the pilot experiment and on the Facial Feedback Hypothesis (Coles et al., 2019; Dimberg & Söderkvist, 2011;

Soussignan, 2002), we also predicted that frowning would have a modulation effect, reflected by a greater impact of emotional content on reasoning accuracy.

We included an additional measure to explore whether the effect of facial expressions on reasoning could be explained by an enhanced affective judgment of the emotional content. We asked participants to evaluate the pleasantness of the syllogisms' conclusions and we predicted that frowning would lead to a more negative overall evaluation of the conclusions (initiation effect) and especially when conclusions included emotional content (modulation effect).

Method

Participants and design

Forty participants (25 women, mean age = 26.2, $SD = 6.8$) were recruited on social media groups targeting the residents of Trois-Rivières. The study was a 3×2 entirely within-subject design, manipulating facial expressions (frowning, smiling and neutral) and emotional valence of the syllogisms (negative and neutral). We measured the effect of these manipulations on participants' accuracy in the reasoning task. Sample size was determined a priori based on the effect size of the interaction effect observed in the pilot experiment (Facial expressions x Emotional valence of the stimuli). The power analysis conducted with G*Power revealed that 38 participants were needed for a size effect of $\eta_p^2 = .053$, in order to reach a power of 80%.

Materials

Reasoning task. The reasoning task comprised 24 categorical syllogisms (see Appendix A) taken from a previous study (Trémolière, Gagnon, & Blanchette, 2016). In the original study, a set of 32 syllogisms were pre-tested for emotional value. The pre-test data being available, we selected 12 syllogisms that included negative contents and were rated as more emotionally intense ($M = 3.99$, $SD = 1.79$) than 10 selected syllogisms that included neutral content ($M = 1.50$, $SD = 1.19$), $t(22) = 6.79$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .68$. Two additional syllogisms with neutral content were modified after the pre-test to decrease their emotional intensity.

The premises of the syllogisms were first presented for seven seconds, and then the conclusion appeared on the screen. Participants were asked to consider the premises as necessarily true and determine whether the conclusion was logically valid or invalid, based on the premises. The order of the syllogisms was randomized.

Facial expressions manipulation. Facial expressions were manipulated within-subject, but also within-blocks to avoid fatigue or order effects. Each contraction created an emotion-related facial expression (anger, happiness or neutral), without calling participants' attention to the emotion being displayed. In the frowning condition, participants were instructed that they should contract the corrugator supercillii muscle, by bringing their brows down and closer to each other. In the smiling condition, participants were instructed to contract the zygomatic major muscle, by rising the corners of their

mouth towards their ears. This technique was inspired by Dimberg and colleagues (Dimberg, Thunberg, & Grunedal, 2002). In the neutral condition, participants were instructed to contract the thumb abductor of their left hand, by bringing the tip of their thumb towards the centre of their palm. This non-facial contraction was included to ensure that all conditions were equivalent in terms of cognitive demands. In each condition, participants were instructed to make sure they contracted only the muscle they were asked to, and to avoid contracting the other two muscles.

The colour of the text in which each syllogism was presented (blue, green, or purple) was used as an indicator for which muscle had to be contracted during each trial. For example, one set of participants was asked to contract the corrugator supercilii when the text was green, the zygomatic major when it was blue, and the thumb abductor when it was purple. The association between colours and muscles was counterbalanced across participants, and the order of the trials was randomized. Between each syllogism, participants could take a break to avoid muscular fatigue, and instructions on the screen (2 sec) reminded them which colour was associated to which muscle.

Facial EMG activity. We measured electrical activity of facial muscles using EMG, with the Powerlab 26T amplifier from AD Instrument (<https://www.adinstruments.com/products/powerlab>). Data was recorded with a 1000 Hz sampling rate, a 20 mV range and a 10 Hz high-pass. Zygomatic major's data was acquired without a low pass, while corrugator supercilii's was acquired with a 500 Hz low pass. A band-pass digital filter was

applied during the acquisition, with a 20 Hz low cut-off frequency and a 50 Hz high cut-off frequency.

We used five 4-millimeters silver-silver chloride electrodes which were positioned following the recommendations of Fridlund and Cacioppo's (1986). The first pair measured the activity of the left corrugator supercilii. One electrode was placed directly above the beginning of the brow (near the centre of the face), and the other one was placed 1 cm laterally, slightly superior. The second pair measured the activity of the left zygomatic major muscle. These were placed midway on the imaginary line between the cheilion and the preauricular depression, 1 cm apart. A fifth electrode was used as a ground and placed directly below the hair line in the middle of the forehead. We measured activity of muscles on the left side of the face because it generates greater muscle activity during voluntary facial expressions (Zhou & Hu, 2006). We also pretended to measure the thumb's abductor activity with mock electrodes, so participants would take this muscle's contractions as seriously as facial muscles' contractions. A Root Mean Square (RMS) was computed from the recorded input.

Evaluation of conclusions. After the reasoning task, participants were asked to rate, on a scale from 1 (*Very unpleasant*) to 9 (*Very pleasant*), the 24 conclusions that were previously presented in the reasoning task. Facial expressions were not manipulated during this task, as we aimed to verify if the facial expressions induced during the reasoning task altered the perceived emotional valence of the stimuli.

Cover story. To ensure participants would not pay undue attention to emotional facial expressions during the experiment, we used a cover story which stated that we were studying how the ability to contract fine muscles was affected by a cognitive task requiring attentional resources (see Dimberg et al., 2002). In order to verify if participants believed the cover story, they were questioned at the end of the experiment. Their answers showed they had no suspicion concerning the research goals, nor the manipulation of facial expressions.

Procedure

The experimenter first placed the electrodes on participant's targeted muscles and gave instructions regarding each contraction. Participants were asked to contract each muscle as a practice, and the experimenter confirmed when the contractions were well executed, based on the EMG signal. The experimenter then explained to participants that the colour in which the text of the syllogisms was presented would indicate which muscle they had to contract. Participants completed two practice trials and 24 experimental trials of the reasoning task. Then, they were asked to evaluate the conclusions of each syllogism. After this, the experimenter removed the electrodes, and questioned participants about the research goals before the debriefing session.

Statistical analysis

No participant had a reasoning accuracy lower than chance level, which suggests they all understood the task. However, we excluded from the analysis two participants whose

mean accuracy showed a ceiling effect (higher than 90% accurate responses). We also excluded reasoning trials where participants responded in less than one second, because the task could not be properly executed in such a short amount of time (approximate average of 13, 15 seconds in our previous study with the same task; Trémolière et al., 2016).

We visually examined the EMG data of each participant to exclude trials that included movement artefacts (higher amplitude than voluntary facial muscle activity). Overall, 5.29% of the total EMG data was identified as artefacts and was excluded. Then, we extracted intervals of RMS data starting from the beginning of each reasoning trial to the moment when the participants gave their answer. The enclosed area between the RMS and the minimum value for each trial was extracted and divided by the duration of the trial to obtain the Area Under the Curve (AUC) per second. One participant was excluded from manipulation check analyses with EMG data because their data failed to record.

We used SPSS software to conduct statistical analysis of reasoning accuracy (in percentage) and the evaluation of conclusions (mean scores on a scale from 1 to 9). For both analyses, we used a repeated-measures ANOVA with Facial Expressions (frowning, smiling or neutral) and Content of the syllogism (emotional or neutral) as independent variables. To verify our hypotheses, we conducted two a priori comparisons. First, we compared reasoning accuracy when frowning and when not frowning to observe the main effect of facial expressions. Second, we compared reasoning accuracy of syllogisms with

emotional and neural content, once in each of the Facial Expression conditions, to examine how facial expressions modulated the influence of emotional content. We also conducted two additional analyses as a manipulation check, to compare the activity of the corrugator and the zygomatic muscles (EMG's AUC per second in mV) as a function of the Facial Expression condition.

Results

Reasoning performance

First, Facial Expressions did not have a main effect on accuracy, $F(2, 74) = 0.29$, $p = .753$, $\eta_p^2 = .008$. However, the interaction between Facial Expressions and Emotional Content showed an important trend, ($F(2, 74) = 2.92$, $p = .067$, $\eta_p^2 = .073$). When participants were frowning, reasoning accuracy was significantly decreased by the emotional content of the syllogisms ($M = 64.50$, $SD = 3.00$) compared to neutral content ($M = 77.00$, $SD = 3.20$), $t(37) = 3.49$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .248$ (see Figure 1). The content of the syllogisms did not influence accuracy in the smiling condition, $t(37) = 0.14$, $p = .890$, $\eta_p^2 = .001$, nor in the neutral condition, $t(37) = 0.53$, $p = .599$, $\eta_p^2 = .008$. There was no speed-accuracy trade-off. Overall, participants had a mean accuracy of 70.43% ($SD = 8.63$), and emotional content did not have a significant main effect, $F(1, 37) = 2.86$, $p = .099$, $\eta_p^2 = .072$.

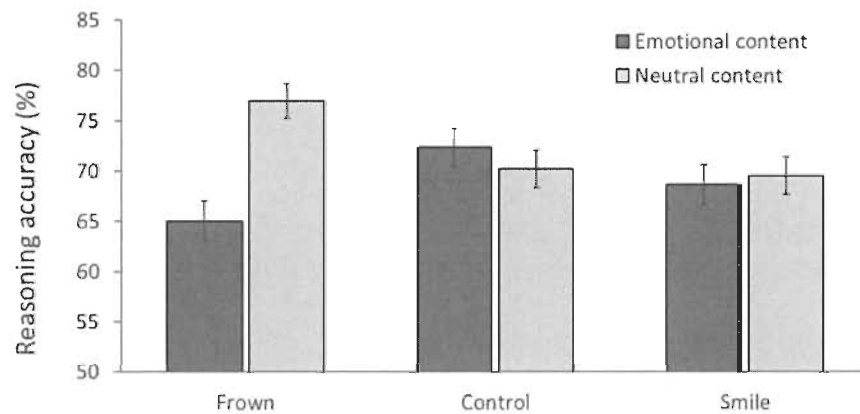


Figure 1. Emotional Valence \times Facial Expression interaction on reasoning accuracy.

Evaluation of conclusions

The conclusions with emotional content were evaluated as less pleasant ($M = 3.39$, $SD = 0.19$) than neutral conclusions ($M = 5.33$, $SD = 0.19$), $F(1, 37) = 52.13$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .585$, but Facial expressions did not impact the evaluation, $F(2, 74) = 0.16$, $p = .829$, $\eta_p^2 = .004$, nor interact with the effect of content, $F(2, 74) = 0.03$, $p = .971$, $\eta_p^2 = .001$. Thus, voluntary facial expressions did not influence the evaluation of emotional information.

Manipulation check

As a manipulation check of the induced facial expressions, we used two ANOVA analyses: one with the corrugator data as dependant measure, and the other one with the zygomatic data. The first analysis revealed that the corrugator's average activity was higher in the Frown condition ($M = 0.65$, $SD = 0.45$) than in the Neutral condition

($M = 0.21$, $SD = 0.12$), $t(36) = 5.63$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .461$, and the Smile condition ($M = 0.19$, $SD = 0.19$), $t(36) = 5.66$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .464$, $F(2, 72) = 29.35$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .449$. The second analysis revealed that the zygomatic's activity was higher in the Smile condition ($M = 1.51$, $SD = 1.22$) than in the Neutral condition ($M = 0.18$, $SD = 0.19$), $t(36) = 6.49$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .532$, and the Frown condition ($M = 0.25$, $SD = 0.39$), $t(36) = 5.81$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .477$, $F(2, 72) = 35.93$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .500$. These results provide confirmation that participants did follow instructions regarding the contraction of facial muscles.

Discussion

With this study, we aimed to explore the role of induced facial expressions in a reasoning task that involves neutral and emotional stimuli. We first predicted that voluntarily frowning would impair reasoning accuracy, even in the absence of emotional stimuli (initiation effect). Results did not confirm this hypothesis, because induced frowning did not have a main effect on reasoning accuracy. However, we also predicted that facial expressions would modulate how emotional stimuli impact reasoning accuracy. Results showed an important trend consistent with our hypothesis. When participants were voluntarily frowning, the presence of emotional stimuli decreased their reasoning performance compared to neutral stimuli. This is coherent with previous studies showing that emotions impact reasoning (Blanchette, 2006; Blanchette & Leese, 2011; Blanchette & Richards, 2004, 2010). However, when participants were asked not to frown, the

emotional stimuli did not impact their reasoning performance. Therefore, the impact of emotional content on reasoning was observed only when participants were instructed to frown during the task.

Our results are in line with the Facial Feedback Hypothesis, which suggests that facial movements influence emotional experience and affective judgments. Several studies showed that facial expressions influence how individuals evaluate external stimuli (Coles et al., 2019). Therefore, voluntarily frowning during the reasoning task may have influenced how participants processed the emotional content included in the task. This could explain why frowning modulated the impact of emotion content on reasoning. We explored this possible explanation by asking participants to evaluate the neutral and emotional content that were presented in the reasoning task during the manipulation of facial expressions. Surprisingly, our results did not replicate the effect of facial expressions on affective judgements. Facial expression manipulation did not impact the evaluation of neutral nor emotional stimuli. This suggests that affective judgments might not fully explain how facial expressions modulated the impact of emotion on reasoning. However, it is important to note that even though the stimuli were presented during the manipulation of facial expressions, their evaluation was made only approximately five minutes after the manipulation. Thus, stimuli might have been initially perceived differently depending on the facial expression that was displayed at that moment, but it is possible that this effect did not last until the evaluation task.

Our data evoke another possible explanation for the influence of facial movement on emotional reasoning. According to the Embodied Cognition Theory, actions in the body contribute to language comprehension (Glenberg, 2015). This would suggest that frowning could have helped participants process and understand emotional verbal information. Yet, our results show that even if language comprehension might have been increased, frowning while reasoning about emotional content led to more logical errors. This is not surprising, because reasoning accuracy does not rely on the comprehension of the semantic content of the syllogisms, it rather relies on the ability to put aside belief biases about the content and focus on the rules of logic (Evans, Barston, & Pollard, 1983). Thus, having a better understanding of the emotional content could increase the belief bias created by this content, which often leads to logical errors. Although the relationship between facial movement, reasoning and language comprehension remains speculative, our results provide a novel demonstration of the Embodied Cognition Theory, specifically showing that even high-level, abstract cognitive process such as deductive reasoning can be modulated by the expression of emotion in the face.

Findings from this research also open the possibility that spontaneous facial expressions may also play a role in emotional reasoning. Surprisingly, when participants were asked to keep a neutral expression, there was no effect of emotional content on reasoning. This goes against what we predicted, considering that several past studies have shown that emotional content impacts reasoning accuracy without the manipulation of facial expressions. Yet, one main difference is that previous studies simply did not provide

specific instructions concerning facial expressions, while we specifically asked participants not to frown. Thus, in previous studies, participants might have spontaneously frowned as an automatic response to the negative stimuli (Halberstadt, Winkielman, Niedenthal, & Dalle, 2009). Given that the comprehension of emotion-related sentences is impaired in participants who are not able to frown as a result of a Botox injection (Havas et al., 2010), it seems plausible that spontaneous facial expressions are necessary to observe effects of emotion on reasoning. Therefore, inhibiting spontaneous facial expressions may have reduced the impact of emotional stimuli. This would mean that the impact of negative stimuli on reasoning relies at least partly on spontaneous facial contractions during the task. This remains speculative, but we plan to test this hypothesis directly in future experiments, by investigating the effect of the inhibition of facial expressions as well as the role of spontaneous facial expressions in emotional reasoning. It will also be important to explore whether reasoning is affected by other changes in the body, such as changes in posture, and to investigate if other cognitive processes (high-level and low-level) can be similarly embodied.

References

- Adelmann, P. K., & Zajonc, R. B. (1989). Facial efference and the experience of emotion. *Annual Review of Psychology*, *40*(1), 249-280. doi: 10.1146/annurev.ps.40.020189.001341
- Allen, A. P., & Smith, A. P. (2012). Effects of chewing gum and time-on-task on alertness and attention, *Nutritional Neuroscience*, *15*(4), 176-185. doi: 10.1179/1476830512Y.0000000009
- Blanchette, I. (2006). The effect of emotion on interpretation and logic in a conditional reasoning task. *Memory & Cognition*, *34*(5), 1112-1125. doi: 10.3758/BF03193257
- Blanchette, I., & Amato, J.-N. (2013). Reasoning and emotion in the body. In B. Blanchette (dir.), *Emotion and reasoning* (pp. 119-133). London: Psychology Press.
- Blanchette, I., Gavigan, S., & Johnston, K. (2014). Does emotion help or hinder reasoning? The moderating role of relevance. *Journal of Experimental Psychology: General*, *143*(3), 1049-1064. doi: 10.1037/a0034996
- Blanchette, I., & Leese, J. (2011). The effect of negative emotion on deductive reasoning: Examining the contribution of physiological arousal. *Experimental Psychology*, *58*(3), 235-246. doi: 10.1027/1618-3169/a000090
- Blanchette, I., & Richards, A. (2004). Reasoning about emotional and neutral materials: Is logic affected by emotion?. *Psychological Science*, *15*(11), 745-752. doi: 10.1111/j.0956-7976.2004.00751.x
- Blanchette, I., & Richards, A. (2010). The influence of affect on higher level cognition: A review of research on interpretation, judgement, decision making and reasoning. *Cognition & Emotion*, *24*(4), 561-595. doi: 10.1080/02699930903132496
- Blanchette, I., Richards, A., Melnyk, L., & Lavda, A. (2007). Reasoning about emotional contents following shocking terrorist attacks: A tale of three cities. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *13*(1), 47-56. doi: 10.1037/1076-898X.13.1.47
- Coles, N. A., Larsen, J. T., & Lench, H. C. (2019). A meta-analysis of the facial feedback literature: Effects of facial feedback on emotional experience are small and variable. *Psychological Bulletin*, *145*(6), 610-651. doi: 10.1037/bul0000194

- Dimberg, U., & Söderkvist, S. (2011). The voluntary facial action technique: A method to test the facial feedback hypothesis. *Journal of Nonverbal Behavior*, *35*(1), 17-33. doi: 10.1007/s10919-010-0098-6
- Dimberg, U., Thunberg, M., & Grunedal, S. (2002). Facial reactions to emotional stimuli: Automatically controlled emotional responses. *Cognition & Emotion*, *16*(4), 449-471. doi: 10.1080/02699930143000356
- Duclos, S. E., Laird, J. D., Schneider, E., Sexter, M., Stern, L., & van Lighten, O. (1989). Emotion-specific effects of facial expressions and postures on emotional experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, *57*(1), 100-108. doi: 10.1037/0022-3514.57.1.100
- Ekman, P., Levenson, R. W., & Friesen, W. V. (1983). Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. *Science*, *221*(4616), 1208-1210. doi: 10.1126/science.6612338
- Eliades, M., Mansell, W., Stewart, A. J., & Blanchette, I. (2012). An investigation of belief-bias and logicality in reasoning with emotional contents. *Thinking & Reasoning*, *18*(4), 461-479. doi: 10.1080/13546783.2012.713317
- Ell, S. W., Cosley, B., & McCoy, S. K. (2011). When bad stress goes good: increased threat reactivity predicts improved category learning performance. *Psychonomic Bulletin & Review*, *18*(1), 96-102. doi: 10.3758/s13423-010-0018-0
- Eskine, K. J., Kacinik, N. A., & Prinz, J. J. (2011). A bad taste in the mouth: Gustatory disgust influences moral judgment. *Psychological Science*, *22*(3), 295-299. doi: 10.1177/0956797611398497
- Evans, J. S. B., Barston, J. L., & Pollard, P. (1983). On the conflict between logic and belief in syllogistic reasoning. *Memory & Cognition*, *11*(3), 295-306. doi: 10.3758/BF03196976
- Fridlund, A. J., & Cacioppo, J. T. (1986). Guidelines for human electromyographic research. *Psychophysiology*, *23*, 567-589. doi: 10.1111/j.1469-8986.1986.tb00676.x
- Glenberg, A. M. (2015). Few believe the world is flat: How embodiment is changing the scientific understanding of cognition. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *69*(2), 165-171. doi: 10.1037/cep0000056

- Halberstadt, J., Winkielman, P., Niedenthal, P. M., & Dalle, N. (2009). Emotional conception: How embodied emotion concepts guide perception and facial action. *Psychological Science*, 20(10), 1254-1261. doi: 10.1111/j.1467-9280.2009.02432.x
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41(2), 301-307. doi: 10.1016/S0896-6273(03)00838-9
- Havas, D. A., Glenberg, A. M., Gutowski, K. A., Lucarelli, M. J., & Davidson, R. J. (2010). Cosmetic use of botulinum toxin-A affects processing of emotional language. *Psychological Science*, 21(7), 895-900. doi: 10.1177/0956797610374742
- Hess, U., Kappas, A., McHugo, G. J., Lanzetta, J. T., & Kleck, R. E. (1992). The facilitative effect of facial expression on the self-generation of emotion. *International Journal of Psychophysiology*, 12(3), 251-265. doi: 10.1016/0167-8760(92)90064-I
- Laird, J. D. (1974). Self-attribution of emotion: The effects of expressive behavior on the quality of emotional experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, 29(4), 475-486. doi: 10.1037/h0036125
- Larsen, R. J., Kasimatis, M., & Frey, K. (1992). Facilitating the furrowed brow: An unobtrusive test of the facial feedback hypothesis applied to unpleasant affect. *Cognition & Emotion*, 6(5), 321-338. doi: 10.1080/02699939208409689
- Levenson, R. W., & Ekman, P. (2002). Difficulty does not account for emotion-specific heart rate changes in the directed facial action task. *Psychophysiology*, 39(3), 397-405. doi: 10.1017/S0048577201393150
- McIntosh, D. N. (1996). Facial feedback hypotheses: Evidence, implications, and directions. *Motivation & Emotion*, 20(2), 121-147. doi: 10.1007/BF02253868
- Niedenthal, P. M. (2007). Embodying emotion. *Science*, 316(5827), 1002-1005. doi: 10.1126/science.1136930
- Oaksford, M., Morris, F., Grainger, B., & Williams, J. M. G. (1996). Mood, reasoning, and central executive processes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(2), 476-492. doi: 10.1037/0278-7393.22.2.476
- Rueschemeyer, S. A., Glenberg, A. M., Kaschak, M., Mueller, K., & Friederici, A. (2010). Top-down and bottom-up contributions to understanding sentences describing objects in motion. *Frontiers in Psychology*, 1. Article 183. doi: 10.3389/fpsyg.2010.00183

- Schnall, S., Haidt, J., Clore, G. L., & Jordan, A. H. (2008). Disgust as embodied moral judgment. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *34*(8), 1096-1109. doi: 10.1177/0146167208317771
- Schnall, S., & Laird, J. (2003). Brief report. *Cognition & Emotion*, *17*(5), 787-797. doi: 10.1080/02699930302286
- Soussignan, R. (2002). Duchenne smile, emotional experience, and autonomic reactivity: A test of the facial feedback hypothesis. *Emotion*, *2*(1), 52-74. doi: 10.1037/1528-3542.2.1.52
- Strack, F., Martin, L. L., & Stepper, S. (1988). Inhibiting and facilitating conditions of the human smile: A nonobtrusive test of the facial feedback hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, *54*(5), 768-777. doi: 10.1037/0022-3514.54.5.768
- Strack, F., & Neumann, R. (2000). Furrowing the brow may undermine perceived fame: The role of facial feedback in judgments of celebrity. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *26*(7), 762-768. doi: 10.1177/0146167200269002
- Topolinski, S., & Deutsch, R. (2013). Phasic affective modulation of semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *39*(2), 414-436. doi: 10.1037/a0028879
- Topolinski, S., & Strack, F. (2009). The architecture of intuition: Fluency and affect determine intuitive judgments of semantic and visual coherence and judgments of grammaticality in artificial grammar learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, *138*(1), 39-63. doi: 10.1037/a0014678
- Trémolière, B., Gagnon, M.-È., & Blanchette, I. (2016). Cognitive load mediates the effect of emotion on analytical thinking. *Experimental Psychology*, *63*(6), 343-350. doi: 10.1027/1618-3169/a000333
- Wagenmakers, E.-J., Beek, T., Dijkhoff, L., Gronau, Q. F., Acosta, A., Adams, R. B. Jr., ... Zwaan, A. (2016). Registered replication report: Strack, Martin, & Stepper (1988). *Perspectives on Psychological Science*, *11*(6), 917-928. doi: 10.1177/1745691616674458
- Zhou, R., & Hu, S. (2006). Study of posed emotion in facial EMG asymmetry. *Perceptual and Motor Skills*, *102*(2), 430-434. doi: 10.2466/pms.102.2.430-434

