



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

Ecole Doctorale « Biologie Santé Environnement »

Thèse

Présentée et soutenue publiquement pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE LORRAINE

Mention : « Sciences de la Vie et de la Santé »

par Magali WILLMANN

**Modifications végétatives, somatiques et de l'état d'anxiété
en réponse à un stress modéré : Influence de
caractéristiques individuelles ou situationnelles**

29 novembre 2012

Membres du jury

Rapporteurs

Mr. Michel AUDIFFREN, Professeur à l'Université de Poitiers

Mme Janick NAVETEUR, Maître de Conférences (HDR) à l'Université de Valenciennes

Examineurs

Mr. Benoît BOLMONT, Maître de Conférences (HDR) à l'Université de Lorraine, Directeur de thèse

Mr. Christian COLLET, Professeur à l'Université Claude Bernard Lyon 1

Mme Cécile LANGLET, Maître de Conférences à l'Université de Lorraine

Mr. Jacques PRIOUX, Professeur à l'Ecole Normale Supérieure de Cachan

REMERCIEMENTS

A Benoît Bolmont, mon directeur de thèse, pour sa patience, sa confiance et la bienveillance dont il a fait preuve à mon égard. Je lui suis reconnaissante pour tout ce qu'il m'a apporté.

A Madame le Docteur Janick Naveteur et Monsieur le Professeur Michel Audiffren qui ont accepté de consacrer une partie de leur temps pour être les rapporteurs de ce travail.

A Madame le Docteur Cécile Langlet et Messieurs les Professeurs Jacques Prioux et Christian Collet pour avoir accepté d'être examinateur.

A mes « collègues », étudiants comme moi, ou enseignants au sein de l'UFR SciFA dpt STAPS, qui ont souvent été sources de conseils, d'aide et de réconfort. Je pense en particulier à Aurélie, Cécile, Tzvetze, Jean-Philippe, Nathalie, Vincent,....

A mes collègues du judo Fitta, Mus, Vitto, Jérémy et partenaires d'entraînement qui ont su m'encourager pour ce travail comme ils le font sur le tatami, et parce que le judo m'a apporté l'équilibre dont j'avais besoin.

A Sabine et Cathy pour leurs encouragements et pour m'avoir remonté le moral dans les moments de doutes.

A Guylaine, Cécile et Anne pour leur bonne humeur et pour m'avoir fait oublier pendant quelques instants de rigolade les mauvais passages de cette thèse.

Et bien sur, à mes parents, mon frère et toute ma famille pour leur soutien au cours de ce long parcours, pour m'avoir supporté, pour m'avoir soutenu moralement et pour avoir cru en moi...

AVANT PROPOS

Le travail présenté dans ce mémoire de thèse de doctorat a été réalisé au Laboratoire d'Automatique humaine et de Sciences Comportementales (LASC EA 3467) de l'Université de Lorraine dirigé par le Professeur Guy Bourhis. Ce travail a été réalisé sous la direction de Benoît Bolmont, Maître de Conférences HDR à l'Université de Lorraine.

Le travail présenté dans ce mémoire de thèse de doctorat a fait l'objet des publications internationales suivantes :

Willmann M., Langlet C., Hainaut J.-P. et Bolmont B. (2012) 'The time course of autonomic parameters and muscle tension during recovery following a moderate cognitive stressor: dependency on trait anxiety level', *International Journal of Psychophysiology*, 84, p.51-58.

Willmann M. et Bolmont B. (2012) 'The trapezius muscle uniquely lacks adaptive process in response to a repeated moderate cognitive stressor', *Neuroscience Letters*, 506, p.166-169.

Ce travail a également été présenté dans un chapitre d'ouvrage :

Willmann M., Langlet C., Hainaut J.-P., Bolmont B. (2013). La dynamique temporelle post-stress de paramètres végétatifs et de la tension musculaire selon le niveau de trait d'anxiété : résultats préliminaires. *Perspectives de psychologie différentielle*. Presses Universitaires de Provence : sous presse.

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES.....	6
LISTE DES TABLEAUX	8
1. Introduction.....	9
2. Le concept de stress.....	13
2.1. Des agents stressants aux réponses.....	14
2.1.1. Les agents stressants.....	14
2.1.1.1. Facteurs de stress dans la vie quotidienne	14
2.1.1.2. Situations stressantes expérimentales.....	15
2.1.1.3. Conclusion	18
2.1.2. Les réponses au stress.....	18
2.1.2.1. Généralités	18
2.1.2.2. L'état d'anxiété et les réponses végétatives et musculaires.....	24
2.1.2.3. L'état d'anxiété et les réponses végétatives et musculaires lors de situations stressantes répétées	29
2.1.2.3.1. Situations stressantes répétées	29
2.1.2.3.2. Conséquences à long terme	31
2.1.2.4. Conclusion	34
2.2. Les processus intermédiaires	35
2.2.1. L'évaluation cognitive.....	35
2.2.2. Les stratégies de coping	36
2.2.3. Les caractéristiques situationnelles et individuelles influençant les processus intermédiaires	37
2.2.3.1. Les caractéristiques situationnelles.....	37
2.2.3.2. Les caractéristiques individuelles.....	38
2.2.3.2.1. Influence du trait d'anxiété dans les processus intermédiaires : conséquences sur l'état d'anxiété et les réponses végétatives et musculaires	42
2.2.4. Conclusion	44
3. Objectifs et hypothèses de recherche.....	46
3.1. Influence du trait d'anxiété sur les réponses végétatives et musculaires induites par une situation stressante	47
3.2. Réponses musculaires face au stress	49
4. Expérimentation.....	52
4.1. Méthodologie générale.....	52
4.1.1. Cadre des études.....	52

4.1.2.	La population de recherche.....	52
4.1.3.	Mesure des paramètres psychologiques.....	53
4.1.4.	Mesure des paramètres physiologiques	54
4.1.4.1.	Paramètres végétatifs	54
4.1.4.2.	Paramètres musculaires	55
4.1.5.	Tâche stressante et tâche contrôle	57
4.2.	Influence du trait d'anxiété sur les réponses végétatives et musculaires induites par une situation stressante : Etude 1.....	59
4.2.1.	Matériels et méthodes	59
4.2.1.1.	Sujets	59
4.2.1.2.	Mesures auto-évaluées	60
4.2.1.3.	Mesures physiologiques.....	60
4.2.1.4.	Procédure	61
4.2.1.5.	Analyse statistique	62
4.2.2.	Résultats	65
4.2.2.1.	Caractéristique des sujets et performance à la tâche.....	65
4.2.2.2.	Mesures auto-évaluées	66
4.2.2.3.	Mesures physiologiques.....	67
4.2.2.3.1.	Pendant le stresser.....	67
4.2.2.3.2.	Pendant la récupération.....	71
4.2.2.4.	Relation entre la valence des pensées et la récupération physiologique	75
4.2.3.	Discussion	76
4.2.4.	Conclusion	84
4.3.	Réponses musculaires face au stress : Etudes 2 et 3 :	85
4.3.1.	La dynamique des réponses musculaires au cours d'une situation stressante : Etude 2.....	85
4.3.1.1.	Matériels et méthodes	85
4.3.1.1.1.	Sujets	85
4.3.1.1.2.	Mesures de l'état d'anxiété.....	85
4.3.1.1.3.	Mesures des paramètres musculaires.....	86
4.3.1.1.4.	Procédure	86
4.3.1.1.5.	Analyse statistique	87
4.3.1.2.	Résultats	88
4.3.1.2.1.	Anxiété-état.....	88
4.3.1.2.2.	Activité EMG.....	89

4.3.1.3.	Discussion	92
4.3.2.	Les réponses musculaires lors d'une situation stressante répétée : Etude 3	96
4.3.2.1.	Matériels et méthodes	96
4.3.2.1.1.	Sujets	96
4.3.2.1.2.	Mesures de l'anxiété-état	97
4.3.2.1.3.	Mesures des paramètres musculaires.....	97
4.3.2.1.4.	Procédure	97
4.3.2.1.5.	Analyse statistique	98
4.3.2.2.	Résultats	99
4.3.2.2.1.	Anxiété-état.....	99
4.3.2.2.2.	Performance à la tâche	100
4.3.2.2.3.	Activité EMG.....	100
4.3.2.3.	Discussion	104
4.3.3.	Conclusion	106
5.	Discussion générale.....	107
5.1.	Evaluation du stress à partir d'une combinaison d'indicateurs pertinents	109
5.2.	Influence du caractère de la situation et de la personnalité de l'individu sur les réponses au stress.....	112
5.3.	Des processus d'adaptation aux risques pour la santé	119
6.	Conclusion, limites et perspectives	123
	Références bibliographiques.....	126
	Annexe : Publications	149

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Activation de la médullosurrénale par l'intermédiaire d'influx nerveux sympathique provenant de l'hypothalamus et de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien (d'après Marieb et Hoehn, 2010).

Figure 2 : La relation entre l'état d'anxiété et les états d'humeur (d'après Bolmont et coll., 2001).

Figure 3 : La théorie de l'anxiété trait/état selon Spielberger (1966).

Figure 4 : Modèle de stress selon une perspective transactionnelle.

Figure 5 : Représentation des deux versions de la tâche de Stroop utilisées dans le protocole expérimental.

Figure 6 : Diagramme représentant le déroulement du protocole expérimental (Etude 1).

Figure 7 : L'état d'anxiété pendant le repos référence, la tâche contrôle, la tâche stressante et la valence des pensées pendant le repos référence et la récupération en condition contrôle et en condition stressante pour le groupe d'anxiété trait 'bas' et le groupe d'anxiété trait 'haut'.

Figure 8 : La température cutanée, la fréquence cardiaque, le niveau tonique électrodermal, l'activité EMG du muscle gastrocnémien médial et l'activité EMG du muscle trapèze supérieur pendant la condition contrôle et la condition stressante pour le groupe d'anxiété trait 'haut' et le groupe d'anxiété trait 'bas'.

Figure 9 : Diagramme représentant le déroulement du protocole expérimental (Etude 2).

Figure 10 : L'état d'anxiété pendant le repos référence, la tâche contrôle et la tâche stressante.

Figure 11 : L'activité EMG des muscles soléaire, triceps brachial, trapèze supérieur, gastrocnémien médial et biceps brachial pendant la tâche contrôle et la tâche stressante.

Figure 12 : Diagramme représentant le déroulement du protocole expérimental (Etude 3).

Figure 13 : L'activité EMG des muscles gastrocnémien médial, biceps brachial, trapèze supérieur, court fléchisseur du pouce, soléaire et triceps brachial pendant la tâche contrôle, la tâche stressante 1 et la tâche stressante 2.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques du groupe d'anxiété trait 'haut' et du groupe d'anxiété trait 'bas'.

Tableau 2 : Moyenne (Ecart type) des paramètres physiologiques pendant les périodes de référence et de tâche pour la condition contrôle et la condition stressante.

Tableau 3 : Etat d'anxiété et performance à la tâche pendant le repos référence, la tâche contrôle, la tâche stressante 1 et la tâche stressante 2.

1. Introduction

L'individu est soumis quotidiennement à des situations stressantes. Elles peuvent être très différentes (*e.g.*, sociale, sportive, professionnelle, personnelle), mais il n'en demeure pas moins que l'état psychologique et physiologique de l'individu est modifié. Sur le plan psychologique, les situations stressantes entraînent généralement des modifications affectives négatives, telles qu'une augmentation de la tension, de l'hostilité, de la peur (*e.g.*, Bolmont, 2005 ; Hainaut et Bolmont, 2005 ; Lazarus, 1991). L'anxiété, qui pourrait être une combinaison variable d'humeurs et d'émotions (Bolmont et Abraini, 2001 ; Izard, 1991), en serait la manifestation principale. Sur le plan physiologique, les situations stressantes entraînent une activation du système endocrinien et des systèmes nerveux autonome et somatique. Il est classiquement admis une augmentation d'adrénaline, de noradrénaline, de cortisol (pour revue, Biondi et Picardi, 1999), de la fréquence cardiaque (FC) et respiratoire (FR), de la pression artérielle, de l'activité électrodermale (pour revue, Chida et Hamer, 2008) et de la tension musculaire (*e.g.*, Hazlett et coll., 1994 ; Hoehn-Saric et coll., 1997 ; Krantz et coll., 2004 ; Lundberg et coll., 1994). Néanmoins, selon Pluess et coll. (2009), la tension musculaire n'a été généralement examinée qu'à travers un seul muscle, qui ne serait pas représentatif de la tension musculaire globale.

Les réponses physiologiques seraient à l'origine un mécanisme adaptatif destiné à préparer l'individu à réagir rapidement de façon appropriée à des événements menaçants par l'attaque ou la fuite ('fight or flight', Cannon, 1929). Ces réactions possèderaient un caractère indispensable à la survie de l'espèce (*e.g.*, Ekman, 1992 ; Öhman, 2000 ; Panksepp, 2000 ; Plutchik, 1984). En revanche, elles ne semblent plus adaptées aux contraintes physiques et psychologiques imposées par notre mode de vie. Des expositions répétées à des situations stressantes pourraient entraîner un manque d'adaptation des réponses endocriniennes et

végétatives (*e.g.*, Hamer et coll., 2006). La persistance de ces réactions inappropriées et disproportionnées face au stress chronique pourrait à terme mettre en danger le bien-être de l'individu et générer des problèmes de santé. L'adaptation des réponses musculaires à des situations stressantes répétées, quant à elle, semble représenter un terrain d'investigation encore relativement peu exploré dans la littérature scientifique.

Selon certains auteurs (*e.g.*, Lazarus et Launier, 1978 ; Rivolier, 1989), les réponses au stress pourraient varier selon les individus. Face à une situation stressante, l'individu évalue les contraintes spécifiques de la situation par rapport à ses propres possibilités de réponses. L'adéquation ou non entre les exigences de la situation et les ressources personnelles perçues (*i.e.*, capacités de faire face de l'individu) déterminera l'apparition ou non de modifications affectives négatives et de modifications physiologiques. Les réponses au stress ne sont donc pas la conséquence directe d'une contrainte objective mais d'une évaluation subjective des contraintes spécifiques de la situation. Ainsi, le stress possède une dimension subjective propre à chaque individu. Ce dernier, considéré comme un être unique, est caractérisé par des prédispositions internes qui pourraient influencer l'évaluation de l'environnement. Le trait d'anxiété, qui reflète des dispositions à réagir d'une certaine manière de façon régulière et prévisible, pourrait jouer un rôle important dans l'évaluation de la situation. Par conséquent, cette prédisposition interne serait susceptible d'influencer les réponses au stress (*e.g.*, Eysenck, 1992 ; Spielberger, 1972). Les individus caractérisés par un trait d'anxiété élevé pourraient évaluer les situations comme plus stressantes et montrer une élévation plus importante de l'état d'anxiété comparés à des individus de trait d'anxiété bas (Eysenck, 1992 ; Spielberger, 1972). Sur le plan physiologique, la différenciation entre les individus de traits d'anxiété élevé et bas semble plus complexe. En effet, les études examinant la relation entre le niveau de trait d'anxiété et les réponses végétatives et endocriniennes au cours de situations stressantes ont montré des résultats différents chez des individus de traits d'anxiété élevé et

bas. Quelques auteurs ont montré, par exemple, une augmentation du niveau de cortisol et de la FC plus importante chez des individus de trait d'anxiété élevé comparé à des individus de trait d'anxiété bas (Jezova et coll., 2004 ; Wilken et coll., 2000). En revanche, ces données contrastent avec les études qui ont montré une augmentation du niveau de cortisol et de la FC similaire quel que soit le niveau de trait d'anxiété des individus (*e.g.*, Arena et Hobbs, 1995 ; Baggett et coll., 1996 ; Gonzalez-Bono et coll., 2002 ; Mauss et coll., 2003 ; Noteboom et coll., 2001a ; Steptoe et Vögele, 1992). Au niveau musculaire, la manifestation principale de l'anxiété serait une augmentation de la tension musculaire (Hoehn-Saric et McLeod, 1993). Cependant les études examinant la relation entre le niveau de trait d'anxiété et la tension musculaire au cours de situations stressantes ont également montré des résultats contrastés chez des sujets de traits d'anxiété différents (Arena et Hobbs, 1995 ; Fridlund et coll., 1986). Bien que certains auteurs (Fridlund et coll., 1986) aient montré une augmentation de la tension musculaire plus importante chez des individus de trait d'anxiété élevé comparés à des individus de trait d'anxiété bas, d'autres auteurs n'ont en revanche pas trouvé de différence pour la tension musculaire chez des individus de traits d'anxiété contrastés (Arena et Hobbs, 1995). Finalement, les différents résultats des études n'ont pas permis de mettre en évidence une activation physiologique spécifique selon le niveau de trait d'anxiété des individus. La plupart de ces études ont examiné les modifications physiologiques au cours d'une situation stressante. Cependant, de façon intéressante, certains auteurs ont suggéré que des différences individuelles pourraient émerger après l'arrêt du stressor, au cours de la période de récupération (*e.g.*, Davidson, 1998).

Ainsi, le trait d'anxiété pourrait influencer les réponses au stress de par son impact sur l'évaluation de l'environnement. Les études examinant la relation entre le trait d'anxiété et les réponses physiologiques induites par des situations stressantes n'ont cependant pas permis à

ce jour de distinguer des patrons de réponses physiologiques liés au trait d'anxiété. D'autre part, la tension musculaire induite par des situations stressantes pour différents muscles semble représenter un terrain d'investigation encore relativement peu exploré dans la littérature scientifique. Ainsi, notre travail de thèse va s'attacher à examiner, en tenant compte du trait d'anxiété des individus :

- les modifications physiologiques au cours d'une situation stressante et lors de la période de récupération chez des individus de traits d'anxiété différents,
- spécifiquement la tension musculaire de différents muscles chez un groupe d'individu de trait d'anxiété homogène en situation stressante et en situation de stress répétée.

Au cours d'une première partie, le concept de stress sera abordé. Nous présenterons les différents agents stressants et les réponses aux stress, particulièrement l'état d'anxiété et les réponses physiologiques. Les processus intermédiaires (*i.e.*, l'évaluation de la situation et les stratégies de coping) seront également développés. Puis, nous montrerons l'influence du trait d'anxiété sur les processus intermédiaires, et nous exposerons les conséquences sur l'état d'anxiété et les réponses physiologiques. La deuxième partie présentera les objectifs et les hypothèses de recherche. Nous présenterons dans une troisième partie les méthodes et les résultats des études réalisées dans le cadre de ce travail doctoral. Enfin, la dernière partie proposera une synthèse et une discussion des résultats obtenus dans les différentes études. Finalement, différentes perspectives de recherches seront présentées.

2. Le concept de stress

Le stress est un concept vaste et ambigu, largement débattu au cours du siècle dernier. Il a donné lieu à de nombreux travaux dans des champs scientifiques très variés, de la psychologie et ses différents courants, aux neurosciences en passant par la biologie. Selon les approches, il possède de multiples acceptions qui ont sensiblement évolué. Désignant à la fois les contraintes de l'environnement ou agents stressants, et les effets ou réponses de l'organisme face à ces contraintes, le stress devient finalement un processus complexe dans lequel les réponses seraient la conséquence de processus cognitifs et variables selon l'environnement et l'individu.

Ce concept a émergé à partir de conceptions médicales sous la forme d'une réponse non spécifique de l'organisme (Selye, 1936). Dans les années 1930, Selye constate que des agents agressifs différents génèrent une réaction physiologique standard destinée à maintenir l'homéostasie (Selye, 1946 ; Selye, 1956). Cette réaction qu'il nommera Syndrome Général d'Adaptation (SGA) se déroule en trois phases. La phase d'alarme correspond à la réaction initiale de l'organisme face à une situation stressante et est caractérisée par des modifications physiologiques. Progressivement l'organisme rentre dans une phase de résistance qui correspond à une intensification des modifications physiologiques afin que l'organisme puisse s'adapter à la situation. Puis, si l'exposition à la situation stressante persiste, il s'ensuit la phase d'épuisement dans laquelle l'organisme cède face à la demande.

Cette conception physiologique du stress a ensuite évolué avec les théories psychologiques qui ont souligné l'importance des processus interprétatifs et subjectifs dans la réponse au stress (*e.g.*, Dantzer, 1984 ; Lazarus et Launier, 1978 ; McGrath et coll., 1970). La réponse serait dépendante de la perception et de l'interprétation de la situation. Le stress n'a donc plus été envisagé comme une simple relation linéaire et mécaniste de cause à effet, mais

comme un processus complexe dans lequel l'individu échange de façon continue avec son environnement au travers de processus interactifs (Lazarus, 1966). Dans ce sens, Lazarus et Folkman (1984) ont conçu un modèle transactionnel du stress qui intègre la personne et l'environnement dans une relation dynamique, réciproque et bidirectionnelle. L'environnement est constamment évalué subjectivement par l'individu, conséquence d'un système d'évaluations et de réévaluations permanentes et de la mise en place de stratégies de coping (Lazarus et Launier, 1978 ; Lazarus et Folkman, 1984). Ainsi, le stress a été défini par Lazarus et Folkman (1984, p.19) comme « *une relation particulière entre la personne et l'environnement dans laquelle la situation est évaluée par l'individu comme débordant ses ressources et pouvant mettre en danger son bien-être* ».

Finalement, le stress peut être considéré comme un processus psychophysiologique complexe incluant l'environnement ou les agents stressants et les réponses mais également les processus intermédiaires que sont l'évaluation de la situation et les stratégies de coping.

2.1. Des agents stressants aux réponses

2.1.1. Les agents stressants

2.1.1.1. Facteurs de stress dans la vie quotidienne

Les facteurs de stress ou agents stressants de la vie quotidienne correspondent à des demandes de l'environnement qui excèdent les ressources psychologiques et physiologiques de l'individu et qui sont susceptibles de mettre en danger le bien-être de l'individu. Ces facteurs de stress sont nombreux et peuvent être très différents. Deux catégories sont généralement distinguées, à savoir les facteurs psychosociaux et les facteurs physiques.

Classiquement, les facteurs de stress psychosociaux peuvent être d'origine professionnelle (*e.g.*, charge de travail trop importante, changement des responsabilités, conflits avec des collègues ou des supérieurs), extraprofessionnelle (*e.g.*, conflits avec les proches, compétitions sportives), mais peuvent également correspondre à des événements marquants de la vie (*e.g.*, deuil, divorce, accident). Nous pouvons également distinguer les facteurs psychosociaux d'origine situationnelle comme le confinement et l'isolement institutionnel (*e.g.*, prison, hospitalisation). Les facteurs de stress physiques sont, quant à eux, généralement liés aux conditions environnementales (*i.e.* physiques et/ou climatiques), par exemple un niveau sonore élevé ou une température basse. Une exposition ponctuelle à ces facteurs de stress, c'est-à-dire une exposition à un agent stressant limitée dans le temps, correspond à un stress aigu. En revanche, une exposition prolongée et répétée à ces facteurs de stress renvoie à la notion de stress chronique qui pourrait à long terme avoir des conséquences néfastes pour l'organisme. Pour reproduire ces agents stressants et étudier leurs effets et conséquences, différents types de situations stressantes expérimentales, plus ou moins intenses ou invasives, sont utilisés.

2.1.1.2. Situations stressantes expérimentales

Parmi les situations expérimentales, nous pouvons distinguer les situations écologiques de celles réalisées en laboratoire. Les situations écologiques sont des situations réelles telles que sauter en parachute (Breivik et coll., 1998 ; Chatterton et coll., 1997), marcher sur une poutre à une certaine hauteur (*e.g.*, Gage et coll., 2003), passer un examen (*e.g.*, Malathi et Parulkar, 1992 ; Spangler, 1997), être soumis à un environnement extrême par exemple d'hyperbarie (*e.g.*, Abraini et coll., 1998 ; Bugat, 1989), d'hypoxie (*e.g.*,

Bolmont et coll., 2000), de vol parabolique (Schneider et coll., 2007) ou de confinement (Rosnet et coll., 2000).

Parmi les procédures de laboratoire, nous pouvons distinguer les stressseurs physiques des stressseurs psychologiques. Les stressseurs physiques impliquent la confrontation à des situations caractérisées par des dommages physiques, le danger, la douleur ou l'inconfort (Lamb, 1979). Ils reposent par exemple sur l'administration de substances (*e.g.*, caféine, nicotine : Lieberman et coll., 2002 ; Quinlan et coll., 1997 ; Tait et coll., 2000), sur l'administration de chocs électriques (Noteboom et coll., 2001a, 2001b), sur une privation de sommeil (Lieberman et coll., 2002), ou encore sur une augmentation du pourcentage de CO₂ dans l'air inhalé (Beck et coll., 1999). D'autres situations, comme plonger la main dans l'eau froide (Al' Absi et coll., 2002 ; Schwabe et coll., 2008) ou être exposé à des sons intenses (Frindlund et coll., 1986) sont également qualifiées de stressseurs physiques.

Les stressseurs psychologiques constituent des menaces potentielles pour l'estime de soi et impliquent souvent la peur de l'échec (Lamb, 1979). Nous pouvons distinguer les stressseurs psychologiques d'appréhension, qui sont les situations d'attente ou d'anticipation avant l'exposition à des tâches stressantes, des stressseurs psychologiques directs, qui impliquent la confrontation aux tâches stressantes. Parmi ces derniers, nous trouvons les stressseurs sociaux et les stressseurs cognitifs. Les stressseurs sociaux, impliquant une évaluation sociale, reposent sur la simulation de discours en public (*e.g.*, Mauss et coll., 2003 ; McNair et coll., 1982), seul ou en groupe (Childs et coll., 2006), dans un contexte de réalité virtuelle ou non (Jönsson et coll., 2010). Les stressseurs cognitifs, quant à eux, constituent des tâches induisant une surcharge cognitive comme les tâches mathématiques de décompte numérique (Ashcraft et Kirk, 2001 ; Hopko et coll., 1998 ; Hopko et coll., 2003) ou de Stroop (Stroop, 1935).

Il convient d'évoquer également les procédures de laboratoire combinant plusieurs types de stressseurs. Certaines études utilisent des tâches cognitives (*e.g.*, tâche de Stroop) ou

des tâches physiques (*e.g.*, plonger la main dans l'eau froide) qui sont filmées (Hainaut et Bolmont, 2005 ; Schwabe et coll., 2008 ; Silva et Leite, 2000). L'introduction d'une caméra lors de ces tâches serait susceptible d'augmenter le caractère stressant de la situation (Leite et coll., 1999 ; Schwabe et coll., 2008 ; Silva et Leite, 2000). D'autres études utilisent, par exemple, le Trier Social Stress Test (TSST : Kirschbaum et coll., 1993), qui regroupe plusieurs tâches stressantes psychologiques (*i.e.*, d'appréhension, sociale et cognitive). Il consiste en une période d'anticipation et une période de test, composée d'une tâche de discours en public et d'une tâche de calcul mental, réalisée devant un jury et filmée.

Enfin, il apparaît que les conditions de passation des tâches et les consignes données jouent un rôle dans le caractère stressant de la tâche (Renaud et Blondin, 1997). Concernant la tâche de Stroop, plusieurs versions existent avec diverses conditions de passation (Boutcher et Boutcher, 2006). La tâche de Stroop classique consiste à placer les sujets en situation de conflit cognitif (Stroop, 1935 ; Zysset et coll., 2001) en leur demandant de nommer aussi vite que possible la couleur de l'encre dans laquelle les mots sont écrits (*i.e.* dire «bleu» pour le mot ROUGE écrit en bleu). Il s'agit donc d'inhiber l'activité automatique de la lecture du mot pour se centrer sur la reconnaissance de la couleur de celui-ci (Bastien et Bastien-Toniazzo, 2002). La difficulté à inhiber la lecture du mot liée à l'interférence entraîne une surcharge des mécanismes cognitifs (Renaud et Blondin, 1997). L'imposition d'un temps limite pour effectuer la tâche et d'une sanction (*i.e.*, signal sonore) pour les erreurs et les hésitations rendent la tâche plus stressante et plus difficile (Coy et coll., 2011 ; Dyer, 1973 ; Fechir et coll., 2010 ; Leite et coll., 1999). De plus, l'introduction d'une caméra et la projection simultanée de son image au sujet, souvent utilisée lors de simulation de discours en public, intensifieraient le caractère stressant de la situation (Leite et coll., 1999).