Appendix A

Syllogisms with neutral and emotional content

Syllogisms with neutral content		
	Original (French)	Translated
Valid Believable	Certaines personnes en bonne santé sont petites	Some healthy persons are short
	Aucune personne petite n'est cosmonaute	No short person is a cosmonaut
	Donc certaines personnes en bonne santé ne sont pas cosmonautes	Therefore, some healthy persons are not cosmonaut
	Certaines tondeuses sont des tracteurs	Some lawnmower are tractors
	Tous les tracteurs sont silencieux	All the tractors are quiet
	Donc certaines tondeuses sont silencieuses	Therefore, some lawnmowers are quiet
	Certaines scies sont disponibles	Some saws are available
	Tous les outils disponibles sont électriques	All the available tools are electric
Donc certaines scies sont électriques	Therefore, some saws are electric	
Valid Unbelievable	Certains juges sont paresseux	Some judges are lazy
	Aucune personne paresseuse n'a fait de longues études	No lazy person completes graduate studies
	Donc certains juges n'ont pas fait de longues études	Therefore, some judges did not complete graduate studies
	Certains aéroports sont des commerces	Some airports are businesses
	Tous les commerces sont souterrains	All the businesses are built underground
	Donc certains aéroports sont souterrains	Therefore, some airports are built underground
	Certains lieux publics sont des monuments sacrés	Some publics places are sacred monuments
	Tous les monuments sacrés sont interdits d'accès	All the sacred monuments are banned
Donc certains lieux publics sont interdits d'accès	Therefore, some public places are banned	

Syllogisms with neutral content (continued)		
	Original (French)	Translated
Invalid Believable	Aucun légume sain n'est bon marché	No healthy vegetable is cheap
	Certains légumes bon marché sont des légumes biologiques	Some cheap vegetables are organic
	Donc certains légumes sains ne sont pas biologiques	Therefore, some healthy vegetables are not organic
	Certains bébés ont des dents	Some babies have teeth
	Toutes les personnes qui ont des dents mangent de la viande	All the persons who have teeth eat meat
	Donc certains bébés ne mangent pas de viande	Therefore, some babies don't eat meat
	Certains félins aiment le lait	Some felines like milk
	Tous les animaux qui aiment le lait sont des chats	All the animals who like milk are cats
Donc certains félins ne sont pas des chats	Therefore, some felines are not cats	
Invalid Unbelievable	Aucun homme-grenouille n'est fumeur	No frogman is a smoker
	Certains fumeurs sont des excellents nageurs	Some smokers are excellent swimmers
	Donc certains hommes-grenouilles ne sont pas des excellents nageurs	Therefore, some frogmen are not excellent swimmers
	Certains oiseaux rouges sont des perroquets	Some red birds are parrots
	Tous les perroquets ont des ailes	All the parrots have wings
	Donc certains oiseaux rouges n'ont pas d'ailes	Therefore, some red birds don't have wings
	Certaines secrétaires fument	Some secretaries are smokers
	Toutes les personnes qui fument sont des êtres humains	All the persons who smoke are human
Donc certaines secrétaires ne sont pas des êtres humains	Therefore, some secretaries are not human	

Syllogisms with emotional content		
	Original (French)	Translated
Valid Believable	Certaines victimes sont hideuses	Some victims are hideous
	Aucune personne hideuse n'est violée	No hideous person is raped
	Donc certaines victimes ne sont pas des personnes violées	Therefore, some victims are not raped
	Certaines maladies sont des virus contagieux	Some diseases are contagious viruses
	Tous les virus contagieux sont dangereux	All the contagious viruses are dangerous
	Donc certaines maladies sont dangereuses	Therefore, some diseases are dangerous
	Certaines souffrances sont des batailles	Some suffering moments are fights
	Toutes les batailles sont dévastatrices	All the fights are devastating
	Donc certaines souffrances sont dévastatrices	Therefore, some suffering moments are devastating
	Valid Unbelievable	Certaines personnes torturées sont démunies
Aucune personne démunie ne souffre		No impoverished person is suffering
Donc certaines personnes torturées ne souffrent pas		Therefore, some tortured persons are not suffering
Certains enfants malades sont dépressifs		Some sick children are depressed
Tous les dépressifs ont beaucoup de chance		All the depressed persons are fortunate
Donc certains enfants malades ont beaucoup de chance		Therefore, some sick children are fortunate
Certains kidnappeurs sont incestueux		Some kidnapers are incestuous
Toutes les personnes incestueuses sont mauvaises		All the incestuous persons are bad
Donc certains kidnappeurs ne sont pas mauvais		Therefore, some kidnapers are not bad

Syllogisms with emotional content (continued)		
	Original (French)	Translated
Invalid Believable	Aucune femme battue n'est désespérée	No battered woman is desperate
	Certaines personnes désespérées méritent leur sort	Some desperate persons deserve their fate
	Donc certaines femmes battues ne méritent pas leur sort	Therefore, some battered women don't deserve their fate
	Certaines agressions sexuelles sont traumatisantes	Some sexual aggressions are traumatic
	Toutes les choses traumatisantes sont supportables	All the traumatic events are tolerable
	Donc certaines agressions sexuelles ne sont pas supportables	Therefore, some sexual aggressions are not tolerable
	Certains crimes sont des actions de désespoir	Some crimes are desperate actions
	Toutes les actions de désespoir sont préméditées	All the desperate actions are premeditated
	Donc certains crimes ne sont pas prémédités	Therefore, some crimes are not premeditated
Invalid Unbelievable	Aucune maladie traumatisante n'est anodine	No traumatic disease is harmless
	Certaines choses anodines sont désagréables	Some harmless things are unpleasant
	Donc certaines maladies traumatisantes ne sont pas désagréables	Therefore, some traumatic diseases are not unpleasant
	Certains terroristes sont des prisonniers	Some terrorists are prisoners
	Tous les prisonniers veulent faire du mal aux gens	All the prisoners want to harm people
	Donc certains terroristes ne veulent pas faire du mal aux gens	Therefore, some terrorists don't want to harm people
	Certains pédophiles sont discrets	Some pedophiles are discreet
	Toutes les personnes discrètes sont dérangées	All the discreet persons are disturbed
	Donc certains pédophiles ne sont pas dérangés	Therefore, some pedophiles are not disturbed

Transition vers l'article 2

Les études antérieures montrent que les dimensions subjective et cognitive des émotions ont un effet délétère sur le raisonnement (Blanchette & Richards, 2010). L'étude rapportée dans l'Article 1 visait à explorer le rôle causal de la dimension corporelle des émotions dans le raisonnement. Les résultats obtenus révèlent que le froncement des sourcils joue un rôle modulateur dans le raisonnement émotionnel. Conformément aux études antérieures, la présence de contenu émotionnel a diminué la performance au raisonnement. Toutefois, cet effet n'était observé que quand les participants exprimaient une émotion négative dans leur visage pendant le raisonnement. L'effet modulateur de l'expression faciale n'a cependant qu'approché le seuil de significativité statistique, mais il s'agit tout de même d'une première exploration empirique de la relation causale entre la dimension corporelle des émotions et le raisonnement. Il serait donc nécessaire de répliquer les résultats obtenus pour confirmer le rôle du froncement des sourcils dans le raisonnement émotionnel. De plus, on peut s'interroger sur les mécanismes par lesquels la dimension corporelle des émotions affecte le raisonnement. L'étude rapportée dans l'Article 2 aborde ce questionnement en utilisant une mesure des potentiels évoqués pour observer l'influence du froncement des sourcils sur différents mécanismes impliqués dans le raisonnement.

Chapitre 2

Article 2. Exploring the Mechanisms Responsible for the Modulating Role of Facial Expression in Emotional Reasoning: an ERP Study

Exploring the mechanisms responsible for the modulating role of facial expression in emotional reasoning: An ERP study

Marie-Ève Gagnon¹ (ORCID : 0000-0001-7588-8807)

Annie-Pier Labbé¹

Isabelle Blanchette^{1 2} (ORCID : 0000-0003-4020-5089)

¹ Psychology Department, Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

² École de Psychologie, Université Laval, Canada

Correspondence should be addressed to Marie-Ève Gagnon: marie-eve.gagnon@uqtr.ca

Declarations

Funding: This study was funded by the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada.

Conflicts of interest: The authors have no conflicts of interest to declare that are relevant to the content of this article.

Ethics approval: This research was approved by the Ethic committee at Université du Québec à Trois-Rivières (Date: November 12th, 2018; No : CER-18-251-07.24)

Consent to participate: Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

Consent for publication: Not applicable.

Availability of data and material: Data supporting our findings will be made available upon publication.

Code availability: Not applicable.

Résumé

Plusieurs études ont montré que les émotions ont un impact sur le raisonnement, et que les émotions sont incarnées. Une étude récente a révélé que les émotions incarnées dans les expressions faciales peuvent moduler l'impact du contenu émotionnel sur la performance au raisonnement. Dans la présente étude, nous utilisons l'électroencéphalographie pour explorer les mécanismes responsables de l'impact de l'expression faciale sur le raisonnement émotionnel. Nous avons enregistré l'activité cérébrale de 26 participants pendant une tâche de raisonnement avec contenu neutre et émotionnel. Dans un bloc, les participants devaient résoudre des syllogismes pendant qu'ils fronçaient volontairement les sourcils. Dans un autre bloc, ils devaient résoudre des syllogismes pendant qu'ils contractaient un muscle non facial. Nous avons comparé les potentiels évoqués des deux conditions pour trois composantes : N400, LPP et N2, indicatives de différents processus cognitifs spécifiques. Les résultats ont révélé que le froncement de sourcils a influencé l'attention soutenue envers les stimuli émotionnels et neutres, tels que mesurés par la LPP. Le froncement des sourcils semble également avoir eu un effet délétère sur le processus d'inférence, tel que mesuré par la N400. Ces résultats contribuent à l'avancement des connaissances concernant le lien entre le raisonnement et les émotions dans le corps.

Abstract

Several studies showed that emotions impact reasoning, and that emotions are embodied. A recent study revealed that emotions embodied in facial expressions can modulate the impact of emotional content on reasoning accuracy. In the study we report here, we aimed to explore the mechanisms responsible for the impact of facial expression on emotional reasoning using electrophysiology. In particular, we examined two reasoning-related ERPs: the N400 related to inference process and the N2 related to conflict detection, as well as the LPP, associated with sustained attention to emotional stimuli. Twenty-six participants completed a reasoning task with emotional content while we recorded their brain activity with electroencephalography. In one block, they were instructed to solve syllogisms while voluntary frowning. In another block, they were asked to solve syllogisms while contracting a non-facial muscle. Results revealed that frowning influenced sustained attention towards emotional and neutral stimuli, as measured through LPP. Frowning also showed a trend for a deleterious effect on the inference process measured through the N400. In line with the dual process models, these results suggest that frowning impacts Type 1 processes (sustained attention), but surprisingly it might also impact Type 2 processes (inference). This study provides useful insight regarding the link between reasoning and emotions in the body.

Keywords: Reasoning, Emotion, Facial Expression, ERP

Introduction

The emerging theories of Embodied Cognition suggest that actions and perceptions in the body influence many cognitive processes (Glenberg, 2015). Particularly, the Facial Feedback Hypothesis claims that expressing emotions in the body influences emotional states and how information is processed (Adelman & Zajonc, 1989; Coles, Larsen, & Lench, 2019; McIntosh, 1996). Several studies show that emotional states and emotional stimuli have a deleterious effect on reasoning performance (Blanchette & Richards, 2010). Recent studies revealed a relationship between reasoning and emotions embodied in physiological arousal and in facial expressions (Amato, Lindsay, Davies, & Blanchette, 2012; Blanchette & Leese, 2011). Consistent with this, our recent experiment showed that the impact of emotion on reasoning is modulated by voluntary frowning (Gagnon, Amato, & Blanchette, under review). This impact of emotions in the body on reasoning is quite surprising, given that reasoning has been considered to be mostly disembodied up until now. In the study we report here, we used event-related potentials (ERP) to explore the mechanisms involved in emotional reasoning and observe how they are influenced by facial expression.

Reasoning is the cognitive process through which individuals analyze available information to draw inferences. Reasoning tasks typically involve conditional syllogisms (e.g., *If p, then q*) or categorial syllogisms (e.g., *Some A are B, all B are C, therefore some A are C*), and participants are instructed to determine if the conclusion (i.e., inference) of a syllogism is logically valid. The validity of a conclusion depends on the structure of the

syllogism. Individuals sometimes make logical errors, meaning their responses rely on information other than logical structure. Several studies showed that semantic content of a syllogism impacts reasoning performance. For instance, semantic content can determine the believability of a conclusion (i.e., its congruence with individuals' beliefs) or the emotional valence of the syllogism. Studies showed that believability impacts reasoning accuracy because individuals tend to evaluate conclusions based on their believability instead of their logical validity (see review from Ball & Thompson, 2018). This often leads to logical errors when believability and validity are in conflict (i.e., conclusions that are logically valid but unbelievable or logically invalid but believable; Goel & Dolan, 2003a). This tendency to rely on believability instead of validity is called the belief-bias (Evans, Barston, & Pollard, 1983).

The emotional valence of the content of a syllogism also has an important impact on reasoning performance. Emotional valence is generally manipulated by including emotional word in a syllogism, for example: *Some kidnappers are incestuous, all the incestuous persons are bad, therefore some kidnappers are bad*. Studies showed that when participants are reasoning about emotional content (particularly negative), they make more logical errors than when they are reasoning syllogisms with neutral content (see review by Blanchette & Richards, 2010).

The dual-process model of reasoning has been widely used to explain how individuals solve reasoning problems and especially why their responses sometimes deviate from

principles of logic (Evans, 2003). This model claims that reasoning relies on two distinct types of processing. Type 1 processing is fast and provides responses based on heuristics, while Type 2 processing is slow and relies on analytic thinking. According to this model, belief bias is explained by the tendency to rely on Type 1 processing that provides a quick response based on beliefs instead of Type 2 processing that provides a response based on logic. When there is no conflict between the believability and the validity of a syllogism, Type 1 and Type 2 processes should provide the same response. However, for conflict syllogism, giving a response based on logic requires the inhibition of the rapid heuristic response (Type 1) and the voluntary mobilisation of analytic thinking (Type 2).

Although several studies have demonstrated the deleterious effect of emotion on reasoning, the dual-process model (like other theoretical models for reasoning) do not include an account of emotion. However, few studies showed that emotional content might impact reasoning because it takes over cognitive resources that are required for Type 2 processing (De Neys, 2006; Trémolière, Gagnon, & Blanchette, 2016; Viau-Quesnel, Savary, & Blanchette 2019). In sum, reasoning is influenced by the semantic content of syllogisms, but the account for emotional content has not yet been explained by theoretical models of reasoning.

Facial expressions and reasoning

Recent studies have begun to explore whether reasoning is influenced by embodied processes (for a review of the embodiment literature see Glenberg, 2015). Some studies

show that reasoning processes are influenced by facial expressions, particularly by frowning. In a recent pilot study, we observed that the more participants frowned while processing negative reasoning contents, the more reasoning errors they made on negative contents (compared to neutral). This suggests that facial expressions are involved in the processing of emotional information. We explored whether facial expressions could have a causal role in a recent study where we directly induced facial expressions. Participants made more logical error on syllogisms with emotional content compared to neutral, but only when they were directed to frown during the reasoning task (Gagnon et al., under review). This shows that facial expressions can modulate the impact of emotional content on reasoning. It is consistent with the Facial Feedback Hypothesis, which claims that facial expressions influence the processing of neutral and emotional information (Coles et al., 2019; McIntosh, 1996). Hence, emotions in the body could influence reasoning by modulating how emotional content is processed.

Other studies reveal that facial expressions, especially frowning, are related to reasoning processes even in the absence of emotional content. In studies where facial expressions were manipulated, frowning appears to be associated with an increase of Type 2 processing. When participants are voluntarily frowning, they report a subjective feeling of effort (Koriat & Nussinson, 2009; Stepper & Strack, 1993) and they think longer before giving a response on a base rate task (Thompson et al., 2013, Exp. 1b). Consistent with this, a study showed that voluntary frowning made participants rely more on Type 2 processing. Frowning was induced while participants were making judgments of category

inclusion, as a manipulation of disfluency. When participants were frowning, they relied less on Type 1, stereotypical judgments and more on statistical information (Alter, Oppenheimer, Epley, & Eyre, 2007, Exp.3; but also see Klein et al., 2018). In sum, these studies show that facial expression can influence reasoning processes even when the reasoning task does not involve emotional stimuli.

Possible mechanisms responsible for the effect of facial expressions on emotional reasoning

The fact that contractions of facial muscles impact reasoning can be surprising because reasoning processes (i.e., Type 2) are generally considered to be abstract and independent of physical changes occurring in the body. In the present study, we aim to explore the possible mechanisms responsible for the modulating role of facial expression in emotional reasoning. In line with the literature reviewed, facial expressions could impact Type 2 processes such as the inference making, but they could also impact Type 1 processes such as a sustained attention towards emotional content. Previous studies showed that these mechanisms are associated with specific ERP components elicited during reasoning tasks. The inference making process is associated with the N400 component, while sustained attention for emotional stimuli is associated with a late positive potential (LPP).

The N400 component marks the anticipation of words that are expected in a given context (for a review, see Kutas & Federmeier, 2011). In reasoning tasks, this component is generally observed at FCz, Cz and CPz around 450-500 ms after the onset of the last

part of a syllogism/reasoning problem. The amplitude of this component is larger when the conclusion of a reasoning problem is not logically valid according to the premises, indicating that participants have formed a logical inference and expect the word that fits with this inference (Rodríguez-Gómez, Pozo, Hinojosa, & Moreno, 2019; Rodríguez-Gómez et al., 2018). Simply put, in logical reasoning, the N400 marks the detection of invalidity, which is the heart of the inference process. However, two studies showed an opposite effect, where the N400 was larger for valid conclusions. This was observed when the premises of a reasoning problem were unbelievable (Rodríguez-Gómez et al., 2018). This suggests that individuals could not rely on logic to detect an invalid conclusion when the premises were not coherent with their beliefs. Another study showed a greater N400 for valid conclusions, but this was in comparison with a repetition of the premises instead of invalid conclusions (Blanchette & El-Derey, 2014). It remains unclear why a greater N400 does not always reflect the detection of invalidity, nevertheless many studies showed that N400 is an index of inference process. Thus, a measure of N400 during a reasoning task could reveal if facial expression impact Type 2 processing.

Reasoning also involves Type 1 processes, especially when emotional content is involved. A recent study showed that the emotional content of a reasoning task elicited a greater LPP between 800 and 1050 ms following the onset of the stimulus (Blanchette & El-Derey, 2014). The LPP is known to reflect sustained attention towards emotional stimuli (for a review, see Hajcak, MacNamara, & Olvet, 2010, also see Kunkel, Filik, Mackenzie, & Leuthold, 2018). Interestingly, when participants are instructed to suppress

their emotional response to stimuli (i.e., “Try to feel the emotion less strongly”), the LPP to emotional stimuli is reduced (Moser, Hajcak, Bukay, & Simons, 2006). This suggests that sustained attention towards emotional stimuli can be modulated by emotional response. This is consistent with the Facial Feedback Hypothesis, which claims that the processing of emotional stimuli is influenced by facial expression. In line with this, voluntary frowning could modulate sustained attention towards emotional stimuli, which represents one possible mechanism through which facial expression could impact emotional reasoning.

Another mechanism involved in reasoning was recently measured by the N2 component, which is typically at Fz, Cz and Pz around 250 ms after the onset of the conclusion. The N2 is greater when there is a conflict between the believability and the validity of a syllogism, compared to when there is no conflict (De Neys, Novitskiy, Ramautar, & Wagemans, 2010). This was interpreted as an early sensitivity for conflict between Type 1 and Type 2 processes. A similar effect was observed in probabilistic reasoning, where the N2 is greater when there is a conflict between the statistical information and the stereotypical information (Bago et al., 2018). Other studies showed that the N2 is associated with cognitive control (Folstein & van Petten, 2008), suggesting that it might not only reflect the detection of conflict but also the mobilisation of cognitive resources for the inhibition of a rapid heuristic response (De Neys, 2006; Nieuwenhuis, Yeung, van den Wildenberg, & Ridderinkhof, 2003). Thus, the N2 indexes another

reasoning-related mechanism that could help understand how facial expression impact on reasoning processes.

In sum, a number of studies have recently shown an important role for embodied emotion in reasoning. The mechanisms through which this operates remain unknown. Here we ask specifically: What are the mechanisms underlying the relationship between facial expressions and emotional reasoning? Past studies showed that N400, LPP and N2 can inform the Type 1 and Type 2 mechanisms involved in emotional reasoning. They could provide insight regarding how facial expression influence reasoning.

Objectives

We aim to explore the mechanisms involved in the relationship between facial expression and emotional reasoning. We use ERPs to investigate three mechanisms: (1) inference; (2) sustained attention; and (3) conflict detection. These mechanisms are associated with the N400, LPP and N2 components respectively. According to the existing literature, we expected that the N400 would be greater for invalid syllogisms, that the LPP would be greater for emotional syllogisms, and that the N2 would be greater for conflict syllogisms. Most importantly, we hypothesized that at least one of these effects would be modulated by frowning. Dual-process models suggest that the processing of emotional content should affect Type 1 processes but not Type 2 processes because the latter do not rely on semantic information. Hence, induced frowning may modulate LPP, not N400. This would also be predicted by the Facial Feedback Hypothesis.

As an exploratory aim, we examine the role of interoceptive accuracy in the relationship between facial expression and emotional reasoning. According to the Facial Feedback Hypothesis, the influence of frowning on emotional processes is explained by the feedback information coming from the face (Adelman & Zajonc, 1989; McIntosh, 1996). Some individuals are particularly sensitive to interoceptive information and such individual differences can modulate the impact of physical induction on cognitive processes (Häfner, 2013; Herbert & Pollatos, 2012). Thus, we hypothesized that frowning might have a greater effect on the reasoning mechanisms of participants who are more sensitive to the interoceptive feedback.

Method

In a within-subject design, we manipulated induced facial expressions (frowning or not frowning) during a reasoning task that included neutral and emotional content. There were conflict problems, where logical validity and believability clashed, and non-conflict problems. We measured participants' reasoning accuracy and response times as well as EEG activity to measure ERPs triggered by the presentation of the conclusion of each syllogism. We isolated ERPs identified as N2, N400 and LPP. Based on Luck's recommendations (Luck, 2004), we included 128 reasoning trials in order to have a minimum of 30 trials per condition for each component.

Participants

We recruited 28 participants using social media groups including mostly university students. Two participants were excluded from the analysis because of technical errors with the experiment material. The twenty-six participants included in the analysis (12 woman, mean age = 22.79, $SD = 2.62$) were 18 to 35 years old, right-handed, not taking psychotropic drug or substance, had no history of epilepsy and no motor-sensory disability nor BOTOX injection in the face. This research was approved by the ethics committee of Université du Québec à Trois-Rivières.

Procedure

Participants were invited to sit in front of a computer screen in a 10'x10' Faraday cage. We installed the EEG and EMG electrodes as well as an oximeter to measure participants' pulse. The experiment was presented using the E-Prime 3.0 software on a 23-inch monitor. In a first block, participants completed the Heartbeat detection task and a rated their emotional state for a first time. Then, we asked participants to contract the corrugator muscle and the tibial anterior muscle one at a time for 15 seconds at maximum strength, three times. We then provided the instructions for the reasoning task. Participants completed six practice trials before beginning the first reasoning block of 64 trials. Afterwards, they completed a second block of the Heartbeat detection task with a second rating of their emotional state. Finally, they completed the second block of 64 reasoning trials, a final block of the Heartbeat detection task and a final rating of their emotional state.

Reasoning task

Our research team developed 64 categorial syllogisms using four forms (see Table 3). valid with negation, valid without negation, invalid with negation and invalid without negation). To include semantic content, we used a bank of 14 000 words that were previously assessed on emotional valence on a scale from 1 (*Makes me feel happy*) to 9 (*Makes me feel unhappy*) (Warriner, Kuperman, & Brysbaert, 2013). We created 32 syllogisms with negative content by selecting words that were rated on average below 3 on that scale, and 32 syllogisms with neutral content by selecting words that were rated on average between 4.5 and 5.5. While selecting words that were easily translatable in French, we made sure to create 32 syllogisms with a believable conclusion and 32 with an unbelievable conclusion. We validated our syllogisms by asking six colleagues to rate the emotional valence of each syllogism (1 – Very positive to 5 – Very negative) as well as the believability of each conclusion (1 – Very believable to 5 – Not at all believable). Negative syllogisms were all rated above 4. When the average rating for a neutral syllogism was below 2.8 or above 3.2 on the emotional valence scale, we modified the content according to the comments received. We also modified syllogisms without unanimous ratings of believability. The modified syllogisms were finally validated with unanimous ratings from seven colleagues.