2.1.1.3. Conclusion

Différentes situations stressantes expérimentales existent, sans pour autant être parfaites. Les environnements extrêmes, par exemple, présentent l'avantage d'être des situations stressantes écologiques de forte intensité et de durée relativement longue. Cependant, les études utilisant ces situations sont réalisées avec un nombre limité de sujets qui possèdent des profils particuliers (*e.g.*, Palinkas et coll., 2000). Les procédures de laboratoire, quant à elles, utilisent des méthodes induisant un niveau de stress de moindre intensité et sont limitées dans le temps. En revanche, elles permettent la passation d'un nombre important de sujets. Parmi les procédures de laboratoire, les situations expérimentales combinant plusieurs types de stressors, susceptibles d'intensifier le caractère stressant de la situation, pourraient être particulièrement intéressantes pour l'étude des réponses au stress. En effet, ces situations permettraient d'obtenir des modifications affectives et physiologiques plus importantes comparées aux situations impliquant qu'un seul type de stressor (*e.g.*, Gruenewald et coll., 2004 ; Leite et coll., 1999 ; Schwabe et coll., 2008).

2.1.2. Les réponses au stress

2.1.2.1. Généralités

La réponse de l'individu à un agent stressant consiste en une réaction complexe qui met en jeu des aspects cognitifs et expérientiels, affectifs, expressifs et physiologiques (*e.g.*, Scherer, 2000). Bien qu'une distinction théorique s'opère entre ces différentes réponses, celles-ci sont liées et ont pour but essentiel, d'un point de vue comportemental, de permettre

une meilleure mobilisation de l'organisme et de le préparer à l'action ('fight or flight', Cannon, 1929).

Les réactions cognitives et expérientielles sont l'ensemble des processus mentaux qui se développent face à une situation de stress. Elles interviennent dans la perception et l'interprétation de la situation et dans son maintien en mémoire (Frijda, 1986 ; Scherer, 1984). L'individu soumis à une situation stressante procède à une évaluation cognitive de l'environnement qui est constamment reconsidérée au moyen d'un processus de réévaluation, et il met en place des stratégies pour faire face à la demande environnementale.

Les réponses affectives sont les émotions et les humeurs, définies comme des états relatifs à des sensations plus ou moins nettes de plaisir ou de déplaisir, c'est-à-dire à des sensations dont la tonalité est agréable ou désagréable (Kirouac, 1989). Face à une situation stressante, l'individu va évaluer la menace ou le défi par rapport à ses propres capacités et possibilités de réponse. Si la situation est évaluée comme un défi, l'individu peut alors éprouver des modifications affectives positives comme la joie et l'excitation (Lazarus et Folkman, 1984 ; Skinner et Brewer, 2002). En revanche, si la situation est évaluée comme une menace, l'individu va éprouver des modifications affectives négatives, telles que de l'anxiété, des émotions et des humeurs négatives (*e.g.*, Bolmont, 2005 ; Hainaut et Bolmont, 2005 ; Lazarus, 1991). Bien que les situations de stress puissent être très différentes (*e.g.*, sociale, sportive, professionnelle ou personnelle), l'état d'anxiété en serait la résultante affective principale (Bolmont, 2010).

Les réactions expressives peuvent se manifester à travers, par exemple, des expressions faciales, des gestes et des postures. Lerner et coll. (2007) ont mis en évidence des

expressions faciales spécifiques selon les émotions (*e.g.*, peur) induites par les situations stressantes. Par ailleurs au niveau de la posture, des études (Bolmont et coll., 2002 ; Hainaut et coll., 2011 ; Ohno et coll., 2004 ; Wada et coll., 2001) ont montré que l'état d'anxiété et des états d'humeurs négatifs pourraient altérer l'équilibre statique et dynamique.

Enfin, les réponses physiologiques engagent le système endocrinien, le système nerveux autonome (SNA) et le système nerveux somatique, mais également le système nerveux central (SNC).

Les structures centrales impliquées dans la régulation des fonctions physiologiques en situation de stress sont nombreuses. Un des premiers systèmes impliqués est le système limbique qui contrôle de nombreux comportements dans lesquels les processus affectifs tiennent une place importante (*e.g.*, plaisir, peur, anxiété, agressivité). Il est composé de structures limbiques proprement dites englobant le lobe piriforme, la formation hippocampique, le cerveau antéro-basal, le striatum ventral, et l'amygdale ; de structures paralimbiques constituant la partie corticale du système (gyrus parahippocampique, cortex cingulaire, et aire septale) et de structures apparentées telles que l'hypothalamus, certains noyaux du thalamus et l'aire tegmentale ventrale (Staub et coll., 2002). Ce système limbique met en jeu des expériences sensorielles passées et/ou présentes, des souvenirs et/ou des processus cognitifs présents, et des modes d'expressions variés. Il gère donc les comportements émotionnels jusqu'à leur expression végétative et motrice. Le cortex préfrontal est également impliqué dans la régulation des processus affectifs (Lovallo, 2005). Il reçoit des afférences des circuits limbiques, des aires associatives temporales, pariétales et occipitales et se projette sur le thalamus, l'hypothalamus ainsi que le gyrus cingulaire et parahippocampique. Il a donc accès aux informations concernant l'état végétatif, endocrinien, motivationnel et affectif de l'individu. Quant à l'hypothalamus, cette structure exerce, sous le

contrôle du cortex frontal et en coopération étroite avec le système limbique et la formation réticulée du tronc cérébral, un rôle de premier plan dans le contrôle et l'intégration des comportements (appétit, soif, réactions de fureur et de frayeur ou au contraire apathie, sommeil, attention, émotion) et des régulations végétatives (contrôle de la circulation, de la respiration, de la diurèse, de la thermorégulation, etc.) indispensables à la survie de l'individu. Ces activités mettent également en jeu, principalement par le biais de la formation réticulée, l'activité des muscles striés aussi bien que celle des muscles lisses ou des glandes. Finalement, les connexions entre ces différentes structures permettent le contrôle dynamique des variables végétatives, musculaires et endocriniennes en phase avec l'environnement du sujet et son état interne.

Le SNA comprend le système nerveux sympathique et le système nerveux parasympathique. Tous les organes sont sous l'influence de ces deux systèmes, à l'exception entre autre des glandes sudoripares. Ces deux systèmes exercent des effets antagonistes permettant ainsi le maintien de l'homéostasie face aux contraintes environnementales. L'activation du système nerveux sympathique est essentiellement dirigée vers la dépense d'énergie tandis que l'activation du système nerveux parasympathique est associée au repos de l'organisme et permet l'économie et la reconstitution des réserves d'énergie. Ainsi, face à une situation stressante, le système nerveux sympathique s'active, ce qui entraîne une augmentation de la fréquence cardiaque et respiratoire, de la pression artérielle, de l'afflux du sang vers le cœur et les muscles au détriment des viscères ainsi qu'une vasoconstriction périphérique provoquant une diminution de la température cutanée des extrémités. Les glandes sudoripares sont stimulées et sécrètent la sueur provoquant ainsi une augmentation de l'activité électrodermale. Le système sympathique a donc un rôle activateur en augmentant l'éveil physiologique, ce qui permet de préparer l'organisme à faire face à la situation stressante. Quant au système nerveux somatique, il prépare également l'organisme à l'action.

Face à une situation stressante, l'activation du système nerveux somatique entraîne une augmentation de la tension musculaire pour permettre une meilleure mobilisation de l'organisme.

Le système endocrinien permet la sécrétion de plusieurs hormones impliquées dans la réaction de stress. L'exposition à une situation stressante entraîne l'activation du système nerveux sympathique, via l'hypothalamus, qui stimule la médullosurrénale. Cette dernière déclenche la sécrétion des catécholamines, l'adrénaline et la noradrénaline, ce qui a pour conséquence notamment de prolonger ou d'intensifier les modifications végétatives (*e.g.*, augmentation de la fréquence cardiaque et respiratoire) (Figure 1A). Suite à une exposition prolongée à une situation stressante, l'activation de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien (Figure 1B) entraîne la sécrétion de corticolibérine (CRH) par l'hypothalamus qui favorise la synthèse d'hormone corticotrope (ACTH) par l'antéhypophyse. L'ACTH stimule alors la sécrétion de glucocorticoïdes (*i.e.*, le cortisol) par le cortex surrénalien. Le cortisol permet d'augmenter les taux sanguins de glucose, d'acides gras et d'acides aminés et également d'élever la pression artérielle. La libération de glucocorticoïdes contribue ainsi à aider l'organisme à résister à la situation de stress. D'autres hormones, telles que la prolactine, l'hormone lutéinisante et l'hormone de croissance, seraient également sécrétées en réaction au stress (Biondi et Picardi, 1999).

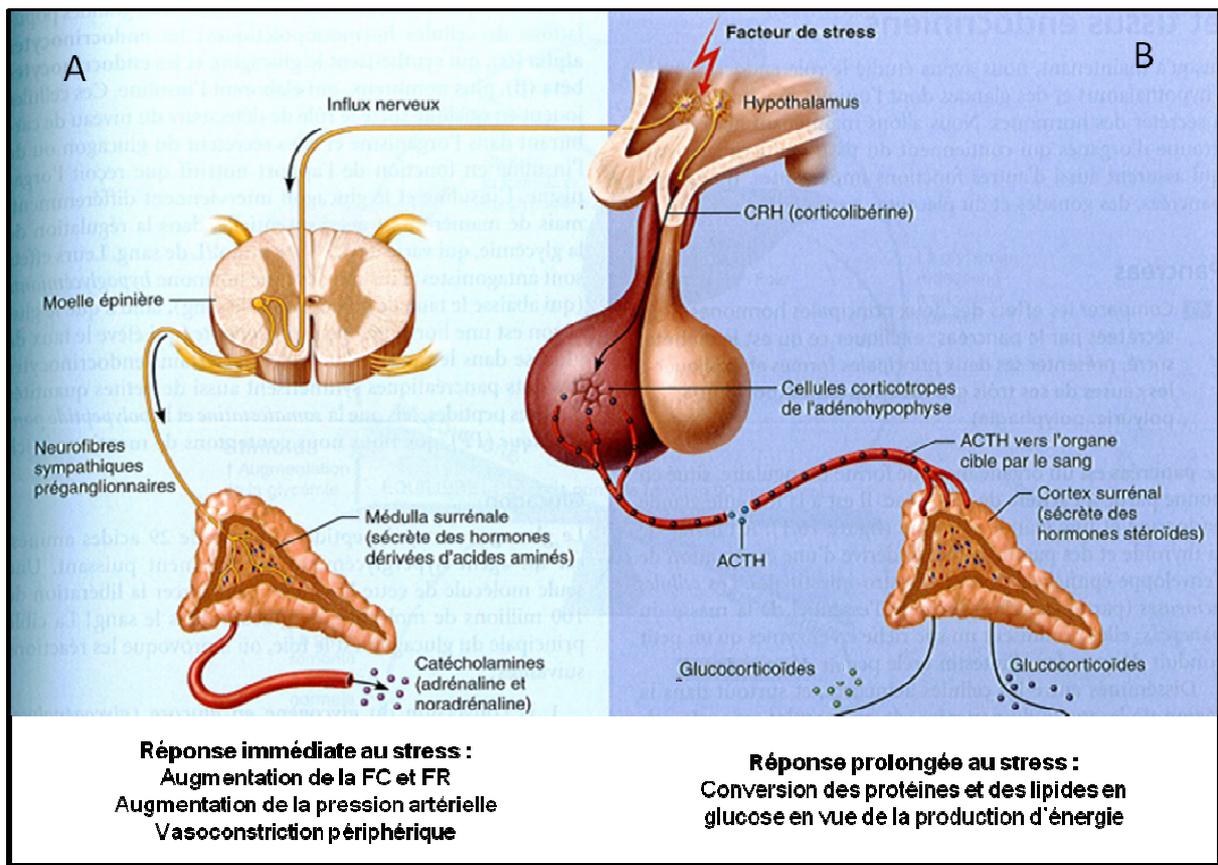


Figure 1 : Activation de la médullosurrénale par l'intermédiaire d'influx nerveux sympathique provenant de l'hypothalamus (A) et de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien (B) (d'après Marieb et Hoehn, 2010).

Finalement, les réponses au stress couvrent plusieurs sphères : cognitive et expérimentielle, affective, expressive et physiologique. Ces réponses impliquant de multiples aspects sont complexes et représentent un vaste sujet dans son ensemble. Dans le cadre de ce travail doctoral, nous nous intéresserons particulièrement à l'état d'anxiété, aux modifications végétatives et à la tension musculaire qui seront développés dans la suite de cette partie.

2.1.2.2. L'état d'anxiété et les réponses végétatives et musculaires

Il est classiquement admis que l'exposition à des situations stressantes entraîne une augmentation de l'état d'anxiété et des modifications végétatives et musculaires dues à l'activation des systèmes nerveux sympathique et somatique (*e.g.*, pour revue, Chida et Hamer, 2008 ; Hazlett et coll., 1994 ; Krantz et coll., 2004 ; Lundberg et coll., 1994 ; Teixeira-Silva et coll., 2004).

L'état d'anxiété est défini comme un état temporaire avec un niveau d'intensité particulier. Il se caractérise par des sentiments de tension, d'appréhension, d'inquiétude et par une activation du système nerveux autonome (Spielberger, 1972). Concept multidimensionnel, l'état d'anxiété comprend ainsi des aspects cognitifs et somatiques. Face à une situation stressante, l'état d'anxiété pourrait être une réponse émotionnelle particulière (Spielberger, 1972). Selon Izard (1991), l'anxiété serait une combinaison variable d'émotions fondamentales impliquant la peur associée à deux ou plusieurs émotions primaires telles que la détresse, la honte, la colère et les émotions positives d'excitation. De manière différente, l'anxiété peut être considérée comme une qualité d'humeur à tonalité négative principalement caractérisée sur le plan phénoménologique par trois éléments fondamentaux : la perception d'un danger imminent mal défini, une attitude d'attente et de tension face à ce danger, et un sentiment de désorganisation (Ey, 1950). L'humeur anxieuse pourrait être liée à une situation stressante à venir où les dangers sont potentiels mais pas présents. Pour Spielberger (1972), le développement de l'état d'anxiété correspondrait exactement aux changements d'humeurs à versant négatif. Dans ce sens, Bolmont et Abraini (2001) ont montré une corrélation entre anxiété et basses humeurs d'autant plus grande que le nombre et la combinaison de ces humeurs augmentent (Figure 2). Ces auteurs ont suggéré que 21 facteurs d'humeurs seraient

nécessaires pour définir toute la complexité de l'anxiété qui pourrait ainsi être considérée comme une représentation générique d'humeurs à tonalité négative.

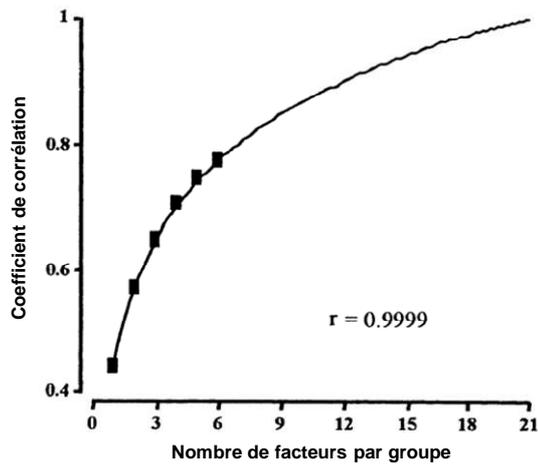


Figure 2 : La relation entre le nombre de facteurs par groupe et l'augmentation des coefficients de corrélation entre l'état d'anxiété et les états d'humeur décrit une régression logarithmique parfaite ($r = 0,9999$, $n = 6$, $P < .001$), suggérant que 21 facteurs d'humeurs seraient nécessaires pour définir toute la complexité de l'anxiété (d'après Bolmont et Abraini, 2001).

La réponse anxieuse s'accompagne ainsi d'un ensemble d'états affectifs (*i.e.*, émotions, sentiments, humeurs) plus ou moins nombreux et complexes posant clairement la question du caractère unidimensionnel de l'anxiété (De Bonis, 1996). Ceci témoigne de l'ambiguïté et de la complexité de la réalité anxieuse et de son caractère particulier en tant qu'humeur ou émotion. Ainsi, l'état d'anxiété induit par une situation stressante présente ou à venir pourrait être considéré comme un processus affectif dynamique pouvant prendre la forme d'une émotion ou d'une humeur selon son intensité et sa durée (Bolmont, 2010).

Les réponses végétatives induites par les situations stressantes s'expriment généralement par une augmentation de la fréquence cardiaque et respiratoire, de la pression artérielle, de l'activité électrodermale (*i.e.*, niveau tonique électrodermal, fréquence et amplitude des réponses électrodermales) et par une diminution de la température cutanée périphérique (pour revue, Chida et Hamer, 2008). En revanche, ces différents paramètres ne semblent pas avoir la même dynamique au cours d'une situation stressante. Bien que la fréquence cardiaque (FC), la fréquence respiratoire (FR), la pression artérielle et le niveau tonique électrodermal augmentent rapidement pour atteindre leur niveau maximum au début du stress (Barry et Sokolov, 1993 ; Childs et coll., 2006 ; Lackner et coll., 2010 ; Nilsen et coll., 2007), des études ont montré peu de synchronisation entre les différents paramètres au cours de la situation stressante (Kettunen et coll., 1998 ; Lackner et coll., 2011). La FC, la FR, la pression artérielle et le niveau tonique électrodermal semblent montrer des évolutions temporelles différentes au cours d'une situation stressante. Des données similaires ont été trouvées après l'arrêt du stress. Lors de la période de récupération suivant la situation stressante, une étude a montré que le niveau tonique électrodermal met plus de temps à revenir au niveau de base que la FC et la FR (Teixeira-Silva et coll., 2004). Par ailleurs, d'autres études ont montré une récupération de la FC et de la FR plus rapide que pour la pression artérielle (Goswami et coll., 2010; Nilsen et coll., 2007). Ainsi, l'ensemble de ces résultats tend à confirmer des patrons temporels de réponses différents selon les paramètres végétatifs lors d'une situation stressante. Cette dynamique différente en fonction des paramètres végétatifs souligne la difficulté à évaluer au travers des différents paramètres un niveau de stress.

Les réponses musculaires, quant à elles, ont été moins étudiées. Il est généralement établi que la tension musculaire augmente face à des situations stressantes (*e.g.*, Hazlett et coll., 1994 ; Hoehn-Saric et coll., 1997 ; Krantz et coll., 2004 ; Lundberg et coll., 1994 ; Teixeira-Silva et coll., 2004). Néanmoins, selon Pluess et coll. (2009), un grand nombre d'études n'ont examiné la tension musculaire que d'un seul muscle, qui ne serait pas représentatif de la tension musculaire globale. En effet, certaines études examinant plusieurs muscles ont mis en évidence une réactivité musculaire différente selon les muscles (Hazlett et coll., 1994 ; Teixeira-Silva et coll., 2004). Des auteurs ont montré une augmentation de l'activité électromyographique (EMG) du muscle gastrocnémien lors d'une situation stressante, alors que l'activité EMG du muscle frontal reste inchangée (Hazlett et coll., 1994 ; Teixeira-Silva et coll., 2004). Par ailleurs, il revient à Fridlund et coll. (1986) d'avoir mis en évidence l'absence d'un '*facteur de tension général*' commun à plusieurs muscles au cours du temps. Ces auteurs ont examiné l'évolution de l'activité EMG de huit muscles (*i.e.*, muscles de la tête, du cou et des membres supérieurs et inférieurs) au cours d'une situation stressante et n'ont pas trouvé de covariance entre l'activité EMG de ces muscles. D'autres études (*e.g.*, Nilsen et coll., 2007 ; Svebak ,1982) ont également examiné l'évolution dans le temps de l'activité musculaire mais lors de tâches stressantes impliquant une exécution motrice (*i.e.*, tâche de temps de réaction). Nilsen et coll. (2007) ont trouvé une activité EMG élevée mais stable des muscles trapèze et frontal. En revanche, l'activité EMG des muscles splenius et temporal ne montre pas de modification en réponse à la situation stressante. Svebak (1982), quant à lui, a montré une augmentation progressive de l'activité EMG de l'avant bras non impliqué dans la tâche. Ces études, examinant la dynamique de l'activité EMG au cours de tâches stressantes impliquant une exécution motrice, ont ainsi montré des évolutions temporelles différentes pour quelques muscles. Finalement, malgré quelques études ayant examiné l'évolution temporelle de l'activité musculaire lors de situations stressantes

impliquant ou non une tâche motrice, d'autres études seraient nécessaires pour confirmer des patrons temporels de tension musculaire différents selon les muscles.

Ainsi, les divers paramètres végétatifs et musculaires ne semblent pas avoir la même dynamique au cours d'une situation stressante. De précédentes études ont également mis en évidence des réponses végétatives, musculaires et subjectives de l'anxiété variées au cours de différentes situations stressantes (*e.g.*, Fechir et coll., 2008 ; Gonzalez-Bono et coll., 2002 ; Schwabe et coll., 2008 ; Wilken et coll., 2000). Par exemple, concernant l'auto-évaluation de l'état d'anxiété, Leite et coll. (1999) ont montré chez des sujets soumis à un stresser cognitif (*i.e.*, tâche de Stroop) une augmentation plus importante de l'état d'anxiété lorsque ce stresser est associé à une caméra. Les individus évalueraient la situation combinant le stresser cognitif et la caméra comme plus stressante comparée au stresser cognitif seul. Sur le plan végétatif et musculaire, des études ont montré au cours d'un stresser physique (*i.e.*, plonger la main dans l'eau froide) comparé à un stresser cognitif (*i.e.*, tâche de Stroop, tâche de calcul mental) une augmentation plus importante de la pression artérielle et de l'activité EMG du trapèze mais une élévation moins importante de la FC (Albus et coll., 1990 ; Krantz et coll., 2004 ; Lundberg et coll., 1994). Ces résultats contrastés pourraient être dus à des mécanismes de régulation différents entre les stressers psychologiques et physiques (Lackner et coll., 2010). D'autres études ont montré qu'un stresser social (*i.e.*, tâche de discours en public) comparé à un stresser d'appréhension (*i.e.*, période avant la passation du stresser) ou à stresser cognitif (*i.e.*, tâche de calcul mental) induit des modifications végétatives (FC, pression artérielle, réponses électrodermales) plus importantes (Al'Absi et coll., 1997 ; Gonzalez-Bono et coll., 2002). Le stresser social implique une menace pour l'estime de soi plus élevée, ce qui pourrait avoir contribué à des réponses plus intenses (Al'Absi et coll., 1997). Ainsi, ces différentes réponses végétatives et musculaires pourraient dépendre du type

de stressseurs et de leurs caractéristiques (Albus et coll., 1990 ; Lundberg et coll., 1994). Finalement, la grande variabilité des situations stressantes génère des réponses physiologiques et subjectives de l'anxiété variées, suggérant ainsi une spécificité des réponses au stress.

2.1.2.3. L'état d'anxiété et les réponses végétatives et musculaires lors de situations stressantes répétées

2.1.2.3.1. Situations stressantes répétées

Face à des situations stressantes répétées, les réponses, qu'elles soient affectives ou physiologiques, montrent des processus d'adaptation. Deux stratégies d'adaptation peuvent être distinguées : l'habituation et la sensibilisation. L'habituation peut être définie comme l'extinction de la réponse après l'exposition répétée à des mêmes stimuli (Öhman et coll., 2000) tandis que la sensibilisation réfère à une augmentation de la réponse après l'exposition répétée à des stimuli (Martin-Soelch et coll., 2006). De nombreuses études ont examiné les processus d'habituation des réponses végétatives et subjectives de l'anxiété au cours de l'exposition répétée à une même situation stressante (*e.g.*, Jørgensen et coll., 1990 ; Kelsey et coll., 1999 ; Mauss et coll., 2003 ; Schommer et coll., 2003 ; Von Känel et coll., 2006). Concernant l'état d'anxiété auto-évalué, des études ont montré qu'une seconde exposition à une même situation stressante (*i.e.*, tâche de discours en public, TSST) entraîne une diminution de l'état d'anxiété (Jönsson et coll., 2010 ; Mauss et coll., 2003). Les individus s'habitueront à la situation et évalueront la deuxième situation comme moins stressante. Sur le plan végétatif, de nombreux travaux ont montré que l'exposition répétée à un stressseur (*i.e.*, tâche de discours en public, calcul mental) entraîne une augmentation moins importante de la FC, de la pression artérielle et de l'activité électrodermale, suggérant une habituation de

ces paramètres végétatifs (*e.g.*, Elfering et Grebner, 2012 ; Jørgensen et coll., 1990 ; Kelsey et coll., 1999 ; Mauss et coll., 2003 ; Schommer et coll., 2003 ; Von Känel et coll., 2006). D'autres études n'ont cependant pas montré d'habituation de la FC et de la pression artérielle, mais une activation similaire de ces paramètres au cours de situations stressantes répétées (*e.g.*, tâche de discours en public, tâche de Stroop, TSST) (Elfering et Grebner, 2012 ; Hamer et coll., 2006 ; Jönsson et coll., 2010 ; Mauss et coll., 2003 ; Von Känel et coll., 2006). Ces différents résultats pourraient être dus à des différences méthodologiques comme le type de stressor et ses caractéristiques, la durée entre les expositions répétées (*i.e.*, intra-session vs inter-session), les conditions environnementales (*e.g.*, posture de l'individu), la population sélectionnée (*e.g.*, sujets de sexe masculin vs féminin, trait de personnalité) (*e.g.*, Elfering et Grebner, 2012 ; Johnson et coll., 2012 ; Jönsson et coll., 2010 ; Kelsey et coll., 1999 ; Kelsey et coll., 2000 ; Schmaus et coll., 2008). Ainsi, différents patrons d'adaptation de la FC et de la pression artérielle pourraient émerger face à des situations stressantes variées (Kelsey et coll., 1999) et selon les caractéristiques de l'individu (Johnson et coll., 2012 ; Schmaus et coll., 2008).

Les processus adaptatifs des réponses musculaires à des situations stressantes répétées, quant à eux, n'ont été que peu étudiés. La plupart des études ont utilisé des stressors très courts (*i.e.*, stimulation auditive et visuelle) et ont étudié essentiellement les muscles faciaux (*e.g.*, Bradley et coll., 1993 ; Martin-Soelch et coll., 2006). Bisdorff et coll. (1994) ont cependant examiné les réponses musculaires des muscles faciaux, mais également des muscles du cou (*i.e.*, les muscles trapèze et sterno-cléido-mastoïdien) au cours de stimuli stressants répétés très courts (*i.e.*, stimulation auditive intense et tâche soudaine de chute libre). Ces auteurs ont trouvé une habituation des réponses musculaires, quel que soit le muscle.

Bien que les études portant sur l'adaptation des réponses musculaires lors de situations stressantes répétées ont essentiellement utilisé un type de stressor (*i.e.*, stimuli stressants très courts) ne permettant pas de généraliser à l'ensemble des situations stressantes, les études examinant l'adaptation des réponses végétatives face à des situations stressantes répétées variées ont permis de mettre en évidence un processus d'adaptation spécifique pour chaque paramètre végétatif. Ces données contribuent à une meilleure compréhension du rôle du stress dans le développement de pathologies et supportent ainsi d'importantes assertions sous-jacentes liant le manque d'habitude au stress de certains paramètres végétatifs (*e.g.*, pression artérielle) avec le risque de maladie (*e.g.*, hypertension) (Hamer et coll., 2006). L'adaptation des réponses musculaires, quant à elle, semble représenter un terrain d'investigation encore relativement peu exploré dans la littérature scientifique. Des études complémentaires sur les processus adaptatifs des réponses musculaires pourraient être d'intérêt pour les recherches futures sur les effets du stress sur la santé.