Table 3

Examples of each form of categorial syllogisms

	Valid conclusion	Invalid conclusion
Without negation	All A are B, Some C are A, Therefore some B are C.	All A are B, Some C are B, Therefore some A are C.
With negation	All A are B, Some C are not B, Therefore some C are not A.	All A are B, Some C are not A, Therefore some C are not B.

During the reasoning task, participants were instructed to consider both premises to be true, and to determine whether the conclusion of each syllogism was valid or invalid based on logic. The task was divided in two blocks to allow the manipulation of facial expressions between blocks. Each block included 32 syllogisms that were presented twice in a random order, meaning participants completed a total of 128 reasoning trials. Between each trial, participants could take a break to avoid fatigue.

Each trial of the reasoning task was presented as followed: the first and second premises were presented one above the other together for 9000 ms. The first half of the conclusion (e.g., *Therefore some C...*) was presented for 3000 ms, followed by the second half (e.g., *...are not B*) which stayed on screen for 3000 ms. For each of these three steps, the section of the syllogism was presented alone and disappeared when the next section appeared. At the end of the trial, the second half of the conclusion stayed on screen and

the instructions appeared asking participants to provide their response with the keyboard (“1” key for valid and “2” key for invalid).

To help participants keep track while the syllogisms were presented only one section at a time, premises were in black ink and conclusions were in blue ink. Each part of the syllogism was preceded by a fixation cross of 100 ms, except for the second half of the conclusion which was preceded by a fixation cross of 400 ms to allow a more stable baseline to analyze ERPs.

Facial expression manipulation

We manipulated Facial expressions within-subjects and between-blocks. In each block of the reasoning task, participants were instructed to contract a specific muscle throughout all trials. In one block, we asked them to contract the corrugator supercilii, by bringing their brows towards the middle of the face and slightly downwards. In the other block, we asked them to contract the tibial anterior muscle by bringing the tip of their left foot upward. This contraction was used as a control condition where participants would still have to contract a muscle but while keeping a neutral face. We asked them to contract the tibial anterior muscle because this was a contraction that had minimal influence on EEG, EMG and pulse recordings, while requiring an amount of effort similar to frowning. We asked them to make sure that only one of the two muscles were contracted at a time. Thus, participants were voluntarily frowning in one block and voluntarily not frowning in the other.

Heartbeat detection task

To measure participants' interoceptive sensitivity, we asked them to focus on internal sensations coming from their chest to try and feel their heartbeats, and to press the spacebar whenever they felt one heartbeat (Schandry, 1981). This task was repeated in three blocks of 25, 35 and 45 seconds: before and after the reasoning task, and between the two reasoning blocks.

Self-reported emotional state

After each of the three blocks of the Heartbeat detection task, we asked participants to rate their current emotional state on a scale from 1 (*Totally negative*) to 9 (*Totally positive*). This was used as a measure of the impact of voluntary frowning on emotional state.

EEG recording and ERP processing

We recorded EEG activity with a 64 electrodes Brainvision ActiCHamp system (Brain Products, Germany) positioned according to the 10/20 system. We positioned the ground electrode at Fpz, and we used the average of the left and right mastoids as reference. We also recorded vertical and horizontal electrooculograms (EOG) to identify ocular artifacts, with an electrode placed 1 cm from the external canthi of each eye and one electrode 1 cm below the right eye. We made sure that electrode impedances were below 15 K Ω before recording. Data was recorded with a sampling rate of 500 Hz, and a hardware band-pass filter between .01 and 100 Hz.

We processed the data with BrainVision Analyzer 2.1 software. We first reduced sampling rate to 250 Hz, and we applied a .01-40 Hz band-pass filter on EEG data and a .01-5 Hz band-pass filter on EOG data. We segmented the signal of all channels beginning 400 ms prior to the onset of the last word of each conclusion until 3000 ms after its onset. We then used an independent component analysis (ICA) to identify and manually remove ocular components (blinks and horizontal eye movements) before we reconstructed the signal.

To determine the time windows of the targeted ERP components, we used the Collapsed localizer approach (Luck, 2014). We first removed the noisy channels by hand for each participant and conducted an artifact rejection transformation for all remaining channels by excluding trials with variations of 100 μ V within an 800 ms interval. Then, we applied a baseline correction at -150ms and computed the grand average of all conditions and all participants. Based on EEG waves and topography, we determined that an N2 was present in the 275-325ms time window and maximal at Cz; an N400 was present in the 475-525ms time window peaking at Cz; and an LPP was present in the 700-1200ms time-window centering at Cz. This is consistent with the topography and time-windows where the same components were observed in previous studies (Blanchette & El-Deredy, 2014; De Neys et al., 2010; Kutas & Federmeier, 2011).

Since we induced contractions of the corrugator supercillii muscle during the EEG recording, we made sure that the EMG artifacts had a minimal impact on the processed

signal. According to Luck (2014), the .01-40 Hz band-pass filter we used should have eliminated much of the EMG artifacts. To make sure that residual artifacts would not impact our results, we examined the signal at Fz, FCz, Cz, CPz and Pz on trials with neutral-valid-credible syllogisms. We compared the signal between the frowning and the control block in the frequency domain (with Fast Fourier Transform) as well as on mean amplitudes. Only the mean amplitude at CPz tended to be higher in the frowning block than in the control block, but the difference did not reach significance ($p = .065$, $\eta_p^2 = .129$). Other electrodes showed no effect of frowning on mean amplitude (all $ps > .510$). We also compared the frequency between 30 and 40 Hz, where we would expect to find EMG artifacts. No effect of frowning was revealed on the 30-40 Hz frequency (all $ps > .548$). For the final analysis of the signal, we pooled the data around Cz to include FCz, Cz, CPz, C1 and C2 in the averaged signal. Finally, we separated the data according to our independent variables and obtained mean amplitudes for each experimental condition.

EMG recording and processing

We measured EMG activity from the zygomatic major and the corrugator supercilii as a manipulation check for the facial expression induction. We used five 4-millimeters silver-silver chloride electrodes. One electrode was used as a ground and placed in the middle of the forehead directly below the hair line. Two electrodes were placed 1 cm apart on the corrugator supercilii, and two electrodes were placed 1 cm apart on the zygomatic major. We followed Fridlund and Cacioppo's (1986) recommendations to position the

facial electrodes. We also used two mock electrodes for the tibial anterior muscle so that participants would not suspect that this contraction was not measured.

We used the same system to record EEG and EMG data, with a sampling rate of 500 Hz and a band-pass filter between 10 and 200 Hz. We processed the data with BrainVision Analyzer 2.1 software. We measured EMG activity for each trial of the reasoning task, starting from the onset of the first premise up until participants gave their response. In the frowning and the non-frowning conditions, we computed the Root Mean Square (RMS) of the average amplitude of the corrugator and the zygomatic signal.

Pulse recording and processing

We used a Brainvision oximeter (Brain Product, Germany) attached on participants' left hand to record their pulse during the Heartbeat detection task. Data was recorded with a sampling rate of 500 Hz and a band-pass filter between 0.01 and 10 Hz. We processed the data with BrainVision Analyzer 2.1 software. For each block of the heartbeat detection task, we used the R peaks detection function to obtain the number of real heartbeats (measured by the oximeter) and compared it to the number of perceived heartbeats (recorded by behavioral response). We used Pollatos' equation (Pollatos, Traut-Mattausch, Schroeder, & Schandry, 2007; Yao et al., 2018) to compute the interoceptive accuracy score for each participant:

$$\frac{1}{3} \sum \left(1 - \frac{\text{perceived heartbeats} - \text{actual heartbeats}}{\text{actual heartbeats}} \right)$$

This score varies between 0 and 1, and a higher score indicates a higher accuracy (a score of 1 means all heartbeats were perceived). Participants had a mean score of 0.22 ($SE = 0.05$). This mean score is relatively low in comparison with previous studies which scores varied approximately between 0.60 and 0.80 (Pollatos et al., 2007; Shah, Hall, Catmur, & Bird, 2016; Yao et al., 2018). However, in these studies, the instructions for the task were less strict and participants might have reported guessed heartbeats instead of truly perceived heartbeats. In a recent study, we used the same strict instructions and we observed a mean score of 0.30.

Statistical analysis

As a manipulation check of the Facial Expression manipulation, we used paired t-tests to check if the corrugator activity was higher when participants were asked to frown. We also analyzed the zygomatic signal to make sure that participants were contracting only the corrugator, not a combination of multiple facial muscles.

Participants' average reasoning accuracy was 0.57 ($SE = 0.02$), which is significantly above chance level ($t(26) = 4.20, p < .001$). We conducted statistical analysis of reasoning accuracy with a repeated-measures ANOVA including Facial Expression (frowning vs not frowning), Content (emotional vs neutral) and Conflict (conflict vs non-conflict) as independent variables. We also used repeated-measures ANOVA for the analysis of the ERP components. We compared the N2 mean amplitude according to the Facial Expression and the presence of Conflict, the N400 mean amplitude according to the Facial

Expression and the Validity (valid or invalid), and the LPP mean amplitude according to the Facial Expression and the Content. We used Bonferoni's correction for all post-hoc comparisons.

For both facial expression conditions, we computed the effect of validity on N400 (difference of mean amplitude between invalid syllogisms and valid syllogisms), the effect of Content on LPP (difference of mean amplitude between emotional syllogisms and neutral syllogisms), and the effect of Conflict on N2 (difference of mean amplitude between conflict syllogisms and non-conflict syllogisms). We conducted a correlational analysis to test if these differences in ERP amplitudes were related with the interoceptive accuracy.

Results

Manipulation check - EMG

The activity of the corrugator supercilii was significantly higher when participants were asked to frown ($M = 3.06, SE = 0.33$) compared to when they were asked to contract a non-facial muscle ($M = 1.31, SE = 0.27$), $t(25) = 5.55, p < .001, \eta_p^2 = .055$. The activity of the zygomatic major was significantly lower when participants were asked to frown ($M = 0.41, SE = 0.15$) compared to the control condition ($M = 0.64, SE = 0.24$), $t(25) = 2.16, p = .040, \eta_p^2 = .157$. This confirms that participants followed instructions by

contracting the corrugator only when they were asked to frown and that they did not contract multiple facial muscles at the same time.

Behavioral data

The ANOVA revealed a significant effect of Conflict, $F(1, 25) = 9.50, p = .005, \eta_p^2 = .275$, showing that reasoning accuracy was poorer when the syllogism was conflictual ($M = 0.53, SE = 0.02$) compared to non-conflictual ($M = 0.63, SE = 0.03$). However, reasoning accuracy was not significantly influenced by Content, $F(1, 25) = 0.98, p = .332, \eta_p^2 = .038$, nor by Facial Expression, $F(1, 25) = 1.88, p = .183, \eta_p^2 = .070$, and interaction effects were not significant (all $ps \geq .188$). Reasoning accuracy was not significantly different on the first and second presentation of each syllogism, $F(1, 25) = 0.08, p = .779, \eta_p^2 = .003$, and repetition did not interact with Conflict, Content or Facial expression (all $ps > .132$).

ERP data

The ANOVA on N400 amplitudes revealed a significant interaction between Facial Expression and Validity, $F(1, 25) = 4.60, p = .042, \eta_p^2 = .155$. Post hoc comparisons showed that when participants were frowning, N400 amplitude tended to be higher when the syllogism was logically valid ($M = 2.34, SE = 0.86$) compared to invalid ($M = 3.33, SE = 0.78$), $F(1, 25) = 3.26, p = .083, \eta_p^2 = .115$. When participants were not frowning,

amplitudes did not differ significantly according to validity, $F(1, 25) = 1.81, p = .191, \eta_p^2 = .068$, and descriptive statistics show a higher amplitude for invalid syllogisms ($M = 2.52, SE = 0.81$) compared to valid ($M = 3.53, SE = 0.77$). There was no main effect of Facial Expression, $F(1, 25) = 0.26, p = .618, \eta_p^2 = .010$, or Validity, $F(1, 25) = 0.01, p = .935, \eta_p^2 < .001$, on N400 amplitude.

The ANOVA on LPP amplitudes revealed a marginally significant interaction between Facial Expression and Content, $F(1, 25) = 3.55, p = .071, \eta_p^2 = .124$. Post hoc comparisons showed that LPP amplitude was significantly higher when the syllogism included emotional content ($M = 2.91, SE = 0.96$) compared to neutral ($M = 1.32, SE = 0.99$), but only in the non-frowning block, $F(1, 25) = 4.81, p = .038, \eta_p^2 = .161$. When participants were frowning, amplitudes did not differ between emotional ($M = 2.51, SE = 0.99$) and neutral content ($M = 2.78, SE = 0.93$), $F(1, 25) = 0.32, p = .578, \eta_p^2 = .013$. Descriptive statistics suggest that LPP amplitude was lower in trials with neutral content and a neutral facial expression, compared to other conditions with either a frowning expression, emotional content, or both. We conducted an a posteriori contrast that confirmed that the LPP amplitude was higher in the three conditions with an emotional induction (in the face or with semantic content) compared to the condition with no emotional induction, $F(1, 25) = 4.21, p = .051, \eta_p^2 = .144$. Overall, Content had a marginally significant main effect on LPP amplitude, $F(1, 25) = 3.28, p = .082, \eta_p^2 = .116$.

There was no main effect of Facial Expression on LPP amplitude, $F(1, 25) = 0.94$, $p = .342$, $\eta_p^2 = .036$.

The ANOVA on N2 amplitudes revealed a marginally significant interaction between Facial Expression and Conflict, $F(1, 25) = 3.38$, $p = .078$, $\eta_p^2 = .119$. Post hoc comparisons showed no significant effect (all $ps > .218$ and $\eta_p^2 < .054$), but descriptive data suggest that Conflict had the expected effect on N2 (higher amplitude for conflict syllogisms compared to non-conflict) only when participants were frowning, and had an inverse effect when they were not frowning (see Figure 2). There was no main effect of Facial Expression, $F(1, 25) = 0.04$, $p = .851$, $\eta_p^2 = .001$, or Conflict, $F(1, 25) = 0.01$, $p = .924$, $\eta_p^2 < .001$, on N2 amplitude.

Interoceptive accuracy

In both the frowning and the control condition, the effect of Validity on N400 and the effect of Content on LPP were not correlated with interoceptive accuracy (all $rs < |0.17|$ and all $ps > .401$). In the control condition, the effect of Conflict on N2 amplitude was correlated with interoceptive accuracy, $r(26) = 0.54$, $p = .005$. In the frowning condition, the effect of conflict on N2 amplitude was not correlated with interoceptive accuracy, $r(26) = -0.26$, $p = .194$.

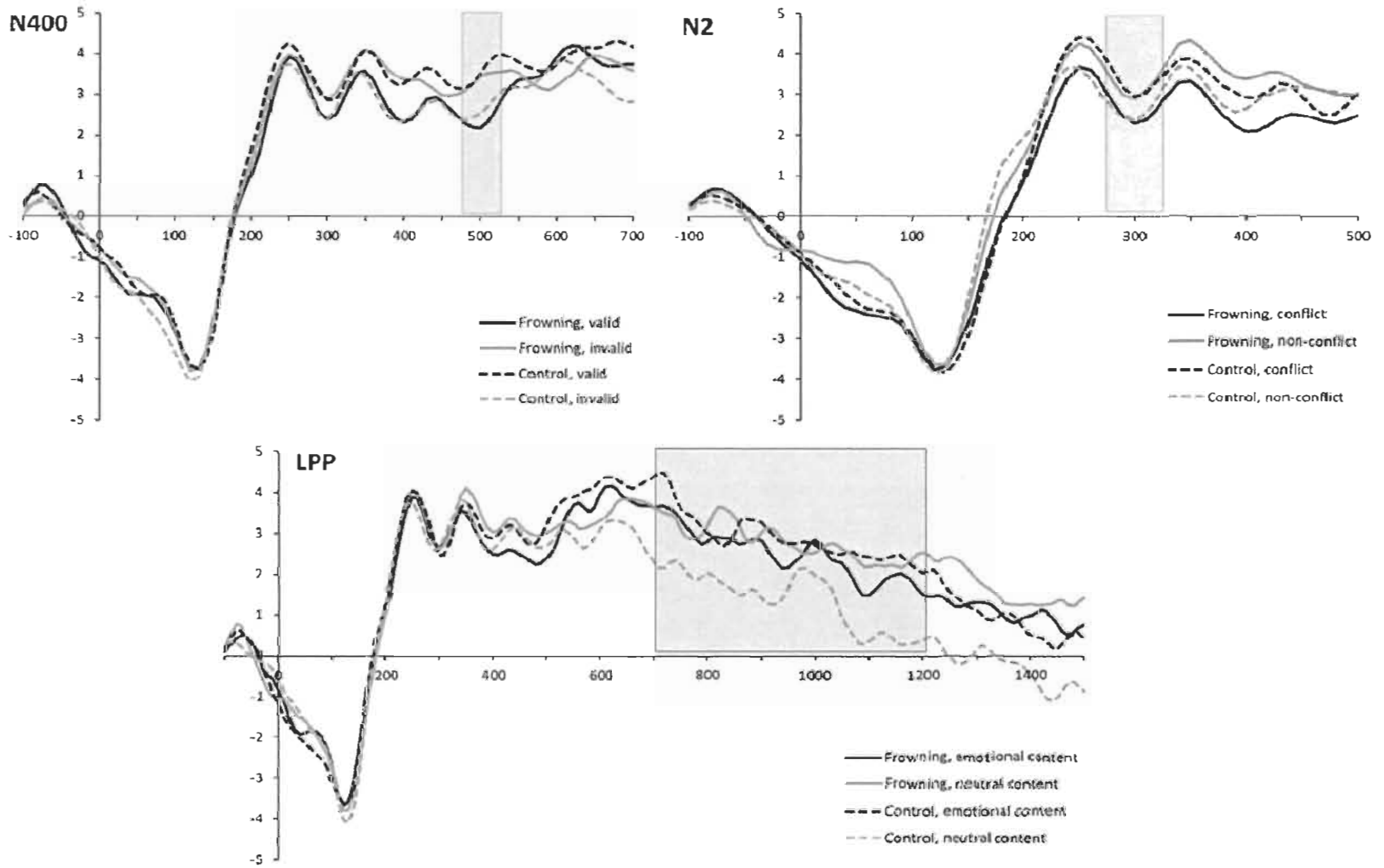


Figure 2. Averaged ERPs for N400, N2 and LPP.

There was a marginally significant correlation between interoceptive accuracy and the effect of frowning on overall reasoning accuracy. Participants tended to perform better when they were frowning, and although this main effect was not significant, there was a trend for this difference to be larger in participants with higher interoceptive accuracy. $r(26) = 0.36, p = .075$. Interoceptive accuracy was not correlated with the effects of Validity, Content or Conflict on reasoning accuracy (all $r_s < |0.22|$ and all $p_s > .282$).

Emotional state self-report

We conducted an ANOVA with self-reported emotional state as the dependant variable, and with measurement time and facial expression as independent variables. Analysis revealed that measurement Time had a significant effect on emotional state, $F'(1,93, 46.33) = 24.65 = p < .001, \eta_p^2 = .507$. Participants were in a more positive state at the beginning of the experiment (before the first reasoning block; $M = 7.27, SE = 0.28$) compared to after the first reasoning block ($M = 5.54, SE = 0.34$) and after the second reasoning block ($M = 5.54, SE = 0.37$). There was no main effect of Facial expression, $F(1, 24) = 0.16, p = .693, \eta_p^2 = .007$, and no interaction, $F'(1,93, 46.33) = 1.35, p = .269, \eta_p^2 = .053$.

Discussion

With the present study, we aimed to explore the underlying mechanisms of the effect of facial expressions in emotional reasoning. We conducted an EEG study to examine the

impact of frowning on three ERP components involved in reasoning and in the processing of emotional information. According to the existing literature, we expected that the LPP mean amplitude would be greater when the content of the syllogism was emotional compared to neutral. Moreover, we predicted that this effect would be modulated by voluntary frowning. Results confirmed that LPP amplitude was greater for emotional syllogisms, which replicated findings of a previous emotional reasoning study (Blanchette & El-Deredy, 2014). Also, as we expected, there was a trend for a modulation effect of frowning on the effect of emotional content on LPP. An exploratory analysis revealed that frowning lead to a greater LPP even in the absence of emotional stimuli. Thus, LPP was greater when either the content of the task or the facial expression was emotional. This effect was at the edge of statistical significance. The literature states that a greater LPP for emotional stimuli indicates increased sustained attention and the mobilisation of more cognitive resources, compared with the processing of neutral information (Hajcak et al., 2010). In line with this, our results suggest that frowning lead participants to process neutral syllogisms as if there were emotional, i.e., with sustained attention and with increased processing resources. This is coherent with the Facial Feedback Hypothesis which claims that facial expression influences how information is processed. For instance, voluntary smiling leads to positive ratings of ambiguous statements (Meeten et al., 2015), and voluntary frowning leads to more negative ratings of neutral and emotional stimuli (Dimberg & Söderkvist, 2011). In our study, frowning while reading neutral syllogisms might have altered participants' perception of neutral information and made it more emotional. In sum, these findings reveal that the impact of facial expression on emotional

might be explained by an effect on sustained attention towards emotional and neutral stimuli.

We also explored the impact of frowning on the N400 component which is associated with the inference process. Based on previous reasoning studies, we expected that the N400 component would be greater when the syllogism was invalid. This would indicate that participants were able to anticipate a valid conclusion, since the N400 amplitude reflects an unexpected item. Our results show that the effect of Validity on the N400 amplitude was modulated by voluntary frowning. When participants were frowning, N400 tended to be greater for valid syllogisms. Although this effect did not reach statistical significance, it suggests that the anticipation of a valid conclusion might have been blurred or disturbed by frowning. This is coherent with the results of Amato and colleagues (2012) who showed that frowning was negatively correlated with reasoning performance. Although this would have to be confirmed in a further study, our results suggest that the link between frowning and reasoning performance could be explained by a hindered anticipation of logical conclusions. Altogether, ERP results reveal that facial expressions might have an effect on mechanisms that are involved in non-emotional reasoning.

We also explored the impact of frowning on the N2 component which is associated with detection of conflict. Based on previous reasoning studies, we expected that N2 amplitude would be greater when there is a conflict between the validity and believability of a syllogism (De Neys et al., 2010). More importantly, we expected this effect to be

modulated by facial expression. Our results did not depict a clear picture. The descriptive data suggests that the N2 was greater for conflict syllogisms as predicted, but only when participants were frowning. However, no effect reached statistical significance.

In sum, results suggest that frowning modulates the impact of emotional content on reasoning accuracy through its impact on sustained attention, as it impacted the amplitude of the LPP. Results for N2 and N400 are more mixed but suggest that the impact of frowning goes beyond emotional processes. Interestingly, frowning did not impact participants' self-reported emotional state. This indicates that the effects of frowning could not be explained by the induction of an emotional state.

As predicted, our behavioral results show that reasoning performance was poorer for conflict syllogisms, which replicates previous findings (Goel & Dolan, 2003a). According to previous studies, we also expected emotional content to decrease reasoning accuracy (Blanchette & Richards, 2010), especially when participants would be frowning (Gagnon et al., under review). However, although emotional content and facial expression influenced ERP components, they had no impact on reasoning performance. Thus, we did not replicate our previous findings. This might be due to differences in the reasoning task and the facial expression manipulation. For instance, in the present study, we presented each syllogism twice, in order to reach the recommended number of trials for ERP studies. The impact of facial expression and emotional content might not be the same on the first presentation of each syllogism compared to the second presentation. Participants might

have remembered solving the syllogisms the first time and relied on memory instead of analytic thinking to give their response the second time. This would influence both behavioral and ERP measured effects. However, we observed no difference on behavioral effects between the first and second presentation of each syllogisms, which suggests that the non-replication of behavioral effects cannot be explained solely by the repetition of syllogisms. Nonetheless, solving 128 syllogisms is particularly demanding and might have resulted in fatigue, which could again reduce the mobilization of analytic thinking. Another important difference is that we manipulated facial expressions between-blocks, while the manipulation was within-blocks in our previous experiment (Gagnon et al., under review). Nevertheless, other studies have shown that cerebral activity during a reasoning task was influenced by emotional content (Goel & Dolan, 2003b) or by mood (Rodríguez-Gómez et al., 2019), without impacting behavioral response. This indicates that emotion can impact reasoning even when the impact does not reach a threshold that changes participants' response. Thus, ERP shows a greater sensitivity than behavioral response to study how emotion impact reasoning.