2.1.2.3.2. Conséquences à long terme

La réponse de l'individu au stress implique des processus d'adaptation qui peuvent s'avérer particulièrement coûteux si aucune réponse efficace n'est fournie. Ainsi, face à des situations stressantes chroniques, les systèmes de réponses au stress (*i.e.*, affectifs et physiologiques) peuvent être sur-sollicités, ce qui induit des effets délétères nommés « *charge allostatique* » (McEwen, 1998) pouvant conduire à des états pathologiques. McEwen (1998) décrit quatre types de charge allostatique : des sollicitations fréquentes des systèmes de réponses au stress, le manque d'adaptation des réponses à une même situation stressante répétée, des réponses non adaptées (*i.e.*, insuffisantes ou exagérées) et des réponses prolongées après l'arrêt du stressor. A terme, les effets de ces réponses inappropriées et

disproportionnées pourraient mettre en danger le bien-être de l'individu et entraîner des problèmes de santé mentale et physique (*e.g.*, anxiété, dépression, maladies cardiovasculaires, maladies digestives, cancer, troubles musculo-squelettiques, ...).

Sur le plan psychologique, face à des situations stressantes chroniques, l'état d'anxiété serait au premier plan des manifestations affectives et correspondrait à une combinaison d'humeurs à tonalité négative (Bolmont et Abraini, 2001). Cet état d'anxiété chronique pourrait être un facteur de risque pour la dépression (*e.g.*, Robinson et coll., 2011). Sur le plan végétatif, plusieurs études ont suggéré un lien entre des réponses disproportionnées de certains paramètres végétatifs face à des situations stressantes chroniques et le risque de maladies cardiovasculaires. Selon certains auteurs (*e.g.*, Blascovich, 1993 ; Matthews et coll., 2004), une activation chronique de la pression artérielle et de la FC, une réactivité exagérée et un manque d'adaptation de ces paramètres à des situations stressantes chroniques pourraient constituer des facteurs de risque de maladies cardiovasculaires (*e.g.*, hypertension). Par ailleurs, des études examinant la période de récupération – définie comme une période de repos post-stress fournissant des informations sur la persistance de l'activation physiologique après l'arrêt du stressor (Linden et coll., 1997) – ont suggéré qu'une activation prolongée de certains paramètres végétatifs (*e.g.*, FC et pression artérielle) aurait un coût physiologique qui pourrait contribuer au développement de maladies cardiovasculaires (Gerin et coll., 2006 ; Pieper et coll., 2010 ; Waugh et coll., 2010). Des auteurs ont mis en évidence que cette activation physiologique prolongée après l'arrêt du stressor pourrait être due à des cognitions persistantes (*i.e.*, l'activation chronique ou répétée de la représentation mentale du stressor, Brosschot et coll., 2006), telles qu'elles peuvent se manifester à travers la rumination et les inquiétudes (Brosschot et coll., 2006, 2010). Ainsi, les cognitions persistantes pourraient produire une activation modérée mais chronique des systèmes cardiovasculaires qui pourrait à terme engendrer des problèmes de santé (Heponiemi et coll., 2007 ; Pieper et Brosschot,

2005). Une revue de la littérature a notamment montré qu'un délai dans la récupération cardiovasculaire après des événements stressants pourrait être un facteur de risque pour l'hypertension (Schuler et O'Brien, 1997).

De nombreux travaux ont suggéré que la tension musculaire induite par le stress pourrait contribuer au développement de troubles musculo-squelettiques (TMS) (*e.g.*, Lundberg, 1999 ; Lundberg, 2002 ; Lundberg et coll., 1999 ; Lundberg et coll., 2002 ; Schleifer et coll., 2008 ; Westgaard, 1999). Les TMS sont des maladies multifactorielles à composante professionnelle où les facteurs psychosociaux (*e.g.*, pression au travail, niveau d'exigence demandé trop élevé, manque d'autonomie, manque de soutien social) et l'environnement physique (*e.g.*, travail répétitif, effort excessifs, travail statique de faible intensité, positions articulaires extrêmes) semblent interagir (*e.g.*, Lundberg, 2002 ; Melin et Lundberg, 1997 ; Westgaard, 1999). Les TMS affectent principalement les muscles, les tendons et les nerfs. Les muscles les plus susceptibles d'être affectés seraient les muscles du cou, des épaules et des membres supérieurs. Différentes théories ont été proposées pour expliquer le développement des TMS liés au travail (*e.g.*, Hägg, 1991 ; Knardahl, 2002 ; Schleifer et Ley, 1994). Le modèle proposé par Hägg (1991), 'the Cinderella Hypothesis', est basé sur le principe d'Henneman et coll. (1965) du recrutement fixe des unités motrices (*i.e.*, les unités motrices lentes sont recrutées avant les unités motrices rapides). Sous des faibles niveaux de tension musculaire, les unités motrices lentes seraient recrutées continuellement. Une activation prolongée de ces unités motrices lentes pourrait causer des dommages aux fibres musculaires (Larsson et coll., 1988 ; Visser et Van Dieën, 2006) et contribuer aux TMS. Ainsi, chez des individus soumis à des tâches répétitives de saisie sur ordinateur, par exemple, le stress psychologique chronique pourrait induire une tension musculaire constante. Les muscles sollicités pendant la tâche resteraient constamment activés lors des périodes de repos

périodique sous l'effet du stress psychologique ce qui pourrait à terme provoquer des douleurs musculaires et former ainsi un lien vers les TMS (*e.g.*, Schleifer et coll., 2008)

Les pathologies susceptibles d'être liées à l'activation inappropriée et/ou disproportionnée des systèmes nerveux sympathique et somatique induite par des situations de stress chroniques sont donc multiples (*e.g.*, maladies cardiovasculaires, TMS). Ces pathologies ne résulteraient pas directement de la situation stressante elle-même, mais de l'impossibilité dans laquelle se trouve l'organisme de répondre de manière appropriée et adaptée à la demande environnementale.

2.1.2.4. Conclusion

Les manifestations du stress se traduisent par une augmentation de l'état d'anxiété et des modifications végétatives et musculaires. Les réponses végétatives et musculaires montrent des patrons d'activation différents selon les paramètres. Les réponses affectives (*i.e.*, état d'anxiété) ou physiologiques sont variables selon les situations et leurs caractéristiques. Les réponses au stress ne seraient donc pas stéréotypées quelle que soit la situation stressante mais spécifiques et adaptatives. Elles ne peuvent donc pas être expliquées uniquement à partir de l'événement objectivement stressant, mais vont dépendre de l'évaluation de la situation par l'individu et de l'estimation de ses capacités à faire face. Les réponses seront donc susceptibles de varier d'un individu à un autre et pourraient fortement dépendre de caractéristiques individuelles comme les prédispositions internes. Selon Lazarus (1999) ces variations nécessitent d'être étudiées et comprises. En effet l'étude de la variabilité inter-individuelle pourrait permettre de mieux comprendre les mécanismes de transaction entre l'individu et son environnement.

2.2. Les processus intermédiaires

2.2.1. L'évaluation cognitive

L'évaluation cognitive peut être définie comme « *un ensemble continuellement changeant des jugements sur le flux des événements par rapport au bien-être de l'individu* » (Lazarus et Launier, 1978, p. 302). L'évaluation cognitive se fait principalement par deux processus cognitifs. Le premier, « évaluation primaire » ou « stress perçu » (Cohen et Williamson, 1988 ; Lazarus et Folkman, 1984), définit la contrainte ou le caractère stressant de la situation. L'individu évalue la situation stressante et juge s'il pense pouvoir répondre à la demande. Cette évaluation peut être de trois types : perte, menace ou défi (Lazarus et Folkman, 1984). La situation est évaluée comme une perte si l'individu pense qu'il va subir un nouvel échec. Elle est évaluée comme une menace si l'individu pense avoir une faible chance de pouvoir répondre à la demande. Ces deux types d'évaluation vont entraîner des modifications affectives négatives, telles que de l'anxiété, des émotions et des humeurs négatives (*e.g.*, Lazarus, 1991). Enfin, la situation est évaluée comme un défi si l'individu pense être capable de la surmonter. Dans ce cas, l'individu va éprouver des modifications affectives positives comme la joie et l'excitation (Lazarus et Folkman, 1984 ; Skinner et Brewer, 2002). Le second processus cognitif impliqué dans l'évaluation, « évaluation secondaire » ou « contrôle perçu » consiste en l'estimation des ressources et des capacités à faire face à l'évènement. L'individu évalue s'il dispose des stratégies nécessaires lui permettant de produire facilement une réponse appropriée et la probabilité de parvenir aux résultats escomptés. L'adéquation ou non entre les demandes de l'évènement et les ressources personnelles perçues (*i.e.*, les capacités de faire face de l'individu) déterminera le potentiel stressant de la situation. Si l'individu pense disposer des ressources nécessaires lui permettant de produire facilement une réponse appropriée, l'impact du stresser sera atténué. A l'inverse,

si l'individu estime ne pas posséder les ressources suffisantes pour faire face efficacement à l'événement, la situation sera jugée stressante. C'est l'écart perçu par l'individu entre les demandes de l'environnement et les possibilités subjectives de faire face qui a un effet stressant. Les processus d'évaluation primaire et secondaire interagissent pour déterminer le niveau de stress et sont constamment reconsidérés par un système de réévaluation. Ce processus va dépendre à la fois des caractéristiques de l'individu et de la situation.

2.2.2. Les stratégies de coping

Suite à l'évaluation que fait l'individu de la situation stressante et de ses propres capacités à faire face, celui-ci va agir pour essayer de réduire ou maîtriser les perturbations induites par la situation en s'engageant dans un processus de coping. Ce dernier est défini par Lazarus comme « *l'ensemble des efforts cognitifs et comportementaux, constamment changeants, permettant de gérer les demandes externes et/ou internes qui sont évaluées comme menaçantes ou excédant les ressources de la personne* » (Lazarus et Folkman, 1984, p.141). Le choix des stratégies de coping mises en place dépend de l'évaluation cognitive spécifique à la situation et est constamment influencé par les processus de réévaluation permettant de tenir compte de l'évolution temporelle de la situation. Lazarus et Folkman (1984) ont distingué deux fonctions majeures des stratégies de coping. Le coping « centré sur l'émotion » vise, par des actions palliatives (*e.g.*, le déni, la relaxation, le fatalisme,...), à réguler les réponses émotionnelles générées par la situation stressante. Le coping « centré sur le problème » consiste en des actions directes (*e.g.*, plan d'action, recherche de moyens,...) à réduire les exigences de la situation qui est perçue comme stressante. Cependant, cette distinction n'est qu'arbitraire et chaque stratégie peut remplir les deux fonctions (Lazarus, 2001). De plus, face à une situation stressante, l'individu peut mettre en place ces deux types

de stratégies et l'efficacité de ces stratégies va dépendre des circonstances dans lesquelles elles sont réalisées (Lazarus, 2001). Enfin, d'autres auteurs (Cosway et coll., 2000 ; Parker et Endler, 1992) proposent une troisième catégorie : le coping d'évitement. Il vise à fuir la situation stressante et comprend des stratégies comme la diversion sociale (*e.g.*, rendre visite à un ami) et la distraction (*e.g.*, aller voir un film) (Parker et Endler, 1992).

2.2.3. Les caractéristiques situationnelles et individuelles influençant les processus intermédiaires

L'évaluation de la situation et les stratégies de coping à adopter pour faire face vont dépendre de l'individu et de la situation et seront par conséquent influencées par des variables situationnelles et des variables individuelles.

2.2.3.1. Les caractéristiques situationnelles

Les caractéristiques situationnelles susceptibles d'influencer l'évaluation concernent les caractéristiques de la situation comme la nouveauté, la prédictibilité, l'incertitude, l'ambiguïté, la contrôlabilité et également le soutien social dont dispose l'individu (*e.g.*, Lazarus et Folkman, 1984 ; Rosnet, 2002). La nouveauté désigne l'absence d'expérience passée dans une situation. La prédictibilité et l'incertitude sont des notions assez proches. La première implique que des caractéristiques de la situation peuvent être discernées, découvertes ou apprises et la deuxième désigne les chances d'apparition de la situation. L'ambiguïté d'une situation renvoie à l'insuffisance ou au surplus d'informations concernant la situation. Quant à la contrôlabilité, elle correspond à la possibilité de contrôle de la

situation par l'individu. Enfin, le soutien social désigne la disponibilité de l'entourage (*e.g.*, familial, professionnel) sur laquelle l'individu peut s'appuyer en cas de besoin (Cohen et Edwards, 1989). Ainsi, une situation nouvelle pourra être évaluée comme stressante si l'individu interprète la situation comme une menace. De même, des modifications permanentes ou impromptues de la situation, le manque de clarté et de contrôle de la situation et le manque de soutien social peuvent devenir des facteurs de stress si la situation est interprétée comme présentant une menace pour l'individu.

2.2.3.2. Les caractéristiques individuelles

Les caractéristiques individuelles susceptibles d'influencer l'évaluation concernent les expériences passées, les croyances, l'endurance et les dispositions personnelles (Lazarus et Folkman, 1984 ; Rosnet, 2002). Les expériences passées pourront influencer l'évaluation cognitive soit positivement soit négativement. Une situation pourra être évaluée comme plus ou moins stressante en fonction du vécu de l'individu et des conséquences de ses expériences passées (*i.e.*, échecs ou succès face à des situations similaires) et entraîner un état d'anxiété et des modifications physiologiques plus ou moins intenses. Les croyances pourront également influencer l'évaluation de la situation. Les individus sont différenciés selon leurs croyances sur les possibilités de contrôle des événements. Certaines personnes estiment que les événements dépendent de facteurs internes (*e.g.*, capacités, comportement) qui leurs sont propres (*i.e.*, lieu de contrôle interne) tandis que d'autres personnes estiment que les événements dépendent de facteurs externes (*e.g.*, chance, hasard, destin,...) qu'ils ne peuvent pas contrôler (*i.e.*, lieu de contrôle externe) (Rotter, 1966). L'endurance est la tendance stable de l'individu à résister aux exigences externes (Stephoe, 1991). Cette variable est présente chez les individus qui sont caractérisés par une souplesse d'adaptation aux changements

inattendus. Ces individus perçoivent généralement les situations comme des défis et non comme des menaces.

Au côté de ces caractéristiques individuelles, d'autres variables, telles que les dispositions personnelles en termes de traits de personnalité et de styles de coping, peuvent également influencer l'évaluation cognitive. Les styles de coping sont appréhendés pour certains auteurs (*e.g.*, Costa et coll., 1996) comme des caractéristiques stables d'un individu qui prédiraient la mise en place de certaines stratégies face aux situations stressantes. Les traits de personnalité, quant à eux, reflètent des dispositions relativement stables d'un individu (Buss, 1989) (*e.g.*, sociable, dynamique) caractérisées par la façon habituelle dont l'individu perçoit son environnement et sa propre personne, et dont il se comporte. En fonction du niveau de trait, l'individu est caractérisé par des comportements particuliers ou généraux d'une certaine intensité. Les traits de personnalité sont organisés sur un continuum allant d'un extrême à l'autre. Ils peuvent s'avérer très généraux (*i.e.*, dimension) ou très spécifiques (*i.e.*, facettes). Les individus sont donc caractérisés au travers d'une pluralité de facettes, bien qu'ils soient souvent définis dans le cadre de recherche par rapport à une seule dimension. Les traits de personnalité permettent donc de quantifier rigoureusement des dimensions considérées comme fondamentales. Parmi ces dimensions, l'anxiété considérée comme un trait de personnalité pourrait influencer l'évaluation cognitive.

Selon Spielberger (1972), le trait d'anxiété se réfère à des différences dans la tendance à percevoir un large éventail de situations comme stressantes et à répondre par une augmentation de l'intensité de l'état d'anxiété, c'est-à-dire à des différences interindividuelles stables dans la disposition plus ou moins grande à développer des états anxieux. Cet auteur (Spielberger, 1966) distingue donc le trait d'anxiété en tant que composante stable de la personnalité de l'individu de l'état d'anxiété qui est une réponse affective transitoire et ponctuelle (Figure 3). Le trait d'anxiété reflète également les différences interindividuelles

dans la fréquence et l'intensité des réponses anxieuses passées et dans la probabilité de développer des états anxieux dans le futur (Spielberger, 1972). Le trait d'anxiété aurait également une influence sur les inquiétudes (Borkovec et coll., 1983 ; Tallis et coll., 1992) définies comme un enchainement de pensées et d'images négatives et relativement incontrôlables (Borkovec et coll., 1983). Les individus de trait d'anxiété élevé auraient tendance à s'inquiéter plus fréquemment que les individus de trait d'anxiété bas (Eysenck et Van Berkum, 1992). Ces différences seraient plus marquées pour les inquiétudes concernant l'évaluation sociale que pour la menace physique (Eysenck et Van Berkum, 1992). L'anxiété trait, en tant que caractéristique comportementale qui prédispose l'individu à réagir d'une certaine manière, semble jouer un rôle important dans les processus évaluatifs.

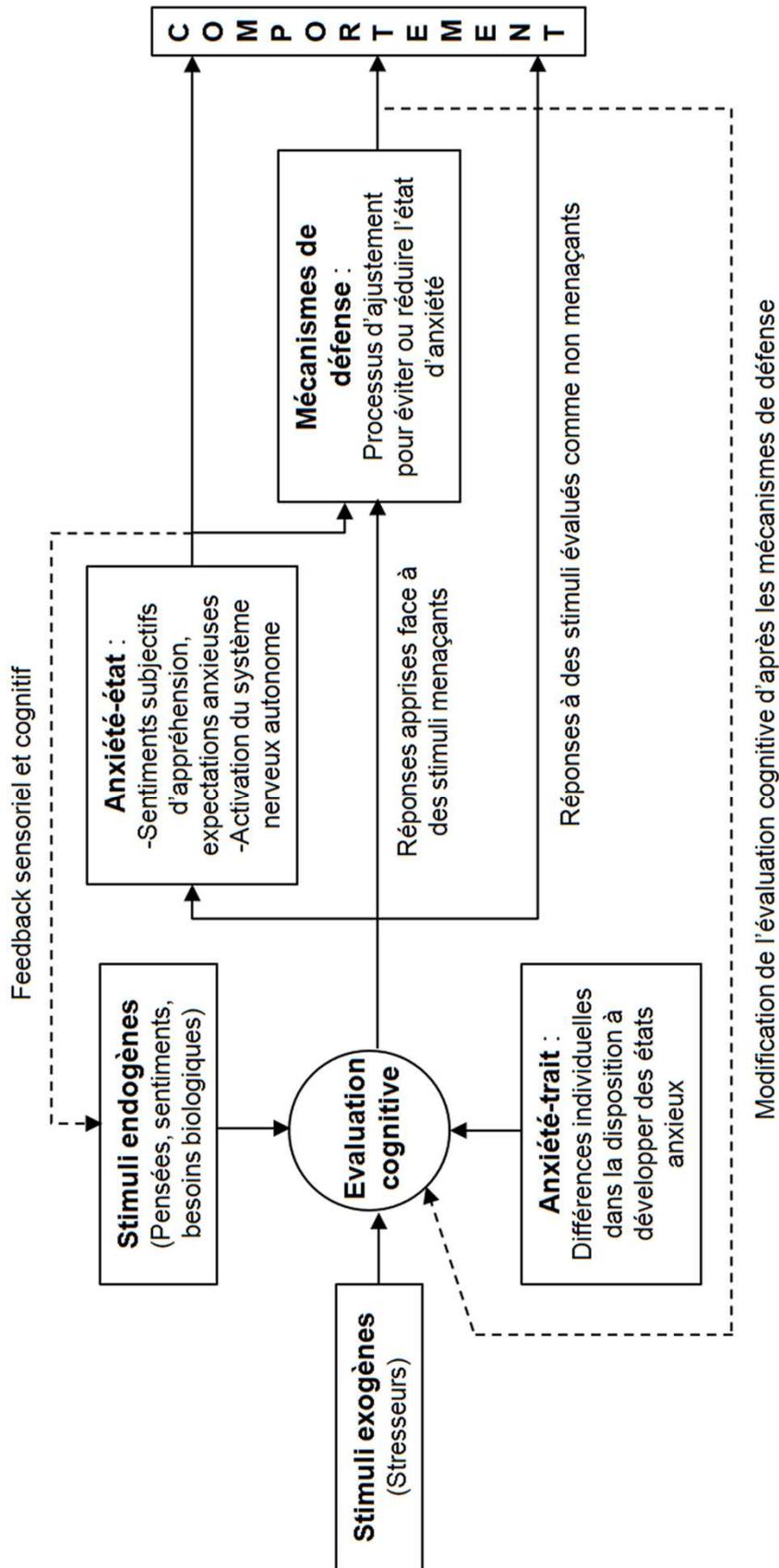


Figure 3: La théorie de l'anxiété trait/état selon Spielberger (1966).

2.2.3.2.1. Influence du trait d'anxiété dans les processus intermédiaires : conséquences sur l'état d'anxiété et les réponses végétatives et musculaires

Selon l'approche cognitive du trait d'anxiété (*e.g.*, Eysenck, 1992 ; Eysenck et coll., 1987 ; Williams et coll., 1997), les individus caractérisés par un trait d'anxiété élevé auraient, d'une part une attention sélective favorisant la détection de situations stressantes par rapport à des situations neutres, et d'autre part auraient tendance à percevoir des situations ambiguës comme stressantes. De plus, les individus de trait d'anxiété élevé évalueraient certaines situations comme plus stressantes que les individus de trait d'anxiété bas (Spielberger, 1972). Les situations qui impliquent des échecs potentiels ou des menaces pour l'estime de soi (Spielberger, 1972) seraient évaluées comme plus stressantes par les individus de trait d'anxiété élevé comparés aux individus de trait d'anxiété bas, mais pas les situations qui impliquent un danger physique (De Bonis, 1996 ; Spielberger, 1972). Les individus de trait d'anxiété élevé auraient donc tendance à réagir par une augmentation de l'intensité de l'état d'anxiété dans des situations où leur adaptation personnelle est mise en question comparées à des situations de stress physiques (Spielberger, 1972). Ainsi, l'état d'anxiété engendré par les situations stressantes pourrait dépendre de la conjonction entre le trait d'anxiété de l'individu et les propriétés de l'environnement. Dans ce sens, des études ont montré que des sujets de trait d'anxiété élevé rapportent un niveau d'état d'anxiété plus élevé lors de stressseurs psychologiques, tels qu'une tâche de discours en public (*e.g.*, Calvo et Cano-Vindel, 1997 ; Calvo et Eysenck, 1998) ou une tâche de Stroop (Leite et coll., 1999), comparés à des sujets de trait d'anxiété bas, mais pas lors de stressseurs physiques (Lamb, 1973). Selon Eysenck, (1997, 2000) les individus de trait d'anxiété élevé auraient des biais cognitifs associés à l'évaluation cognitive de la situation les conduisant à surestimer la situation stressante. En revanche, ces résultats contrastent avec de précédentes études qui n'ont pas montré de différence d'intensité d'état d'anxiété chez des sujets de traits d'anxiété différents soumis à un

stresseur psychologique (*e.g.*, Hainaut et Bolmont, 2006 ; Hainaut et coll., 2006). Ces contradictions pourraient s'expliquer par des différences méthodologiques entre les études, à savoir le nombre de participants sélectionnés, le type de questionnaire utilisé, les scores moyens des groupes d'anxiété-trait, etc. Toutefois, il semblerait que le trait d'anxiété prédise des évaluations particulières en fonction du type de situation stressante (psychologique vs physique) qui entrainerait un état d'anxiété auto-évalué d'intensité variable chez des individus de traits d'anxiété différents.

Sur le plan physiologique, les différences individuelles dans le trait d'anxiété pourraient être associées à des différences de réactivité physiologique lors de situations stressantes (Eysenck, 1967). Néanmoins, de récentes études examinant des variables végétatives ont montré des résultats contrastés selon le niveau de trait d'anxiété. Les individus de trait d'anxiété élevé comparés aux individus de trait d'anxiété bas auraient une augmentation de la FC et de la pression artérielle plus élevée pendant une tâche de discours en public (*e.g.*, Gramer et Saria, 2007 ; Jezova et coll., 2004) et un niveau tonique électrodermal plus bas pendant des tâches cognitives stressantes (Wilken et coll., 2000) et lors de présentation d'images neutres et désagréables (Naveteur et Freixa i Baque, 1987). En revanche, d'autres études n'ont trouvé aucune différence pour la FC, la pression artérielle, le niveau tonique électrodermal, la température cutanée périphérique entre des sujets de traits d'anxiété élevé et bas lors de stresseur cognitif (*i.e.*, calcul mental), physique (*i.e.*, choc électrique, plonger la main dans l'eau froide) et social (*i.e.*, discours en public) (*e.g.*, Arena et Hobbs, 1995 ; Baggett et coll., 1996 ; Gonzalez-Bono et coll., 2002 ; Mauss et coll., 2003 ; Noteboom et coll., 2001a ; Steptoe et Vögele, 1992). Concernant la tension musculaire, les études ont également montré des résultats contrastés selon le niveau de trait d'anxiété. Fridlund et coll. (1986) ont trouvé, lors d'un stresseur auditif intense, une activité EMG plus élevée des muscles du cou, des membres supérieurs et inférieurs et du muscle frontal chez des

sujets de trait d'anxiété élevé comparés à des sujets de trait d'anxiété bas. En revanche, aucune différence dans l'activité EMG du muscle frontal chez des sujets de traits d'anxiété élevé et bas soumis soit à un stresser cognitif (*i.e.*, calcul mental) soit à un stresser physique (*i.e.*, plonger la main dans l'eau froide) n'a été montré par Arena et Hobbs (1995). Ces résultats différents soulignent la difficulté de définir des patrons de réponses physiologiques liés au trait d'anxiété. Ainsi, Fahrenberg (1992) a conclu que la recherche n'a pas permis d'étayer les liens qui sont supposés entre les réponses physiologiques et le niveau de trait d'anxiété. Bien que le trait d'anxiété semble prédire des évaluations particulières en fonction du type de situation stressante, les études examinant l'influence du trait d'anxiété sur les réponses physiologiques n'ont cependant pas permis de mettre en évidence une activation physiologique spécifique selon le niveau de trait d'anxiété des individus.

2.2.4. Conclusion

Le processus transactionnel de stress apparaît comme une succession d'évaluations cognitives, d'actions de faire face et de réévaluations influencées par des caractéristiques situationnelles et individuelles susceptibles d'entraîner des réponses diverses à court et à long terme (Figure 4). Ainsi, les réponses au stress vont dépendre des caractéristiques de la situation mais également des caractéristiques de l'individu. Le trait d'anxiété en tant que prédisposition interne pourrait influencer les réponses au stress. Le niveau de trait d'anxiété semblerait prédire des états d'anxiété d'intensités variables en fonction des caractéristiques des situations stressantes. En revanche, la littérature à propos de l'influence du trait d'anxiété sur les réponses physiologiques reste relativement contrastée.

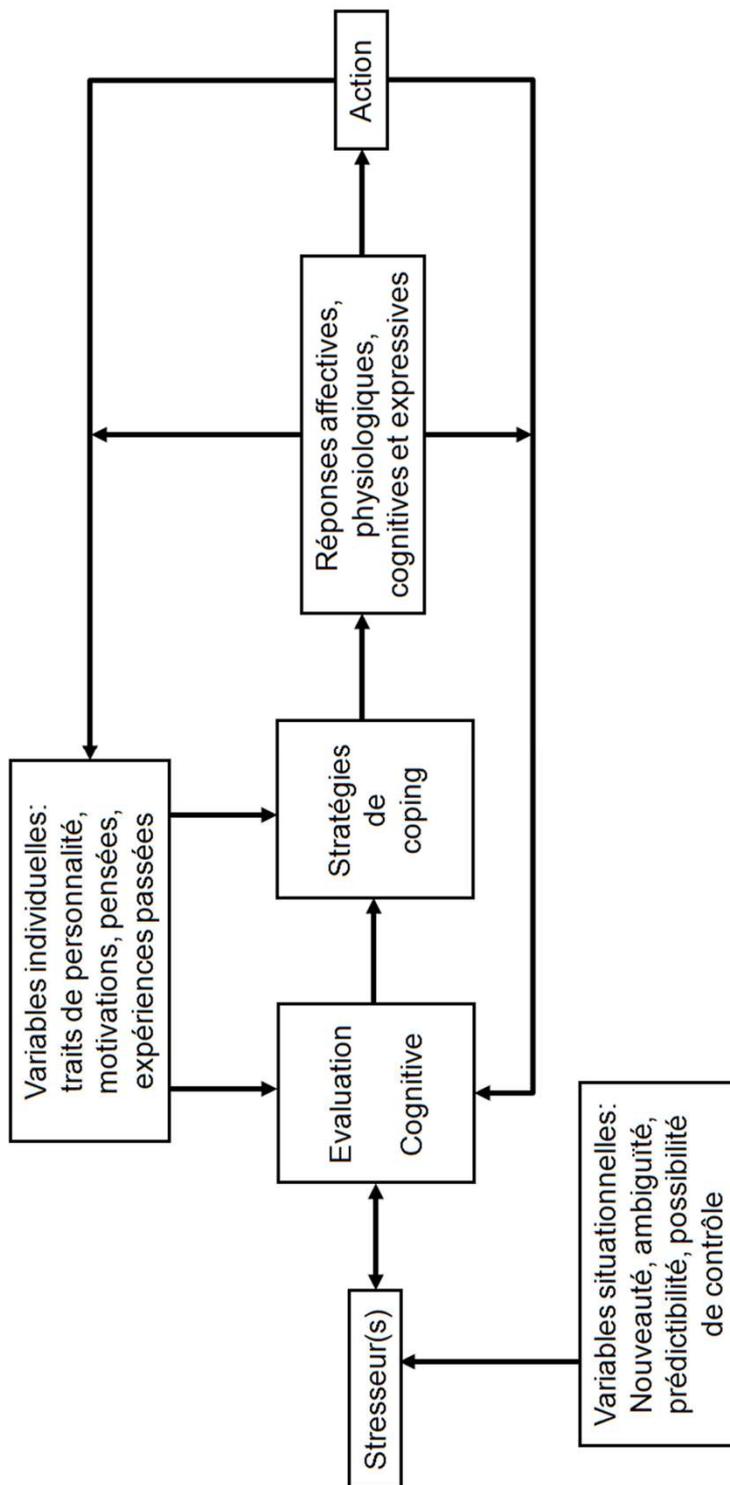


Figure 4 : *Modèle de stress selon une perspective transactionnelle.*

3. Objectifs et hypothèses de recherche

Les réponses au stress semblent dépendre de l'évaluation de la situation par l'individu et de l'estimation de ses capacités à faire face. Elles seront donc susceptibles de varier d'un individu à un autre et pourraient fortement dépendre de prédispositions internes comme le trait d'anxiété. Ainsi, le trait d'anxiété, de par son impact sur l'évaluation de l'environnement, pourrait influencer les réponses au stress. Les études examinant la relation entre le trait d'anxiété et les réponses physiologiques induites par des situations stressantes n'ont cependant pas permis à ce jour de distinguer des patrons de réponses physiologiques liés au trait d'anxiété.

D'autre part, la tension musculaire induite par des situations stressantes pour différents muscles semble représenter un terrain d'investigation encore relativement peu exploré dans la littérature scientifique. Il est généralement établi une augmentation de la tension musculaire face à des situations stressantes (*e.g.*, Hazlett et coll., 1994 ; Hoehn-Saric et coll., 1997 ; Krantz et coll., 2004 ; Lundberg et coll., 1994 ; Teixeira-Silva et coll., 2004). Néanmoins, selon Pluess et coll. (2009), la plupart des études examinant la tension musculaire induite par une situation stressante n'ont mesuré qu'un seul muscle, qui ne serait pas représentatif de la tension musculaire globale. Par ailleurs, les études examinant l'adaptation des réponses musculaires lors de situations stressantes répétées sont peu nombreuses et ont essentiellement utilisé un type de stressor (*i.e.*, stimulations auditives et visuelles). Ainsi, compte tenu des études qui ont suggéré que la tension musculaire induite par les situations stressantes pourrait être un facteur de risque dans le développement des troubles musculo-squelettiques (*e.g.*, Lundberg et coll., 2002 ; Schleifer et coll., 2008 ; Westgaard, 1999), l'étude des réponses de différents muscles à une situation de stress et de l'adaptation de ces réponses à une situation

de stress répétée pourrait contribuer à une meilleure compréhension de la relation entre le stress et les plaintes musculaires.

Ainsi, l'objectif de notre travail était, en tenant en compte du trait d'anxiété des individus et des caractéristiques de la situation, d'examiner :

- les modifications végétatives et la tension musculaire induites par une situation stressante chez des individus de traits d'anxiété différents,
- spécifiquement la tension musculaire de différents muscles chez un groupe d'individu de trait d'anxiété homogène en situation stressante et en situation de stress répétée.

Nous allons détailler dans cette partie plus précisément les objectifs et les hypothèses de travail.

3.1. Influence du trait d'anxiété sur les réponses végétatives et musculaires induites par une situation stressante

La relation entre le trait d'anxiété et les réponses physiologiques en situation stressante a largement été étudiée. Selon la théorie d'Eysenck (1967), les différences individuelles dans le trait d'anxiété seraient associées à des différences de fonctionnement du système nerveux autonome. Face à une situation stressante, la réactivité physiologique pourrait dépendre du niveau de trait d'anxiété des individus. Néanmoins, les résultats restent contrastés et ne permettent pas de distinguer des patrons de réponses physiologiques liés au niveau de trait d'anxiété.

Il convient de souligner que la réactivité physiologique a été examinée principalement sur des périodes globales, négligeant ainsi l'étude de son évolution au cours du temps. D'autre part, la plupart de ces études ont examiné les réponses physiologiques pendant une situation stressante, alors que la période de récupération n'a été que peu étudiée. Selon Davidson, (1998), les différences individuelles dans la réactivité émotionnelle pourraient émerger dans la dynamique temporelle de la réponse affective, nommée « *chronométrie affective* ». Cette dernière est caractérisée par le temps mis pour arriver au niveau maximum et le temps de récupération. Au cours d'une situation stressante, certains paramètres physiologiques pourraient chez certains individus atteindre leur niveau maximum plus rapidement, et lors de la récupération revenir plus lentement au niveau basal (*e.g.*, Calvo et Cano-Vindel, 1997). Il serait donc intéressant d'examiner les réponses physiologiques chez des individus de traits d'anxiété différents selon les perspectives de Davidson, à travers la dynamique temporelle. Il convient de souligner que les différences individuelles dans la réactivité et la récupération physiologique ne se généraliseraient pas forcément à travers les systèmes de réponses physiologiques (Davidson, 1998). Par exemple, des individus pourraient montrer une récupération rapide de la tension musculaire, mais une récupération plus lente pour certains paramètres végétatifs. Ainsi, nous avons sélectionné plusieurs paramètres du système nerveux autonome et somatique qui sont réactifs aux situations stressantes (Chida et Hamer, 2008 ; Hazlett et coll., 1994 ; Lundberg et coll., 1994) et particulièrement à la situation stressante utilisée dans notre étude (Lundberg et coll., 1994 ; Silva et Leite, 2000 ; Teixeira-Silva et coll., 2004). Nous avons mesuré la FC et le niveau tonique électrodermal qui sont les paramètres végétatifs les plus couramment utilisés (Mauss et Robinson, 2009), et de façon exploratoire, la température cutanée. Concernant les paramètres musculaires, nous avons mesuré l'activité électromyographique (EMG) des muscles trapèze et gastrocnémien qui ont

souvent été étudiés (Hazlett et coll., 1994 ; Krantz et coll., 2004 ; Lundberg et coll., 1994 ; Teixeira-Silva et coll., 2004).

Ainsi, le premier objectif de ce travail était d'examiner la dynamique de paramètres végétatifs et musculaires, chez des sujets de traits d'anxiété différents, pendant une situation stressante et plus particulièrement au cours de la période de récupération. Nous avons postulé que des différences physiologiques entre des individus de traits d'anxiété contrastés pourraient émerger au cours de la période de récupération après la situation stressante.

3.2. Réponses musculaires face au stress

L'exposition à une situation stressante entraîne des modifications endocriniennes, végétatives et musculaires, conséquence de l'activation des différents systèmes. Les paramètres végétatifs et endocriniens ont largement été étudiés (pour revue, voir : Biondi et Picardi, 1999 ; Chida et Hamer, 2008). En revanche, les paramètres musculaires ont reçu moins d'attention.

Il est généralement établi qu'une situation stressante entraîne une augmentation de la tension musculaire (*e.g.*, Fechir et coll., 2008 ; Krantz et coll., 2004 ; Lundberg et coll., 1994 ; Teixeira-Silva et coll., 2004). Néanmoins, quelques études ont mis en évidence des réponses différentes selon les muscles face à une situation stressante (*e.g.*, Hazlett et coll., 1994 ; Teixeira-Silva et coll., 2004), soulignant l'importance d'examiner les réponses de plusieurs muscles dans l'étude de l'effet du stress sur la tension musculaire.

La plupart des études ont examiné l'amplitude moyenne de la réactivité musculaire sur la période globale du stress. En revanche, il existe peu de données concernant l'évolution de l'activité musculaire au cours de la situation stressante. Fridlund et coll. (1986) ont montré

une augmentation de l'activité EMG de plusieurs muscles lors d'un stressor auditif intense, mais n'ont pas trouvé de '*facteur de tension général*' commun à ces muscles au cours du temps. Il semblerait donc que les muscles aient des patrons temporels d'activation différents. Cependant, nous ne savons pas comment ils s'activent dans le temps au cours d'une situation stressante. Selon certains auteurs (Cacioppo et coll., 1983 ; Cacioppo et Tassinary, 1990), les modifications de l'activité EMG au cours du temps ont largement été ignorées dans les recherches en psychophysiologie. Ces auteurs recommandent l'étude de l'activité EMG au cours du temps plutôt que l'étude de l'amplitude moyenne des réponses EMG, qui ne permet pas de détecter les caractéristiques temporelles de l'activité musculaire. Ainsi, l'étude de l'évolution dans le temps de l'activité musculaire pourrait apporter des informations supplémentaires concernant la réactivité musculaire.

Ces modifications musculaires face au stress ont une fonction protectrice et adaptative en permettant une mobilisation appropriée de l'organisme pour faire face à la situation. Toutefois, un manque d'adaptation de ces réponses musculaires lors d'évènements stressants répétés pourrait être à l'origine de troubles musculaires. Bien que des études aient examiné les réponses musculaires au cours de stressors répétés, celles-ci utilisaient des stimuli de valences négatives de très courte durée, telles que des stimulations auditives et visuelles, et examinaient essentiellement les muscles faciaux et quelques muscles du cou (*e.g.*, Bisdorff et coll., 1994 ; Bradley et coll., 1993 ; Martin-Soelch et coll., 2006). Il serait donc pertinent d'étudier les réponses musculaires lors de situations stressantes répétées de plus longue durée et plus écologiques.

Ainsi, le second objectif de ce travail était d'examiner, d'une part la dynamique des réponses musculaires au cours d'une situation stressante, et d'autre part

l'adaptation des réponses musculaires à une seconde exposition à la même situation stressante chez des sujets de trait d'anxiété homogène. Nous avons sélectionné plusieurs muscles (*i.e.*, muscles trapèze, gastrocnémien, soléaire, court fléchisseur du pouce, triceps brachial et biceps brachial) ayant des fonctions différentes. Nous nous attendions à des patrons temporels d'activation et à des processus adaptatifs différents selon les muscles.

4. Expérimentation

4.1. Méthodologie générale

4.1.1. Cadre des études

Les expérimentations ont été conduites au sein de l'équipe 'Emotion-Action' du Laboratoire d'Automatique Humaine et de Sciences Comportementales (LASC, EA 3467), dans les locaux de l'UFR SciFA de l'Université de Lorraine. Les expérimentations se sont déroulées pour tous les sujets dans une pièce calme, à température ambiante (entre 20 et 23°C), l'après-midi entre 14h et 18h.

4.1.2. La population de recherche

Les sujets ont été recrutés parmi la population étudiante en Sciences et techniques des Activités Physiques et Sportives de l'université de Lorraine. Tous les sujets ont donné leur consentement libre et éclairé pour participer au protocole expérimental. Ils ont déclaré ne pas avoir de problèmes psychiatriques ou neurologiques, passés ou présents, avoir une audition correcte et une vision normale ou corrigée, et être des non-fumeurs ou des fumeurs occasionnels (moins de 5 cigarettes par jour). Ils ont également déclaré ne pas suivre de traitement médicamenteux et ne pas avoir consommé d'alcool durant les 48h précédant l'expérimentation.

4.1.3. Mesure des paramètres psychologiques

L'anxiété-état et l'anxiété-trait ont été évaluées au moyen du '*State-Trait Anxiety Inventory*' (STAI) de Spielberger et coll. (1983). Ce questionnaire de passation courte (5-10 minutes) se compose de deux parties séparées, comprenant chacune 20 propositions cotées de 1 à 4, permettant une auto-évaluation de l'anxiété-état (forme Y1 ou YA) et/ou de l'anxiété-trait (forme Y2 ou YB). La forme Y1 permet de mesurer l'état d'anxiété ressenti à l'instant présent. Les sujets répondent à une échelle d'estimation évaluant les manifestations directes ou indirectes d'anxiété (*e.g.*, 'je me sens effrayé', 'je me sens nerveux' ou 'je me sens détendu', 'je me sens décontracté'). La forme Y2 permet d'apprécier le sentiment général des sujets en répondant à des items différents de la forme précédente (*e.g.*, 'je m'inquiète de choses sans importance' ou 'je manque de confiance en moi').

L'état d'anxiété a également été évalué au moyen d'une échelle numérique visuelle (ENV). Cette échelle se présente sous la forme d'une ligne horizontale de 10 centimètres, graduée de 0 à 10 et annotée à l'extrême gauche par 'pas anxieux du tout' et à l'extrême droite par 'totalement anxieux'. Le sujet doit entourer le chiffre qui correspond le mieux à son niveau d'état d'anxiété. Cette échelle permet une auto-évaluation de l'état d'anxiété plus rapide que le STAI, mais moins rigoureuse.

Les pensées ont été évaluées au moyen d'une échelle numérique visuelle (ENV). Cette échelle se présente sous la forme d'une ligne horizontale de 10 centimètres, graduée de 0 à 10 et annotée à l'extrême gauche par 'pensées négatives' et à l'extrême droite par 'pensées positives'. Le sujet doit entourer le chiffre correspondant le mieux à la valence de ses pensées.

Ainsi, le trait d'anxiété, l'état d'anxiété et les pensées ont été évalués à l'aide de questionnaires psychométriques (*i.e.*, '*State-Trait Anxiety Inventory*' (STAI), Spielberger et coll., 1983) et d'échelles numériques visuelles. Bien que ces moyens de mesures soient imparfaits (*e.g.*, le STAI ne renseigne pas sur la composante cognitive ou somatique de

l'anxiété), ils constituent des standards validés et offrent des conditions de passations pertinentes dans le cadre de nos protocoles (*e.g.*, temps de passation, passation répétée ou *a posteriori*).

4.1.4. Mesure des paramètres physiologiques

4.1.4.1. Paramètres végétatifs

Le niveau tonique de la conductance de la peau et la température cutanée périphérique ont été enregistrés avec le système Biopac MP 150 (Biopac System Inc., Santa Barbara, CA) et analysés avec le logiciel AcqKnowledge 3,9. L'acquisition de ces signaux physiologiques a été effectuée sur un ordinateur à une fréquence d'échantillonnage de 2000 Hz.

Le niveau tonique de la conductance de la peau a été enregistré avec une tension constante de 0,5 V entre deux électrodes placées sur la surface palmaire des phalanges médiales de l'index et du majeur de la main non-dominante. Des électrodes Ag/AgCl avec une surface de contact de 6 mm de diamètres ont été remplies avec un gel isotonique. Le signal a été amplifié avec un gain de $5\mu\Omega$ et filtré avec un filtre passe-bas de 10 Hz. La différence de temps entre le positionnement des électrodes et le début de l'enregistrement a été d'au moins 10 min.

La température cutanée du doigt a été enregistrée avec un capteur thermique attaché sur la surface palmaire de la phalange distale de l'annulaire de la main non dominante avec un morceau de micropore. Le signal a été amplifié avec un gain de 5°F et filtré avec un passe-bas de 1 Hz.

L'intervalle R-R de la fréquence cardiaque a été enregistré avec la montre polar S810 (Polar Electro, Kempele, Finlet). Une ceinture émettrice (T61, Polar Electro ; Kempele,

Finlet) a été attachée autour de la poitrine du sujet. Les données R-R ont été extraites avec le logiciel Polar Precision Performance SW 4,03. Les données ont été inspectées visuellement et les battements occasionnels ectopiques ont été identifiés et remplacés par des valeurs d'intervalle R-R adjacent par le logiciel Polar. La fréquence cardiaque a été calculée sur la base des séries R-R, qui représentent les intervalles successifs entre les battements.

4.1.4.2. Paramètres musculaires

Nous avons sélectionné plusieurs muscles ayant des caractéristiques différentes (*e.g.*, fonction, localisation): les muscles gastrocnémien médial, soléaire, biceps brachial, triceps brachial (chef latéral), trapèze supérieur et court fléchisseur du pouce.

L'activité électromyographique (EMG) de surface a été enregistrée avec le système Biopac MP 150 (Biopac System Inc., Santa Barbara, CA). L'acquisition des signaux EMG a été effectuée sur un ordinateur et les signaux EMG ont été analysés avec le logiciel AcqKnowledge 3,9. L'activité EMG de surface a été enregistrée pour les muscles gastrocnémien médial, soléaire, biceps brachial, triceps brachial latéral et trapèze supérieur droits à l'aide d'électrodes pré-gélifiées Ag/AgCl, autocollantes à usage unique. Les électrodes avec une surface de contact de 10 mm de diamètre ont été placées parallèlement aux fibres musculaires avec une distance inter électrodes de 30 mm. Le muscle gastrocnémien est un muscle extenseur de la cheville divisé structurellement en deux chefs : le médial et le latéral. Les électrodes ont été placées sur la partie centrale du gastrocnémien médial (Hermens et coll., 2000 ; www.seniam.org). Le muscle soléaire est un muscle extenseur de la cheville. Il forme avec les deux chefs du gastrocnémien le triceps sural. Les électrodes ont été placées sur une ligne entre le condyle médial du fémur et la malléole interne à une distance de 1/3 de la malléole interne (www.seniam.org). Le muscle biceps brachial est un muscle fléchisseur du

coude et supinateur de l'avant-bras. Il se divise en deux chefs : le long biceps et le court biceps. Les électrodes ont été placées sur la ligne entre l'acromion médial et la fossette cubitale à une distance de 1/3 de la fossette cubitale (www.seniam.org). Le muscle triceps brachial est le seul muscle de la loge postérieure du bras. Il est composé de trois chefs : le long, le médial et le latéral. Le chef latéral du triceps brachial intervient dans l'extension du coude. Les électrodes ont été placées sur le chef latéral du triceps brachial, au milieu d'une ligne entre l'acromion et l'olécrane (www.seniam.org). Le muscle trapèze est un muscle de la loge postérieure de l'épaule, de la nuque et du tronc. Il est très vaste et occupe toute la région supérieure du dos. Les électrodes ont été placées sur le faisceau supérieur du muscle trapèze, 20 mm latéralement du milieu de la ligne entre l'acromion et l'apophyse épineuse de la vertèbre C7 (Jensen et coll., 1993). L'activité EMG de surface a été enregistrée pour le muscle court fléchisseur du pouce droit à l'aide d'électrodes Ag/AgCl réutilisables remplies de gel conducteur. Les électrodes avec une surface de contact de 8 mm de diamètre ont été placées entre le milieu et le tiers interne de la ligne entre l'articulation métacarpo-phalangienne du pouce et le pisiforme avec une distance inter électrodes de 10 mm (Turhanoglu et Beyazova, 2003). Un dispositif a été utilisé afin que le pouce du sujet repose sur un bouton dans une position fixe. Une électrode constituant la masse a été placée sur le poignet gauche du sujet. Les signaux EMG ont été échantillonnés à une fréquence de 2000 Hz, amplifiés 500 fois et filtrés avec une bande passante de 10 à 500 Hz. L'activité EMG a été obtenue après intégration du signal grâce à un filtre Root Mean Square (RMS : racine carrée de la valeur moyenne du carré du signal EMG pendant un intervalle de temps donné). Les données EMG ont été inspectées afin d'identifier des artefacts indicatifs de mouvements. Ces artefacts ont été marqués et exclus des analyses.

4.1.5. Tâche stressante et tâche contrôle

Dans le cadre de notre travail, nous avons fait le choix d'utiliser un stresser cognitif modéré, « la tâche de Stroop avec interférence », filmée et chronométrée. Lors des protocoles, les sujets étaient soumis à une tâche stressante induite par le stresser cognitif modéré, et à une tâche contrôle :

- *La tâche contrôle* est une version de la tâche de Stroop sans interférence. Une planche contenant 100 noms de couleur (bleu, jaune, rouge, vert et violet), organisés en 10 colonnes de 10 lignes est présentée au sujet. Les mots désignant les noms de couleur sont écrits dans la couleur congruente (*e.g.*, le mot BLEU écrit en bleu) et sont présentés dans un ordre aléatoire. Le sujet doit dire ou lire la couleur dans l'ordre présenté sans contrainte temporelle (Figure 5A). Avant le début de l'expérimentation, les sujets réalisent une courte session d'entraînement.

- *La tâche stressante* consiste à réaliser une version de la tâche de Stroop avec interférence. Dans cette version, chaque nom de couleur (bleu, jaune, rouge, vert et violet) est écrit dans une couleur non congruente (*e.g.*, le mot BLEU écrit en rouge). Le sujet doit dire le plus vite possible et dans l'ordre présenté, la couleur vue (*i.e.* la couleur de l'encre utilisée) et non pas la couleur désignée par le mot (Figure 5B.). Les erreurs et les hésitations sont signalées par un son strident contrôlé par l'examineur. De plus, de la même façon que dans les procédures qui simulent une performance de discours en public, la tâche est filmée, enregistrée et présentée en direct sur un écran de télévision placé dans le champ visuel du sujet (Silva et Leite, 2000).

A

BLEU	ROUGE	VERT
JAUNE	VIOLET	ROUGE
VERT	BLEU	JAUNE

B

ROUGE	VERT	JAUNE
VIOLET	BLEU	ROUGE
JAUNE	ROUGE	VERT

Figure 5 : Représentation des deux versions de la tâche de Stroop utilisées dans le protocole expérimental. A : Stroop sans interférence ; B : Stroop avec interférence.

4.2. Influence du trait d'anxiété sur les réponses végétatives et musculaires induites par une situation stressante : Etude 1

4.2.1. Matériels et méthodes

4.2.1.1. Sujets

Cent neuf sujets de sexe masculin, volontaires, ont été recrutés parmi la population étudiante en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives. L'anxiété-trait de ces sujets a été évaluée au moyen du '*State-Trait Anxiety Inventory*' (STAI) de Spielberger et coll. (1983). A partir de cette cohorte, cinquante neuf sujets ont été sélectionnés sur la base des scores d'anxiété-trait pour participer au protocole expérimental. Les sujets dont les scores d'anxiété-trait étaient aux extrêmes de la distribution ont été répartis en deux groupes. Les sujets dont les scores d'anxiété-trait étaient les plus bas forment le groupe d'anxiété-trait « bas » (n = 28 ; la moyenne des scores du groupe en notes brutes est de 28.89 ± 3.21 s'échelonnant de 22 à 34) et les sujets dont les scores d'anxiété-trait étaient les plus hauts forment le groupe d'anxiété-trait « haut » (n = 31 ; la moyenne des scores du groupe en notes brutes est de 46.94 ± 5.61 s'échelonnant de 40 à 66). Les caractéristiques des participants sont présentées dans le tableau 1. Les données de quatre participants ont été enlevées de l'analyse des paramètres physiologiques à cause de problèmes techniques et d'artefacts.

Tableau 1

Caractéristiques du groupe d'anxiété trait 'haut' et du groupe d'anxiété trait 'bas'.

	Groupe 'haut' (<i>n</i> = 31)	Groupe 'bas' (<i>n</i> = 28)
Age (année)	19.2 ± 1.2	19.1 ± 1.2
IMC (kg/m ²)	22.7 ± 2.9	22.2 ± 2.3
Statut de fumeur	25 non fumeurs 6 fumeurs occasionnels	23 non fumeurs 5 fumeurs occasionnels
Trait d'anxiété	46.94 ± 5.61	28.89 ± 3.21

IMC : indice de masse corporelle.

4.2.1.2. Mesures auto-évaluées

L'état d'anxiété a été évalué au moyen du STAY Y1 au début de l'expérimentation et pour les tâches de Stroop, et au moyen d'une échelle visuelle numérique pour les périodes de repos. Les pensées ont été évaluées au moyen d'une échelle visuelle numérique pour les périodes de repos.

4.2.1.3. Mesures physiologiques

L'activité électromyographique (EMG) des muscles trapèze supérieur et gastrocnémien médial, la température cutanée, le niveau tonique électrodermal et la fréquence cardiaque ont été mesurés.

4.2.1.4. Procédure

Le protocole expérimental, d'une durée de 75 min, est présenté dans la figure 6. Les sujets sont installés dans un fauteuil confortable avec repose pied, repose tête et support pour les bras. Par conséquent, la posture est restée constante pendant l'expérimentation. Les sujets remplissent le formulaire de consentement éclairé, puis le STAI pour l'anxiété-état. Lorsque les électrodes et les capteurs sont placés, les sujets ont pour consignes de trouver une position confortable et de bouger le moins possible pendant l'expérimentation. Les sujets réalisent d'abord la condition contrôle puis la condition stressante. Les conditions ne sont pas contrebalancées afin d'éviter un effet spécifique de la condition stressante sur la condition contrôle. Entre les conditions, les sujets visionnent un film neutre de paysage pendant 5 min. Ce film neutre est utilisé pour créer un état affectif similaire pour tous les sujets qui serait indépendant de l'état affectif évoqué par la précédente condition contrôle. La procédure est la même pour les deux conditions. Une période de repos de 3 min est accordée aux sujets et constitue la période de référence. Puis, les sujets sont soumis à la tâche du Stroop interférent ou non interférent pendant 2 min, suivie immédiatement par une période de récupération de 3 min afin de permettre aux signaux physiologiques de retourner au niveau basal. Les sujets ont pour consignes de fermer les yeux pendant les périodes de référence et de récupération.

Après chaque condition, les sujets remplissent le STAI pour l'anxiété-état sur la base de leur ressenti pendant les tâches de Stroop. Les échelles visuelles numériques pour l'état d'anxiété et la valence des pensées sont complétées immédiatement après les périodes de référence et de récupération sur la base de leur ressenti pendant ces périodes. Les paramètres physiologiques sont enregistrés en continu pendant les deux conditions.

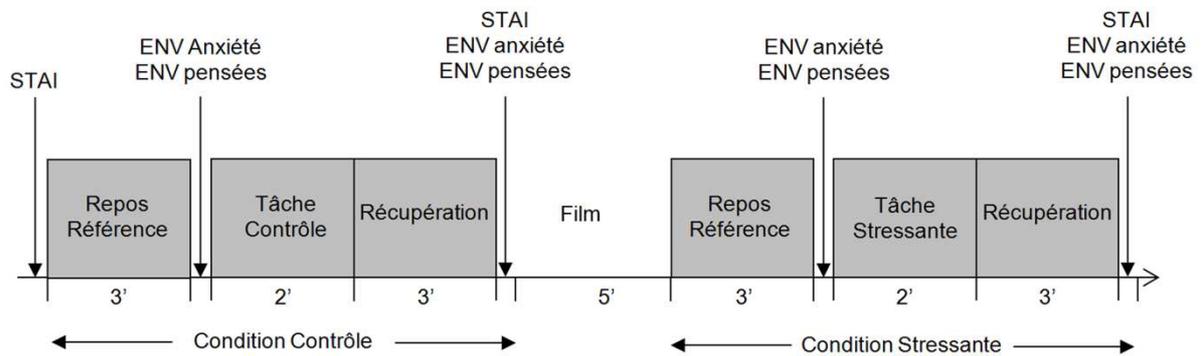


Figure 6 : Diagramme représentant le déroulement du protocole expérimental. Les sujets réalisent la condition contrôle puis la condition stressante. Le STAI-état, les échelles numériques visuelles (ENV) de l'anxiété et des pensées sont réalisés à différents moments au cours du protocole. Les paramètres physiologiques sont enregistrés en continu pendant la condition contrôle et la condition stressante.