As an exploratory aim, we examined the role of interoception in the relationship between facial expressions and emotional reasoning. We hypothesized that frowning might have a greater effect on reasoning in participants with higher interoceptive sensitivity. Our results revealed a trend that was consistent with this hypothesis. Individuals with higher interoceptive sensitivity tended to perform better on the reasoning task when they were frowning compared to not frowning. This is consistent with previous

studies which showed that individuals who are more sensitive to interoceptive feedback are more influenced by embodiment inductions (Häfner, 2013; Herbert & Pollatos, 2012). The result we report here is also consistent with studies showing that frowning is associated with Type 2 processing (Alter et al., 2007; Thompson et al., 2013, Exp. 1b). However, this result did not reach significance, and interoceptive accuracy was not correlated with the impact of frowning on ERP components. This might be due to the fact that our Heartbeat detection task was too difficult, resulting in low variability between-subjects.

Our study has methodological limitations that should be considered. First, frowning while EEG is measured might lead to an important amount of EMG artifacts. We followed Luck's recommendations (2014) to reduce the impact of EMG artifacts on the signal. We also compared the mean amplitude of the signal and the frequency domain between the frowning and the control condition, and no significant difference was revealed. We consider that the impact of EMG artifacts on our filtered data was minimal, especially since we observed no main effect on Facial Expression on all measured components. Second, most of our results were only marginally significant, which calls for caution in interpretation. Although some of our results did not reach conventional levels of statistical significance, most of the effects we report here were consistent with previous research. This lack of statistical significance might be explained by low statistical power, or by a low signal-to-noise ratio (too many rejected trials due to artifacts). More research is needed in order to reach stronger conclusions concerning how facial expressions impact

reasoning. Another methodological limitation is that the reasoning task appeared to be particularly difficult. Participants' average accuracy on the reasoning was only slightly (although significantly) above chance level, and the emotional state measures show that participants were in a more negative after completing the task. The difficulty level of the task might be due to the large number of trials, but also to the fragmented presentation of the conclusions of the syllogisms (which was necessary to allow the measurement of ERPs). The fact that the reasoning was difficult and put participants in a more negative emotional state might have influenced the results, especially because emotional states have an impact on reasoning. Also, this increased difficulty restricted variations in average accuracy (only two participants had an average accuracy above 70%), which decreases the probability of finding significant results on behavioral data. Despite methodological limitations, our study provides a first insight into how emotional reasoning is modulated by facial expressions. Essentially, frowning appears to modulate how emotional and neutral information is processed during a reasoning task. Although more research is needed to confirm our findings, this study brings important leads for future research by showing the frowning can impact Type 1 and Type 2 processes. Moreover, our findings contribute to a better understanding of the relationship between cognition, emotion and the body.

References

- Adelmann, P. K., & Zajonc, R. B. (1989). Facial efference and the experience of emotion. *Annual Review of Psychology*, *40*(1), 249-280. doi: 10.1146/annurev.ps.40.020189.001341
- Alter, A. L., Oppenheimer, D. M., Epley, N., & Eyre, R. N. (2007). Overcoming intuition: Metacognitive difficulty activates analytic reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, *136*(4), 569-576. doi: 10.1037/0096-3445.136.4.569
- Amato, J.-N., Lindsay, P., Davies, S., & Blanchette, I. (2012). *Effet des émotions : exploration des facteurs subjectif, physiologique et cognitive*. Paper presented at the Annual Conference of the Société Québécoise de Recherche en Psychologie.
- Bago, B., Frey, D., Vidal, J., Houdé, O., Borst, G., & De Neys, W. (2018). Fast and slow thinking: Electrophysiological evidence for early conflict sensitivity. *Neuropsychologia*, *117*, 483-490. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.07.017
- Ball, L. J., & Thompson, V. A. (2018). Belief bias and reasoning. In L. J. Ball & V. A. Thompson (dir.). *The Routledge international handbook of thinking and reasoning* (pp. 16-36). England, UK: Routledge.
- Blanchette, I., & El-Deredy, W. (2014). An ERP investigation of conditional reasoning with emotional and neutral contents. *Brain and Cognition*, *91*, 45-53. doi: 10.1016/j.bandc.2014.08.001
- Blanchette, I., & Leese, J. (2011). The effect of negative emotion on deductive reasoning: Examining the contribution of physiological arousal. *Experimental Psychology*, *58*, 235-246. doi: 10.1027/1618-3169/a000090
- Blanchette, I., & Richards, A. (2010). The influence of affect on higher level cognition: A review of research on interpretation, judgement, decision making and reasoning. *Cognition & Emotion*, *24*(4), 561-595. doi: 10.1080/02699930903132496
- Coles, N. A., Larsen, J. T., & Lench, H. C. (2019). A meta-analysis of the facial feedback literature: Effects of facial feedback on emotional experience are small and variable. *Psychological Bulletin*, *145*(6), 610-651. doi: 10.1037/bul0000194
- De Neys, W. (2006). Dual processing in reasoning: Two systems but one reasoner. *Psychological Science*, *17*(5), 428-433. doi: 10.1111/j.1467-9280.2006.01723.x

- De Neys, W., Novitskiy, N., Ramautar, J., & Wagemans, J. (2010). What makes a good reasoner?: Brain potentials and heuristic bias susceptibility. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 32 [online]. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/1b8261kk>
- Dimberg, U., & Söderkvist, S. (2011). The voluntary facial action technique: A method to test the facial feedback hypothesis. *Journal of Nonverbal Behavior*, 35(1), 17-33. doi: 10.1007/s10919-010-0098-6
- Evans, J. S. B. (2003). In two minds: Dual-process accounts of reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(10), 454-459. doi: 10.1016/j.tics.2003.08.012
- Evans, J. S. B., Barston, J. L., & Pollard, P. (1983). On the conflict between logic and belief in syllogistic reasoning. *Memory & Cognition*, 11(3), 295-306. doi: 10.3758/BF03196976
- Folstein, J. R., & van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, 45(1), 152-170.
- Fridlund, A. J., & Cacioppo, J. T. (1986). Guidelines for human electromyographic research. *Psychophysiology*, 23, 567-589. doi: 10.1111/j.1469-8986.1986.tb00676.x
- Gagnon, M.-È., Amato, J.-N., & Blanchette, I. (under review). Voluntary facial expressions affect emotional reasoning. *Journal of Nonverbal Behavior*.
- Glenberg, A. M. (2015). Few believe the world is flat: How embodiment is changing the scientific understanding of cognition. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 69(2), 165-171. doi: 10.1037/cep0000056
- Goel, V., & Dolan, R. J. (2003a). Explaining modulation of reasoning by belief. *Cognition*, 87(1), B11-B22. doi: 10.1016/S0010-0277(02)00185-3
- Goel, V., & Dolan, R. J. (2003b). Reciprocal neural response within lateral and ventral medial prefrontal cortex during hot and cold reasoning. *Neuroimage*, 20(4), 2314-2321. doi: 10.1016/j.neuroimage.2003.07.027
- Häfner, M. (2013). When body and mind are talking: Interoception moderates embodied cognition. *Experimental Psychology*, 60, 255-259. doi: 10.1027/1618-3169/a000194
- Hajcak, G., MacNamara, A., & Olvet, D. M. (2010). Event-related potentials, emotion, and emotion regulation: An integrative review. *Developmental Neuropsychology*, 35(2), 129-155. doi: 10.1080/87565640903526504

- Herbert, B. M., & Pollatos, O. (2012). The body in the mind: On the relationship between interoception and embodiment. *Topics in Cognitive Science*, 4(4), 692-704. doi: 10.1111/j.1756-8765.2012.01189.x
- Klein, R. A., Vianello, M., Hasselman, F., Adams, B. G., Adams, R. B., Alper, S., ... Batra, R. (2018). Many Labs 2: Investigating variation in replicability across samples and settings. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 1(4), 443-490. doi: 10.1177/2515245918810225
- Koriat, A., & Nussinson, R. (2009). Attributing study effort to data-driven and goal-driven effects: Implications for metacognitive judgments. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(5), 1338-1343. doi: 10.1037/a0016374
- Kunkel, A., Filik, R., Mackenzie, I. G., & Leuthold, H. (2018). Task-dependent evaluative processing of moral and emotional content during comprehension: An ERP study. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 18(2), 389-409. doi: 10.3758/s13415-018-0577-5
- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annual Review of Psychology*, 62, 621-647. doi: 10.1146/annurev.psych.093008.131123
- Luck, S. J. (2004). Ten simple rules for designing and interpreting ERP experiments. In T.C. Handy (dir.). *Event-related potentials: A methods handbook* (pp. 17-32). Cambridge, MA: MIT Press.
- Luck, S. J. (2014). *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge, MA: MIT press.
- McIntosh, D. N. (1996). Facial feedback hypotheses: Evidence, implications, and directions. *Motivation & Emotion*, 20(2), 121-147. doi: 10.1007/BF02253868
- Meeten, F., Ivak, P., Dash, S. R., Knowles, S., Duka, T., Scott, R., ... Davey, G. C. (2015). The effect of facial expressions on the evaluation of ambiguous statements. *Journal of Experimental Psychopathology*, 6(3), 253-263. doi: 10.5127/jep.039613
- Moser, J. S., Hajcak, G., Bukay, E., & Simons, R. F. (2006). Intentional modulation of emotional responding to unpleasant pictures: An ERP study. *Psychophysiology*, 43(3), 292-296. doi: 10.1111/j.1469-8986.2006.00402.x

- Nieuwenhuis, S., Yeung, N., van den Wildenberg, W., & Ridderinkhof, K. R. (2003). Electrophysiological correlates of anterior cingulate function in a go/no-go task: Effects of response conflict and trial type frequency. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3(1), 17-26. doi: 10.3758/CABN.3.1.17
- Pollatos, O., Traut-Mattusch, E., Schroeder, H., & Schandry, R. (2007). Interoceptive awareness mediates the relationship between anxiety and the intensity of unpleasant feelings. *Journal of Anxiety Disorders*, 21(7), 931-943. doi: 10.1016/j.janxdis.2006.12.004
- Rodríguez-Gómez, P., Pozo, M. Á., Hinojosa, J. A., & Moreno, E. M. (2019). Please be logical, I am in a bad mood: An electrophysiological study of mood effects on reasoning. *Neuropsychologia*, 127, 19-28. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2019.02.008
- Rodríguez-Gómez, P., Rincón-Pérez, I., Santaniello, G., Poch, C., Pozo, M. A., Hinojosa, J. A., & Moreno, E. M. (2018). When logical conclusions go against beliefs: An ERP study. *Language, Cognition and Neuroscience*, 33(6), 687-697. doi: 10.1080/23273798.2017.1401649
- Schandry, R. (1981). Heart beat perception and emotional experience. *Psychophysiology*, 18(4), 483-488. doi: 10.1111/j.1469-8986.1981.tb02486.x
- Shah, P., Hall, R., Catmur, C., & Bird, G. (2016). Alexithymia, not autism, is associated with impaired interoception. *Cortex*, 81, 215-220. doi: 10.1016/j.cortex.2016.03.021
- Stepper, S., & Strack, F. (1993). Proprioceptive determinants of emotional and nonemotional feelings. *Journal of Personality and Social Psychology*, 64(2), 211-220. doi: 10.1037/0022-3514.64.2.211
- Thompson, V. A., Turner, J. A. P., Pennycook, G., Ball, L. J., Brack, H., Ophir, Y., & Ackerman, R. (2013). The role of answer fluency and perceptual fluency as metacognitive cues for initiating analytic thinking. *Cognition*, 128(2), 237-251. doi: 10.1016/j.cognition.2012.09.012
- Trémolière, B., Gagnon, M.-È., & Blanchette, I. (2016). Cognitive load mediates the effect of emotion on analytical thinking. *Experimental Psychology*, 63(6), 343-350. doi: 10.1027/1618-3169/a000333
- Viau-Quesnel, C., Savary, M., & Blanchette, I. (2019). Reasoning and concurrent timing: A study of the mechanisms underlying the effect of emotion on reasoning. *Cognition & Emotion*, 33(5), 1020-1030. doi: 10.1080/02699931.2018.1535427

- Warriner, A. B., Kuperman, V., & Brysbaert, M. (2013). Norms of valence, arousal, and dominance for 13,915 English lemmas. *Behavior Research Methods*, *45*(4), 1191-1207. doi: 10.3758/s13428-012-0314-x
- Yao, S., Becker, B., Zhao, W., Zhao, Z., Kou, J., Ma, X., ... Kendrick, K. M. (2018). Oxytocin modulates attention switching between interoceptive signals and external social cues. *Neuropsychopharmacology*, *43*(2), 294-301. doi: 10.1038/npp.2017.189

Transition vers l'article 3

L'étude rapportée dans l'Article 2 présente une exploration des mécanismes impliqués dans l'influence des expressions faciales sur le raisonnement émotionnel. Les résultats comportementaux n'ont pas répliqué le rôle modulateur du froncement des sourcils sur la performance au raisonnement émotionnel. Toutefois, la mesure de l'activité électrophysiologique du cerveau indique que le froncement des sourcils a influencé deux mécanismes impliqués dans le raisonnement : l'attention soutenue envers les contenus émotionnels ainsi que le processus d'inférence. Les résultats obtenus n'ont pas tous atteint le seuil de significativité statistique, mais les tailles d'effet étaient tout de même moyennes à grandes. L'influence du froncement des sourcils sur l'attention soutenue envers les stimuli émotionnels est cohérente avec l'hypothèse de la rétroaction faciale, selon laquelle les expressions faciales influencent le traitement de l'information. Le froncement des sourcils semble également nuire au processus d'inférence, ce qui est cohérent avec le lien entre le froncement des sourcils et les erreurs de logique (Amato et al., 2012). En somme, cette étude présente une première exploration des mécanismes impliqués dans la relation entre le raisonnement et les émotions incarnées dans les expressions faciales. Au-delà des expressions faciales, les émotions sont également incarnées dans la posture. Différentes études antérieures montrent l'impact potentiel de la posture sur différents processus cognitifs (p. ex., Dijkstra et al., 2012; Eerland et al., 2011; Peper et al., 2017), mais ceci n'a pas encore été exploré pour des fonctions cognitives de haut niveau. L'étude rapportée dans l'Article 3 présente une exploration du rôle de la posture dans le raisonnement.

Chapitre 3

Article 3. Posture Modulates the Impact of Emotional Content on Reasoning

Posture Modulates the Impact of Emotional Content on Reasoning

Marie-Ève Gagnon¹ (ORCID : 0000-0001-7588-8807)

Claudine Gélinas¹

Isabelle Blanchette^{1 2} (ORCID : 0000-0003-4020-5089)

¹ Psychology Department, Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

² École de Psychologie, Université Laval, Canada

Correspondence should be addressed to Marie-Ève Gagnon: marie-eve.gagnon@uqtr.ca

Declarations

Funding: This study was funded by the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada.

Conflicts of interest: The authors have no conflicts of interest to declare that are relevant to the content of this article.

Ethics approval: This research was approved by the Ethic committee at Université du Québec à Trois-Rivières (Date: July 4th, 2017; No: CER-17-236-07.23)

Consent to participate: Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

Consent for publication: Not applicable.

Availability of data and material: Data supporting our findings will be made available upon publication.

Code availability: Not applicable.

Résumé

La théorie de la cognition incarnée suggère que les actions et perceptions du corps sont impliquées dans les processus cognitifs. Plusieurs études démontrent que la posture influence divers processus cognitifs et émotionnels, notamment les jugements politiques, le rappel de souvenirs, le biais attentionnel et l'humeur (Dijkstra, Eerland, Zijlmans, & Post, 2012; Nair, Sagar, Sollers III, Consedine, & Broadbent, 2015; Rosenbaum, Mama, & Algom, 2017). Des études précédentes (Amato, Lindsay, Davies, & Blanchette, 2012) suggèrent que la dimension corporelle de l'émotion, incluant l'activation physiologique et les expressions faciales, joue un rôle dans le raisonnement émotionnel. La posture fait également partie de la dimension corporelle des émotions et pourrait influencer le raisonnement émotionnel. Dans cette étude, nous avons exploré le rôle de la posture dans le raisonnement émotionnel en manipulant la posture des participants pendant une tâche de raisonnement avec un contenu émotionnel et neutre. Selon notre expérience précédente sur l'expression faciale et conformément aux effets de la rétroaction périphérique, nous avons émis l'hypothèse qu'une posture affaissée (liée à un affect négatif) augmenterait l'impact du contenu émotionnel sur la performance au raisonnement, comparativement à une posture droite. Les résultats n'ont pas confirmé cette hypothèse : l'effet du contenu émotionnel sur la performance au raisonnement était plus grand lorsque les participants étaient dans une posture verticale. Bien que surprenants, ces résultats apportent un nouvel appui aux théories de la cognition incarnée, en démontrant pour la première fois que la posture peut avoir un impact sur un processus de haut niveau. Nous discutons de ces résultats à la lumière des effets non-émotionnels de la posture sur la cognition.

Abstract

The Embodied Cognition Theory suggests that actions and perceptions of the body are involved in cognitive processes. Several studies demonstrate how posture impacts various cognitive and emotion processes, including political judgements, the recall of personal events, attentional bias and mood. Our previous experiments suggest that bodily components of emotion, such as arousal and facial expressions, play a role in emotional reasoning. Emotional reasoning may also be influenced by posture. In this study, we explored the role of posture in emotional reasoning, by manipulating participants' posture during a reasoning task with emotional and neutral content. According to our previous experiment on facial expression and consistently with peripheral feedback effects, we hypothesized that a slouched posture (related to a negative affect) would increase the impact of emotional content on reasoning accuracy, compared to an upright posture. Results did not confirm this hypothesis: the effect of the emotional content on reasoning accuracy was larger when participants were in an upright posture. Although surprising, the results bring new support to the Embodied Cognition Theory, by demonstrating for the first time that posture can impact a high-level process. We discuss these results in the light of posture-cognition dual-task models.

Keywords: Posture, Emotion, Reasoning, Embodiment

Introduction

Contrary to early approaches that represented the body and the mind as two distinct and independent entities, Embodiment Theories suggest that actions and perceptions in the body are involved in cognitive processes (Glenberg, 2015). Studies from the last decade support these theories, revealing that cognitive function is importantly influenced by the position of the body. For instance, standing (vs sitting) modulates cognitive control (Smith, Davoli, Knapp, & Abrams, 2019; Stephan, Hensen, Fintor, Krampe, & Koch, 2018) as well as attentional bias (Rosenbaum et al., 2017; Smith et al., 2019). Also, an upright posture is associated with improved mathematical performance (Peper, Harvey, Mason, & Lin, 2018), crossed arms are associated with a greater persistence and performance in a difficult task (Friedman & Elliot, 2008), and a clenched fist facilitates response to pleasant stimuli (Tops & De Jong, 2006). Furthermore, leaning forward increases neural activations associated with desire or interest (Harmon-Jones, Gable, & Price, 2011), while leaning from side to side has an impact on ambivalence (Schneider et al., 2013) and leaning to one side or another impacts political judgment (Dijkstra et al., 2012) and estimation of quantities (Eerland, Guadalupe, & Zwaan, 2011). These studies illustrate how the position of the body has an influence on various cognitive tasks in experimental contexts, and consequently in daily operations where posture is widely variable. In this study, we will explore how this influence of the body on cognitive operations, specifically posture, may operate in high level cognition and how it may interact with emotions.

Posture may influence cognitive processes by activating mental representations that facilitate or hinder specific behavioural responses. For example, leaning to one side or another could activate metaphorical concepts that are often represented on a spatial horizontal axis, such as political views (left or right political ideology; Dijkstra et al., 2012) or quantities (smaller quantities to the left and larger to the right; Eerland et al., 2011). Similarly, leaning forward or backwards could activate an approach or avoidance motivation (Harmon-Jones et al., 2011; Price & Harmon-Jones, 2011) and facilitate congruent behaviour (van den Bergh, Schmitt, & Warlop, 2011). Regardless of the specific explanatory mechanism, many studies now confirm the impact of body position on various cognitive operations. In addition to cognitive processes, body position may also influence emotional experience.

Posture and Emotional Experience

Posture is closely related to emotional experience and emotional thoughts, possibly because it is one of the ways in which emotions are conveyed in the body. Several studies reveal that the link between posture and emotion is bidirectional. The fact that posture can trigger emotional experience is in line with theories of embodied emotion, which suggest that the experience of emotion partly relies on bodily expressions of emotion (Niedenthal, 2007; Winkielman, Niedenthal, Wielgosz, Eelen, & Kavanagh, 2015). Although most of the literature on embodied emotion is focused on facial expressions, examining the embodiment of emotion in posture can contribute to a better understanding of embodiment mechanisms (McIntosh, 1996). Inducing postures associated with specific emotions like

anger, sadness, fear and happiness leads to an increased feeling of the congruent emotion (Duclos et al., 1989; Flack, 2006; Flack, Laird, & Cavallaro, 1999). An upright posture increases self-esteem and positive mood (Nair et al., 2015) as well as feelings of pride (Stepper & Strack, 1993), while decreasing feelings of fear (Nair et al., 2015) along with anxiety and negative thoughts (Peper, Harvey, & Hamiel, 2019). The positive impact of an upright posture was also observed in patients with depressive symptoms, who reported more positive affect during the posture induction (Wilkes, Kydd, Sagar, & Broadbent, 2017). Conversely, a slouched posture for individuals without psychopathological symptoms leads to an increase in negative mood and thoughts and decreases the emotional recovery from an induced negative mood (Veenstra, Schneider, & Koole, 2017).

The influence of posture expands beyond the subjective experience of emotions. The retrieval of autobiographical events is facilitated when the position of the body is similar to the one in the recalled event (e.g., lying down while recalling an event that happened in a dentist chair; Dijkstra, Kaschak, & Zwaan, 2007), or when in a posture that is congruent with the emotional valence of the event (i.e., recalling a negative event while in a slouched posture; Peper, Lin, Harvey, & Perez, 2017; Wilson & Peper, 2004). Furthermore, a recent EEG study showed that evoking positive thoughts takes more mental effort when in a slouched posture compared to an erect posture (Tsai, Peper, & Lin, 2016), suggesting that posture can facilitate congruent cognitive tasks.

Altogether, inductions of body posture produce effects that are consistent with one specific embodied emotion theory: the Facial Feedback Hypothesis. As early suggested by the James-Lange theory of emotion (James, 1884), the Facial Feedback Hypothesis suggests that facial movements provide interoceptive feedback that contributes to emotional states (Adelmann & Zajonc, 1989; Coles, Larsen, & Lench, 2019; Craig, 2002; McIntosh, 1996). Evidence of similar effects of posture suggests the existence of a more general peripheral feedback mechanism (Flack, 2006). Consistent with this, individuals who are more sensitive to general interoceptive feedback experience more intense and more negative emotions (Critchley, Wiens, Rotshtein, Öhman, & Dolan, 2004; Schandry, 1981; Wiens, Mezzacappa, & Katkin, 2000). Moreover, some embodied cognition effects were observed only in individuals who have higher interoceptive accuracy (Häfner, 2013; Herbert & Pollatos, 2012). Some suggest that facial feedback activates emotional concepts that facilitate congruent emotional reports, similarly as the suggested mechanisms for embodied cognition. In sum, previous studies show that posture can impact a range of cognitive processes and emotional experience. While the influence of the body has been observed for different cognitive processes, from language to attention, few studies, to our knowledge, have focused on high-level cognitive processes such as reasoning, which is also known to be influenced by emotion.

The Body and Reasoning

Reasoning is impacted by emotional states (Channon & Baker, 1994; Oaksford, Morris, Grainger, & Williams, 1996) and by the emotional content of reasoning problems

(Blanchette, 2006; Blanchette & Leese, 2011; Blanchette & Richards, 2004; Eliades, Mansell, & Blanchette, 2013). Although the impact of emotion on reasoning is well documented, the role of the “bodily” dimension of emotion in this effect has only been investigated in a few studies. Greater skin conductance reactivity (Blanchette & Leese, 2011) and stronger facial expressions (Amato et al., 2012) in response to emotional stimuli presented in a reasoning task are associated with more logical errors. Also, a high cardiovascular activity is associated to heuristic processing (Ell, Cosley, & McCoy, 2011), which also usually leads to more logical errors (as opposed to analytic thinking; Evans, 2006). Although these studies are correlational, they suggest that the impact of emotion on reasoning might be stronger when emotions are more strongly embodied. We recently examined this hypothesis by experimentally manipulating individuals’ facial expressions during a reasoning task (Gagnon, Amato, & Blanchette, under review). Results showed that when individuals were voluntarily frowning during the reasoning task, the emotional stimuli had a greater deleterious impact on logical reasoning, compared to when participants were not frowning. These results support the idea of an embodiment of emotional reasoning, by which the bodily dimension of emotion potentially plays a role in emotional reasoning,

In sum, existing literature shows that cognitive processes and emotional experiences are both influenced by posture. Emotional reasoning is embodied in physiological and expressive dimensions of emotion but has not yet been linked to posture. Dijkstra and colleagues (2012) suggest that the impact of the body on cognition may be increased when

manipulating the whole-body position, as opposed to specific parts only, such as facial expressions. Therefore, posture has the potential to impact emotional reasoning processes. While we rarely take account of our posture in daily activities, posture can spontaneously vary greatly during different cognitive tasks and through varied emotional experiences. Here we focus on the possible role of posture in emotional reasoning to better understand how the bodily components of emotions impact higher level cognitive processes.

Objectives and Hypotheses

In the present study, we aim to explore the role of posture in emotional reasoning. Based on the Facial Feedback Hypothesis and on our previous experiments on facial expression, we hypothesize that a posture associated with negative affect will trigger a negative emotional experience, which could increase the impact of negative emotional content on logical reasoning. Specifically, we expect participants to reason less logically about emotional contents compared to neutral contents, and we expect this effect to be larger when participants are in a slouched posture. Furthermore, recent studies suggest that some individuals have a higher interoceptive accuracy than others, and that they are influenced by physical manipulations to a greater extent. Therefore, we hypothesize that the impact of induced posture will be greater in individuals who have higher interoceptive accuracy, measured with a Heartbeat perception task.

Method

Participants and Design

Thirty-six participants were recruited on campus at University of Quebec in Trois-Rivières (Canada). In a 2×2 within-subject design, we manipulated participants' posture (slouched and upright) during a reasoning task, and the emotional valence (negative and neutral) of the contents of the reasoning problems. We measured the effect of these manipulations on participants' reasoning accuracy (proportion of logically correct answers) and response time (RT). Sample size was determined a priori based on a previous study with a similar method that investigated the influence of induced facial expressions on emotional reasoning (Gagnon et al., under review). Facial expressions and the emotional content of a reasoning task interacted to influence reasoning accuracy, with a medium effect size ($\eta_p^2 = .073$). The a priori power analysis revealed that 36 participants were needed in order to reach a power of 90% to detect a similar effect.

Materials

Reasoning Task. We used 32 categorical syllogisms that were pre-tested in a previous study for their emotional value (see Trémolière, Gagnon, & Blanchette, 2016). Half of the syllogisms included emotional content. They were rated as significantly more emotionally intense than the other half that included neutral content. Table 4 shows examples of syllogisms with negative and neutral content.

Table 4

Examples of neutral and emotional content of the reasoning task

	Neutral content	Emotional content
Premises	Some tall persons are astronauts, All astronauts are healthy	Some kidnapers are pedophiles, All pedophiles are bad
Conclusion	Therefore, some tall persons are healthy	Therefore, some kidnapers are bad

On each trial, the two premises of a syllogism were first presented for seven seconds before the conclusion appeared below the premises. Participants were asked to consider the premises as necessarily true and determine whether the conclusion was logically valid or invalid, based on the premises. The whole syllogism was visible on the screen until participants gave their answer by using the keyboard. We measured RT starting from the moment the conclusion appeared. The syllogisms were randomly divided in two blocks to allow the manipulation of posture between blocks. Due to a programming error, the order of the syllogisms in one of the two blocks was not randomized, however, this did not significantly impact reasoning accuracy ($p = .416$).

Posture Manipulation. We used a technique inspired by Peper and colleagues (2017) to instruct participants to pose two different postures during the reasoning task. In one block, participants were instructed that they should hold a strong muscle tone by keeping their spine as straight as possible while slightly pulling their shoulders towards the back. This created an upright posture which is generally associated with positive emotions such

as pride (Weisfeld & Beresford, 1982). In the other block, participants were asked to have a low muscle tone by letting their spine, shoulders and neck naturally lean forward. This created a strongly slouched posture which is generally associated with negative emotions such as shame (Keltner, 1995) and sadness (Duclos et al., 1989). In order to allow participants to properly see the computer screen even when in the slouched posture (with their head facing downward), during that block the computer screen was moved to a lower position, closer to their feet. When in the upright position, the screen was on regular eye-level. For each block, participants were instructed to keep the same posture until the end of the block. The order of the blocks was counterbalanced between-subject.

Measurement of Posture. Throughout the experiment, we measured the inclination of participants' spine as a manipulation check. This was measured using the Upright GO device (www.uprightpose.com). In the upright posture, we placed the device on the participants' spine at the shoulders level. In the slouched posture, the device was on participants' chest, at the same level. In both positions, the device was programmed to vibrate whenever participants would move from the instructed posture, as a reminder to correct their posture according to instructions. Additionally, the device recorded the approximate amount of time participants did not maintain the instructed posture.

Cover Story. To ensure participants would not pay undue attention to the emotions displayed through their postures during the experiment, we used a cover story (see Dimberg, Thunberg, & Grunedal, 2002) similar to the one we used in our previous

experiment (Gagnon et al., under review), which stated that we were studying how cognitive resources were affected by muscle tone.

Heartbeat Perception Task. To measure participants' interoceptive accuracy, we used the Heartbeat perception task (Schandry, 1981) with modified instructions. In the original task, participants were instructed to count their heartbeats, and the number of heartbeats they reported was compared to their actual number of heartbeats recorded with ECG. We considered that this would allow participants to guess how many heartbeats they should have felt instead of focussing on true perceptions. Therefore, we modified the instructions by asking participants to press the spacebar anytime they felt one of their own heartbeats, and we specifically asked them not to guess but to report only the heartbeats they genuinely perceived. We encouraged them to close their eyes, relax and stay still during the task to help them focus on internal sensations from inside their chest. This task was divided in three blocks – one before and after each reasoning block – during 25, 35 and 45 seconds. Participants' posture was not manipulated during this task.

ECG Measurement. To compare participant's perceived heartbeats with their actual heartbeats, we measured their heart rate with three ECG electrodes (RA, LA, LL). We used Biopac's Electrocardiogram Amplifier Module and the Biopotential Amplifier (BiopacSystems, Inc.) to record data with a 2000 Hz sampling rate.

Procedure

The experimenter first installed the ECG electrodes as well as the Upright GO device on participants and gave instructions regarding the tasks. Participants completed the first block of the Heartbeat perception task, followed by a practice block of the reasoning task. Then, they completed the two reasoning blocks with the induced postures – one block in an upright posture and the other in a slouched posture – with a block of the Heartbeat perception task between the two reasoning blocks. Finally, they completed the last block of the Heartbeat perception task.

Statistical Analysis

Participants responded to the reasoning trials in an average of 12.84 seconds ($SD = 15.42$). As determined a priori (see Gagnon et al., under review), we excluded the trials where RTs were shorter than one second, because the task could not be properly executed in such a short amount of time. Then, we excluded RTs exceeding $\pm 2 SD$ from the average of each participant and replaced them with the maximal accepted value (mean $\pm 2 SD$). Overall, 5.82% of the trials were excluded based on RTs.

We conducted statistical analyses of reasoning accuracy (in percentage) and RTs (in seconds) with SPSS software. We used a repeated-measures ANOVA with Posture (upright or slouched) and Emotional valence of the content (emotional or neutral) as independent variables. To conduct additional analyses about interoceptive accuracy, we used the peak detection function in Acknowledge 4.4.1 software to extract the number of

heartbeats recorded with ECG during each block. We calculated the interoceptive accuracy score for each participant with Pollatos and colleagues' equation (Pollatos, Traut-Mattausch, Schroeder, & Schandry, 2007; Yao et al., 2018):

$$\frac{1}{3} \sum \left(1 - \frac{|perceived\ heartbeats - actual\ heartbeats|}{actual\ heartbeats} \right)$$

The mean score of our participants was 0.30 ($SD = 0.24$), out of a maximum score of 1 (all heartbeats are perceived). This is relatively low in comparison with previous studies which scores varied approximately between 0.60 and 0.80 (Pollatos et al., 2007; Shah, Hall, Catmur, & Bird, 2016; Yao et al., 2018). However, this difference is conceivably due to our modifications in the instructions of the task, which aimed to decrease the occurrence of guessed (e.g., not truly perceived) heartbeats. We conducted a correlation analysis to test whether the score of each participant was associated with the effect of emotional content on reasoning accuracy and RT (the difference between trials with emotional content and neutral content), for the slouched and the upright conditions.

Results

Reasoning Accuracy

Participants had an average reasoning accuracy of 73.44% ($SD = 12.62$). All 36 participants gave accurate responses on more than 50% of trials, and none of them gave repetitive responses, suggesting they all understood the task and completed it diligently. The ANOVA on reasoning accuracy revealed a marginally significant interaction between

Posture and Emotional valence, $F(1, 35) = 3.02, p = .091, \eta_p^2 = .079$. Pairwise comparisons with Bonferroni adjustment showed that when participants were in an upright posture, they performed worse on emotional syllogisms ($M = 65.97, SE = 2.93$) than on neutral ones ($M = 79.17, SE = 2.44$) with a large effect size ($t(35) = 4.93, p < .001, \eta_p^2 = .410$). When in a slouched posture, participants still performed worse on emotional ($M = 71.18, SE = 3.10$) than neutral syllogisms ($M = 77.43, SE = 2.22$), but the effect size was small ($t(35) = 2.35, p = .024, \eta_p^2 = .136$). Overall, the analysis revealed a main effect of Emotional valence ($F(1, 35) = 30.22, p < .001, \eta_p^2 = .463$), but no main effect of Posture ($F(1, 35) = 0.71, p = .406, \eta_p^2 = .020$).

Reasoning Response Time

The ANOVA on reasoning RT (in seconds) detected a significant main effect of Emotional valence, $F(1, 34) = 17.99, p < .001, \eta_p^2 = .346$, as participants gave their responses more slowly when syllogisms were emotional ($M = 11.64, SE = 1.03$) than when they were neutral ($M = 9.44, SE = 0.92$). Posture had no effect on RT ($F(1, 34) = 0.64, p = .429, \eta_p^2 = .019$), and the interaction was not significant ($F(1, 35) = 0.29, p = .592, \eta_p^2 = .009$).

Interoceptive Accuracy

The correlation analysis revealed that in both the slouched and the upright conditions, the interoceptive accuracy was not correlated with the difference between emotional syllogisms and neutral syllogisms on neither accuracy (all $ps > .205$) nor RT (all $ps > .818$).

Manipulation Check

The recordings from the Upright GO indicated the approximate amount of time where participants did not follow posture instructions. When participants moved for even one second from the position they were asked to hold, the device noted a deviation of one minute from the targeted posture (this was due to a lack of precision in our instrument). Data showed that in the slouched condition, all participants kept the slouched posture for the entire task. In the upright condition, participants kept the upright posture except for three participants, whose posture deviated from the upright position only once each (for less than one minute).

Discussion

Previous literature showed that posture can impact cognitive processes and emotional experience. Moreover, embodiment of emotion may impact emotional reasoning. In the study we report here, we aimed to further understand how the bodily dimension of emotions impacts reasoning, by exploring the role of posture. We hypothesized that an induced slouched posture would modulate the influence of emotion on reasoning, by

increasing the impact of emotional content on accuracy. This hypothesis was based on previous experiments on facial expressions, where negative emotional content decreased reasoning accuracy only when participants were displaying a negative facial expression on their faces. This hypothesis was also consistent with the Facial Feedback Hypothesis and the Embodied Emotion theory, suggesting that the expression of emotion in the body can trigger or enhance emotional experience in a manner consistent with the bodily expression. Thus, we predicted that a slouched posture – which generally expresses negative affect – would exacerbate the deleterious impact of negative emotional content on reasoning. Our results showed a trend consistent with the hypothesis that induced posture can modulate the impact of emotional content on reasoning. However, contrary to our hypothesis, the slouched posture did not increase the impact of emotion. Instead, reasoning accuracy was less impacted by emotional content when participants were in a slouched posture compared to upright. In an additional hypothesis, we expected the interoceptive accuracy to be related with the impact of posture on reasoning, but the analysis revealed no such effect. We discuss here some possible explanations for the impact of posture on emotional reasoning.

Our results are not consistent with predictions of Embodied Emotion Theory. We propose that the impact of posture on reasoning might, in this case, be better explained by mechanisms that are not directly related to emotions. There is growing research about the cognitive correlates of posture, linking posture with dual tasking. Postural control, even in common postures like standing, requires cognitive resources (Fraizer & Mitra, 2008;

Samuel, Solomon, & Mohan, 2015; Stephan et al., 2018; Woollacott & Shumway-Cook, 2002). In our experiment, it is possible that the induced upright posture was more demanding in terms of postural control compared to a slouched posture, leaving less resources available to complete the task. This is consistent with the finding that reasoning about emotional content requires more cognitive resources than reasoning about neutral content (Trémolière et al., 2016). Thus, reasoning about emotional content while in an upright posture might result in a poorer performance due to a greater cognitive load. This remains a speculative explanation that requires further examination.

Our experiment presents statistical and methodological limitations that should be considered while interpreting the results. First, the main limitation is the fact that the main results rely on an interaction effect that only approached statistical significance. The emotional content had a main effect on reasoning accuracy, but the interaction with posture was weak, which calls for caution when interpreting the impact of posture on emotional reasoning. Second, the induced posture may have caused discomfort in participants, and this may have influenced their performance. This would be especially problematic if one posture condition caused more discomfort than the other. Informal conversations with participants indicated that the two postures were both slightly uncomfortable. Furthermore, recent studies suggest that physical discomfort does not necessarily impact performance on cognitive tasks (Baker, 2019; DenHartog & Koerhuis, 2017). Finally, we did not include a control condition where participants would complete reasoning trials in a natural posture (without any specific instructions regarding the

position of the body). We figured that in any experiment, the natural posture of participants mostly depends on the chair and the position of the computer screen. Therefore, we decided to include only two conditions of postures with strong differences, as a first exploration of how posture could impact reasoning. Unfortunately, the absence of a neutral control condition restricts our interpretation of results, because we cannot know whether upright posture increases the effect of emotion on reasoning or whether the slouched posture decreases it, relative to a neutral control.

Despite these methodological limitations, the present study provides some insight regarding the relationship between emotion and reasoning. Our results suggest that models of emotional reasoning might be improved by taking into account of the bodily component of emotion. We recommend collecting more data on the embodiment of reasoning to better understand the distinctive roles of facial expression and posture. Our results illustrate that the way the body impacts cognition is complex. This brings a new support to the general idea of Embodied Cognition.

References

- Adelmann, P. K., & Zajonc, R. B. (1989). Facial efference and the experience of emotion. *Annual Review of Psychology*, 40(1), 249-280. doi: 10.1146/annurev.ps.40.020189.001341
- Amato, J.-N., Lindsay, P., Davies, S., & Blanchette, I. (2012). *Effet des émotions : exploration des facteurs subjectif, physiologique et cognitive*. Paper presented at the Annual Conference of the Société Québécoise de Recherche en Psychologie.
- Baker, R. A. (2019). *The impact of prolonged sitting and alternate work positions on musculoskeletal discomfort and cognitive performance* (Doctoral dissertation, Curtin University, Bentley, Australia). Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11937/76119>
- Blanchette, I. (2006). The effect of emotion on interpretation and logic in a conditional reasoning task. *Memory & Cognition*, 34(5), 1112-1125. doi: 10.3758/BF03193257
- Blanchette, I., & Leese, J. (2011). The effect of negative emotion on deductive reasoning: Examining the contribution of physiological arousal. *Experimental Psychology*, 58, 235-246. doi: 10.1027/1618-3169/a000090
- Blanchette, I., & Richards, A. (2004). Reasoning about emotional and neutral materials: Is logic affected by emotion?. *Psychological Science*, 15(11), 745-752. doi: 10.1111/j.0956-7976.2004.00751.x
- Channon, S., & Baker, J. (1994). Reasoning strategies in depression: Effects of depressed mood on a syllogism task. *Personality and Individual Differences*, 17(5), 707-711. doi: 10.1016/0191-8869(94)90148-1
- Coles, N. A., Larsen, J. T., & Lench, H. C. (2019). A meta-analysis of the facial feedback literature: Effects of facial feedback on emotional experience are small and variable. *Psychological Bulletin*, 145(6), 610-651. doi: 10.1037/bul0000194
- Craig, A. D. (2002). How do you feel? Interoception: The sense of the physiological condition of the body. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(8), 655-666. doi: 10.1038/nrn894
- Critchley, H. D., Wiens, S., Rotshtein, P., Öhman, A., & Dolan, R. J. (2004). Neural systems supporting interoceptive awareness. *Nature Neuroscience*, 7(2), 189-195. doi: 10.1038/nn1176

- DenHartog, E. A., & Koerhuis, C. L. (2017). Mutual interaction effects between discomfort and cognitive task performance in clothing systems. *The Journal of the Textile Institute*, *108*(5), 664-673. doi: 10.1080/00405000.2016.1179089
- Dijkstra, K., Eerland, A., Zijlmans, J., & Post, L. (2012). How body balance influences political party evaluations: A Wii balance board study. *Frontiers in Psychology*, *3*, 1-8. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00536
- Dijkstra, K., Kaschak, M. P., & Zwaan, R. A. (2007). Body posture facilitates retrieval of autobiographical memories. *Cognition*, *102*(1), 139-149. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00536
- Dimberg, U., Thunberg, M., & Grunedal, S. (2002). Facial reactions to emotional stimuli: Automatically controlled emotional responses. *Cognition & Emotion*, *16*(4), 449-471. doi: 10.1080/02699930143000356
- Duclos, S. E., Laird, J. D., Schneider, E., Sexter, M., Stern, L., & van Lighten, O. (1989). Emotion-specific effects of facial expressions and postures on emotional experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, *57*(1), 100-108. doi: 10.1037/0022-3514.57.1.100
- Eerland, A., Guadalupe, T., & Zwaan, R. (2011). Leaning to the left makes the Eiffel Tower seem smaller: Posture-modulated estimation. *Psychological Science*, *22*, 1511-1514. doi: 10.1177/0956797611420731
- Eliades, M., Mansell, W., & Blanchette, I. (2013). The effect of emotion on statistical reasoning: Findings from a base rates task. *Journal of Cognitive Psychology*, *25*(3), 277-282. doi: 10.1080/13546783.2012.713317
- Ell, S. W., Cosley, B., & McCoy, S. K. (2011). When bad stress goes good: Increased threat reactivity predicts improved category learning performance. *Psychonomic Bulletin & Review*, *18*(1), 96-102. doi: 10.3758/s13423-010-0018-0
- Evans, J. S. (2006). The heuristic-analytic theory of reasoning: Extension and evaluation. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*(3), 378-395. doi: 10.3758/BF03193858
- Flack, W. (2006). Peripheral feedback effects of facial expressions, bodily postures, and vocal expressions on emotional feelings. *Cognition & Emotion*, *20*(2), 177-195. doi: 10.1080/02699930500359617
- Flack, W., Laird, J. D., & Cavallaro, L. A. (1999). Separate and combined effects of facial expressions and bodily postures on emotional feelings. *European Journal of Social Psychology*, *29*(2-3), 203-217. doi: 10.1002/(SICI)1099-0992(199903/05)29:2/3%3C203::AID-EJSP924%3E3.0.CO;2-8

- Fraizer, E. V., & Mitra, S. (2008). Methodological and interpretive issues in posture-cognition dual-tasking in upright stance. *Gait & Posture*, *27*(2), 271-279. doi: 10.1016/j.gaitpost.2007.04.002
- Friedman, R., & Elliot, A. J. (2008). The effect of arm crossing on persistence and performance. *European Journal of Social Psychology*, *38*(3), 449-461. doi: 10.1002/ejsp.444
- Gagnon, M.-È., Amato, J.-N., & Blanchette, I. (under review). Voluntary facial expressions affect emotional reasoning. *Journal of Nonverbal Behavior*.
- Glenberg, A. M. (2015). Few believe the world is flat: How embodiment is changing the scientific understanding of cognition. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *69*(2), 165-171. doi: 10.1037/cep0000056
- Häfner, M. (2013). When body and mind are talking: Interoception moderates embodied cognition. *Experimental Psychology*, *60*, 255-259. doi: 10.1027/1618-3169/a000194
- Harmon-Jones, E., Gable, P. A., & Price, T. F. (2011). Leaning embodies desire: Evidence that leaning forward increases relative left frontal cortical activation to appetitive stimuli. *Biological Psychology*, *87*(2), 311-313. doi: 10.1016/j.biopsycho.2011.03.009
- Herbert, B. M., & Pollatos, O. (2012). The body in the mind: On the relationship between interoception and embodiment. *Topics in Cognitive Science*, *4*(4), 692-704. doi: 10.1111/j.1756-8765.2012.01189.x
- James, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, *9*, 188-205. doi: 10.1093/mind/os-IX.34.188
- Keltner, D. (1995). Signs of appeasement: Evidence for the distinct displays of embarrassment, amusement, and shame. *Journal of Personality and Social Psychology*, *68*(3), 441. doi: 10.1037/0022-3514.68.3.441
- McIntosh, D. N. (1996). Facial feedback hypotheses: Evidence, implications, and directions. *Motivation & Emotion*, *20*(2), 121-147. doi: 10.1007/BF02253868
- Nair, S., Sagar, M., Sollers III, J., Consedine, N., & Broadbent, E. (2015). Do slumped and upright postures affect stress responses? A randomized trial. *Health Psychology*, *34*(6), 632-641. doi: 10.1037/hea0000146
- Niedenthal, P. M. (2007). Embodying emotion. *Science*, *316*(5827), 1002-1005. doi: 10.1126/science.1136930

- Oaksford, M., Morris, F., Grainger, B., & Williams, J. M. G. (1996). Mood, reasoning, and central executive processes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *22*(2), 476-492. doi: 10.1037/0278-7393.22.2.476
- Peper, E., Harvey, R., & Hamiel, D. (2019). Transforming thoughts with postural awareness to increase therapeutic and teaching efficacy. *NeuroRegulation*, *6*(3), 153-160, doi: 10.15540/nr.6.3.153
- Peper, E., Harvey, R., Mason, L., & Lin, I. M. (2018). Do better in math: How your body posture may change stereotype threat response. *NeuroRegulation*, *5*(2), 67-74. doi: 10.15540/nr.5.2.67
- Peper, E., Lin, I. M., Harvey, R., & Perez, J. (2017). How posture affects memory recall and mood. *Biofeedback*, *45*(2), 36-41. doi: 10.5298/1081-5937-45.2.01
- Pollatos, O., Traut-Mattusch, E., Schroeder, H., & Schandry, R. (2007). Interoceptive awareness mediates the relationship between anxiety and the intensity of unpleasant feelings. *Journal of Anxiety Disorders*, *21*(7), 931-943. doi: 10.1016/j.janxdis.2006.12.004
- Price, T. F., & Harmon-Jones, E. (2011). Approach motivational body postures lean toward left frontal brain activity. *Psychophysiology*, *48*(5), 718-722. doi: 10.1111/j.1469-8986.2010.01127.x
- Rosenbaum, D., Mama, Y., & Algom, D. (2017). Stand by your Stroop: Standing up enhances selective attention and cognitive control. *Psychological Science*, *28*, 1864-1867. doi: 10.1177/0956797617721270
- Samuel, A. J., Solomon, J., & Mohan, D. (2015). A critical review on the normal postural control. *Physiotherapy and Occupational Therapy Journal*, *8*(2), 71-75. doi: 10.21088/potj.0974.5777.8215.4
- Schandry, R. (1981). Heart beat perception and emotional experience. *Psychophysiology*, *18*(4), 483-488. doi: 10.1111/j.1469-8986.1981.tb02486.x
- Schneider, I. K., Eerland, A., van Harreveld, F., Rotteveel, M., van der Pligt, J., van der Stoep, N., & Zwaan, R. A. (2013). One way and the other: The bidirectional relationship between ambivalence and body movement. *Psychological Science*, *24*(3), 319-325. doi: 10.1177/0956797612457393
- Shah, P., Hall, R., Catmur, C., & Bird, G. (2016). Alexithymia, not autism, is associated with impaired interoception. *Cortex*, *81*, 215-220. doi: 10.1016/j.cortex.2016.03.021