4.2.1.5. Analyse statistique

Sur l'ensemble des analyses statistiques, la normalité des distributions (test de Kolmogorov-Smirnov) et l'homogénéité des variances (test de Levene) ont été vérifiées. Lorsque ces conditions étaient respectées, des tests paramétriques ont été réalisés, et dans le cas contraire, des tests non paramétriques ont été utilisés.

L'âge et l'IMC chez le groupe 'bas' et 'haut' ont été comparés à l'aide du test *t* de Student, et le statut de fumeur à l'aide du test du Khi-deux. Pour analyser les performances aux tâches de Stroop, une ANOVA à mesures répétées a été réalisée pour le nombre de mots avec le groupe (anxiété-trait 'bas', anxieté-trait 'haut') et la condition (tâche contrôle, tâche

stressante) comme facteurs. Les erreurs effectuées pendant la tâche stressante chez le groupe 'bas' et 'haut' ont été comparées à l'aide du test *t* de Student.

Les échelles visuelles numériques pour l'état d'anxiété ont été analysées avec des tests non-paramétriques, notamment avec le test U de Mann-Whitney pour identifier des différences entre les groupes. Pour examiner les périodes de repos, une ANOVA de Friedman a été réalisée, puis le test de Wilcoxon pour identifier les différences entre les périodes de référence et de récupération. Pour évaluer le niveau d'anxiété-état induit par la tâche stressante, une ANOVA à mesures répétées a été réalisée pour le STAI-état avec le groupe (anxiété-trait 'bas', anxieté-trait 'haut'), et la période (repos référence, tâche contrôle, tâche stressante) comme facteurs. Pour évaluer la valence des pensées pendant la récupération, une ANOVA à mesures répétées a été réalisée pour les échelles visuelles numériques des pensées avec le groupe (anxiété-trait 'bas', anxieté-trait 'haut'), la condition (contrôle, stressante) et la période (repos référence, récupération) comme facteurs.

Les signaux physiologiques ont été moyennés sur des périodes de 10 secondes pour les périodes de référence, de Stroop et de récupération. La transformation logarithmique (Ln) a été appliquée à l'activité EMG afin de normaliser la distribution (*e.g.*, Carson et coll., 2005 ; Fridlund et coll., 1986). Pour évaluer les différences dans la dynamique temporelle des réponses physiologiques induites par la tâche stressante entre le groupe 'bas' et le groupe 'haut', nous avons analysé les 10 dernières secondes de la période de référence et la tâche de Stroop sur des périodes de 10 secondes (tâche₁, tâche₂, ..., tâche₁₂). Pour évaluer les différences dans la dynamique temporelle des réponses physiologiques post-stress entre le groupe 'bas' et le groupe 'haut', nous avons analysé les 10 dernières secondes de la tâche de Stroop et les 30 premières secondes de la récupération sur des périodes de 10 secondes (récupération₁, récupération₂, récupération₃). Concernant l'analyse de la récupération physiologique, nous avons sélectionné cette fenêtre temporelle car de précédentes études nous

laissaient supposer que des différences entre les groupes pourraient émerger au début de la période de récupération. En effet, Mauss et coll. (2003), supposant que la récupération serait la capacité à retourner rapidement à un niveau de base, ont suggéré que la séparation entre les groupes pourrait se produire au début de la période de récupération plutôt qu'à la fin. De plus, Roger et Jamieson, (1988) ont trouvé une FC élevée au cours des 15 premières secondes après une tâche de Stroop de 150 secondes.

Pour examiner les différences dans la réactivité physiologique, des ANOVAs à mesures répétées ont été réalisées pour chaque variable physiologique avec le groupe (anxiété-trait 'bas', anxiété-trait 'haut'), la condition (contrôle, stressante) et la période (repos référence, tâche₁, tâche₂, ..., tâche₁₂) comme facteurs. Pour examiner les différences dans la récupération physiologique, des ANOVAs à mesures répétées ont été réalisées pour chaque variable physiologique avec le groupe (anxiété-trait 'bas', anxiété-trait 'haut'), la condition (contrôle, stressante) et la période (tâche₁₂, récupération₁, récupération₂, récupération₃) comme facteurs. Pour tester l'hypothèse *a priori* sur la différence de récupération entre les deux groupes, les tendances linéaires et quadratiques ont été réalisées pour la condition contrôle et la condition stressante séparément, et pour chaque variable physiologique avec le groupe (anxiété-trait 'bas', anxiété-trait 'haut') et la période (tâche₁₂, récupération₁, récupération₂, récupération₃) comme facteurs. Ces tendances reflétant une hypothèse *a priori* ne nécessitent pas un test omnibus significatif. Les interactions linéaires et/ou quadratiques significatives ont été examinées au moyen de tests d'effets simples afin de tester les tendances au sein de chaque groupe. Des tests *t* ont été réalisés, si nécessaire, pour comparer les deux groupes pour chaque période. La correction de Bonferroni a été rapportée (*i.e.*, la valeur *p* du test $t \times 4$ conformément avec le nombre de comparaisons impliquées).

Afin de tester si les pensées négatives pourraient être un médiateur dans la relation entre l'anxiété-trait et la récupération physiologique, nous avons réalisé une série de

régressions avec l'anxiété-trait comme variable indépendante, la pente de la récupération physiologique (*i.e.*, la pente de la récupération₁ à la récupération₃) comme variable dépendante et la valence des pensées comme médiateur. La médiation est établie lorsque quatre critères sont satisfaits. Ces derniers sont testés dans trois équations de régression (Baron et Kenny, 1986). Tout d'abord, la variable indépendante doit affecter le médiateur. Deuxièmement, la variable indépendante doit affecter la variable dépendante. Troisièmement, le médiateur doit affecter la variable dépendante, et quatrièmement, l'effet de la variable indépendante sur la variable dépendante doit être réduite en présence du médiateur. Les deux derniers critères sont examinés dans la même équation de régression.

La correction de Greenhouse-Geisser pour la violation de la sphéricité a été appliquée dès lors que les degrés de liberté sont supérieurs à 2. Les valeurs de l'éta carré partiel (η_p^2) et du d de Cohen ont été reportées pour mesurer la taille des effets. Les comparaisons *post-hoc* ont été réalisées à l'aide du test HSD de Tukey pour les tests paramétriques. Le seuil de significativité était fixé à $p < 0,05$.

4.2.2. Résultats

4.2.2.1. Caractéristique des sujets et performance à la tâche

Aucune différence n'a été trouvée entre les groupes pour les variables âge, IMC et statut de fumeur. L'analyse de la performance de la tâche ne révèle pas d'effet principal du Groupe et de la Période, ni d'interaction Groupe \times Période. Aucune différence n'a été trouvée entre les groupes pour la variable erreur pendant la tâche stressante.

4.2.2.2. Mesures auto-évaluées

La figure 7A montre les changements d'état d'anxiété chez les individus de traits d'anxiété 'bas' et 'haut' au cours de l'expérimentation. L'analyse de l'état d'anxiété mesuré par le STAI révèle des effets principaux significatifs du Groupe ($F(1,57) = 30.15, p < .0001, \eta_p^2 = .35$) et de la Période ($F(2,114) = 48.64, p < .0001, \varepsilon = .86, \eta_p^2 = .46$), et une interaction Groupe \times Période significative ($F(2,114) = 3.25, p < .05, \varepsilon = .86, \eta_p^2 = .05$). Les analyses *post-hoc* montrent, quel que soit le groupe, une augmentation significative de l'état d'anxiété pendant la tâche stressante comparée à la période de référence (pour les deux groupes, $p < .001$) et à la tâche contrôle (pour les deux groupes, $p < .001$). Le groupe 'haut' a un état d'anxiété plus élevé que le groupe 'bas' pendant la tâche contrôle ($p < .05$) et la tâche stressante ($p < .001$). L'analyse des échelles visuelles numériques pour l'état d'anxiété montre que le groupe 'haut' a rapporté des scores plus élevés que le groupe 'bas' pour les périodes de référence et de récupération. (Condition contrôle : référence: $z = 3.28, p < .01$, récupération : $z = 2.01, p < .05$; Condition stressante : référence $z = 2.56, p < .01$, récupération : $z = 3.48, p < .001$). Le groupe 'haut' a rapporté des scores plus élevés pour la période de référence avant la tâche contrôle comparée à celle avant la tâche stressante ($z = 2.75, p < .01$), mais pas le groupe 'bas'. Cependant, aucune différence n'a été montrée entre les périodes de récupération, quel que soit le groupe.

La figure 7B montre les modifications dans la valence des pensées chez les individus de trait d'anxiété 'bas' et 'haut' au cours de l'expérimentation. L'analyse de la valence des pensées révèle une interaction Groupe \times Condition \times Période significative ($F(1,57) = 3.85, p < .05, \eta_p^2 = .06$). Le groupe 'haut' a rapporté des pensées plus négatives pendant la récupération après la tâche stressante comparée à la période de référence ($p < .001$) et à la récupération après la tâche contrôle ($p < .001$), alors qu'aucune différence significative n'a été trouvée pour le groupe 'bas'.

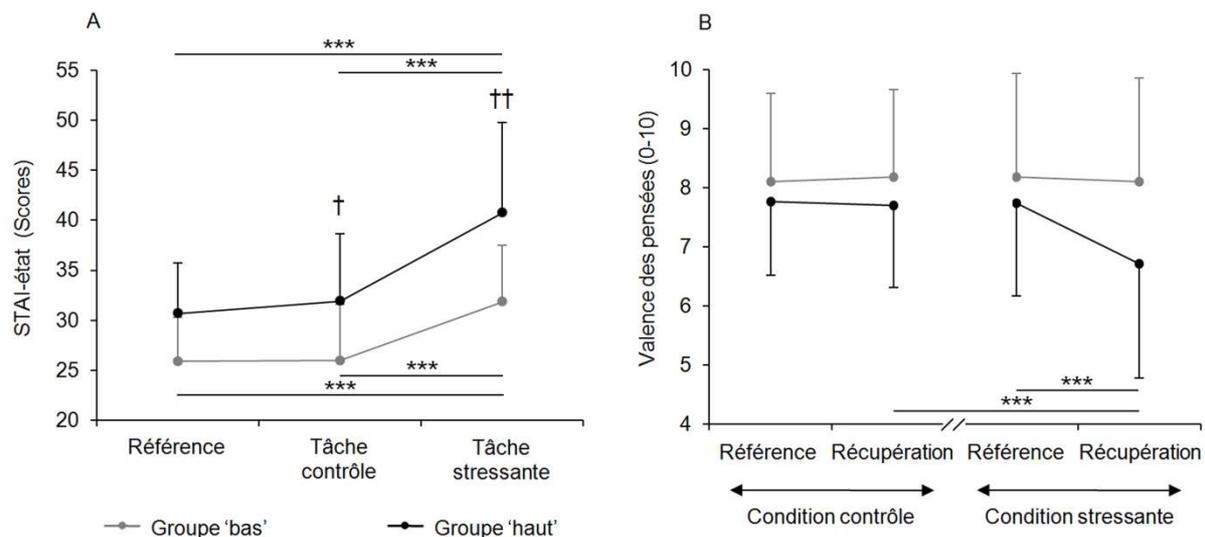


Figure 7 : L'état d'anxiété (A) pendant le repos référence, la tâche contrôlée et la tâche stressante, et la valence des pensées (B) pendant le repos référence et la récupération en condition contrôlée et en condition stressante pour le groupe d'anxiété trait 'bas' et le groupe d'anxiété trait 'haut'. †, ††, différence significative entre les groupes ($p < .05$, $p < .001$, respectivement). ***, différence significative entre les périodes ($p < .001$).

4.2.2.3. Mesures physiologiques

4.2.2.3.1. Pendant le stressor (Tableau 2)

- Paramètres végétatifs

Pour la FC, les analyses révèlent des effets principaux de la Condition ($F(1,53) = 94.32$, $p < .0001$, $\eta_p^2 = .64$) et de la Période ($F(12,636) = 69.34$, $p < .0001$, $\varepsilon = .29$, $\eta_p^2 = .56$), et une interaction Condition \times Période significative ($F(12,636) = 48.26$, $p < .0001$, $\varepsilon = .36$, $\eta_p^2 = .48$). En revanche, aucune interaction avec le groupe n'a été trouvée. Les analyses *post-*

hoc montrent une FC plus élevée pendant la tâche stressante comparée à la tâche contrôle (pour toutes les périodes, $p < .0001$). La FC augmente de la période de référence à la tâche₁ pour les deux conditions et diminue au cours du temps de la tâche₁ à la tâche₁₂ pour la tâche stressante.

Pour la température cutanée, les analyses révèlent des effets principaux de la Condition ($F(1,53) = 4.83$, $p = .03$, $\eta_p^2 = .08$) et de la Période ($F(12,636) = 39.48$, $p < .0001$, $\varepsilon = .11$, $\eta_p^2 = .42$), et une interaction Condition \times Période significative ($F(12,636) = 19.07$, $p < .0001$, $\varepsilon = .13$, $\eta_p^2 = .26$). En revanche, aucune interaction avec le groupe n'a été trouvée. Les analyses *post-hoc* montrent une température cutanée plus basse pendant la tâche stressante comparée à la tâche contrôle (pour toutes les périodes, $p < .0001$). La température cutanée diminue de la période de référence à la tâche₁ pour les deux conditions et continue à diminuer au cours du temps de la tâche₁ à la tâche₁₂ pour la tâche stressante.

Pour le niveau tonique électrodermal, les analyses révèlent des effets principaux de la Condition ($F(1,53) = 100.75$, $p < .0001$, $\eta_p^2 = .65$) et de la Période ($F(12,636) = 169.41$, $p < .0001$, $\varepsilon = .15$, $\eta_p^2 = .76$), et une interaction Condition \times Période significative ($F(12,636) = 34.17$, $p < .0001$, $\varepsilon = .22$, $\eta_p^2 = .39$). En revanche, aucune interaction avec le groupe n'a été trouvée. Les analyses *post-hoc* montrent un niveau tonique électrodermal plus élevé pendant la tâche stressante comparée à la tâche contrôle (pour toutes les périodes, $p < .0001$). Le niveau tonique électrodermal augmente de la période de référence à la tâche₁ pour les deux conditions et diminue au cours du temps de la tâche₁ à la tâche₁₂ pour les deux conditions avec une diminution plus rapide pour la tâche stressante.

- *Paramètres musculaires*

Pour l'activité EMG du muscle gastrocnémien, les analyses révèlent des effets principaux de la Condition ($F(1,53) = 61.02$, $p < .0001$, $\eta_p^2 = .53$) et de la Période

($F(12,636) = 44.52, p < .0001, \varepsilon = .26, \eta_p^2 = .45$), et une interaction Condition \times Période significative ($F(12,636) = 12.94, p < .0001, \varepsilon = .30, \eta_p^2 = .27$). En revanche, aucune interaction avec le groupe n'a été trouvée. Les analyses *post-hoc* montrent une activité EMG du muscle gastrocnémien plus élevée pendant la tâche stressante comparée à la tâche contrôle (pour toutes les périodes, $p < .0001$). L'activité EMG du muscle gastrocnémien augmente de la période de référence à la tâche₄ pour la condition contrôle et de la période de référence à la tâche₁ pour la condition stressante et continue à augmenter au cours du temps de la tâche₄ à la tâche₉ pour la condition contrôle et de la tâche₁ à la tâche₁₂ pour la condition stressante.

Pour l'activité EMG du muscle trapèze, les analyses révèlent des effets principaux de la Condition ($F(1,53) = 20.60, p < .0001, \eta_p^2 = .28$) et de la Période ($F(12,636) = 39.94, p < .0001, \varepsilon = .23, \eta_p^2 = .43$) et une interaction Condition \times Période significative ($F(12,636) = 6.66, p < .001, \varepsilon = .27, \eta_p^2 = .11$). En revanche, aucune interaction avec le groupe n'a été trouvée. Les analyses *post-hoc* montrent une activité EMG du muscle trapèze plus élevée pendant la tâche stressante comparée à la tâche contrôle (tâche₁ $p < .01$, tâche₂ $p < .001$, tâche₃ à tâche₁₂ $p < .0001$). L'activité EMG du muscle trapèze augmente de la période de référence à la tâche₁ pour les deux conditions et continue à augmenter de la tâche₁ à la tâche₁₂ pour la tâche stressante.

Tableau 2

Moyenne (Ecart type) des paramètres physiologiques pendant les périodes de référence et de tâche pour la condition contrôle (CC) et la condition stressante (CS).

	Référence	Tâche ₁	Tâche ₂	Tâche ₃	Tâche ₄	Tâche ₅	Tâche ₆	Tâche ₇	Tâche ₈	Tâche ₉	Tâche ₁₀	Tâche ₁₁	Tâche ₁₂
Fréquence cardiaque (bpm)													
CC	66,26 (9,01)	72,72 (10,39)	71,69 (10,18)	71,78 (10,71)	71,51 (10,69)	71,59 (10,61)	71,09 (10,50)	70,86 (9,84)	71,40 (10,23)	71,64 (10,24)	71,93 (10,84)	72,39 (11,03)	71,46 (10,15)
CS	64,81 (8,88)	89,79 (14,71)	91,15 (15,55)	89,80 (16,50)	85,95 (15,33)	83,22 (14,93)	81,47 (13,83)	80,94 (14,48)	79,44 (13,97)	78,59 (14,39)	77,85 (13,58)	77,55 (13,04)	77,01 (12,92)
Niveau électrodermal (µS)													
CC	6,52 (3,61)	9,72 (4,44)	9,47 (4,25)	9,38 (4,22)	9,30 (4,20)	9,24 (4,17)	9,13 (4,13)	9,05 (4,14)	9,04 (4,19)	9,01 (4,15)	8,97 (4,11)	8,89 (4,11)	8,88 (4,19)
CS	6,89 (3,72)	12,23 (5,00)	12,02 (4,99)	11,77 (4,85)	11,64 (4,82)	11,49 (4,72)	11,43 (4,71)	11,33 (4,67)	11,22 (4,64)	11,21 (4,71)	11,13 (4,70)	11,01 (4,63)	10,98 (4,69)
Température cutanée (°C)													
CC	31,59 (3,83)	31,08 (3,42)	31,07 (3,42)	31,05 (3,42)	31,03 (3,42)	31,01 (3,42)	31,00 (3,42)	30,99 (3,43)	30,99 (3,44)	30,99 (3,45)	31,00 (3,46)	31,00 (3,48)	31,01 (3,51)
CS	31,90 (3,63)	30,75 (3,17)	30,71 (3,16)	30,66 (3,15)	30,62 (3,14)	30,56 (3,12)	30,52 (3,11)	30,47 (3,11)	30,42 (3,10)	30,39 (3,10)	30,35 (3,10)	30,32 (3,10)	30,30 (3,10)
Gastrocnémien – Ln activité EMG (µV)													
CC	-0,11 (0,10)	-0,06 (0,16)	-0,05 (0,17)	-0,03 (0,19)	-0,01 (0,23)	0,01 (0,24)	0,01 (0,21)	0,03 (0,23)	0,04 (0,24)	0,05 (0,22)	0,04 (0,21)	0,03 (0,20)	0,04 (0,21)
CS	-0,10 (0,11)	0,08 (0,23)	0,18 (0,29)	0,24 (0,31)	0,27 (0,31)	0,31 (0,32)	0,33 (0,33)	0,32 (0,32)	0,33 (0,33)	0,33 (0,32)	0,31 (0,31)	0,32 (0,31)	0,34 (0,32)
Trapèze – Ln activité EMG (µV)													
CC	-0,03 (0,11)	0,03 (0,12)	0,05 (0,13)	0,05 (0,12)	0,05 (0,12)	0,06 (0,12)	0,06 (0,12)	0,08 (0,12)	0,07 (0,12)	0,07 (0,11)	0,08 (0,11)	0,08 (0,12)	0,07 (0,12)
CS	-0,01 (0,14)	0,08 (0,12)	0,11 (0,12)	0,13 (0,13)	0,14 (0,13)	0,15 (0,13)	0,16 (0,13)	0,16 (0,14)	0,18 (0,14)	0,18 (0,13)	0,19 (0,14)	0,19 (0,13)	0,19 (0,14)

4.2.2.3.2. Pendant la récupération (Figure 8)

- Paramètres végétatifs

Pour la FC, les analyses révèlent des effets principaux de la Condition ($F(1,53) = 13.21, p < .001, \eta_p^2 = .20$) et de la Période ($F(3,159) = 79.04, p < .0001, \varepsilon = .64, \eta_p^2 = .60$), et une interaction Condition \times Période significative ($F(3,159) = 14.70, p < .0001, \varepsilon = .63, \eta_p^2 = .22$). En revanche, aucune interaction avec le groupe n'a été trouvée. Les analyses *post-hoc* montrent une FC plus élevée pendant la condition stressante comparée à la condition contrôle pour la tâche₁₂ et la récupération₁ ($p < .0001$). La FC diminue au cours du temps de la tâche₁₂ à la récupération₃ pour les deux conditions avec une diminution plus rapide pour la condition stressante. Les analyses des tendances linéaires et quadratiques ne montrent pas d'interaction Période \times Groupe significative pour la condition stressante et la condition contrôle. Ceci indique une récupération de la FC similaire pour le groupe 'haut' et le groupe 'bas'.

Pour la température cutanée, les analyses révèlent un effet principal de la Condition ($F(1,53) = 11.36, p < .001, \eta_p^2 = .18$), une interaction Condition \times Période significative ($F(3,159) = 3.93, p < .05, \varepsilon = .38, \eta_p^2 = .07$), et également une interaction Condition \times Période \times Groupe significative ($F(3,159) = 5.82, p = .01, \varepsilon = .38, \eta_p^2 = .10$). Les analyses *post-hoc* montrent, pour chaque groupe, une température cutanée plus basse pendant la condition stressante comparée à la condition contrôle de la tâche₁₂ à la récupération₃ (pour toutes les périodes $p < .0001$). Les analyses des tendances linéaires et quadratiques montrent une interaction Période \times Groupe significative pour la tendance linéaire en condition stressante ($F(1,53) = 5.79, p = .02, \eta_p^2 = .10$) mais pas en condition contrôle. Ceci indique une récupération de la température cutanée différente entre les deux groupes après la tâche stressante. Le groupe 'haut' montre une tendance linéaire négative ($F(1,27) = 3.58, p = .06, \eta_p^2 = .12$), mais pas le groupe 'bas'. Après la tâche stressante, tandis que la température

cutanée ne change pas pour le groupe ‘bas’, une diminution est observée pour le groupe ‘haut’.

Pour le niveau tonique électrodermal, les analyses révèlent des effets principaux de la Condition ($F(1,53) = 71.96, p < .0001, \eta_p^2 = .58$) et de la Période ($F(3,159) = 102.01, p < .0001, \varepsilon = .47, \eta_p^2 = .66$), et une interaction Condition \times Période significative ($F(3,159) = 18.00, p < .0001, \varepsilon = .58, \eta_p^2 = .25$). En revanche, aucune interaction avec le groupe n’a été trouvée. Les analyses *post-hoc* montrent un niveau tonique électrodermal plus élevé pendant la condition stressante comparée à la condition contrôle de la tâche₁₂ à la récupération₃ (pour toutes les périodes $p < .0001$). Le niveau tonique électrodermal diminue au cours du temps de la tâche₁₂ à la récupération₃ pour les deux conditions avec une diminution plus rapide pour la condition stressante. Les analyses des tendances linéaires et quadratiques ne montrent pas d’interaction Période \times Groupe significative pour la condition stressante et la condition contrôle. Ceci indique une récupération du niveau tonique électrodermal similaire pour le groupe ‘haut’ et le groupe ‘bas’.

- *Paramètres musculaires*

Pour l’activité EMG du muscle gastrocnémien, les analyses révèlent des effets principaux de la Condition ($F(1,53) = 41.09, p < .0001, \eta_p^2 = .44$) et de la Période ($F(3,159) = 98.98, p < .0001, \varepsilon = .39, \eta_p^2 = .65$), et une interaction Condition \times Période significative ($F(3,159) = 40.54, p < .0001, \varepsilon = .39, \eta_p^2 = .43$). Une tendance a été trouvée pour l’interaction Condition \times Période \times Groupe ($F(3,159) = 2.93, p = .08, \varepsilon = .39, \eta_p^2 = .05$). Les analyses *post-hoc* montrent une activité EMG du muscle gastrocnémien plus élevée pendant la condition stressante comparée à la condition contrôle pour le groupe ‘haut’ (tâche₁₂, $p < .0001$, récupération₁, $p < .01$) et pour le groupe ‘bas’ (tâche₁₂, $p < .0001$). Les analyses des tendances linéaires et quadratiques montrent une interaction Période \times Groupe significative pour la

tendance linéaire en condition stressante ($F(1,53) = 4.04, p < .05, \eta_p^2 = .07$) mais pas pour la condition contrôle. Ceci indique une récupération de l'activité EMG du muscle gastrocnémien différente entre les deux groupes après la tâche stressante. Les deux groupes montrent une tendance linéaire négative (groupe 'haut' : $F(1,27) = 72.22, p < .0001, \eta_p^2 = .73$; groupe 'bas' : $F(1,26) = 33.33, p < .0001, \eta_p^2 = .61$). Les tests t indiquent une activité EMG du muscle gastrocnémien plus élevée chez le groupe 'haut' comparé au groupe 'bas' pour la récupération₁ ($t(53) = 3,43, p = .004, d = .94$) mais pas pour la tâche₁₂, la récupération₂ et la récupération₃.

Pour l'activité EMG du muscle trapèze, les analyses révèlent des effets principaux de la Condition ($F(1,53) = 15.27, p < .001, \eta_p^2 = .22$) et de la Période ($F(3,159) = 76.29, p < .0001, \varepsilon = .50, \eta_p^2 = .59$), et une interaction Condition \times Période significative ($F(3,159) = 11.95, p < .0001, \varepsilon = .55, \eta_p^2 = .18$). En revanche, aucune interaction avec le groupe n'a été trouvée. Les analyses *post-hoc* montrent une activité EMG du muscle trapèze plus élevée pendant la condition stressante comparée à la condition contrôle pour la tâche₁₂ ($p < .0001$), la récupération₁ ($p < .0001$) et la récupération₂ ($p < .001$). L'activité EMG du trapèze diminue de la tâche₁₂ à la récupération₁ pour la condition contrôle et de la tâche₁₂ à la récupération₂ pour la condition stressante. Les analyses des tendances linéaires et quadratiques ne montrent pas d'interaction Période \times Groupe significative pour la condition stressante et la condition contrôle. Ceci indique une récupération de l'activité EMG du muscle trapèze similaire pour le groupe 'haut' et le groupe 'bas'.