- Smith, K. C., Davoli, C. C., Knapp, W. H., & Abrams, R. A. (2019). Standing enhances cognitive control and alters visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *81*(7), 2320-2329. doi: 10.3758/s13414-019-01723-6
- Stephan, D. N., Hensen, S., Fintor, E., Krampe, R., & Koch, I. (2018). Influences of postural control on cognitive control in task switching. *Frontiers in Psychology*, *9*. Article 1153. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01153
- Stepper, S., & Strack, F. (1993). Proprioceptive determinants of emotional and nonemotional feelings. *Journal of Personality and Social Psychology*, *64*(2), 211-220. doi: 10.1037/0022-3514.64.2.211
- Tops, M., & De Jong, R. (2006). Posing for success: Clenching a fist facilitates approach. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*(2), 229-234. doi: 10.3758/BF03193835
- Trémolière, B., Gagnon, M.-È., & Blanchette, I. (2016). Cognitive load mediates the effect of emotion on analytical thinking. *Experimental Psychology*, *63*(6), 343-350. doi: 10.1027/1618-3169/a000333
- Tsai, H. Y., Peper, E., & Lin, I. M. (2016). EEG patterns under positive/negative body postures and emotion recall tasks. *NeuroRegulation*, *3*(1), 23-27. doi: 10.15540/nr.3.1.23
- van den Bergh, B., Schmitt, J., & Warlop, L. (2011). Embodied myopia. *Journal of Marketing Research*, *48*(6), 1033-1044. doi: 10.1509/jmr.09.0503
- Veenstra, L., Schneider, I. K., & Koole, S. L. (2017). Embodied mood regulation: The impact of body posture on mood recovery, negative thoughts, and mood-congruent recall. *Cognition & Emotion*, *31*(7), 1361-1376. doi: 10.1080/02699931.2016.1225003
- Weisfeld, G. E., & Beresford, J. M. (1982). Erectness of posture as an indicator of dominance or success in humans. *Motivation & Emotion*, *6*(2), 113-131. doi: 10.1007/BF00992459
- Wiens, S., Mezzacappa, E. S., & Katkin, E. S. (2000). Heartbeat detection and the experience of emotions. *Cognition & Emotion*, *14*(3), 417-427. doi: 10.1080/026999300378905
- Wilkes, C., Kydd, R., Sagar, M., & Broadbent, E. (2017). Upright posture improves affect and fatigue in people with depressive symptoms. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *54*, 143-149. doi: 10.1016/j.jbtep.2016.07.015

- Wilson, V. E., & Peper, E. (2004). The effects of upright and slumped postures on the recall of positive and negative thoughts. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 29(3), 189-195. doi: 10.1023/B:APBI.0000039057.32963.34
- Winkielman, P., Niedenthal, P., Wielgosz, J., Eelen, J., & Kavanagh, L. C. (2015). Embodiment of cognition and emotion. In M. Mikulincer, P. R. Shaver, E. Borgida, & J. A. Bargh (dir.), *APA handbook of personality and social psychology, Vol. 1. Attitudes and social cognition* (pp. 151-175). Washington, DC: American Psychological Association. doi: 10.1037/14341-004
- 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. doi: 10.1016/S0966-6362(01)00156-4
- Yao, S., Becker, B., Zhao, W., Zhao, Z., Kou, J., Ma, X., ... Kendrick, K. M. (2018). Oxytocin modulates attention switching between interoceptive signals and external social cues. *Neuropsychopharmacology*, 43(2), 294-301. doi: 10.1038/npp.2017.189

Discussion générale

Les études antérieures ont démontré que les dimensions cognitive et subjective des émotions ont une influence sur le raisonnement, mais la dimension corporelle a été peu étudiée. L'objectif de cette thèse était d'explorer comment le raisonnement est influencé par la dimension corporelle expressive des émotions. Les résultats obtenus présentent une significativité statistique généralement faible, mais mettent tout de même en lumière certains aspects du rôle de l'émotion incarnée dans le raisonnement. L'expression faciale et la posture semblent moduler l'effet du contenu émotionnel sur la performance au raisonnement. Également, cette relation entre l'expression corporelle des émotions et le raisonnement pourrait s'expliquer principalement par une influence au niveau de l'attention soutenue envers les stimuli émotionnels. Toutefois, plusieurs de nos hypothèses de recherche n'ont pas été confirmées. Notamment, le contenu émotionnel n'a pas influencé le raisonnement dans les conditions contrôle, le froncement des sourcils n'a pas influencé l'évaluation des stimuli émotionnels et neutres, l'induction d'un sourire n'a pas influencé le raisonnement, et la sensibilité intéroceptive ne semble pas moduler l'impact des inductions corporelles sur le raisonnement. Les résultats obtenus sont discutés à la lumière des cadres théoriques du raisonnement, de la cognition incarnée et de l'émotion incarnée.

Le rôle modulateur des expressions faciales dans le raisonnement émotionnel est appuyé par les résultats rapportés dans l'Article 1. L'effet délétère du contenu émotionnel

sur la performance au raisonnement a été observé seulement lorsque les participants avaient les sourcils froncés. Ce résultat reposait sur un effet marginalement significatif, et n'a pas été répliqué dans l'Article 2. Tout de même, ce résultat est cohérent avec les études antérieures qui ont rapporté une corrélation entre la performance au raisonnement et les émotions incarnées dans l'activation physiologique et les expressions faciales (Amato et al., 2012; Blanchette & Leese 2011; Caparos & Blanchette, 2017). Nos résultats semblent confirmer cette relation corrélationnelle en montrant une relation causale dans la même direction : le froncement volontaire des sourcils mène à un plus grand effet du contenu émotionnel sur la performance au raisonnement. Ces résultats sont toutefois en contradiction avec les études qui ont observé une relation entre les émotions incarnées et le raisonnement non-émotionnel. En effet, la performance au raisonnement est corrélée à l'activation physiologique (Spiess et al., 2007) et au froncement des sourcils (Amato et al., 2012). Le froncement des sourcils est également associé à l'utilisation de pensée analytique dans d'autres tâches cognitives (Alter et al., 2007, Exp. 3; Thompson et al., 2013). Selon les auteurs de ces études, le froncement des sourcils serait un indicateur de l'effort mental, c'est pourquoi il est associé à la pensée analytique et à un meilleur raisonnement. Les résultats que nous avons obtenus pendant une tâche de raisonnement émotionnel ne sont pas compatibles avec ces études, ce qui suggère que le froncement des sourcils pourrait influencer d'autres mécanismes que l'effort mental.

Dans l'étude rapportée dans l'Article 1, nous avons également exploré l'effet de l'expression faciale positive dans le raisonnement émotionnel. L'induction d'un sourire

n'a pas eu d'effet sur la performance au raisonnement. Les études antérieures indiquent que le froncement des sourcils et le sourire ont tous les deux une influence sur le traitement de l'information. Particulièrement, le sourire mène à une évaluation plus positive de stimuli humoristiques (Dzokoto et al., 2014; Laird, 1974; Marsh et al., 2019; Soussignan, 2002; Strack et al., 1988) et neutres (Dimberg & Söderkvist, 2011; Meeten et al., 2015). Conformément à ces études, nous avons prédit que le sourire, au même titre que le froncement des sourcils, influencerait le raisonnement émotionnel. Nos résultats ne confirment pas cette hypothèse. Toutefois, le contenu émotionnel des syllogismes dans nos études était à valence émotionnelle négative. La plupart des études en raisonnement émotionnel montrent un effet délétère des contenus négatifs, mais quelques études indiquent que le contenu positif aurait un effet similaire (Blanchette, 2006; Blanchette & Richards, 2004; Gosselin & Blanchette, 2018). Ainsi, comme le froncement des sourcils module l'effet des contenus négatifs sur le raisonnement, il est possible que l'induction d'un sourire ait un impact seulement sur le raisonnement à propos de contenus positifs. Cette hypothèse devra être explorée dans les études futures en comparant l'effet du sourire sur le raisonnement à propos de contenus négatifs et positifs.

Somme toute, les études antérieures indiquent que le raisonnement est largement influencé par les dimensions cognitives et subjectives des émotions (Blanchette & Richards, 2010), mais la dimension corporelle avait été peu étudiée. Les résultats comportementaux de la présente thèse ont une significativité statistique relativement faible, mais ils suggèrent que la dimension corporelle des émotions, dans sa forme

expressive, peut moduler l'effet de la dimension cognitive sur le raisonnement. Les mécanismes pouvant expliquer cet effet ont été explorés dans l'Article 2 à l'aide de l'électroencéphalographie. Les résultats indiquent que le froncement des sourcils a eu un impact sur un mécanisme impliqué dans le raisonnement émotionnel, soit l'attention soutenue envers les stimuli émotionnels. Conformément aux études antérieures (Hajcak, MacNamara, & Olvet, 2010), nous avons observé une attention soutenue envers les stimuli émotionnels. Nos résultats indiquent que cette attention soutenue peut être induite par le simple froncement de sourcils, même en l'absence de stimuli émotionnels. Ce résultat est cohérent avec l'hypothèse de la rétroaction faciale, selon laquelle le froncement des sourcils mène à une perception altérée des stimuli neutres, puisque ceux-ci sont évalués comme étant plus négatifs pendant le froncement des sourcils (Adelmann & Zajonc, 1989; Coles et al., 2019). Toutefois, les résultats de l'Article 1 indiquent que le froncement des sourcils n'a pas influencé l'évaluation de la valence émotionnelle des inférences. Cette absence d'effet pourrait être due au fait que le froncement des sourcils a été manipulé pendant la tâche de raisonnement, mais pas pendant la tâche d'évaluation. Il est donc possible que le froncement ait influencé la perception du contenu pendant le raisonnement, mais que l'effet se soit estompé avant la tâche d'évaluation. Une étude antérieure a pourtant rapporté que l'induction d'expressions faciales influence l'évaluation de stimuli même après l'induction (Dimberg & Söderkvist, 2011). En résumé, les résultats comportementaux et électrophysiologiques des Articles 1 et 2 indiquent que l'expression corporelle des émotions par les expressions faciales semble moduler l'effet du contenu

émotionnel sur le raisonnement et que cet effet pourrait s'expliquer par un impact sur l'attention soutenue.

Les résultats des Articles 1 et 2 peuvent être discutés à la lumière des mécanismes qui ont précédemment été proposés pour expliquer comment les émotions influencent le raisonnement. Selon l'hypothèse de la charge cognitive, le contenu émotionnel mène à plus d'erreurs de logique parce qu'il ajoute une charge en mémoire de travail, et diminue par le fait même la quantité de ressources disponibles pour effectuer le raisonnement (Trémolière et al., 2016). Conformément à cette hypothèse, nos résultats indiquent que le froncement des sourcils pourrait avoir accentué cette charge cognitive émotionnelle. Il s'agit d'une hypothèse, mais cela pourrait expliquer pourquoi les contenus émotionnels ont eu plus d'impact sur le raisonnement lorsque les participants avaient une expression faciale neutre. De plus, cette hypothèse est cohérente avec le fait que le froncement des sourcils ait augmenté l'attention soutenue envers les stimuli émotionnels et neutres. D'autres auteurs ont proposé que l'influence des émotions sur le raisonnement s'explique par l'équilibre entre la pensée heuristique et la pensée analytique. Selon les études précédentes, le contenu émotionnel semble favoriser l'utilisation de la pensée heuristique (Blanchette, 2013), ce qui expliquerait l'augmentation des erreurs de logique. Les résultats de notre recherche indiquent que cet effet pourrait être accentué par la réponse expressive émotionnelle au niveau du visage. Cela est également hypothétique, mais cette idée est cohérente avec les études qui ont démontré que la réponse émotionnelle physiologique est associée à la pensée heuristique (Ell, Cosley, & McCoy, 2011; Kim & Baron, 1988). De

plus, les résultats de l'Article 2 indiquent que le froncement pourrait influencer le processus d'inférence qui repose sur la pensée analytique. Cet effet était seulement marginalement significatif, mais il constitue un appui supplémentaire à l'hypothèse que les émotions nuisent à la pensée analytique.

Quelques études soulignent que la pertinence des émotions est un facteur modérateur du raisonnement émotionnel. Les émotions mènent à une diminution de la performance au raisonnement seulement lorsque celles-ci ne sont pas pertinentes par rapport à l'historique affectif des individus. En revanche, lorsque le contenu émotionnel d'un syllogisme est pertinent pour les individus, ceux-ci raisonnent de façon plus logique (Blanchette & Caparos, 2013; Blanchette et al., 2018). Conformément à ces études et à l'hypothèse de la rétroaction faciale, l'induction d'une expression faciale négative pourrait donner l'impression que les contenus émotionnels négatifs sont davantage pertinents au niveau personnel puisqu'ils concordent avec l'émotion qui est exprimée dans le corps. Cette impression de pertinence pourrait mener à une augmentation de la performance au raisonnement. Toutefois, ce n'est pas ce qu'indiquent nos résultats. Au contraire, l'induction d'une expression cohérente avec le contenu émotionnel a mené à une diminution de la performance. Il semble donc que la pertinence des émotions ne puisse pas expliquer le rôle de l'expression faciale dans le raisonnement émotionnel.

Les résultats de la thèse peuvent également être discutés à la lumière des différentes approches de la cognition incarnée. Selon l'approche de la cognition incarnée dans le

langage, les mouvements du corps peuvent faciliter la compréhension du langage lorsque le message traité est cohérent avec le mouvement effectué. Conformément à cette approche, il est plausible que le froncement des sourcils – qui est typiquement associé aux émotions négatives – facilite la compréhension des énoncés à contenu négatif, et que l'inhibition du froncement nuise à la compréhension des mêmes énoncés. Cette idée est appuyée par une étude antérieure qui a révélé que la compréhension d'énoncés émotionnels était ralentie si les individus ne pouvaient pas exprimer une émotion congruente dans leur visage (Havas et al., 2010). Nos résultats indiquent que même si le froncement des sourcils pourrait avoir facilité la compréhension des syllogismes émotionnels, les participants ont quand même fait plus d'erreurs de raisonnement sur ces syllogismes que sur les syllogismes neutres. Cela n'est pas surprenant, parce que le raisonnement ne repose pas sur la compréhension de la sémantique. En réalité, le contenu sémantique mène généralement à des erreurs de logique puisqu'il peut induire les participants en erreur alors que ceux-ci tentent d'ignorer la sémantique et se concentrer sur la structure logique. Selon nos résultats, si le froncement des sourcils avait augmenté la compréhension du contenu sémantique négatif, cette meilleure compréhension semble avoir mené les participants à accorder plus d'importance à ces contenus, alors qu'ils ne sont pas pertinents pour la tâche de raisonnement. Hypothétiquement, cela pourrait expliquer pourquoi le froncement des sourcils a mené à une plus grande influence des contenus émotionnels. Cela est également cohérent avec nos résultats indiquant que le contenu émotionnel n'a pas eu d'impact sur le raisonnement lorsque les participants ne pouvaient pas exprimer une émotion négative dans leur visage. Conformément avec

l'étude de Havas et ses collègues (Havas et al., 2010), l'inhibition du froncement des sourcils pourrait avoir nui au traitement de l'information émotionnelle, bloquant par le fait même l'impact de cette information sur la performance au raisonnement. Cette relation entre le froncement des sourcils, le raisonnement et la compréhension du langage pourra faire l'objet de recherches futures.

Les théories de la cognition incarnée proposent également que les mouvements et la position du corps contribuent à la création et l'activation de représentations mentales. Selon cette théorie, le fait d'exprimer une émotion négative dans le visage pourrait faciliter l'activation de représentations mentales de concepts à valence émotionnelle négative. Cette idée est notamment appuyée par le fait que la récupération de souvenirs négatifs soit facilitée par l'adoption d'une expression faciale négative (Laird, Cuniff, Sheehan, Shulman, & Strum, 1989). Conformément à la théorie des modèles mentaux, une telle facilitation peut être aidante en contexte de raisonnement pour la génération d'exemples ou d'anecdotes qui peuvent confirmer ou infirmer une inférence (Blanchette et al., 2018). Toutefois, nos résultats ne sont pas cohérents avec cette hypothèse, puisque le raisonnement à propos de contenus négatifs n'a pas été facilité par le froncement des sourcils. En somme, l'hypothèse de l'amorçage des représentations mentales par le corps ne semble pas pouvoir expliquer l'influence des expressions faciales sur le raisonnement émotionnel.

Une autre partie des théories de la cognition incarnée font référence aux motivations d'approche et d'évitement pour expliquer la relation entre le corps et les processus cognitifs. Comme le froncement des sourcils est généralement associé aux émotions négatives (p. ex., doute, incompréhension, méfiance, dégoût, colère, aversion), l'approche de la motivation incarnée prédirait que le froncement des sourcils pourrait induire une motivation d'évitement. Selon les études antérieures, la motivation d'évitement améliore la performance du contrôle cognitif (Koch et al., 2008, 2009). Le contrôle cognitif est particulièrement important dans le raisonnement parce qu'il permet d'inhiber la réponse heuristique pour favoriser la réponse analytique. Ainsi, le froncement des sourcils pourrait favoriser l'utilisation de la pensée analytique et améliorer la performance au raisonnement. Les résultats comportementaux des Articles 1 et 2 n'appuient pas cette hypothèse, parce que le froncement des sourcils n'a pas mené à une meilleure performance au raisonnement. De plus, l'influence du froncement des sourcils sur le contrôle cognitif a été explorée dans l'Article 2 par une mesure de la composante ERP N2. Les résultats indiquent que le froncement des sourcils n'a pas influencé le contrôle cognitif. D'autres études antérieures ont démontré que les motivations d'approche et d'évitement influencent les processus émotionnels. Notamment, les mouvements d'évitement mènent à une évaluation plus négative des stimuli (Cacioppo et al., 1993; Tom et al., 1991). Conformément avec ces résultats, le froncement des sourcils pourrait avoir mené à une évaluation plus négative des stimuli, ce qui est cohérent avec l'hypothèse de la rétroaction faciale et de la charge cognitive qui ont été abordées précédemment.

En résumé, les hypothèses actuelles proposées dans le cadre théorique de la cognition incarnée semblent insuffisantes pour expliquer la relation entre le raisonnement et les émotions incarnées. De plus, comme mentionné précédemment, l'ampleur des effets de la cognition incarnée est généralement relativement faible. Nos travaux suggèrent que le raisonnement émotionnel est incarné, mais que l'expression corporelle des émotions n'explique pas une partie si importante du raisonnement déductif.

La relation entre le raisonnement et les émotions incarnées dans la posture a été explorée dans l'Article 3. Les résultats indiquent que l'effet délétère du contenu émotionnel sur le raisonnement tendait à être plus grand lorsque les participants avaient une posture droite comparativement à une posture affaissée, mais la significativité statistique de cet effet était faible. Les résultats sont contradictoires aux prédictions basées sur les théories de l'émotion incarnée qui affirment qu'une posture affaissée mène à une expérience émotionnelle plus négative qu'une posture droite. Il semble que l'impact de la posture sur la performance au raisonnement puisse être expliqué par des mécanismes non émotionnels. Comme mentionné dans la discussion de l'Article 3, le maintien d'une posture droite est une tâche en elle-même qui requiert la mobilisation d'une certaine quantité de ressources cognitives (Samuel, Solomon, & Mohan, 2015). Ainsi, lorsqu'il était demandé aux participants d'adopter une posture droite pendant la tâche de raisonnement, le maintien de cette posture diminuait la quantité de ressources disponibles pour évaluer la validité logique des inférences. À l'inverse, la posture affaissée s'apparente davantage à une posture reposée. Cela suggère que moins de ressources

étaient nécessaires pour le maintien de cette posture, laissant plus de ressources pour le raisonnement. Conformément au modèle du double processus et à l'hypothèse de la charge cognitive, une posture droite diminue les ressources cognitives disponibles, et cela mène à plus d'erreurs de logiques, surtout lorsque le contenu du syllogisme est émotionnel. Il semble donc que l'induction d'une posture droite ait eu un effet similaire à l'induction d'un froncement des sourcils. Dans les deux cas, l'impact de l'induction corporelle est semblable à celui d'une charge cognitive supplémentaire qui amplifie l'impact du contenu émotionnel sur la performance au raisonnement. Cette relation entre l'expression corporelle et la charge cognitive pendant le raisonnement devra être explorée dans les prochaines études afin d'être confirmée. En somme, les travaux effectués suggèrent que l'effet du contenu émotionnel sur le raisonnement est modulé non seulement par l'expression faciale, mais aussi par la posture. Toutefois, contrairement à l'effet modulateur du froncement des sourcils, l'effet de la posture ne semble pas résulter de mécanismes émotionnels comme tels, mais plutôt de mécanismes purement cognitifs.

D'autres résultats ont été obtenus dans nos travaux et méritent d'être abordés. Premièrement, l'Article 1 indique que le contenu émotionnel n'a pas eu d'effet sur la performance au raisonnement lorsque les participants avaient les sourcils non-froncés. Selon les études antérieures, le contenu émotionnel diminue la performance au raisonnement sans que les expressions faciales soient manipulées (Blanchette & Richards, 2010). Dans la discussion de l'Article 1, nous avons proposé que l'effet du contenu émotionnel puisse être conditionnel aux expressions faciales, puisque cet effet n'était pas

observé lorsque nous avons spécifiquement demandé aux participants de ne pas froncer les sourcils. Dans les autres études en raisonnement émotionnel, les participants pourraient avoir spontanément froncé les sourcils pendant la tâche. Nous avons exploré cette hypothèse dans une étude supplémentaire qui n'a pas été rapportée dans la thèse, mais qui apporte un éclairage pertinent à l'interprétation des résultats décrits dans la thèse. Dans cette étude supplémentaire, nous avons comparé la performance au raisonnement émotionnel dans trois conditions : froncement des sourcils, inhibition du froncement, et expressions spontanées. Les résultats n'ont pas confirmé notre hypothèse concernant la contribution des expressions spontanées : l'effet attendu du contenu émotionnel sur la performance au raisonnement n'a pas été observé dans la condition avec expressions spontanées. De plus, l'effet modulateur du froncement des sourcils qui a été rapporté dans l'Article 1 n'a pas été répliqué dans cette étude. Ces résultats soulignent une fois de plus la faible reproductibilité et l'ampleur modeste des effets rapportés dans la thèse.

Deuxièmement, conformément à l'hypothèse de la rétroaction périphérique, quelques études antérieures indiquent que la manipulation de l'expression faciale ou de la posture devrait avoir un effet différent chez les individus selon leur sensibilité intéroceptive (Häfner, 2013; Herbert & Pollatos, 2012). Nous avons testé cette hypothèse dans les Articles 2 et 3, mais les résultats indiquent que l'effet du froncement des sourcils et de la posture n'étaient pas liés aux scores de sensibilité intéroceptive. Ces résultats non-concluants peuvent être dus au niveau de difficulté de la tâche d'intéroception. En effet, les données indiquent qu'en combinant les participants des Article 2 et 3 (59 participants

au total), seulement 15 % d'entre eux ont détecté plus de la moitié de leurs battements cardiaques (score de 0,5), comparativement à 40 % dans les études antérieures (p. ex., Schandry, 1981). Cette faible performance peut être expliquée par les modifications apportées à la tâche originale. Nous avons demandé aux participants d'appuyer sur la barre d'espace chaque fois qu'ils percevaient un battement cardiaque, au lieu de simplement compter leurs battements et rapporter le nombre obtenu à la fin de la tâche. Cette modification visait à empêcher les participants de deviner le nombre de battements en donnant un nombre approximatif. Elle peut avoir augmenté le niveau de difficulté de la tâche et ainsi diminué la variabilité des scores obtenus. Cela peut expliquer l'absence de résultats concluants, puisqu'une faible variabilité des scores rend plus difficile la détection d'un effet significatif. Par ailleurs, dans l'étude rapportée à l'Article 1, nous avons aussi effectué des analyses supplémentaires qui n'ont pas été rapportées dans l'article. Ces analyses visaient à tester si l'impact du froncement des sourcils sur la performance au raisonnement était prédit par l'activité musculaire des muscles impliqués dans le froncement. Les résultats indiquent que l'activité musculaire ne prédisait pas l'impact du froncement sur le raisonnement. Ainsi, l'influence des expressions faciales ne semble pas dépendre de l'intensité des contractions musculaires faciales ni de la sensibilité à la rétroaction intéroceptive provenant de ces contractions.