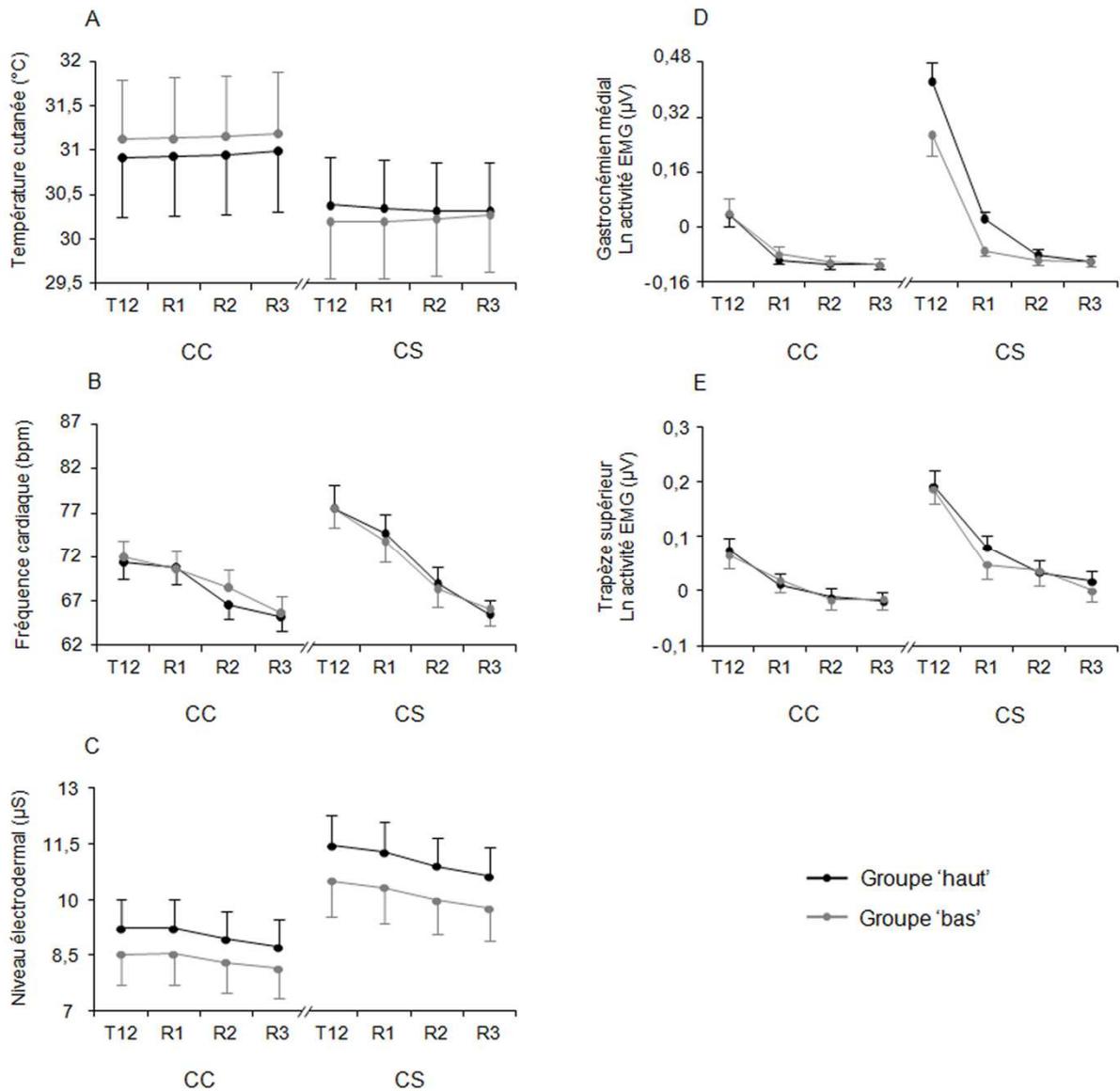


Figure 8 : La température cutanée (A), la fréquence cardiaque (B), le niveau tonique électrodermal (C), l'activité EMG des muscles gastrocnémien médial (D) et trapèze supérieur (E), pendant la condition contrôle (CC) et la condition stressante (CS), pour le groupe d'anxiété trait 'haut' et le groupe d'anxiété trait 'bas'. Les données représentent les signaux physiologiques moyennés sur des périodes de 10 secondes pendant les 10 dernières secondes de la tâche de Stroop (T12) et pendant les 30 premières secondes de la période de récupération (R1, R2, R3). La transformation logarithmique est rapportée pour l'activité EMG. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne.

4.2.2.4. Relation entre la valence des pensées et la récupération physiologique

Nous avons examiné le rôle potentiel de médiateur des pensées négatives dans la relation entre l'anxiété-trait et la récupération physiologique avec deux séries de régression. Etant donné que les précédents résultats n'ont pas montré de relation entre le trait d'anxiété et la récupération de la FC, du niveau tonique électrodermal et de l'activité EMG du muscle trapèze, ces derniers sont exclus de ces analyses. Seule la température cutanée et l'activité EMG du muscle gastrocnémien sont examinées. La médiation nécessite la validation de quatre critères qui sont testés dans trois régressions (Baron et Kenny, 1986). La première régression indique que le niveau de trait d'anxiété prédit la valence des pensées ($\beta = -.38$, $p = .002$). La deuxième régression indique que le niveau de trait d'anxiété prédit la récupération de la température cutanée ($\beta = -.33$, $p = .01$) et de l'activité EMG du muscle gastrocnémien ($\beta = -.35$, $p = .008$). La troisième régression indique que la valence des pensées prédit la récupération de la température cutanée et ($\beta = .34$, $p = .01$) et de l'activité EMG du gastrocnémien à travers une tendance ($\beta = .23$, $p = .09$). Lorsque la valence des pensées et le trait d'anxiété sont insérés ensemble dans le modèle, l'effet de la valence des pensées reste une tendance ($\beta = .25$, $p = .08$) et l'effet du niveau de trait d'anxiété est réduit ($\beta = -.23$, $p = .10$) pour la température cutanée. En revanche, ce n'est pas le cas pour l'activité EMG du muscle gastrocnémien. Ainsi, ces analyses révèlent que la valence des pensées peut être considérée comme un médiateur partiel entre le trait d'anxiété et la récupération de la température cutanée. Une analyse Bootstrap a ensuite été conduite afin de confirmer ces résultats. L'effet indirect est estimé entre $-.019$ et $-.001$ avec un intervalle de confiance à 95%. Comme zéro ne se situe pas dans cet intervalle de confiance, nous pouvons conclure que l'effet indirect est significativement différent de zéro à $p < .05$. Ainsi, ces résultats confirment que la valence des pensées est un médiateur partiel entre le trait d'anxiété et la récupération de la température cutanée.

4.2.3. Discussion

Le but de cette étude était d'examiner, au cours d'un stressor cognitif modéré et particulièrement lors de la période de récupération, la dynamique temporelle de paramètres végétatifs et musculaires chez des sujets de traits d'anxiété contrastés. Bien qu'une augmentation plus importante de l'état d'anxiété soit observée pendant la tâche stressante pour les sujets de trait d'anxiété 'haut' comparés aux sujets de trait d'anxiété 'bas', aucune différence n'a été trouvée entre les deux groupes dans la réactivité physiologique. En revanche, au début de la période de récupération suivant la tâche stressante, les sujets de trait d'anxiété 'haut' ont une tension musculaire du gastrocnémien plus élevée et une diminution de la température cutanée comparés aux sujets de trait d'anxiété 'bas'. Il convient de noter que les sujets de trait d'anxiété 'haut' ont des pensées plus négatives lors de la récupération suivant la tâche stressante, mais pas les sujets de trait d'anxiété 'bas'.

- **L'état d'anxiété, les réponses végétatives et musculaires au cours de la tâche stressante**

L'état d'anxiété, la FC, le niveau tonique électrodermal, l'activité EMG des muscles gastrocnémien et trapèze augmentent et la température cutanée diminue significativement pendant la tâche stressante, quel que soit le groupe. Ces résultats sont en accord avec de précédentes études qui ont montré que la tâche du Stroop avec interférence induit une augmentation modérée de l'état d'anxiété et des modifications végétatives et musculaires (Hainaut et Bolmont, 2006 ; Krantz et coll., 2004 ; Leite et coll., 1999 ; Lundberg et coll., 1994 ; Renaud et Blondin, 1997 ; Silva et Leite, 2000 ; Teixeira-Silva et coll., 2004 ; Tulen et coll., 1989). Bien que le groupe 'haut' rapporte un niveau d'état d'anxiété plus élevé pendant

la tâche stressante que le groupe 'bas', nos résultats ne montrent pas de différence dans la réactivité physiologique entre les deux groupes. Les différences dans l'auto-évaluation de l'état d'anxiété entre les groupes sont en cohérence avec de précédentes études (Baggett et coll., 1996 ; Leite et coll., 1999 ; Tang et Gibson, 2005) qui ont montré, aux cours de stressseurs psychologiques, une augmentation plus importante de l'état d'anxiété pour les individus de trait d'anxiété élevé. Ces individus pourraient, par des biais cognitifs, surestimer la tâche stressante (Eysenck, 1992). Au niveau des réponses physiologiques, les études examinant l'influence du trait d'anxiété sur les réponses végétatives et musculaires ont rapporté des résultats contrastés (*e.g.*, Arena et Hobbs, 1995 ; Baggett et coll., 1996 ; Fridlund et coll., 1986 ; Jezova et coll., 2004 ; Wilken et coll., 2000). Toutefois, nos résultats sont en accord avec les études qui ont montré que la FC, le niveau tonique électrodermal, la température cutanée et la tension musculaire ne diffèrent pas en fonction du niveau de trait d'anxiété (*e.g.*, Arena et Hobbs, 1995 ; Baggett et coll., 1996 ; Mauss et coll., 2003 ; Naveteur et coll., 2005 ; Noteboom et coll., 2001a ; Steptoe et Vögele, 1992). Ainsi, ces premiers résultats suggèrent que le niveau d'anxiété trait pourrait influencer l'auto-évaluation de l'état d'anxiété chez des sujets exposés à un stressseur cognitif modéré. En revanche, la réactivité physiologique ne semblerait pas dépendre du niveau d'anxiété trait.

L'absence de concordance entre les réponses subjectives et les réponses physiologiques chez des sujets de traits d'anxiété différents pourrait être due aux stratégies de coping mises en place par ces individus pour faire face à la situation stressante (*e.g.*, Asendorpf et Scherer 1983 ; Newton et Contrada, 1992 ; Weinberger, 1990). Selon Weinberger (1979), les individus caractérisés par un trait d'anxiété bas présentent des profils hétérogènes. Ces individus diffèrent selon leur style de coping. Il distingue deux catégories au sein des individus de trait d'anxiété bas : les individus non anxieux et les répresseurs. Les individus non anxieux sont caractérisés par un trait d'anxiété bas et un niveau de désirabilité

social bas. Tandis que les individus nommés « répresseurs » sont caractérisés par un trait d'anxiété bas et un niveau de désirabilité social élevé. Des études examinant les réactions des individus non anxieux et des individus « répresseurs » face à des situations stressantes ont montré que les individus non anxieux présentent un niveau d'état d'anxiété bas ainsi qu'une faible activation physiologique (Weinberger, 1990). En revanche, les individus « répresseurs » rapportent un niveau d'état d'anxiété bas mais présentent une réactivité physiologique similaire aux individus de trait d'anxiété élevé (Asendorpf et Scherer 1983, Newton et Contrada, 1992 ; Weinberger, 1990). Les résultats de notre étude, qui ont montré pour les individus de trait d'anxiété 'bas' un état d'anxiété moins élevé que les individus de trait d'anxiété 'haut' mais pas de différence dans la réactivité physiologique, sont similaires à ceux rapportés pour les individus « répresseurs » (Asendorpf et Scherer 1983 ; Newton et Contrada, 1992 ; Weinberger, 1990). Notre groupe de trait d'anxiété 'bas' pourrait donc être constitué pour une grande partie d'individus « répresseurs ». Ces individus sont caractérisés par un style de coping défensif et adoptent de manière préférentielle des stratégies, comme le déni, qui visent à éviter de ressentir de l'anxiété (Luminet, 2008 ; Weinberger, 1990). Ils auraient ainsi tendance à sous-évaluer leur niveau d'activation physiologique et le caractère stressant de la situation (Eysenck, 1997 ; Eysenck, 2000). Par conséquent, les individus « répresseurs » présentent un niveau d'état d'anxiété auto-évalué bas malgré une activation physiologique élevée. Ainsi dans la présente étude, la présence d'individus « répresseurs » au sein du groupe de trait d'anxiété 'bas' permettrait d'expliquer la discordance entre les données auto-évaluées de l'état d'anxiété et les mesures physiologiques chez les individus de traits d'anxiété 'bas' et 'haut'.

- **L'état d'anxiété, les réponses végétatives et musculaires au cours de la période de récupération suivant la tâche stressante**

Au début de la période de récupération après l'exposition à la situation stressante, les sujets de trait d'anxiété 'haut' comparés aux sujets de trait d'anxiété 'bas' ont une tension musculaire du gastrocnémien plus élevée et une diminution de la température cutanée. En revanche, la récupération de la FC, du niveau tonique électrodermal et de la tension musculaire du trapèze ne diffère pas entre les deux groupes. Une précédente étude a également examiné la relation entre le niveau de trait d'anxiété et la récupération physiologique après une situation stressante (Calvo et Cano-Vindel, 1997). Dans cette étude, 118 sujets de sexe féminin et 48 sujets de sexe masculin, de traits d'anxiété différents, ont été exposés à un stressor social (*i.e.*, tâche de discours en public). Les paramètres physiologiques mesurés étaient la FC et le niveau tonique électrodermal. Les résultats ont montré que le trait d'anxiété serait un prédicteur de la récupération de la FC, suggérant ainsi que plus le niveau de trait d'anxiété des individus est élevé, plus la récupération de la FC est lente. En revanche, dans cette étude, le niveau de trait d'anxiété ne serait pas associé au niveau tonique électrodermal. Les résultats de notre travail n'ont pas montré de différence dans la récupération du niveau tonique électrodermal entre les deux groupes. En lien avec l'étude de Calvo et Cano-Vindel (1997), nous pouvons supposer que le trait d'anxiété n'a pas d'effet sur la récupération de ce paramètre. En revanche, nos résultats qui n'ont pas montré de différence dans la récupération de la FC entre les deux groupes ne supportent pas ceux de Calvo et Cano-Vindel (1997). Ces résultats différents peuvent s'expliquer par des différences méthodologiques, telles que le type de stressor utilisé (*i.e.*, stress social vs stress cognitif) et la population sélectionnée. Al'Absi et coll. (1997) ont montré une augmentation plus importante de la FC au cours d'un stressor social comparé à un stressor cognitif. Il serait

envisageable dans notre étude que l'augmentation induite par le stressueur cognitif modéré ne soit pas assez élevée pour engendrer des différences dans la récupération de la FC entre les deux groupes. D'autre part, les participants de la présente étude étaient de sexe masculin, tandis que Calvo et Cano-Vindel (1997) utilisaient un échantillon composé majoritairement de femmes. Compte tenu des études qui ont montré une FC plus élevée pendant une tâche stressante et lors de la période de récupération chez des femmes comparées à des hommes (Girdler et coll., 1990 ; Kudielka et coll., 2004), les divergences de résultats peuvent être dues à un effet de genre. Par ailleurs, nos résultats ont montré, après la tâche stressante, que la récupération de la température cutanée semble être liée au niveau de trait d'anxiété. Les analyses statistiques ont indiqué une récupération différente entre les individus de traits d'anxiété 'haut' et 'bas'. Après la tâche stressante, la température cutanée ne varie pas pour le groupe 'bas', en revanche, elle continue à diminuer pour le groupe 'haut'. De précédentes études ont montré que le stress entraîne une diminution de la température cutanée due à des changements de l'activité périphérique vasomotrice (Shusterman et Barnea, 1995 ; Shusterman et coll., 1997). La vasoconstriction périphérique réduit le flux sanguin périphérique, entraînant ainsi une diminution de la température cutanée. Après la tâche stressante, la température cutanée chez les sujets de trait d'anxiété 'haut' comparés aux sujets de trait d'anxiété 'bas' continue à diminuer, suggérant une vasoconstriction périphérique prolongée due à une activation continue du système nerveux sympathique. Finalement, seule la température cutanée, parmi les paramètres du système nerveux autonome étudiés (*i.e.*, FC et niveau tonique électrodermal), semble varier selon le niveau de trait d'anxiété des individus pendant la récupération suivant un stressueur cognitif modéré.

Des auteurs ont suggéré que des cognitions persistantes qui pourraient se manifester dans l'inquiétude et les ruminations seraient associées à une activation prolongée du système nerveux sympathique après un événement stressant (Brosschot, 2010 ; Brosschot et coll.,

2006, 2010). Classiquement, les individus de trait d'anxiété élevé sont plus inquiets que les individus de trait d'anxiété bas (Eysenck et Van Berkum, 1992). Dans ce sens, nos résultats ont montré des pensées plus négatives pendant la récupération après la tâche stressante chez les sujets de trait d'anxiété 'haut' comparés aux sujets de trait d'anxiété 'bas'. Ces résultats tendent à confirmer que des cognitions persistantes pourraient dépendre du niveau de trait d'anxiété des individus. Ainsi, la diminution prolongée de la température cutanée pour le groupe 'haut' pourrait être due, en accord avec l'hypothèse de Brosschot et coll. (2006), aux pensées négatives. Les analyses statistiques ont confirmé le rôle de médiateur partiel des pensées négatives dans la relation entre le trait d'anxiété et la récupération de la température cutanée. Néanmoins, ces résultats soulignent que les pensées négatives ne seraient pas le seul médiateur qui permettrait d'expliquer la diminution prolongée de la température cutanée pour le groupe 'haut'. D'autres médiateurs pourraient très certainement être impliqués dans la relation entre le trait d'anxiété et la récupération de la température cutanée (*e.g.*, vigilance automatique et/ou coping). Par exemple, la vigilance automatique (*i.e.*, l'augmentation de la sensibilité du système attentionnel pour les informations relatives aux situations stressantes, Verkuil et coll., 2009) pourrait persister chez les individus de trait d'anxiété 'haut' après la situation stressante et engendrer un délai dans la récupération de la température cutanée.

Au niveau des paramètres musculaires, les résultats n'ont pas montré de différence dans la récupération de la tension musculaire du trapèze entre les groupes de traits d'anxiété 'haut' et 'bas'. La récupération similaire entre les deux groupes pourrait être liée au rôle postural de ce muscle. En effet, le muscle trapèze est constamment sollicité pour stabiliser le cou et la ceinture scapulaire. Ainsi, l'activité EMG du muscle trapèze liée à sa fonction pourrait avoir masqué l'effet potentiel du trait d'anxiété. En revanche, la récupération de la tension musculaire du gastrocnémien pourrait varier selon le niveau de trait d'anxiété des

sujets. Bien que les deux groupes aient une diminution de la tension musculaire du gastrocnémien après la tâche stressante, le groupe 'haut' a une tension musculaire du gastrocnémien plus élevée pendant les 10 premières secondes après la tâche stressante que le groupe 'bas'. Des résultats différents sont donc obtenus pour les muscles trapèze et gastrocnémien. Le trait d'anxiété aurait un effet sur la récupération du muscle gastrocnémien mais pas sur celle du muscle trapèze. Dans le cadre des travaux qui ont montré des liens entre la personnalité et les modifications physiologiques, quelques anciennes études (Goldstein et coll., 1964 ; Heath et coll., 1967 ; Shipman et coll., 1964) ont témoigné de relations potentielles entre l'activation de certains muscles et des traits de personnalité (*e.g.*, hostilité, dépression). Une étude plus récente réalisée chez des patients souffrant de troubles anxieux généralisés, un type de population pathologique caractérisé par un niveau de trait d'anxiété élevé (Clark et coll., 1994 ; Zinbarg et Barlow, 1996), a examiné l'activité EMG de plusieurs muscles (muscles gastrocnémien, trapèze, fléchisseur de l'avant bras, frontal) après une tâche de discours en public (Conrad et coll., 2008). Ces auteurs ont trouvé que seule l'activité EMG du muscle gastrocnémien est plus élevée chez les patients comparés aux sujets contrôles après la tâche. Ainsi, ces travaux semblent témoigner d'une relation entre des prédispositions internes et des réponses musculaires (Conrad et coll., 2008 ; Goldstein et coll., 1964 ; Heath et coll., 1967 ; Shipman et coll., 1964). En ce sens, nos résultats pourraient suggérer un lien potentiel entre le trait d'anxiété et la récupération de certains muscles. Plus particulièrement, la récupération de la tension musculaire du gastrocnémien pourrait dépendre du niveau de trait d'anxiété.

L'hypothèse concernant les cognitions persistantes est principalement associée à une activation prolongée du système nerveux sympathique, en revanche, celle-ci ne semble pas s'étendre au système nerveux somatique. En effet, les analyses statistiques n'ont pas confirmé le rôle de médiateur des pensées négatives dans la relation entre le trait d'anxiété et la

récupération de la tension musculaire du gastrocnémien. La tension musculaire prolongée pour le muscle gastrocnémien ne semble donc pas être due aux pensées négatives des sujets de trait d'anxiété 'haut'. Ceci suggère que d'autres médiateurs potentiels pourraient expliquer l'effet du trait d'anxiété sur la récupération de la tension musculaire du gastrocnémien (*e.g.*, vigilance automatique et/ou coping). Toutefois, il ne peut être exclu que le délai dans la récupération de la tension musculaire du gastrocnémien pour le groupe 'haut' puisse également être lié au niveau d'activation de ce muscle pendant la tâche stressante. Bien qu'il n'y ait pas de différence significative entre les deux groupes dans l'activité EMG du muscle gastrocnémien au cours de la situation stressante, le groupe 'haut' montre graphiquement une activité EMG du gastrocnémien plus élevé que le groupe 'bas'.

Finalement, au cours de la période de récupération après un stressor cognitif modéré, nos résultats montrent que certains paramètres du système nerveux autonome et du système nerveux somatique varient selon le niveau de trait d'anxiété. Ceci suggère que des différences dans la récupération physiologique entre des individus de traits d'anxiété contrastés pourraient être trouvées à travers différents systèmes de réponses physiologiques et ne se généraliseraient pas nécessairement à travers un système de réponse spécifique. De plus, ces réponses physiologiques pourraient témoigner d'une stratégie comportementale différente entre des sujets de traits d'anxiété 'haut' et 'bas'. La tension musculaire prolongée du muscle gastrocnémien et la diminution prolongée de la température cutanée après la tâche stressante pourraient maintenir un état de préparation à l'action chez les individus de trait d'anxiété 'haut' ('fight or flight', Cannon, 1929).

4.2.4. Conclusion

Cette étude présente la dynamique de certains paramètres végétatifs (*i.e.*, FC, niveau tonique électrodermal, température cutanée) et musculaires (*i.e.*, muscles gastrocnémien et trapèze) chez des sujets de traits d'anxiété contrastés exposés à un stresser cognitif modéré. La réactivité physiologique pendant la tâche stressante est similaire quel que soit le groupe. En revanche, la récupération de la température cutanée et de la tension musculaire du gastrocnémien après la tâche stressante pourrait dépendre du niveau de trait d'anxiété. Nos résultats ont ainsi suggéré une relation entre le niveau de trait d'anxiété et la récupération de certains paramètres du système nerveux autonome et du système nerveux somatique. Compte tenu des études qui ont montré les effets délétères que pourrait provoquer une activation physiologique prolongée après l'exposition à des situations stressantes (*e.g.*, Brosschot et coll., 2006), nos résultats soulignent l'importance d'examiner la récupération physiologique suivant des événements stressants chez des sujets de niveau de trait d'anxiété élevé. Par conséquent, examiner la récupération physiologique suivant des stressers plus intenses ou au cours de la vie quotidienne chez des individus de traits d'anxiété 'haut' à 'très haut' pourrait être d'intérêt pour les recherches futures sur les effets du stress sur la santé.

4.3. Réponses musculaires face au stress : Etudes 2 et 3 :

4.3.1. La dynamique des réponses musculaires au cours d'une situation stressante : Etude 2

4.3.1.1. Matériels et méthodes

4.3.1.1.1. Sujets

Cent neuf sujets de sexe masculin, volontaires, ont été recrutés parmi la population étudiante en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives. L'anxiété-trait de ces sujets a été évaluée au moyen du 'State-Trait Anxiety Inventory' (STAI) de Spielberger et coll. (1983). A partir de cette cohorte, un groupe est constitué, en sélectionnant les sujets dont les scores d'anxiété-trait étaient au centre de la distribution, pour participer au protocole expérimental. Les 30 sujets avec des scores d'anxiété-trait intermédiaires forment un groupe d'anxiété-trait « moyen » (la moyenne des scores du groupe en notes brutes est de 36.86 ± 3.04 s'échelonnant de 31 à 43). Les données de deux participants ont été enlevées de l'analyse EMG à cause d'artefacts.

4.3.1.1.2. Mesures de l'état d'anxiété

L'anxiété-état a été évaluée au moyen du STAY Y1 au début de l'expérimentation et pour les tâches de Stroop.

4.3.1.1.3. Mesures des paramètres musculaires

L'activité électromyographique (EMG) des muscles trapèze supérieur, gastrocnémien médial, soléaire, biceps brachial et triceps brachial (chef latéral) a été mesurée.

4.3.1.1.4. Procédure

Le protocole expérimental, d'une durée de 60 min, est présenté dans la figure 9. Les sujets sont installés dans un fauteuil confortable avec repose pied, repose tête et support pour les bras. Par conséquent, la posture est restée constante pendant l'expérimentation. Les sujets remplissent le formulaire de consentement éclairé, puis le STAI pour l'anxiété-état. Lorsque les électrodes sont placées, les sujets ont pour consignes de trouver une position confortable et de bouger le moins possible pendant l'expérimentation. Les sujets réalisent d'abord la condition contrôle puis la condition stressante. Les conditions ne sont pas contrebalancées afin d'éviter un effet spécifique de la condition stressante sur la condition contrôle. La procédure est la même pour les deux conditions. Une période de repos de 3 min est accordée aux sujets et constitue la période de référence. Puis, les sujets sont soumis à la tâche du Stroop interférent ou non interférent pendant 2 min, suivie immédiatement par une période de récupération de 3 min afin de permettre aux signaux EMG de retourner au niveau basal. Les sujets ont pour consignes de fermer les yeux pendant les périodes de référence et de récupération. Après chaque condition, les sujets remplissent le STAI pour l'anxiété-état sur la base de leur ressenti pendant les tâches de Stroop. L'activité EMG des différents muscles est enregistrée en continu pendant les deux conditions.

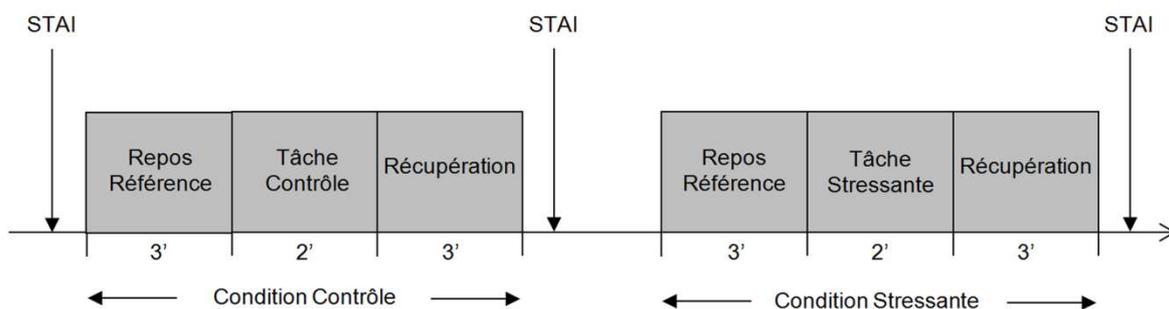


Figure 9 : Diagramme représentant le déroulement du protocole expérimental. Les sujets réalisent la condition contrôle puis la condition stressante. Le STAI-état est réalisé à différents moments au cours du protocole. L'activité EMG est enregistrée en continu pendant la condition contrôle et la condition stressante.

4.3.1.1.5. Analyse statistique

Pour évaluer le niveau d'anxiété-état induit par la tâche stressante, une analyse de la variance (ANOVA) à mesures répétées a été réalisée pour l'anxiété-état avec la condition (repos référence, tâche contrôle et tâche stressante) comme facteur.

L'EMG moyen pour chaque muscle a été calculé pour les périodes de référence. Pour l'analyse des réponses musculaires induites par les tâches de Stroop, l'EMG moyen a été calculé sur des périodes de 10 secondes pendant les 120 secondes des tâches de Stroop (période₁, période₂, ..., période₁₂). La réactivité musculaire a été calculée comme le changement des scores représentant la différence entre l'activité au cours des tâches de Stroop et la référence (*e.g.*, Larsen et Norris, 2009). Pour examiner la dynamique temporelle des réponses musculaires induites par la tâche stressante, des ANOVAs à mesures répétées ont été réalisées pour chaque muscle avec la condition (contrôle, stressante) et la période (période₁,

période₂, ..., période₁₂) comme facteurs. La correction de Greenhouse-Geisser pour la violation de la sphéricité a été appliquée si nécessaire. Les valeurs de l'êta carré partiel (η_p^2) ont été reportées pour mesurer la taille des effets. Les comparaisons *post-hoc* ont été réalisées à l'aide du test HSD de Tukey. Le seuil de significativité était fixé à $p < 0,05$.

4.3.1.2. Résultats

4.3.1.2.1. Anxiété-état

La figure 10 présente les changements d'état d'anxiété au cours du protocole. L'analyse de l'état d'anxiété mesuré par le STAI révèle un effet significatif de la Condition ($F(2,58) = 27.87, p < .0001, \eta_p^2 = .49$). Les analyses *post-hoc* montrent une augmentation significative de l'état d'anxiété pendant la tâche stressante comparée à la période de référence ($p < .001$) et à la tâche contrôle ($p < .001$).

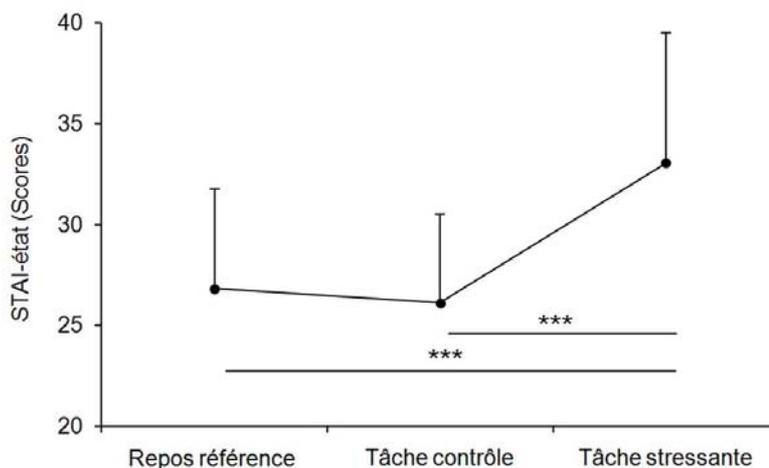


Figure 10 : L'état d'anxiété pendant le repos référence, la tâche contrôle et la tâche stressante. ***, significativement différent de la tâche stressante ($p < .001$).

4.3.1.2.2. *Activité EMG*

Aucune différence n'a été trouvée pour l'activité EMG entre les périodes de référence de la condition contrôle et de la condition stressante, quel que soit le muscle. La figure 11 présente l'activité EMG des cinq muscles au cours de la tâche contrôle et de la tâche stressante.

- *Le muscle gastrocnémien médial*

L'analyse de l'activité EMG du muscle gastrocnémien révèle des effets principaux de la Condition ($F(1,27) = 34.21, p < .0001, \eta_p^2 = .56$) et de la Période ($F(11,297) = 10.43, p < .0001, \varepsilon = .24, \eta_p^2 = .28$), et une interaction Condition \times Période significative ($F(11,297) = 6.97, p < .001, \varepsilon = .22, \eta_p^2 = .20$). Les analyses *post-hoc* montrent une activité EMG du muscle gastrocnémien plus élevée pendant la tâche stressante comparée à la tâche contrôle (période₂ $p < .01$; période₃ à période₁₂ $p < .0001$). Pour la tâche stressante, l'activité EMG du muscle gastrocnémien augmente au cours du temps de la période₁ à la période₃ ($p < .01$), de la période₂ à la période₄ ($p < .01$) et de la période₃ à la période₈ ($p < .01$).

- *Le muscle soléaire*

L'analyse de l'activité EMG du muscle soléaire révèle des effets principaux de la Condition ($F(1,27) = 24.53, p < .0001, \eta_p^2 = .47$) et de la Période ($F(11,297) = 4.54, p < .01, \varepsilon = .28, \eta_p^2 = .14$), et une interaction Condition \times Période significative ($F(11,297) = 3.36, p < .02, \varepsilon = .29, \eta_p^2 = .11$). Les analyses *post-hoc* montrent une activité EMG du muscle soléaire plus élevée pendant la tâche stressante comparée à la tâche contrôle (pour toutes les périodes $p < .0001$). Pour la tâche stressante, l'activité EMG du muscle soléaire augmente au cours du temps de la période₁ à la période₃ ($p < .01$) et de la période₂ à la période₄ ($p < .001$).

- *Le muscle biceps brachial*

L'analyse de l'activité EMG du muscle biceps révèle des effets principaux de la Condition ($F(1,27) = 13.89, p < .001, \eta_p^2 = .34$) et de la Période ($F(11,297) = 7.57, p < .001, \varepsilon = .158, \eta_p^2 = .22$), et une interaction Condition \times Période significative ($F(11,297) = 5.76, p < .01, \varepsilon = .23, \eta_p^2 = .17$). Les analyses *post-hoc* montrent une activité EMG du muscle biceps plus élevée pendant la tâche stressante comparée à la tâche contrôle (période₂ $p < .001$; période₃ à période₁₂ $p < .0001$). Pour la tâche stressante, l'activité EMG du muscle biceps augmente au cours du temps de la période₁ à la période₄ ($p < .01$), de la période₂ à la période₆ ($p < .01$), de la période₃ à la période₆ ($p < .01$) et de la période₄ à la période₈ ($p < .05$).

- *Le muscle triceps brachial*

L'analyse de l'activité EMG du muscle triceps brachial révèle un effet principal de la Condition ($F(1,27) = 5,32, p < .05, \eta_p^2 = .16$), mais pas de la Période, ni d'interaction Condition \times Période. L'activité EMG du muscle triceps brachial est plus élevée pendant la tâche stressante comparée à la tâche contrôle.

- *Le muscle trapèze supérieur*

L'analyse de l'activité EMG du muscle trapèze révèle des effets principaux de la Condition ($F(1,27) = 15,61, p < .001, \eta_p^2 = .37$) et de la Période ($F(11,297) = 5.76, p < .01, \varepsilon = .19, \eta_p^2 = .17$), mais pas d'interaction Condition \times Période. L'activité EMG du muscle trapèze est plus élevée pendant la tâche stressante comparée à la tâche contrôle. L'analyse *post-hoc* pour l'effet principal de la Période montre une activité EMG du muscle trapèze plus basse pendant la période₁ comparé à la période₇ ($p < .05$).

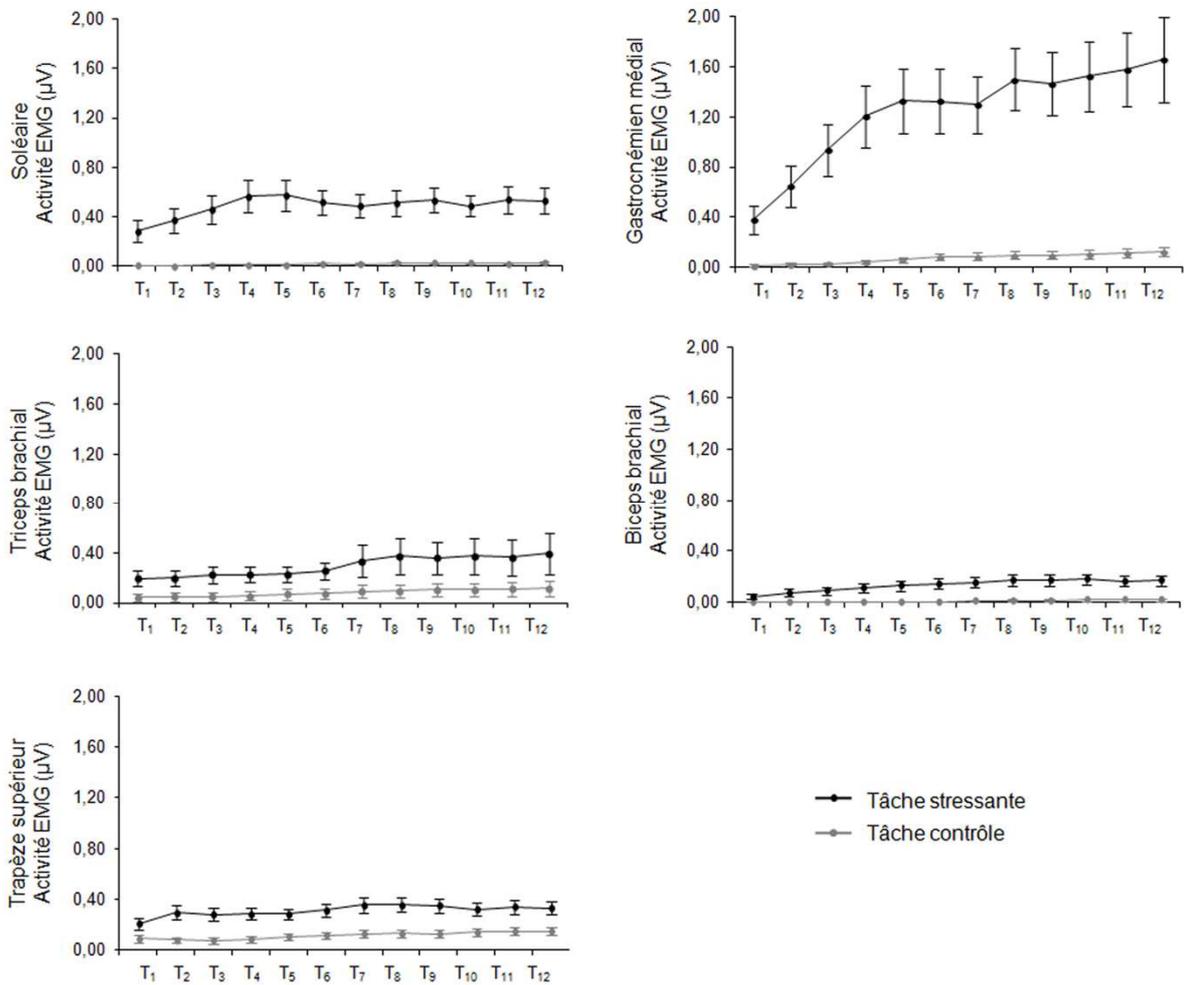


Figure 11 : Les variations (/ à la référence) de l'activité EMG des muscles soléaire, triceps brachial, trapèze supérieur, gastrocnémien médial et biceps brachial pendant la tâche contrôlée et la tâche stressante. Les données représentent l'activité EMG moyen sur des périodes de 10 s pendant les tâches de Stroop (T₁, ..., T₁₂). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne.

4.3.1.3. Discussion

Le but de la présente étude était d'examiner, au cours d'un stresser cognitif modéré, la dynamique des réponses musculaires de muscles différents chez des sujets de trait d'anxiété homogène. Les résultats ont montré que l'activité EMG de l'ensemble des muscles enregistrés (*i.e.*, muscles gastrocnémien médial, soléaire, biceps brachial, triceps brachial et trapèze supérieur) augmente pendant la tâche stressante comparée à la tâche contrôle. En revanche, nos résultats ont montré une évolution dans le temps de l'activité EMG différente selon les muscles.

L'état d'anxiété et l'activité EMG de tous les muscles augmentent pendant la tâche stressante comparée à la tâche contrôle. Ces résultats sont en accord avec des études qui ont montré que la tâche du Stroop avec interférence induit une augmentation modérée de l'état d'anxiété et de la tension musculaire (Krantz et coll., 2004 ; Lundberg et coll., 1994 ; Teixeira-Silva et coll., 2004). Nos résultats montrent que tous les muscles semblent réactifs au stresser cognitif modéré. Néanmoins, une précédente étude examinant les réponses musculaires induites par la tâche du Stroop avec interférence a trouvé des résultats contrastés selon les muscles (Teixeira-Silva et coll., 2004). Cette étude a montré une augmentation de l'activité EMG du muscle gastrocnémien tandis que l'activité EMG du muscle frontal reste inchangée pendant la tâche du Stroop avec interférence comparée à la tâche du Stroop sans interférence. Comme le test de Stroop, qui est une tâche de lecture, mobilise largement le muscle frontal (*i.e.*, muscle facial) (Teixeira-Silva et coll., 2004), l'activité EMG de ce muscle liée aux tâches pourrait avoir masqué l'effet potentiel du stresser cognitif sur la tension musculaire du muscle frontal.

Au niveau de l'activité globale, les analyses statistiques ont montré que la taille de l'effet concernant l'effet principal de la condition est la plus faible pour le muscle triceps

brachial. Ce muscle serait alors le moins réactif à la tâche stressante comparée à la tâche contrôle. En revanche, la taille de l'effet concernant l'effet principal de la condition est la plus élevée pour le muscle gastrocnémien, suggérant que ce muscle serait très réactif à la tâche stressante. Dans ce sens, Silva et coll. (2004) ont suggéré que le muscle gastrocnémien serait un bon indicateur physiologique de la réponse au stress. Bien que nos résultats aient montré une augmentation de la tension musculaire pour différents muscles au cours du stresser cognitif modéré, la réponse des muscles triceps et gastrocnémien semble se démarquer des autres muscles. Ainsi, tous les muscles ne semblent pas réagir de la même manière en réaction au stress. En ce sens, une précédente étude (Bloemsaat et coll., 2005) examinant les réponses musculaires de plusieurs muscles des membres supérieurs (*i.e.*, muscles de l'avant-bras, du bras, du cou, de l'épaule) chez des sujets soumis à un stresser cognitif lors d'une tâche de saisie sur ordinateur, a montré des patrons d'activation différents selon les muscles. Les muscles directement impliqués dans la tâche de saisie (*i.e.*, muscles de l'avant-bras) montrent peu de modifications en réaction au stresser. En revanche, une activation plus importante a été observée pour les muscles de soutien (*i.e.*, muscles du cou, de l'épaule et du bras) à l'exception du triceps brachial. Les données de cette étude ont mis en évidence une séparation fonctionnelle entre les muscles distaux qui exécutent la tâche et les muscles proximaux de soutien, en réaction à un stresser cognitif. Ces auteurs ont suggéré un lien entre les différents patrons d'activation et les fonctions des muscles (Bloemsaat et coll., 2005). Ainsi, dans la présente étude, nous faisons l'hypothèse que les différentes réactivités des muscles face à la situation stressante pourraient être liées à leur fonction. Ces résultats pourraient témoigner d'une stratégie comportementale proche de la théorie du 'fight or flight' (Cannon, 1929), selon laquelle l'augmentation de la tension musculaire permettrait de préparer l'organisme à l'action. Dans ce cadre, l'augmentation de la tension musculaire de l'ensemble des muscles mesurés pourrait témoigner d'une préparation à l'action. Le muscle gastrocnémien, impliqué

dans la marche et la course, très réactif à la situation stressante, pourrait permettre face à une situation d'urgence une mobilisation rapide de l'organisme à l'action. En revanche, le muscle triceps brachial, impliqué dans l'extension et la stabilisation du coude, semble peu réactif à la situation stressante et pourrait être un muscle moins susceptible d'être sollicité face à une situation d'urgence. Ainsi, la réactivité musculaire face à une situation stressante serait spécifique et permettrait une préparation et une mobilisation rapide de l'organisme.

Au niveau de la dynamique des réponses musculaires, nos résultats ont montré, au cours de la tâche stressante, une évolution dans le temps de l'activité EMG différente entre les muscles, suggérant différents patrons temporels d'activation musculaire. L'activité EMG des muscles biceps brachial et gastrocnémien augmente progressivement au cours du temps, puis se stabilise. En revanche, l'activité EMG des muscles trapèze et soléaire augmente et se stabilise plus rapidement. Il semblerait que les muscles trapèze et soléaire montrent une activation plus rapidement stable comparés aux autres muscles. Nous suggérons que les réponses de ces muscles pourraient être liées à leur rôle fonctionnel. Il convient de rappeler que les muscles squelettiques sont très hétérogènes, de par leurs propriétés fonctionnelles¹. En effet, les muscles trapèze et soléaire, constitués d'un nombre important de fibres de type I (Johnson et coll., 1973 ; Lindman et coll., 1990), sont davantage impliqués dans le maintien de la posture et constamment sollicités pour stabiliser les articulations. L'augmentation et la rapide stabilisation de la tension musculaire de ces muscles posturaux (*i.e.*, muscles trapèze et

¹ Cette hétérogénéité a été découverte en 1873 par Ranvier qui a constaté que les muscles avaient des propriétés contractiles différentes. Il est apparu une relation entre le rôle fonctionnel des muscles et leurs propriétés contractiles. Ainsi, le maintien de la posture ou la réalisation d'un exercice de longue durée sollicite les muscles capables de contractions lentes de longue durée mais peu puissantes. En revanche, les mouvements rapides et la réalisation d'un exercice de courte durée sollicitent les muscles capables de contractions très rapides et très puissantes. Les muscles sont formés d'un nombre variable de fibres musculaires. Ces dernières sont divisées en plusieurs groupes (Brooke et Kaiser, 1970 ; Engel, 1962). Deux principaux groupes peuvent être différenciés, les fibres de type I ou fibres lentes et les fibres de type II ou fibres rapides. La proportion des différents types de fibres est variable suivant le rôle fonctionnel des muscles. Les muscles à contraction lente sont constitués d'un nombre plus important de fibre de type I, tandis que les muscles à contraction rapide sont constitués d'un nombre plus important de fibre de type II.

soléaire) pourraient s'inscrire dans la stratégie comportementale explicitée précédemment et permettre une meilleure préparation à l'action ('fight or flight', Cannon, 1929). Finalement, il semblerait que les différents patrons temporels d'activation puissent être liés aux rôles fonctionnels des muscles.

Aucune étude, à notre connaissance, n'a examiné des mécanismes périphériques (*i.e.*, recrutement des unités motrices et fréquence de décharge des unités motrices) sous-jacents des patrons temporels d'activation de différents muscles au cours de situations stressantes. Toutefois, en ce qui concerne le muscle trapèze, Westad et coll. (2004) ont montré que l'augmentation de l'activité EMG de ce muscle au cours d'un stressor cognitif serait causée principalement par une augmentation du nombre d'unités motrices recrutées et par une faible modulation de leur fréquence de décharge. En outre, des auteurs (Stephenson et Maluf, 2010 ; Westgaard et De Luca, 2001) ont mis en évidence que le comportement des unités motrices pour le muscle trapèze serait atypique comparé au comportement des unités motrices des muscles des membres (*i.e.*, la fréquence de décharge des unités motrices activées augmente généralement de façon linéaire avec l'augmentation de l'activité musculaire). D'autres études ont examiné les mécanismes périphériques permettant l'augmentation de l'activité musculaire lors de contractions isométriques (*i.e.*, contraction musculaire sans raccourcissement où les deux points d'attache du muscle sont fixes) de faible amplitude de plusieurs muscles des membres (*e.g.*, Kukulka et Clamann, 1981 ; Westgaard et De Luca, 2001). De manière générale, la contribution relative du recrutement et de la fréquence de décharge des unités motrices à l'augmentation de l'activité musculaire varie selon les muscles (*e.g.*, Kukulka et Clamann, 1981 ; Westgaard et De Luca, 2001). Ainsi, sur la base de ces données, nous spéculons dans la présente étude utilisant un stressor cognitif modéré que les différentes augmentations au cours du temps de l'activité EMG entre les muscles (*i.e.*, biceps brachial, triceps brachial, gastrocnémien et soléaire) pourraient être dues à des différences dans le

recrutement des unités motrices et/ou à la modulation de la fréquence de décharge. Le comportement des unités motrices (*i.e.*, recrutement et fréquence de décharge) pourrait varier selon les muscles et reflèterait ainsi les différents patrons temporels d'activation.

Pour conclure, nos résultats ont montré que les muscles gastrocnémien médial, soléaire, biceps brachial, triceps brachial et trapèze supérieur sont réactifs au stressleur cognitif modéré, mais ont des patrons temporels d'activation différents. Ces résultats qui ont suggéré un lien entre les différentes dynamiques des réponses musculaires et le rôle fonctionnel des muscles contribuent à améliorer la compréhension de l'effet du stress sur la tension musculaire. Ce travail reste toutefois exploratoire et d'autres études seraient nécessaires pour éclairer toute la complexité de la relation entre le stress et les réponses musculaires.

4.3.2. Les réponses musculaires lors d'une situation stressante répétée :

Etude 3

4.3.2.1. Matériels et méthodes

4.3.2.1.1. Sujets

Trente cinq sujets de sexe masculin, volontaires, ont été sélectionnés parmi la population étudiante en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives pour participer au protocole expérimentale. L'anxiété-trait de ces sujets a été évaluée au moyen du 'State-Trait Anxiety Inventory' (STAI) de Spielberger et coll. (1983). Les sujets forment un groupe d'anxiété-trait « moyen » (la moyenne des scores du groupe en notes brutes est de

37.06 ± 3.95 s'échelonnant de 29 à 46). Les données de quatre participants ont été enlevées de l'analyse EMG à cause d'artefacts et de données extrêmes.

4.3.2.1.2. Mesures de l'anxiété-état

L'anxiété-état a été évaluée au moyen du STAY Y1 (Spielberger et coll., 1983) au début de l'expérimentation et pour les tâches de Stroop.

4.3.2.1.3. Mesures des paramètres musculaires

L'activité électromyographique (EMG) des muscles trapèze supérieur, gastrocnémien médial, soléaire, biceps brachial, triceps brachial (chef latéral) et court fléchisseur du pouce a été mesurée.

4.3.2.1.4. Procédure

Le protocole expérimental, d'une durée de 75 min, est présenté dans la figure 12. Les sujets sont installés dans un fauteuil confortable avec repose pied, repose tête et support pour les bras. Par conséquent, la posture est restée constante pendant l'expérimentation. Les sujets remplissent le formulaire de consentement éclairé, puis le STAI pour l'anxiété-état. Lorsque les électrodes sont placées, les sujets ont pour consignes de trouver une position confortable et de bouger le moins possible pendant l'expérimentation. Les sujets réalisent d'abord la condition contrôle puis deux fois la même condition stressante. La procédure est la même

pour les trois conditions. Une période de repos de 3 min est accordée aux sujets et constitue la période de référence. Puis, les sujets sont soumis à la tâche du Stroop interférent ou non interférent pendant 2 min, suivie immédiatement par une période de récupération de 3 min afin de permettre aux signaux EMG de retourner au niveau basal. Les sujets ont pour consignes de fermer les yeux pendant les périodes de référence et de récupération. Après chaque condition, les sujets remplissent le STAI pour l'anxiété-état sur la base de leur ressenti pendant les tâches de Stroop. L'activité EMG des différents muscles est enregistrée en continu pendant les deux conditions.

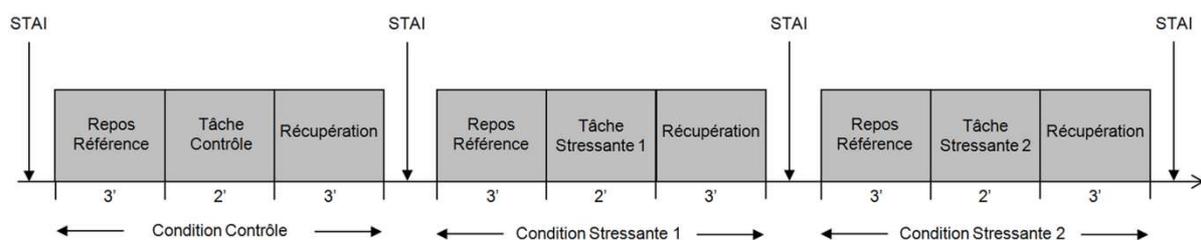


Figure 12 : Diagramme représentant le déroulement du protocole expérimental. Les sujets réalisent la condition contrôle puis les deux conditions stressantes. Le STAI-état est réalisé à différents moments au cours du protocole. L'activité EMG est enregistrée en continu pendant la condition contrôle et les deux conditions stressantes.

4.3.2.1.5. Analyse statistique

Pour évaluer le niveau d'anxiété-état induit par la tâche stressante et l'habituation entre les deux tâches stressantes, une analyse de la variance (ANOVA) à mesures répétées a été réalisée pour l'anxiété-état avec la condition (repos référence, tâche contrôle, tâche

stressante 1 et tâche stressante 2) comme facteur. Pour analyser les performances aux tâches de Stroop, une ANOVA à mesures répétées a été réalisée pour le nombre de mots avec la condition (tâche contrôle, tâche stressante 1, tâche stressante 2) comme facteur. Les erreurs effectuées pendant les deux tâches stressantes ont été comparées à l'aide du test t de Student.

L'EMG moyen pour chaque muscle a été calculé pour les périodes de référence, la tâche contrôle et les tâches stressantes. Les données EMG qui étaient supérieures à trois fois l'écart type de la moyenne de l'activité EMG pendant les tâches de Stroop ont été considérées comme des valeurs extrêmes et ont été enlevées (*e.g.*, Larsen et coll., 2009). La réactivité musculaire a été calculée comme le changement des scores représentant la différence entre l'activité au cours des tâches de Stroop et la référence (*e.g.*, Larsen et coll., 2009). Pour examiner les réponses musculaires induites par les tâches de Stroop, des ANOVAs à mesures répétées ont été réalisées pour chaque muscle avec la condition (contrôle, stressante 1, stressante 2). La correction de Greenhouse-Geisser pour la violation de la sphéricité a été appliquée si nécessaire. Les valeurs de l'êta carré partiel (η_p^2) et du d de Cohen ont été reportées pour mesurer la taille des effets. Les comparaisons *post-hoc* ont été réalisées à l'aide du test HSD de Tukey. Le seuil de significativité était fixé à $p < 0,05$.

4.3.2.2. Résultats

4.3.2.2.1. Anxiété-état

Le tableau 3 présente les changements de l'état d'anxiété au cours du protocole. L'analyse de l'état d'anxiété mesuré par le STAI révèle un effet significatif de la Condition ($F(3,102) = 27.85$, $p < .0001$, $\varepsilon = .75$, $\eta_p^2 = .45$). Les analyses *post-hoc* montrent une augmentation significative de l'état d'anxiété pendant la tâche stressante 1 et la tâche

stressante 2 comparées à la période de référence ($p < .001$) et à la tâche contrôle ($p < .001$), ainsi qu'une diminution de l'état d'anxiété pendant la tâche stressante 2 comparée à la tâche stressante 1 ($p = .02$).

4.3.2.2.2. Performance à la tâche

Le tableau 3 présente les changements de performance à la tâche au cours du protocole. L'analyse de la performance à la tâche révèle un effet significatif de la Condition pour le nombre de mots ($F(2,68) = 4.48, p < .05, \varepsilon = .57, \eta_p^2 = .12$). Les analyses *post-hoc* montrent que les sujets lisent plus de mots lors de la tâche stressante 2 comparée à la tâche stressante 1 ($p = .02$) et qu'ils ont tendance à lire moins de mots lors de la tâche stressante 1 comparée à la tâche contrôle ($p = .07$). Les sujets font moins d'erreur lors de la tâche stressante 2 comparée à la tâche stressante 1 ($t = 2,28, p = .02$).

Tableau 3

L'état d'anxiété et la performance à la tâche (*i.e.*, nombre de mots lu) pendant le repos référence, la tâche contrôle, la tâche stressante 1 et la tâche stressante 2.

	Référence	Tâche contrôle	Tâche stressante 1	Tâche stressante 2
Etat d'anxiété (STAI)	26,69 ± 4,93	26,00 ± 4,41	32,86 ± 6,46 **‡	30,29 ± 6,06 **‡†
Performance à la tâche				
Nombre de mots		136,02 ± 33,38	122,23 ± 24,28	139,66 ± 22,84 †
Nombre d'erreurs			2,37 ± 1,75	1,77 ± 1,46 †

** significativement différent de la période de référence ($p < .001$).

‡ significativement différent de la tâche contrôle ($p < .001$).