Dans l'ensemble, cette thèse est novatrice parce qu'elle met en lumière pour la première fois la relation causale entre le raisonnement et les émotions incarnées dans le corps, en plus d'explorer les mécanismes impliqués dans cette relation. Toutefois, les

travaux rapportés dans cette thèse présentent des limites qu'il est important de souligner. Une limite majeure constitue la robustesse des résultats. D'une part, plusieurs des résultats obtenus n'ont pas atteint le seuil de la significativité statistique. Quelques interprétations ont été formulées à partir de données descriptives qui n'étaient pas significatives au niveau statistique. Cette limite est majeure parce qu'elle souligne qu'il est absolument nécessaire d'effectuer davantage de recherches pour confirmer les résultats obtenus. Sans une réplication des résultats, il demeure que les interprétations formulées dans la présente thèse sont appuyées de seulement quelques effets dont la validité statistique est très faible. D'ailleurs, la réplicabilité est une autre limite majeure au niveau de la robustesse de nos résultats. En effet, l'influence des expressions faciales sur la performance au raisonnement a été observée au niveau comportemental seulement dans l'Article 1. Cet effet n'a pas été répliqué dans l'Article 2 ni dans l'étude supplémentaire non rapportée qui visait à explorer le rôle de l'expression spontanée des émotions. Plusieurs aspects méthodologiques peuvent apporter des pistes d'explication pour ces résultats modestes. D'abord, le fait que plusieurs effets n'aient pas atteint le seuil de significativité statistique peut être attribué à un manque de puissance. Précisément, les calculs de puissance a priori ont été faits à partir de tailles d'effets estimées selon les études antérieures, mais aucune étude n'avait encore étudié la relation causale entre l'expression corporelle et le raisonnement émotionnel. Ainsi, les tailles d'échantillon étaient potentiellement trop petites pour détecter les effets de petites tailles. De plus, les tâches de raisonnement se sont avérées être relativement difficiles, ce qui a été révélé par les moyennes d'exactitude des réponses. Une tâche plus facile, par exemple en incluant seulement des syllogismes sans négation, pourrait

permettre d'observer une plus grande variabilité dans les résultats et donc augmenter la puissance statistique. Également, il est possible que la manipulation de l'expression corporelle seule ne soit pas suffisante pour avoir un effet sur le raisonnement. En effet, il était demandé aux participants d'exprimer certaines émotions dans leur visage et dans leur posture, indépendamment de l'état émotionnel dans lequel ils étaient ou des stimuli émotionnels auxquels ils étaient exposés. Cela peut avoir occasionné une atténuation de l'impact de l'expression corporelle qui serait observé dans un contexte écologique où l'expression est cohérente avec l'expérience émotionnelle. Il est même possible que l'expression corporelle ait eu un effet secondaire de distraction, qui pourrait également atténuer l'effet attendu sur le raisonnement émotionnel.

D'autre part, les résultats principaux qui caractérisent le rôle de l'expression corporelle reposent sur des effets avec une taille d'effet relativement petite. Même si les résultats sont éventuellement répliqués dans les études futures, il est à noter que l'ampleur de ces effets demeure modeste. Une récente méta-analyse de l'hypothèse de la rétroaction faciale a également souligné que l'influence des expressions faciales sur l'état émotionnel et sur l'évaluation de stimuli reposait principalement sur des petites tailles d'effet (Coles et al., 2019). Concrètement, nos résultats suggèrent que l'expression corporelle a une influence sur la performance au raisonnement, mais que cette influence est négligeable. Particulièrement, dans les contextes écologiques, un grand nombre de facteurs risquent d'influencer l'exactitude des inférences. Ainsi, l'influence du froncement des sourcils ou de la posture s'ajoute à celles des autres facteurs, mais ne semble pas avoir le potentiel de

renverser complètement les inférences qui sont faites. Cependant, malgré le fait que l'ampleur des effets observés est relativement faible, ces effets peuvent être importants au niveau théorique. Notamment, ils peuvent contribuer au développement de nouvelles hypothèses de recherche et à l'exploration de la relation entre la cognition, les émotions et le corps. En somme, il est impératif de mener d'autres recherches pour vérifier si les résultats peuvent être répliqués afin de formuler les conclusions robustes concernant la relation entre le raisonnement et les émotions dans le corps.

Les travaux réalisés présentent également des limites méthodologiques. Principalement, le fait d'imposer aux participants une certaine posture ou la contraction soutenue d'un muscle du visage pourrait avoir induit un certain niveau d'inconfort qui pourrait agir comme distracteur pendant l'exécution de tâches cognitives difficiles comme le raisonnement déductif. Par contre, deux choses indiquent que l'induction d'inconfort ne devrait pas avoir été un problème majeur dans nos études. D'abord, des études indiquent que l'inconfort n'a pas nécessairement un impact sur la performance à des tâches cognitives (DenHartog & Koerhuis, 2017). De plus, dans toutes nos études, les manipulations corporelles des conditions expérimentales et contrôles semblaient équivalentes en termes d'effort et d'inconfort. Les interactions informelles avec les participants nous indiquent que les différentes conditions généraient effectivement des niveaux comparables d'inconfort. Somme toute, il serait important de prendre des mesures d'inconfort et de difficulté d'exécution des contractions musculaires et positions

corporelles dans les études futures pour écarter la possibilité qu'il s'agisse de variables confondantes.

La thèse présente également une limite au niveau de la généralisation des effets émotionnels. D'une part, les effets étudiés concernent presque exclusivement les émotions négatives, alors que les émotions positives pourraient avoir des effets différents. D'abord, seuls des contenus négatifs ont été utilisés dans les tâches de raisonnement. En ce qui a trait à l'expression émotionnelle, l'induction d'une expression faciale positive a été peu concluante (Article 1), et l'induction d'une posture positive semble avoir eu des effets non-émotionnels. Ainsi, même si l'objectif de la thèse était d'explorer la relation entre le raisonnement, les émotions et le corps, les conclusions qui sont formulées ne concernent que les émotions négatives. Il est donc possible que l'expression corporelle positive ait un impact différent sur le raisonnement, mais il sera nécessaire de réaliser d'autres études pour vérifier cette hypothèse. D'autre part, les émotions négatives ont été étudiées sans faire la distinction entre les catégories émotionnelles, par exemple la colère, la tristesse ou le dégoût. Autant dans les contenus présentés que dans l'expression corporelle, les émotions négatives n'ont pas été différenciées, alors qu'il est possible qu'il y ait un effet de cohérence entre l'émotion spécifique évoquée dans les contenus émotionnels et dans l'expression corporelle. Aussi, l'effet du froncement des sourcils a principalement été interprété comme un effet d'émotion négative, alors que le froncement des sourcils est aussi associé à des processus plus cognitifs comme l'effort mental. Il est possible que le froncement des sourcils n'ait pas le même impact sur le raisonnement selon la raison du

fronement (émotionnelle ou cognitive), puisque des effets distinctifs ont été rapportés dans la littérature (Blanchette & Amato, 2013). Il serait pertinent d'explorer l'influence des émotions spécifiques sur le raisonnement dans les études futures. Somme toute, les études réalisées comportent des limites à différents niveaux qui démontrent la pertinence de poursuivre les recherches pour améliorer le cadre théorique et méthodologique de l'étude du raisonnement émotionnel dans le corps.

Malgré ces limites, la présente thèse met en lumière le rôle de l'expression corporelle des émotions dans le raisonnement. Quelques études antérieures avaient exploré la relation entre le raisonnement et les émotions dans le corps, mais nos travaux sont les premiers à révéler une relation causale entre l'expression corporelle des émotions et le raisonnement. Les principaux résultats de la thèse apportent donc de nouveaux éléments à considérer dans l'étude du raisonnement émotionnel, et ultimement dans le développement de modèles théoriques. Jusqu'à maintenant, les modèles proposés pour expliquer le raisonnement humain ne tenaient pas compte de l'influence des émotions, et encore moins des émotions dans le corps. Le raisonnement est un processus cognitif de haut-niveau qui, en théorie, ne devrait pas être influencé par des changements corporels. Toutefois, les humains sont des êtres fondamentalement émotionnels et leurs émotions sont incarnées dans leur corps. Les travaux réalisés confirment que le raisonnement n'est pas un processus détaché du corps et des émotions. Conformément aux théories de la cognition et de l'émotion incarnée, nos travaux apportent une nouvelle perspective à l'étude des processus cognitifs, principalement en soulignant la pertinence de considérer les processus

corporels dans le développement des modèles théoriques de la psychologie cognitive, même pour les processus de haut-niveau.

Les résultats de la thèse fournissent également des éléments clés pour la compréhension de la relation entre les processus cognitifs, les processus émotionnels et les processus corporels. Les théories de la cognition incarnée et de l'émotion incarnée soutiennent que les processus corporels ont un impact sur la cognition et sur les émotions. Toutefois, la nature de la relation entre ces trois processus au sein d'une même tâche a été peu étudiée. La présente discussion offre un aperçu des nombreuses hypothèses qui peuvent être inspirées des travaux réalisés. Ces hypothèses pourront stimuler la poursuite des recherches concernant la relation entre la cognition, les émotions et le corps. De plus, la thèse a permis d'élargir le champ de la cognition incarnée aux processus cognitifs de haut-niveau qui ont été beaucoup moins étudiés sous cette perspective. Parallèlement, la thèse soulève une réflexion quant aux théories de la cognition incarnée qui proposent que le corps joue un rôle central dans la cognition et les émotions. Les résultats de la thèse, conjointement à plusieurs études antérieures, suggèrent que le corps jouerait un rôle plutôt modeste dans la cognition. Il serait pertinent de réviser les théories et modèles de la cognition incarnée pour relativiser l'impact du corps sur différents processus cognitifs.

Les résultats de la thèse apportent également des éléments nouveaux concernant le raisonnement émotionnel. Un certain nombre d'études ont été réalisées pour comprendre l'impact des émotions sur le raisonnement. Toutefois, la presque totalité de ces études

portait sur les dimensions subjectives et cognitives des émotions, alors que l'impact de la dimension corporelle demeurait méconnu. La présente thèse permet donc pour la première fois d'avoir un point de vue plus global concernant le raisonnement émotionnel.

En somme, les résultats de la thèse soulignent la pertinence de tenir compte des principes de la cognition incarnée dans l'étude des processus cognitifs. Au quotidien, les individus produisent différentes expressions faciales et adoptent différentes postures, sans particulièrement être conscients de ces changements corporels. La présente thèse se joint aux récentes études de la cognition incarnée et de l'émotion incarnée pour souligner le fait que l'expression corporelle des émotions peut influencer les nombreuses tâches cognitives qui sont effectuées au quotidien. Ainsi, les chercheurs en psychologie cognitive ont avantage à considérer les principes de la cognition incarnée afin de tendre vers une compréhension plus complète et écologique du fonctionnement humain.

Les tâches de raisonnement utilisées dans cette thèse peuvent sembler abstraites et artificielles. Cependant, il s'agit de tâches largement utilisées dans la littérature depuis plusieurs décennies, et elles permettent d'isoler certains processus de raisonnement. Ces processus sont mis à profit dans toutes sortes de situations quotidiennes plus ou moins importantes. Un exemple de situation où les émotions incarnées peuvent influencer le raisonnement est en contexte de pandémie. Au cours de la pandémie COVID-19, la majorité des individus vivaient des émotions négatives alors qu'ils devaient quotidiennement analyser de nouvelles informations et adapter leur comportement en

conséquence. Le raisonnement est particulièrement pertinent dans une telle situation parce qu'il peut influencer les croyances et les comportements des individus. Par exemple, les individus reçoivent des informations à partir desquelles ils peuvent formuler des inférences, et ces inférences vont ensuite guider leurs décisions et leurs comportements (p. ex., *Est-ce raisonnable d'aller rendre visite à mes grands-parents?*). En contexte de pandémie, un raisonnement erroné pourrait avoir des conséquences importantes sur la santé d'un individu et de ceux qui l'entourent. Les études antérieures en psychologie cognitive indiquent qu'une situation émotionnelle, comme une pandémie, peut mener à des erreurs de logique. La présente thèse met en avant le fait que les émotions dans le corps ont également le potentiel d'influencer le raisonnement. Ainsi, si la pandémie provoque chez les individus des émotions négatives incarnées dans leur corps, ces derniers pourraient faire plus d'erreurs de raisonnement et adopter des comportements à risque.

L'impact des émotions incarnées sur le raisonnement a également des implications importantes en contexte professionnel clinique. Par exemple, les psychothérapeutes et les médecins sont des professionnels qui sont quotidiennement exposés à des situations émotionnelles. Ils sont donc particulièrement susceptibles d'avoir des expressions corporelles spontanées, volontaires, ou même d'inhiber certaines expressions dans le but de rester neutres face aux patients. Les résultats de la présente thèse indiquent que ces expressions peuvent influencer leur capacité à raisonner logiquement. Cela peut avoir des conséquences importantes dans leurs fonctions professionnelles, particulièrement lorsqu'ils doivent analyser des informations et produire des inférences pour établir un

diagnostic ou encore un plan d'intervention ou de traitement. La présente thèse souligne l'importance de poursuivre les recherches pour mieux comprendre l'impact potentiel des émotions incarnées sur le fonctionnement cognitif et le comportement humain.

En conclusion, les travaux réalisés soulignent la pertinence de poursuivre les recherches, d'abord pour répliquer les résultats obtenus, mais également pour explorer de nouvelles avenues. Premièrement, l'interprétation des résultats de l'Article 3 est limitée par l'absence d'une condition contrôle. Des études supplémentaires devraient être réalisées pour comparer le raisonnement dans une posture droite ou affaissée avec le raisonnement dans une posture naturelle. Il serait également intéressant de faire la distinction entre l'impact de la posture sur les processus émotionnels et l'impact sur les processus non-émotionnels comme la mobilisation de ressources cognitives nécessaire pour le maintien d'une posture induite. Deuxièmement, les résultats de l'Article 1 indiquent que l'induction d'un sourire n'a pas eu d'impact sur le raisonnement. Cela pourrait être lié au fait que la tâche de raisonnement présentait des stimuli émotionnels négatifs, mais pas de stimuli positifs. Les études futures pourraient explorer le rôle du sourire dans le raisonnement émotionnel positif. Finalement, la présente thèse encourage la réalisation de recherches variées au sujet de la relation entre le corps et les processus cognitifs. Particulièrement, la littérature actuelle démontre que les émotions dans le corps influencent plusieurs processus cognitifs, mais nos travaux indiquent qu'elles influencent également des processus non-émotionnels. De futures études devraient explorer comment

les émotions dans le corps influencent différents processus cognitifs, au-delà du raisonnement émotionnel.

Références générales

- Adelmann, P. K., & Zajonc, R. B. (1989). Facial efference and the experience of emotion. *Annual Review of Psychology*, 40(1), 249-280. doi: 10.1146/annurev.ps.40.020189.001341
- Alter, A. L., Oppenheimer, D. M., Epley, N., & Eyre, R. N. (2007). Overcoming intuition: Metacognitive difficulty activates analytic reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(4), 569-576. doi: 10.1037/0096-3445.136.4.569
- Amato, J.-N., Lindsay, P., Davies, S., & Blanchette, I. (2012). *Effet des émotions : exploration des facteurs subjectif, physiologique et cognitive*. Affiche présentée au Congrès Annuel de la Société Québécoise de Recherche en Psychologie.
- Anderson, M. L. (2003). Embodied cognition: A field guide. *Artificial Intelligence*, 149(1), 91-130. doi: 10.1016/S0004-3702(03)00054-7
- Barrett, L. F., & Lindquist, K. A. (2008). The embodiment of emotion. Dans G. R. Semin & E. R. Smith (Éds), *Embodied grounding: Social, cognitive, affective, and neuroscientific approaches* (pp. 237-262). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617-645. doi: 10.1146/annurev.psych.59.103006.093639
- Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. R. (2000). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral cortex*, 10(3), 295-307. doi: 10.1093/cercor/10.3.295
- Blanchette, I. (2006). The effect of emotion on interpretation and logic in a conditional reasoning task. *Memory & Cognition*, 34(5), 1112-1125. doi: 10.3758/BF03193257
- Blanchette, I. (2013). Does emotion affect reasoning? Yes, in multiple ways. Dans I. Blanchette (Éd.), *Emotion and reasoning* (pp. 1-21). Londres, Angleterre: Psychology Press.
- Blanchette, I., & Amato, J. N. (2013). Reasoning and emotion in the body. Dans I. Blanchette (Éd.), *Emotion and reasoning* (pp. 133-147). Londres, Angleterre: Psychology Press.

- Blanchette, I., & Campbell, M. (2012). Reasoning about highly emotional topics: Syllogistic reasoning in a group of war veterans. *Journal of Cognitive Psychology*, *24*(2), 157-164. doi: 10.1080/20445911.2011.603693
- Blanchette, I., & Caparos, S. (2013). When emotions improve reasoning: The possible roles of relevance and utility. *Thinking & Reasoning*, *19*(3-4), 399-413. doi: 10.1080/13546783.2013.791642
- Blanchette, I., Caparos, S., & Trémolière, B. (2018). Emotion and reasoning. Dans L. J. Ball & V. A. Thompson (Éds), *The Routledge international handbook of thinking and reasoning* (pp. 57-70). Angleterre: Routledge.
- Blanchette, I., Gavigan, S., & Johnston, K. (2014). Does emotion help or hinder reasoning? The moderating role of relevance. *Journal of Experimental Psychology: General*, *143*(3), 1049-1064. doi: 10.1037/a0034996
- Blanchette, I., & Leese, J. (2011). The effect of negative emotion on deductive reasoning: The effect of negative emotion on deductive reasoning: Examining the contribution of physiological arousal. *Experimental Psychology*, *58*, 235-246. doi: 10.1027/1618-3169/a000090
- Blanchette, I., & Richards, A. (2004). Reasoning about emotional and neutral materials: Is logic affected by emotion?. *Psychological Science*, *15*(11), 745-752. doi: 10.1111/j.0956-7976.2004.00751.x
- Blanchette, I., & Richards, A. (2010). The influence of affect on higher level cognition: A review of research on interpretation, judgement, decision making and reasoning. *Cognition & Emotion*, *24*(4), 561-595. doi: 10.1080/02699930903132496
- Blanchette, I., Richards, A., Melnyk, L., & Lavda, A. (2007). Reasoning about emotional contents following shocking terrorist attacks: A tale of three cities. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *13*(1), 47-56. doi: 10.1037/1076-898X.13.1.47
- Brunetti, M., Perrucci, M. G., Di Naccio, M. R., Ferretti, A., Del Gratta, C., Casadio, C., & Romani, G. L. (2014). Framing deductive reasoning with emotional content: an fMRI study. *Brain and Cognition*, *87*, 153-160. doi: 10.1016/j.bandc.2014.03.017
- Bub, D. N., & Masson, M. E. (2012). On the dynamics of action representations evoked by names of manipulable objects. *Journal of Experimental Psychology: General*, *141*(3), 502-517. doi: 10.1037/a0026748
- Bucciarelli, M., & Johnson-Laird, P. N. (1999). Strategies in syllogistic reasoning. *Cognitive Science*, *23*(3), 247-303. doi: 10.1207/s15516709cog2303_1

- Burbridge, J. A., Larsen, R. J., & Barch, D. M. (2005). Affective Reactivity in Language: The Role of Psychophysiological Arousal. *Emotion, 5*(2), 145-153. doi: 10.1037/1528-3542.5.2.145
- Cacioppo, J. T., Priester, J. R., & Bernston, G. G. (1993). Rudimentary determination of attitudes: II. Arm flexion and extension have differential effects on attitudes. *Journal of Personality and Social Psychology, 65*(1), 5-17. doi: 10.1037/0022-3514.65.1.5
- Caparos, S., & Blanchette, I. (2015). Affect et pensée logique : comment les émotions influencent notre raisonnement. *Revue québécoise de psychologie, 36*(1), 57-70.
- Caparos, S., & Blanchette, I. (2017). Independent effects of relevance and arousal on deductive reasoning. *Cognition & Emotion, 31*(5), 1012-1022. doi: 10.1080/02699931.2016.1179173
- Casasanto, D., & Dijkstra, K. (2010). Motor action and emotional memory. *Cognition, 115*(1), 179-185. doi: 10.1016/j.cognition.2009.11.002
- Channon, S., & Baker, J. (1994). Reasoning strategies in depression: Effects of depressed mood on a syllogism task. *Personality and Individual Differences, 17*(5), 707-711. doi: 10.1016/0191-8869(94)90148-1
- Chen, M., & Bargh, J. A. (1999). Consequences of automatic evaluation: Immediate behavioral predispositions to approach or avoid the stimulus. *Personality and Social Psychology Bulletin, 25*(2), 215-224. doi: 10.1177/0146167299025002007
- Clore, G. L., & Huntsinger, J. R. (2007). How emotions inform judgment and regulate thought. *Trends in Cognitive Sciences, 11*(9), 393-399. doi: 10.1016/j.tics.2007.08.005
- Coles, N. A., Larsen, J. T., & Lench, H. C. (2019). A meta-analysis of the facial feedback literature: Effects of facial feedback on emotional experience are small and variable. *Psychological Bulletin, 145*(6), 610-651. doi: 10.1037/bul0000194
- Davis, J. I., Senghas, A., Brandt, F., & Ochsner, K. N. (2010). The effects of BOTOX injections on emotional experience. *Emotion, 10*(3), 433-440. doi: 10.1037/a0018690
- De Neys, W. (2006). Dual processing in reasoning: Two systems but one reasoner. *Psychological Science, 17*(5), 428-433. doi: 10.1111/j.1467-9280.2006.01723.x
- De Neys, W. (2010). Heuristic bias, conflict, and rationality in decision-making. Dans B. Glatzeder, V. Goel, & A. Müller (Éds), *Towards a theory of thinking* (pp. 23-33). New York, NY: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-03129-8_2

- De Neys, W. (2012). Bias and conflict: A case for logical intuitions. *Perspectives on Psychological Science*, 7(1), 28-38. doi: 10.1177/1745691611429354
- De Neys, W., Moyens, E., & Vansteenwegen, D. (2010). Feeling we're biased: Autonomic arousal and reasoning conflict. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 10(2), 208-216. doi: 10.3758/CABN.10.2.208
- De Neys, W., & Verschueren, N. (2006). Working memory capacity and a notorious brain teaser: The case of the Monty Hall Dilemma. *Experimental Psychology*, 53(2), 123-131. doi: 10.1027/1618-3169.53.1.123
- DenHartog, E. A., & Koerhuis, C. L. (2017). Mutual interaction effects between discomfort and cognitive task performance in clothing systems. *The Journal of the Textile Institute*, 108(5), 664-673. doi: 10.1080/00405000.2016.1179089
- Derakshan, N., & Eysenck, M. W. (1998). Working memory capacity in high trait-anxious and repressor groups. *Cognition & Emotion*, 12, 697-713. doi: 10.1080/026999398379501
- Dias, M., Roazzi, A., & Harris, P. L. (2005). Reasoning from unfamiliar premises: A study with unschooled adults. *Psychological Science*, 16(7), 550-554. doi: 10.1111/j.0956-7976.2005.01573.x
- Dijkstra, K., Eerland, A., Zijlmans, J., & Post, L. (2012). How body balance influences political party evaluations: A Wii balance board study. *Frontiers in Psychology*, 3, 536. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00536
- Dimberg, U., & Söderkvist, S. (2011). The voluntary facial action technique: A method to test the facial feedback hypothesis. *Journal of Nonverbal Behavior*, 35(1), 17-33. doi: 10.1007/s10919-010-0098-
- Dimberg, U., Thunberg, M., & Grunedal, S. (2002). Facial reactions to emotional stimuli: Automatically controlled emotional responses. *Cognition & Emotion*, 16(4), 449-471. doi: 10.1080/02699930143000356
- Duclos, S. E., Laird, J. D., Schneider, E., Sexter, M., Stern, L., & van Lighten, O. (1989). Emotion-specific effects of facial expressions and postures on emotional experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, 57(1), 100-108. doi: 10.1037/0022-3514.57.1.100
- Dzokoto, V., Wallace, D. S., Peters, L., & Bentsi-Enchill, E. (2014). Attention to emotion and non-western faces: Revisiting the facial feedback hypothesis. *The Journal of General Psychology*, 141(2), 151-168. doi: 10.1080/00221309.2014.884052

- Eerland, A., Guadalupe, T. M., & Zwaan, R. A. (2011). Leaning to the left makes the Eiffel Tower seem smaller: Posture-modulated estimation. *Psychological Science*, 22(12), 1511-1514. doi: 10.1177/0956797611420731
- Ekman, P., Levenson, R. W., & Friesen, W. V. (1983). Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. *Science*, 221(4616), 1208-1210. doi: 10.1126/science.6612338
- Eliades, M., Mansell, W., & Blanchette, I. (2013). The effect of emotion on statistical reasoning: Findings from a base rates task. *Journal of Cognitive Psychology*, 25(3), 277-282. doi: 10.1080/13546783.2012.713317
- Eliades, M., Mansell, W., Stewart, A. J., & Blanchette, I. (2012). An investigation of belief-bias and logicity in reasoning with emotional contents. *Thinking & Reasoning*, 18(4), 461-479. doi: 10.1080/13546783.2012.713317
- Ell, S. W., Cosley, B., & McCoy, S. K. (2011). When bad stress goes good: Increased threat reactivity predicts improved category learning performance. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(1), 96-102. doi: 10.3758/s13423-010-0018-0
- Eskine, K. J., Kacinik, N. A., & Prinz, J. J. (2011). A bad taste in the mouth: Gustatory disgust influences moral judgment. *Psychological Science*, 22(3), 295-299. doi: 10.1177/0956797611398497
- Evans, J. S. B. (2003). In two minds: Dual-process accounts of reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(10), 454-459. doi: 10.1016/j.tics.2003.08.012
- Evans, J. S. B. (2007). On the resolution of conflict in dual process theories of reasoning. *Thinking & Reasoning*, 13(4), 321-339. doi: 10.1080/13546780601008825
- Evans, J. S. B. (2008). Dual-processing accounts of reasoning, judgment, and social cognition. *Annual Review in Psychology*, 59, 255-278. doi: 10.1146/annurev.psych.59.103006.093629
- Evans, J. S. B. (2011). Dual-process theories of reasoning: Contemporary issues and developmental applications. *Developmental Review*, 31(2-3), 86-102. doi: 10.1016/j.dr.2011.07.007
- Evans, J. S. B., Barston, J. L., & Pollard, P. (1983). On the conflict between logic and belief in syllogistic reasoning. *Memory & Cognition*, 11(3), 295-306. doi: 10.3758/BF03196976

- Evans, J. S. B., & Curtis-Holmes, J. (2005). Rapid responding increases belief bias: Evidence for the dual-process theory of reasoning. *Thinking & Reasoning, 11*(4), 382-389. doi: 10.1080/13546780542000005
- Evans, J. S. B., Handley, S. J., Neilens, H., & Over, D. E. (2007). Thinking about conditionals: A study of individual differences. *Memory & Cognition, 35*(7), 1772-1784. doi: 10.3758/BF03193509
- Evans, J. S. B., & Stanovich, K. E. (2013). Dual-process theories of higher cognition: Advancing the debate. *Perspectives on Psychological Science, 8*(3), 223-241. doi: 10.1177/1745691612460685
- Flack, W. F. (2006). Peripheral feedback effects of facial expressions, bodily postures, and vocal expressions on emotional feelings. *Cognition & Emotion, 20*(2), 177-195. doi: 10.1080/02699930500359617
- Flack, W. F., Laird, J. D., & Cavallaro, L. A. (1999). Separate and combined effects of facial expressions and bodily postures on emotional feelings. *European Journal of Social Psychology, 29*(2-3), 203-217. doi: 10.1002/(SICI)1099-0992(199903/05)29:2/3%3C203::AID-EJSP924%3E3.0.CO;2-8
- Gallagher, S. (2014). Phenomenology and embodied cognition. Dans L. Shapiro (Éd.), *The Routledge handbook of embodied cognition* (pp. 9-18). Angleterre: Routledge.
- Gangemi, A., Mancini, F., & Johnson-Laird, P. N. (2013). Emotion, reasoning, and psychopathology. Dans I. Blanchette (Éd.), *Emotion and reasoning* (pp. 44-83). Londres, Angleterre: Psychology Press.
- Gilbertson, M. W., Paulus, L. A., Williston, S. K., Gurvits, T. V., Lasko, N. B., Pitman, R. K., & Orr, S. P. (2006). Neurocognitive function in monozygotic twins discordant for combat exposure: Relationship to posttraumatic stress disorder. *Journal of Abnormal Psychology, 115*(3), 484-495. doi: 10.1037/0021-843X.115.3.484
- Glenberg, A. M. (2015). Few believe the world is flat: How embodiment is changing the scientific understanding of cognition. *Revue canadienne de psychologie expérimentale, 69*(2), 165-171. doi: 10.1037/cep0000056
- Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin & Review, 9*(3), 558-565. doi: 10.3758/BF03196313
- Glenberg, A. M., Sato, M., & Cattaneo, L. (2008). Use-induced motor plasticity affects the processing of abstract and concrete language. *Current Biology, 18*(7), R290-R291. doi: 10.1016/j.cub.2008.02.036

- Glenberg, A. M., Sato, M., Cattaneo, L., Riggio, L., Palumbo, D., & Buccino, G. (2008). Processing abstract language modulates motor system activity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *61*, 905-919. doi: 10.1080/17470210701625550
- Goel, V. (2019). Rationality and the brain. Dans M. Knauff & W. Spohn (Éd.), *Handbook on Rationality*. MIT Press. Prépublication. doi: 10.13140/RG.2.2.35345.79208
- Goel, V., & Dolan, R. J. (2003). Explaining modulation of reasoning by belief. *Cognition*, *87*(1), B11-B22. doi: 10.1016/S0010-0277(02)00185-3
- Goldinger, S. D., Papesh, M. H., Barnhart, A. S., Hansen, W. A., & Hout, M. C. (2016). The poverty of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, *23*(4), 959-978. doi: 10.3758/s13423-015-0860-1
- Gosselin, J., & Blanchette, I. (2018). L'influence des émotions intégrales positives sur le raisonnement déductif et inductif. *Revue québécoise de psychologie*, *39*(2), 245-268. doi: 10.7202/1051230ar
- Häfner, M. (2013). When Body and Mind Are Talking: Interoception Moderates Embodied Cognition. *Experimental Psychology*, *60*, 255-259. doi: 10.1027/1618-3169/a000194
- Hajcak, G., MacNamara, A., & Olvet, D. M. (2010). Event-related potentials, emotion, and emotion regulation: An integrative review. *Developmental Neuropsychology*, *35*(2), 129-155. doi: 10.1080/87565640903526504
- Havas, D. A., Glenberg, A. M., Gutowski, K. A., Lucarelli, M. J., & Davidson, R. J. (2010). Cosmetic use of botulinum toxin-A affects processing of emotional language. *Psychological Science*, *21*(7), 895-900. doi: 10.1177/0956797610374742
- Herbert, B. M., & Pollatos, O. (2012). The body in the mind: on the relationship between interoception and embodiment. *Topics in Cognitive Science*, *4*(4), 692-704. doi: 10.1111/j.1756-8765.2012.01189.x
- Hess, U., Banse, R., & Kappas, A. (1995). The intensity of facial expression is determined by underlying affective state and social situation. *Journal of Personality and Social Psychology*, *69*(2), 280-288. doi: 10.1037/0022-3514.69.2.280
- Hess, U., Kappas, A., McHugo, G. J., Lanzetta, J. T., & Kleck, R. E. (1992). The facilitative effect of facial expression on the self-generation of emotion. *International Journal of Psychophysiology*, *12*(3), 251-265. doi: 10.1016/0167-8760(92)90064-I
- Hoch, S. J., & Tschirgi, J. E. (1985). Logical knowledge and cue redundancy in deductive reasoning. *Memory & Cognition*, *13*(5), 453-462. doi: 10.3758/BF03198458

- James, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, 9, 188-205. doi: 10.1093/mind/os-IX.34.188
- Johnson-Laird, P. N. (1975). Models of deduction. Dans R. J. Falmagne (Éd.), *Reasoning: Representation and process in children and adults* (pp. 7-54). New York, NY: Halsted Press.
- Jostmann, N. B., Lakens, D., & Schubert, T. W. (2009). Weight as an embodiment of importance. *Psychological Science*, 20(9), 1169-1174. doi: 10.1111/j.1467-9280.2009.02426.x
- Jung, N., Wranke, C., Hamburger, K., & Knauff, M. (2014). How emotions affect logical reasoning: evidence from experiments with mood-manipulated participants, spider phobics, and people with exam anxiety. *Frontiers in Psychology*, 5, 570. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00570
- Kahneman, D., Slovic, S. P., Slovic, P., & Tversky, A. (Éds). (1982). *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. Cambridge, MA: Cambridge University press.
- Kemp, R., Chua, S., McKenna, P., & David, A. (1997). Reasoning and delusions. The *British Journal of Psychiatry*, 170(5), 398-405. doi: 10.1192/bjp.170.5.398
- Kim, H. S., & Baron, R. S. (1988). Exercise and the illusory correlation: Does arousal heighten stereotypic processing?. *Journal of Experimental Social Psychology*, 24(4), 366-380. doi: 10.1016/0022-1031(88)90026-1
- Koch, S., Holland, R. W., Hengstler, M., & van Knippenberg, A. (2009). Body locomotion as regulatory process: Stepping backward enhances cognitive control. *Psychological Science*, 20(5), 549-550. doi: 10.1111/j.1467-9280.2009.02342.x
- Koch, S., Holland, R. W., & van Knippenberg, A. (2008). Regulating cognitive control through approach-avoidance motor actions. *Cognition*, 109(1), 133-142. doi: 10.1016/j.cognition.2008.07.014
- Kontra, C., Lyons, D. J., Fischer, S. M., & Beilock, S. L. (2015). Physical experience enhances science learning. *Psychological Science*, 26(6), 737-749. doi: 10.1177/0956797615569355
- Krieglmeyer, R., Deutsch, R., De Houwer, J., & De Raedt, R. (2010). Being moved: Valence activates approach-avoidance behavior independently of evaluation and approach-avoidance intentions. *Psychological Science*, 21(4), 607-613. doi: 10.1177/0956797610365131

- Laird, J. D. (1974). Self-attribution of emotion: The effects of expressive behavior on the quality of emotional experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, 29(4), 475-486. doi: 10.1037/h0036125
- Laird, J. D., Cuniff, M., Sheehan, K., Shulman, D., & Strum, G. (1989). Emotion specific effects of facial expressions on memory for life events. *Journal of Social Behavior and Personality*, 4(2), 87-98.
- Larsen, R. J., Kasimatis, M., & Frey, K. (1992). Facilitating the furrowed brow: An unobtrusive test of the facial feedback hypothesis applied to unpleasant affect. *Cognition & Emotion*, 6(5), 321-338. doi: 10.1080/02699939208409689
- Lefford, A. (1946). The influence of emotional subject matter on logical reasoning. *The Journal of General Psychology*, 34(2), 127-151. doi: 10.1080/00221309.1946.10544530
- Levenson, R. W., & Ekman, P. (2002). Difficulty does not account for emotion-specific heart rate changes in the directed facial action task. *Psychophysiology*, 39(3), 397-405. doi: 10.1017/S0048577201393150
- Marmeleira, J., & Santos, G. D. (2019). Do not neglect the body and action: The emergence of embodiment approaches to understanding human development. *Perceptual and Motor Skills*, 126(3), 410-445. doi: 10.1177/0031512519834389
- Marsh, A. A., Rhoads, S. A., & Ryan, R. M. (2019). A multi-semester classroom demonstration yields evidence in support of the facial feedback effect. *Emotion*, 19(8), 1500-1504. doi: 10.1037/emo0000532
- McIntosh, D. N. (1996). Facial feedback hypotheses: Evidence, implications, and directions. *Motivation & Emotion*, 20(2), 121-147. doi: 10.1007/BF02253868
- Meeten, F., Ivak, P., Dash, S. R., Knowles, S., Duka, T., Scott, R., ... Davey, G. C. (2015). The effect of facial expressions on the evaluation of ambiguous statements. *Journal of Experimental Psychopathology*, 6(3), 253-263. doi: 10.5127/jep.039613
- Melis, C., & van Boxtel, A. (2007). Autonomic physiological response patterns related to intelligence. *Intelligence*, 35(5), 471-487. doi: 10.1016/j.intell.2006.09.007
- Melton, R. J. (1995). The role of positive affect in syllogism performance. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 21(8), 788-794. doi: 10.1177/0146167295218001
- Mineka, S., & Sutton, S. K. (1992). Cognitive biases and the emotional disorders. *Psychological Science*, 3(1), 65-69. doi: 10.1111/j.1467-9280.1992.tb00260.x

- Mori, H., & Mori, K. (2007). A test of the passive facial feedback hypothesis: We feel sorry because we cry. *Perceptual and Motor Skills*, *105*(3_suppl), 1242-1244. doi: 10.2466/pms.105.4.1242-1244
- Mori, K., & Mori, H. (2009). Another test of the passive facial feedback hypothesis: When your face smiles, you feel happy. *Perceptual and Motor Skills*, *109*(1), 76-78. doi: 10.2466/pms.109.1.76-78
- Nair, S., Sagar, M., Sollers III, J., Consedine, N., & Broadbent, E. (2015). Do slumped and upright postures affect stress responses? A randomized trial. *Health Psychology*, *34*(6), 632-641. doi: 10.1037/hea0000146
- Neth, H., & Johnson-Laird, P. N. (1999). The search for counterexamples in human reasoning. Dans M. Hahn & S. Stones (Éd.), *Proceedings of the twenty first annual conference of the Cognitive Science Society* (pp. 806). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Newstead, S. E., Pollard, P., Evans, J. S. B. T., & Allen, J. L. (1992). The source of belief bias effects in syllogistic reasoning. *Cognition*, *45*(3), 257-284. doi: 10.1016/0010-0277(92)90019-E
- Niedenthal, P. M. (2007). Embodying emotion. *Science*, *316*(5827), 1002-1005. doi: 10.1126/science.1136930
- Niedenthal, P. M., Barsalou, L. W., Winkielman, P., Krauth-Gruber, S., & Ric, F. (2005). Embodiment in attitudes, social perception, and emotion. *Personality and Social Psychology Review*, *9*(3), 184-211. doi: 10.1207/s15327957pspr0903_1
- Niedenthal, P. M., Winkielman, P., Mondillon, L., & Vermeulen, N. (2009). Embodiment of emotion concepts. *Journal of Personality and Social Psychology*, *96*(6), 1120-1136. doi: 10.1037/a0015574
- Nunes, T., Bryant, P., Evans, D., Bell, D., Gardner, S., Gardner, A., & Carraher, J. (2007). The contribution of logical reasoning to the learning of mathematics in primary school. *British Journal of Developmental Psychology*, *25*(1), 147-166. doi: 10.1348/026151006X153127
- Oaksford, M., Morris, F., Grainger, B., & Williams, J. M. G. (1996). Mood, reasoning, and central executive processes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *22*(2), 476-492. doi: 10.1037/0278-7393.22.2.476
- Oosterwijk, S., Rotteveel, M., Fischer, A. H., & Hess, U. (2009). Embodied emotion concepts: How generating words about pride and disappointment influences posture. *European Journal of Social Psychology*, *39*(3), 457-466. doi: 10.1002/ejsp.584

- Palfai, T. P., & Salovey, P. (1993). The influence of depressed and elated mood on deductive and inductive reasoning. *Imagination, Cognition and Personality, 13*(1), 57-71. doi: 10.2190/FYYA-GCRU-J124-Q3B2
- Peper, E., Harvey, R., & Hamiel, D. (2019). Transforming thoughts with postural awareness to increase therapeutic and teaching efficacy. *NeuroRegulation, 6*(3), 153-160. doi: 10.15540/nr.6.3.153
- Peper, E., Lin, I. M., Harvey, R., & Perez, J. (2017). How posture affects memory recall and mood. *Biofeedback, 45*(2), 36-41. doi: 10.5298/1081-5937-45.2.01
- Price, T. F., & Harmon-Jones, E. (2015). Embodied emotion: The influence of manipulated facial and bodily states on emotive responses. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 6*(6), 461-473. doi: 10.1002/wcs.1370
- Proffitt, D. R. (2006). Embodied perception and the economy of action. *Perspectives on Psychological Science, 1*(2), 110-122. doi: 10.1111/j.1745-6916.2006.00008.x
- Rabelo, A. L., Keller, V. N., Pilati, R., & Wicherts, J. M. (2015). No effect of weight on judgments of importance in the moral domain and evidence of publication bias from a meta-analysis. *PloS One, 10*(8), e0134808.
- Radenhausen, R. A., & Anker, J. M. (1988). Effects of depressed mood induction on reasoning performance. *Perceptual and Motor Skills, 66*(3), 855-860. doi: 10.2466/pms.1988.66.3.855
- Revlin, R., Leirer, V., Yopp, H., & Yopp, R. (1980). The belief-bias effect in formal reasoning: The influence of knowledge on logic. *Memory & Cognition, 8*(6), 584-592. doi: 10.3758/BF03213778
- Rossi, S., & van der Henst, J.-B. (2007). *Psychologie du raisonnement*. Bruxelles, Belgique : De Boeck.
- Samuel, A. J., Solomon, J., & Mohan, D. (2015). A critical review on the normal postural control. *Physiotherapy and Occupational Therapy Journal, 8*(2), 71-75. doi: 10.21088/potj.0974.5777.8215.4
- Schandry, R. (1981). Heart beat perception and emotional experience. *Psychophysiology, 18*(4), 483-488. doi: 10.1111/j.1469-8986.1981.tb02486.x
- Schnall, S., Haidt, J., Clore, G. L., & Jordan, A. H. (2008). Disgust as embodied moral judgment. *Personality and Social Psychology Bulletin, 34*(8), 1096-1109. doi: 10.1177/0146167208317771

- Schnall, S., & Laird, J. (2003). Brief report. *Cognition & Emotion*, *17*(5), 787-797. doi: 10.1080/02699930302286
- Schneider, I. K., Eerland, A., van Harreveld, F., Rotteveel, M., van der Pligt, J., van der Stoep, N., & Zwaan, R. A. (2013). One way and the other: The bidirectional relationship between ambivalence and body movement. *Psychological Science*, *24*(3), 319-325. doi: 10.1177/0956797612457393
- Siemer, M., Mauss, I., & Gross, J. J. (2007). Same situation--different emotions: How appraisals shape our emotions. *Emotion*, *7*(3), 592-600. doi: 10.1037/1528-3542.7.3.592
- Skulmowski, A., & Rey, G. D. (2018). Adjusting sample sizes for different categories of embodied cognition research. *Frontiers in Psychology*, *9*, 2384. doi: 10.3389/fpsyg.2018.02384
- Soussignan, R. (2002). Duchenne smile, emotional experience, and autonomic reactivity: A test of the facial feedback hypothesis. *Emotion*, *2*(1), 52-74. doi: 10.1037/1528-3542.2.1.52
- Spackman, J. S., & Yanchar, S. C. (2014). Embodied cognition, representationalism, and mechanism: a review and analysis. *Journal for the Theory of Social Behaviour*, *44*(1), 46-79. doi: 10.1111/jtsb.12028
- Spies, J., Etard, O., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2007). The skin-conductance component of error correction in a logical reasoning task. *Current psychology letters. Behaviour, Brain & Cognition*, *23*(3), 1-9. doi: 10.4000/cpl.2872
- Stepper, S., & Strack, F. (1993). Proprioceptive determinants of emotional and nonemotional feelings. *Journal of Personality and Social Psychology*, *64*(2), 211-220. doi: 10.1037/0022-3514.64.2.211
- Strack, F., Martin, L. L., & Stepper, S. (1988). Inhibiting and facilitating conditions of the human smile: a nonobtrusive test of the facial feedback hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, *54*(5), 768. doi: 10.1037/0022-3514.54.5.768
- Thompson, V. A., Turner, J. A. P., Pennycook, G., Ball, L. J., Brack, H., Ophir, Y., & Ackerman, R. (2013). The role of answer fluency and perceptual fluency as metacognitive cues for initiating analytic thinking. *Cognition*, *128*(2), 237-251. doi: 10.1016/j.cognition.2012.09.012
- Tom, G., Petterson, P., Lau, T., Burton, T., & Cook, J. (1991). The role of overt head movement in the formation of affect. *Basic and Applied Social Psychology*, *12*(3), 281-289. doi: 10.1207/s15324834basp1203_3

- Toplak, M. E., Liu, E., MacPherson, R., Toneatto, T., & Stanovich, K. E. (2007). The reasoning skills and thinking dispositions of problem gamblers: A dual-process taxonomy. *Journal of Behavioral Decision Making, 20*(2), 103-124. doi: 10.1002/bdm.544
- Toplak, M. E., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2017). Real-world correlates of performance on heuristics and biases tasks in a community sample. *Journal of Behavioral Decision Making, 30*(2), 541-554. doi: 10.1002/bdm.1973
- Topolinski, S., & Deutsch, R. (2013). Phasic affective modulation of semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 39*(2), 414-436. doi: 10.1037/a0028879
- Topolinski, S., & Strack, F. (2009). The architecture of intuition: fluency and affect determine intuitive judgments of semantic and visual coherence and judgments of grammaticality in artificial grammar learning. *Journal of Experimental Psychology: General, 138*(1), 39-63. doi: 10.1037/a0014678
- Tops, M., & De Jong, R. (2006). Posing for success: Clenching a fist facilitates approach. *Psychonomic Bulletin & Review, 13*(2), 229-234. doi: 10.3758/BF03193835
- Trémolière, B., Gagnon, M. È., & Blanchette, I. (2016). Cognitive load mediates the effect of emotion on analytical thinking. *Experimental Psychology, 63*(6), 343-350. doi: 10.1027/1618-3169/a000333
- Trippas, D., Thompson, V. A., & Handley, S. J. (2017). When fast logic meets slow belief: Evidence for a parallel-processing model of belief bias. *Memory & Cognition, 45*(4), 539-552. doi: 10.3758/s13421-016-0680-1
- Tsai, H. Y., Peper, E., & Lin, I. M. (2016). EEG patterns under positive/negative body postures and emotion recall tasks. *Neuroregulation, 3*(1), 23-23. doi: 10.15540/nr.3.1.23
- Tsujii, T., & Watanabe, S. (2010). Neural correlates of belief-bias reasoning under time pressure: A near-infrared spectroscopy study. *Neuroimage, 50*(3), 1320-1326. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.01.026
- Tucker, M., & Ellis, R. (2004). Action priming by briefly presented objects. *Acta Psychologica, 116*(2), 185-203. doi: 10.1016/j.actpsy.2004.01.004
- van Boxtel, A., & Jessurun, M. (1993). Amplitude and bilateral coherency of facial and jaw-elevator EMG activity as an index of effort during a two-choice serial reaction task. *Psychophysiology, 30*(6), 589-604. doi: 10.1111/j.1469-8986.1993.tb02085.x

- van der Hoort, B., Guterstam, A., & Ehrsson, H. H. (2011). Being Barbie: The size of one's own body determines the perceived size of the world. *Plos One*, *6*(5), e20195. doi: 10.1371/journal.pone.0020195
- Varela, F. J., Rosch, E., & Thompson, E. (1991). *The embodied mind: Cognitive science and human experience*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Veenstra, L., Schneider, I. K., & Koole, S. L. (2017). Embodied mood regulation: The impact of body posture on mood recovery, negative thoughts, and mood-congruent recall. *Cognition & Emotion*, *31*(7), 1361-1376. doi: 10.1080/02699931.2016.1225003
- Viau-Quesnel, C., Savary, M., & Blanchette, I. (2019). Reasoning and concurrent timing: A study of the mechanisms underlying the effect of emotion on reasoning. *Cognition & Emotion*, *33*(5), 1020-1030. doi: 10.1080/02699931.2018.1535427
- Wilkes, C., Kydd, R., Sagar, M., & Broadbent, E. (2017). Upright posture improves affect and fatigue in people with depressive symptoms. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *54*, 143-149. doi: 10.1016/j.jbtep.2016.07.015
- Wilson, A. D., & Golonka, S. (2013). Embodied cognition is not what you think it is. *Frontiers in Psychology*, *4*, 58. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00058
- Winkielman, P., Niedenthal, P., Wielgosz, J., Eelen, J., & Kavanagh, L. C. (2015). Embodiment of cognition and emotion. Dans M. Mikulincer, P. R. Shaver, E. Borgida, & J. A. Bargh (Éds), *APA handbook of personality and social psychology, Vol. 1. Attitudes and social cognition* (pp. 151-175). Washington, DC: APA Books. doi: 10.1037/14341-004
- Yee, E., Chryssikou, E. G., Hoffman, E., & Thompson-Schill, S. L. (2013). Manual experience shapes object representations. *Psychological Science*, *24*(6), 909-919. doi: 10.1177/0956797612464658