† significativement différent de la tâche stressante 1 ($p < .05$).

4.3.2.2.3. Activité EMG

Aucune différence n'a été trouvée pour l'activité EMG entre les périodes de référence de la condition contrôle et des conditions stressantes, quel que soit le muscle. La figure 13

présente l'activité EMG des six muscles pendant la tâche contrôle et les deux tâches stressantes.

- *Le muscle gastrocnémien médial*

L'analyse de l'activité EMG du muscle gastrocnémien révèle un effet significatif de la Condition ($F(2,60) = 17.51, p < .0001, \varepsilon = .98, \eta_p^2 = .37$). Les analyses *post-hoc* montrent une augmentation de l'activité EMG du muscle gastrocnémien de la tâche contrôle à la tâche stressante 1 ($p < .001$) ainsi qu'une diminution de l'activité EMG du muscle gastrocnémien de la tâche stressante 1 à la tâche stressante 2 ($p = .02$).

- *Le muscle soléaire*

L'analyse de l'activité EMG du muscle soléaire révèle un effet significatif de la Condition ($F(2,60) = 18.07, p < .0001, \varepsilon = .87, \eta_p^2 = .38$). Les analyses *post-hoc* montrent une augmentation de l'activité EMG du muscle soléaire de la tâche contrôle à la tâche stressante 1 ($p < .001$), ainsi qu'une diminution de l'activité EMG du muscle soléaire de la tâche stressante 1 à la tâche stressante 2 ($p = .04$).

- *Le muscle biceps brachial*

L'analyse de l'activité EMG du muscle biceps révèle un effet significatif de la Condition ($F(2,60) = 10.19, p < .01, \varepsilon = .59, \eta_p^2 = .25$). Les analyses *post-hoc* montrent une augmentation de l'activité EMG du muscle biceps de la tâche contrôle à la tâche stressante 1 ($p < .001$), ainsi qu'une diminution de l'activité EMG du muscle biceps de la tâche stressante 1 à la tâche stressante 2 ($p = .03$).

- *Le muscle triceps brachial*

L'analyse de l'activité EMG du muscle triceps révèle un effet significatif de la Condition ($F(2,60) = 4.20, p = .03, \varepsilon = .83, \eta_p^2 = .12$). Les analyses *post-hoc* montrent une augmentation de l'activité EMG du muscle triceps de la tâche contrôle à la tâche stressante 1 ($p = .04$), ainsi qu'une diminution de l'activité EMG du muscle triceps de la tâche stressante 1 à la tâche stressante 2 ($p = .04$).

- *Le muscle court fléchisseur du pouce*

L'analyse de l'activité EMG du muscle court fléchisseur du pouce révèle un effet significatif de la Condition ($F(2,60) = 10.51, p < .01, \varepsilon = .59, \eta_p^2 = .26$). Les analyses *post-hoc* montrent une augmentation de l'activité EMG du muscle court fléchisseur du pouce de la tâche contrôle à la tâche stressante 1 ($p < .001$), ainsi qu'une diminution de l'activité EMG du muscle court fléchisseur du pouce de la tâche stressante 1 à la tâche stressante 2 ($p < .01$).

- *Le muscle trapèze supérieur*

L'analyse de l'activité EMG du muscle trapèze révèle un effet significatif de la Condition ($F(2,60) = 8.83, p < .001, \varepsilon = .98, \eta_p^2 = .23$). Les analyses *post-hoc* montrent une augmentation de l'activité EMG du muscle trapèze de la tâche contrôle à la tâche stressante 1 ($p < .001$). Aucune différence n'a été trouvée entre la tâche stressante 1 et la tâche stressante 2 ($p = .82$).

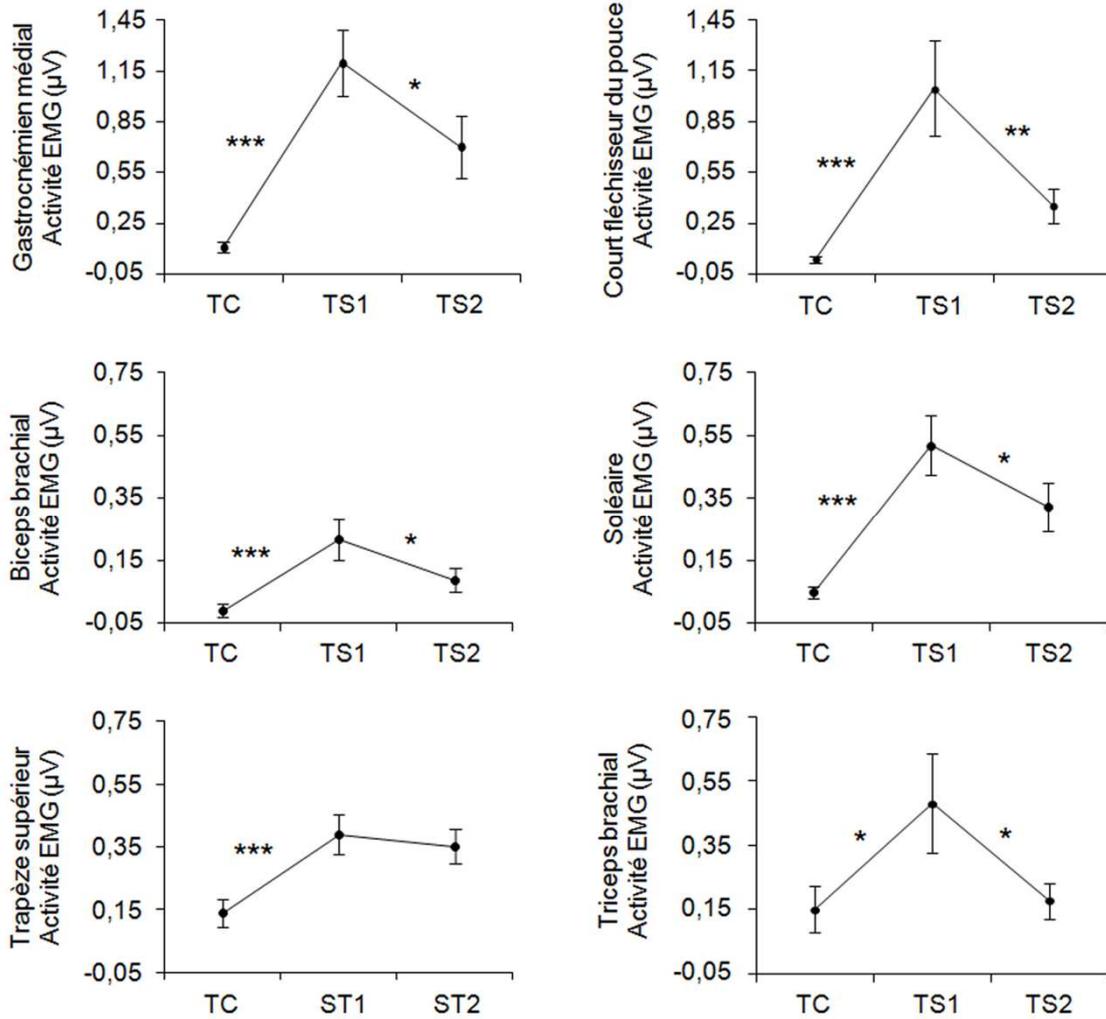


Figure 13 : Les variations (/ à la référence) de l'activité EMG des muscles gastrocnémien médial, biceps brachial, trapèze supérieur, court fléchisseur du pouce, soléaire et triceps brachial pendant la tâche contrôle (TC), la tâche stressante 1 (ST1) et la tâche stressante 2 (ST2). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. ***, *, *; significativement différent de la tâche stressante 1 ($p < .001$, $p < .01$, $p < .05$, respectivement).

4.3.2.3. Discussion

Le but de cette étude était d'examiner l'adaptation des réponses musculaires à l'exposition répétée d'un stressor cognitif modéré. Nos résultats ont montré, au cours de la première exposition à la tâche stressante, une augmentation de l'état d'anxiété et de l'activité EMG des muscles. En revanche, lors de la seconde exposition à la tâche stressante, les résultats ont montré un niveau d'état d'anxiété moins élevé et une diminution de l'activité EMG de l'ensemble des muscles mesurés, à l'exception du muscle trapèze. Une amélioration de la performance à la tâche a également été observée pour la seconde tâche stressante. Un nombre plus important de mots a été rapporté et moins d'erreurs ont été effectuées, témoignant ainsi d'un effet d'apprentissage.

La diminution de l'état d'anxiété et de l'activité EMG des muscles biceps brachial, triceps brachial, court fléchisseur du pouce, gastrocnémien médial et soléaire lors de la seconde exposition à la tâche stressante indiquerait un processus d'adaptation. La diminution de l'état d'anxiété auto-évalué suggère que les individus s'habitueraient à la deuxième situation et l'évalueraient comme moins stressante. Ainsi, l'effet du stressor serait atténué lors de la seconde exposition, ce qui induirait des modifications musculaires moins importantes. En revanche, le manque d'adaptation du muscle trapèze lors de la seconde exposition à la situation stressante suggère une réaction particulière de ce muscle. L'absence de différence d'activité EMG du trapèze entre les deux tâches stressantes pourrait être liée à sa fonction. En effet, ce muscle est couramment impliqué dans les tâches posturales et est constamment sollicité pour stabiliser le cou et la ceinture scapulaire. Au cours de l'expérimentation, la posture assise et la position de la tête des sujets étaient fixes. Ainsi, le manque d'adaptation du muscle trapèze ne peut donc pas être attribué à une augmentation de l'activité EMG de ce muscle due à des mouvements de la tête. Par ailleurs, une précédente

étude a montré que le muscle trapèze semble être sensible à la charge attentionnelle induite par les tâches (Waersted et Westgaard, 1996). L'ensemble de ces considérations nous a conduit à suggérer que la seconde exposition à la tâche stressante pourrait avoir requis la même charge attentionnelle, et par conséquent, entraîné le maintien de la tension musculaire du trapèze lié à sa fonction. Ainsi, une tâche stressante requérant une certaine charge attentionnelle pourrait induire une activation constante du muscle trapèze.

Lundberg et coll. (2002) ont montré que l'augmentation de l'activité EMG du muscle trapèze induite par la tâche du Stroop avec interférence serait due à une activation des unités motrices lentes. Une étude a également mis en évidence qu'une activation prolongée des unités motrices lentes pourrait provoquer des dommages au niveau des fibres musculaires (Larsson et coll., 1988). Nos résultats ne montrant pas d'adaptation du muscle trapèze à la seconde tâche stressante suggèrent qu'une exposition répétée à un stresser cognitif pourrait maintenir les unités motrices lentes constamment activées réduisant ainsi toute possibilité de récupération. L'activation chronique des unités motrices lentes pourrait à terme entraîner des douleurs au niveau du muscle trapèze. En outre, les résultats de cette étude pourraient contribuer à expliquer la relation entre le stress cognitif et les troubles musculo-squelettiques liés au travail. Les troubles musculo-squelettiques semblent avoir une étiologie multifactorielle où le stress (*e.g.*, pression au travail, absence de contrôle sur le travail) et l'environnement physique (*e.g.*, travail répétitif, effort excessifs, travail statique de faible intensité) interagissent (*e.g.*, Lundberg, 2002 ; Melin et Lundberg, 1997 ; Westgaard, 1999). Ainsi, le muscle trapèze sollicité lors de tâches qui requièrent le maintien du cou et de la ceinture scapulaire (*e.g.*, tâche de saisie sur ordinateur) resterait activé constamment lors de repos périodique sous l'effet du stress cognitif, ce qui pourrait à terme provoquer des douleurs musculaires et former ainsi un lien vers les troubles musculo-squelettiques du cou. Ces résultats tendent à supporter que le manque de processus adaptatif à un stress cognitif répété

ou chronique aurait un coût physiologique qui pourrait contribuer au développement de troubles musculo-squelettiques.

Enfin, si des études ont montré une diminution des réponses pour certains paramètres végétatifs et endocriniens lors d'une seconde exposition à une situation stressante (*e.g.*, Jönsson et coll., 2010 ; Mauss et coll., 2003), la présente étude fournit des informations concernant l'adaptation des réponses musculaires à une exposition répétée à un stressor cognitif modéré. Les muscles étudiés montrent des processus d'adaptation lors d'une seconde exposition au stressor, à l'exception du muscle trapèze qui maintient la même tension musculaire. L'activation constante liée à la fonction de ce muscle pourrait avoir masqué un processus d'adaptation potentiel. Ainsi, ces résultats pourraient permettre de mieux comprendre le rôle du stress cognitif et de la charge attentionnelle dans le développement des troubles musculo-squelettiques, particulièrement pour le muscle trapèze.

4.3.3. Conclusion

Face au stressor cognitif modéré, les muscles étudiés ne semblent pas s'activer de la même manière. Ils auraient des patrons temporels d'activation différents qui pourraient être liés à leurs rôles fonctionnels. Par ailleurs, les différents muscles montrent des processus d'adaptation face au stressor cognitif répété, à l'exception du muscle trapèze. Ce muscle aurait une réponse particulière qui contraste avec celles des autres muscles. Au cours du stressor cognitif qui requiert une certaine charge attentionnelle, le muscle trapèze pourrait avoir une tension musculaire liée à sa fonction, et de ce fait ne pas s'adapter à la seconde situation stressante. Compte tenu du comportement particulier de ce muscle, une exposition répétée ou chronique à des stressors cognitifs dans la vie quotidienne pourrait induire une activation continue du trapèze et à terme entraîner des problèmes musculaires qui pourraient contribuer aux troubles musculo-squelettiques du cou.

5. Discussion générale

L'objectif de notre travail était d'examiner des réponses psychologiques et physiologiques induites par une situation stressante, plus particulièrement l'état d'anxiété et la tension musculaire. Nous souhaitions également examiner l'effet du caractère de la situation (nouveau, répétition) et du trait d'anxiété des individus sur ces réponses. Au cours d'une première étude, nous avons évalué la dynamique des réponses végétatives et musculaires lors d'une situation stressante et au cours de la période de récupération chez des sujets de traits d'anxiété différents. Les deux autres études nous ont permis d'examiner chez des sujets de trait d'anxiété homogène, d'une part la dynamique des réponses musculaires face à une situation stressante (Etude 2), et d'autre part l'adaptation des réponses musculaires lors d'une seconde exposition à une même situation stressante (Etude 3).

La situation stressante était induite au moyen d'une tâche de Stroop avec interférence, filmée et chronométrée. L'état d'anxiété des sujets exposés à ce stressor a augmenté significativement dans les trois études. Les résultats ont également montré une augmentation de la FC, du niveau tonique électrodermal, de l'activité EMG des muscles trapèze supérieur, triceps brachial, biceps brachial, court fléchisseur du pouce, gastrocnémien médial et soléaire, ainsi qu'une diminution de la température cutanée. À la lumière des résultats obtenus, la tâche stressante utilisée semble induire un état d'anxiété modéré et des modifications végétatives et musculaires. Bien qu'une augmentation plus importante de l'état d'anxiété ait été observée pour les sujets de trait d'anxiété 'haut' comparés aux sujets de trait d'anxiété 'bas' dans l'étude 1, la réactivité physiologique au cours de la tâche stressante ne montre pas de différences entre ces deux groupes. Au début de la période de récupération suivant la tâche stressante, les sujets de trait d'anxiété 'haut' avaient une tension musculaire du gastrocnémien plus élevée et une diminution de la température cutanée comparés aux sujets de trait d'anxiété

'bas'. Ces résultats ont mis en évidence que des différences dans les réponses physiologiques entre des individus de traits d'anxiété différents pourraient émerger au cours de la période de récupération. L'étude 2 a montré une évolution dans le temps de l'activité EMG différente selon les muscles. L'activité EMG des muscles biceps brachial et gastrocnémien a augmenté progressivement au cours de la situation stressante, puis s'est stabilisée. En revanche, l'activité EMG des muscles trapèze et soléaire a augmenté et s'est stabilisée plus rapidement. Ces résultats ont suggéré un lien entre les différentes réponses musculaires et le rôle fonctionnel des muscles. Il semblerait que les muscles posturaux (*i.e.*, muscles constitués majoritairement de fibres de type I tels que les muscles trapèze et soléaire) montrent une activation plus rapidement stable comparés aux autres muscles. L'étude 3 a montré, lors d'une seconde exposition à la tâche stressante, un niveau d'état d'anxiété moins élevé et une diminution de l'activité EMG de l'ensemble des muscles mesurés. En revanche, seul le muscle trapèze a maintenu la même tension musculaire au cours des deux tâches stressantes. Il semblerait que les différents muscles aient montré des processus d'adaptation face au stresser cognitif répété, à l'exception du muscle trapèze. Nous avons suggéré qu'une tâche stressante requérant une certaine charge attentionnelle pourrait induire une activation constante du muscle trapèze liée à sa fonction (*i.e.*, muscle postural sollicité pour stabiliser le cou et la ceinture scapulaire).

Au cours d'une première partie, nous discuterons de l'intérêt commun des trois études à savoir l'évaluation d'un niveau de stress à partir d'indicateurs issus des différents systèmes de réponse. Dans une deuxième partie, nous avons souhaité proposer une lecture différente de nos résultats. Il s'agira de reconsidérer les réponses affectives et physiologiques selon le caractère de la situation et le trait d'anxiété des individus, notamment à travers le rôle médiateur de l'évaluation cognitive. Enfin, nous tenterons à partir de nos résultats de relier

des réponses physiologiques inadaptées par rapport à la demande environnementale aux risques pour la santé.

5.1. Evaluation du stress à partir d'une combinaison d'indicateurs pertinents

Les trois études menées dans ce travail doctoral avaient pour base commune l'évaluation d'un niveau de stress à partir d'indices psychologiques (*i.e.*, état d'anxiété) et physiologiques (*i.e.*, paramètres végétatifs et musculaires). Bien que ces études différaient par leurs objectifs et n'utilisaient pas toujours les mêmes indicateurs physiologiques, elles ont permis de souligner la complexité de l'évaluation d'un niveau de stress.

La première étude a utilisé comme indicateurs, l'état d'anxiété, des variables végétatives (*i.e.*, FC, niveau tonique électrodermal, température cutanée) et des variables musculaires (*i.e.*, muscles gastrocnémien médial et trapèze supérieur). Les résultats ont montré, au cours de la situation stressante, un état d'anxiété auto-évalué plus élevé pour les individus de trait d'anxiété 'haut' comparés aux individus de trait d'anxiété 'bas' mais pas de différence dans la réactivité physiologique. Selon les théories cognitives (*e.g.*, Eysenck, 1992, 1997 ; Eysenck et coll., 2007), les individus de trait d'anxiété élevé auraient tendance à surestimer la situation stressante et les individus de trait d'anxiété bas à la sous-estimer. Ces données sont en accord avec les études qui ont souligné le peu de correspondance entre les réponses subjectives et les réponses physiologiques lors de situation stressante (*e.g.*, Calvo et Cano-Vindel, 1997 ; Mauss et coll., 2003 ; Mauss et coll., 2004). L'ensemble de ces études met en évidence les limites des questionnaires psychométriques dans l'évaluation d'un niveau de stress, à travers notamment le manque d'objectivité. Néanmoins, la discordance entre les

réponses subjectives et les réponses physiologiques soulignerait l'importance de considérer ces différentes réponses afin de mieux comprendre les processus cognitifs sous-jacents. Des études ont mis en évidence, par exemple, la présence de biais attentionnels et interprétatifs chez des individus les conduisant à exagérer ou à minimiser l'aspect menaçant des stimuli externes et internes (*e.g.*, Eysenck et coll., 2007). Par ailleurs, nos résultats ont montré des différences physiologiques entre les individus de traits d'anxiété 'haut' et 'bas' dans la récupération de certains paramètres végétatifs et musculaires. Ces résultats indiquent que des différences pourraient être trouvées à travers différents systèmes de réponses physiologiques (*i.e.*, système nerveux sympathique et système nerveux somatique). Bien que nous n'ayons pas utilisé d'indicateurs endocriniens, il serait envisageable que des différences entre des individus de traits d'anxiété contrastés puissent également être trouvées à travers le système endocrinien. En accord avec Davidson (1998), ces différences ne se généraliseraient pas forcément à travers les systèmes de réponse physiologique. Nos résultats ont montré que seuls certains paramètres des systèmes nerveux sympathique et somatique ont permis de différencier les individus de traits d'anxiété 'haut' et 'bas'. Ainsi, l'ensemble de ces résultats démontre qu'il n'existe pas d'indicateur unique pour évaluer un niveau de stress mais qu'il est important de considérer plusieurs indicateurs de différents systèmes de réponses.

La deuxième étude a utilisé comme indicateurs, l'état d'anxiété et des variables musculaires (*i.e.*, muscles gastrocnémien médial, soléaire, trapèze supérieur, biceps brachial et triceps brachial). Les résultats ont montré des réponses différentes selon les muscles. Bien que tous les muscles mesurés soient réactifs au stress cognitif modéré, ils ne semblent pas réagir de la même manière. De plus, les réponses musculaires n'ont pas montré la même évolution temporelle. Par ailleurs, des études ayant mesuré l'activité EMG de plusieurs muscles chez des sujets soumis à un stress cognitif ont mis en évidence que certains muscles (*e.g.*, muscles frontal, splénius et temporal) ne seraient pas réactifs au stress cognitif

(Hazlett et coll., 1994 ; Nilsen et coll., 2007 ; Teixeira-Silva et coll., 2004). En accord avec Pluess et coll. (2008) l'ensemble de ces données indique que la tension musculaire évaluée au travers d'un seul muscle ne serait pas représentatif de la tension musculaire globale. Ainsi, nos résultats soulignent qu'examiner les réponses de différents muscles et leur patron temporel d'activation permettraient d'évaluer finement l'impact d'un stresser sur la tension musculaire. Par ailleurs, les résultats de la troisième étude ont montré une diminution de l'état d'anxiété et des réponses musculaires de l'ensemble des muscles mesurés au cours d'une deuxième exposition au stresser cognitif, à l'exception du muscle trapèze. Les muscles ne montrent donc pas les mêmes patrons d'adaptation face au stresser cognitif répété. Nous avons suggéré que le muscle trapèze pourrait être sensible à la charge attentionnelle induite par le stresser cognitif dû à sa fonction (*i.e.*, muscle postural sollicité pour stabiliser le cou et la ceinture scapulaire), et de ce fait maintenir une activation constante au cours des deux situations stressantes. Les données relatives au muscle trapèze permettent d'apporter des informations supplémentaires sur l'impact d'un stresser cognitif sur la tension musculaire. L'activation de ce muscle liée à la charge attentionnelle induite par le stresser cognitif pourrait témoigner d'une réponse adaptée à la tâche. Néanmoins, le maintien de la tension musculaire de ce muscle au cours de la seconde situation stressante, malgré la diminution de l'état d'anxiété, pourrait indiquer un manque d'adaptation de ce muscle à l'exposition répétée à un stress. La complexité des réponses musculaires suggère qu'un seul indicateur musculaire ne serait pas suffisant pour rendre compte d'un niveau de stress. En effet, l'impact du stresser sur le muscle trapèze pourrait être difficilement identifiable dû à l'activité EMG liée à la charge attentionnelle induite par le stresser cognitif. Ainsi, les données des études 2 et 3 suggèrent que pour une évaluation fine d'un niveau de stress, il serait nécessaire d'examiner plusieurs muscles et également leur patron temporel d'activation.

Finalement, l'ensemble de ces considérations suggère qu'une analyse fiable et complète d'un niveau de stress ne peut être obtenue qu'en utilisant une combinaison d'indicateurs (i.e., les différentes réponses physiologiques, les réponses subjectives) et en examinant leur patron temporel d'activation au cours et après l'exposition au stress.

5.2. Influence du caractère de la situation et de la personnalité de l'individu sur les réponses au stress

L'individu face à une situation stressante évalue la menace ou le défi par rapport à ses propres possibilités de réponse. Ce processus d'évaluation est à l'origine de réponses affectives, physiologiques et comportementales. Il est classiquement admis que ce processus peut être influencé par des variables situationnelles et individuelles (Lazarus et Folkman, 1984 ; Rosnet, 2002), et serait par conséquent susceptible de modifier les réponses au stress. De nombreuses études confirment cette assertion et montrent que les réactions affectives et physiologiques dépendent des caractéristiques de la situation et de la personnalité des individus (*e.g.*, Elfering et Grebner, 2012 ; Gramer et Saria, 2007 ; Jezova et coll., 2004 ; Jørgensen et coll., 1990 ; Kelsey et coll., 1999 ; Mauss et coll., 2003 ; Schommer et coll., 2003). Nos études s'inscrivent dans ces analyses et contribuent à la progression des connaissances relatives à l'effet de caractéristiques individuelles et situationnelles sur les réponses au stress.

Sur le plan situationnel, les résultats de nos trois études ont montré qu'une première exposition à la tâche du Stroop avec interférence entraîne une augmentation de l'état d'anxiété et des modifications végétatives et musculaires. Ces données similaires à celles obtenues dans de précédentes études (*e.g.*, Hainaut et Bolmont, 2006 ; Krantz et coll., 2004 ; Leite et coll.,

1999 ; Lundberg et coll., 1994 ; Silva et Leite, 2000 ; Teixeira-Silva et coll., 2004) suggèrent, en accord avec les modèles cognitifs (*e.g.*, Lazarus 1991), que les individus auraient évalué la première exposition à la tâche cognitive comme une menace et qu'ils auraient donc perçu cette situation nouvelle comme stressante. Les facteurs de stress de la situation semblent relever à la fois du type de tâche à réaliser, des conditions de passation de la tâche (Leite et coll., 1999 ; Renaud et Blondin, 1997), mais également de son caractère nouveau. Ainsi, d'une part l'effet stressant pourrait résulter de la difficulté à inhiber l'activité automatique de la lecture du mot pour favoriser la reconnaissance de la couleur de l'encre (Leite et coll., 1999 ; Renaud et Blondin, 1997 ; Sanders, 1983). Au niveau des conditions de passation, il a été suggéré que l'imposition d'un temps limite et d'une sanction pour les erreurs et les hésitations pourraient rendre la tâche plus stressante, plus difficile (*e.g.*, Fechir et coll., 2010 ; Leite et coll., 1999). Des auteurs (Al'Absi et coll., 1997 ; Leite et coll., 1999 ; Schwabe et coll., 2008) ont également montré que l'ajout de la vidéo et la projection en direct de son image au sujet sur un écran de télévision, qui impose au sujet de se contrôler et de maîtriser son image, augmenteraient le caractère stressant de la situation. Ainsi, l'ensemble de ces éléments pourrait induire une surcharge des mécanismes cognitifs, qui provoquerait une augmentation de l'état d'anxiété et des modifications végétatives (*e.g.*, Fechir et coll., 2010 ; Teixeira-Silva et coll., 2004). D'autre part, la nouveauté de la situation peut être un facteur de stress puisque l'évaluation va se faire en fonction de ce que l'individu connaît de la situation et de ses propres possibilités de réponse. En effet, l'absence d'expérience passée des individus au regard d'un stressor cognitif similaire et de stratégie préétablie pour faire face efficacement à la situation peut constituer une source supplémentaire d'anxiété. Le caractère stressant de la première tâche de Stroop avec interférence telle que nous l'avons utilisée pourrait résulter de la conjonction de ces différents facteurs. Finalement, il semblerait que

l'état d'anxiété et les modifications végétatives et musculaires soient les conséquences d'une évaluation cognitive de cette situation nouvelle qui est perçue comme stressante.

Par ailleurs, de nombreuses études ont montré qu'une exposition répétée à une situation de stress entraîne une diminution de l'état d'anxiété et des réponses physiologiques (*e.g.*, Elfering et Grebner, 2012 ; Jørgensen et coll., 1990 ; Kelsey et coll., 1999 ; Mauss et coll., 2003 ; Schommer et coll., 2003 ; Von Känel et coll., 2006). Ces études ont essentiellement examiné les modifications végétatives et endocriniennes. Dans l'étude 3, nous avons examiné l'influence de la répétition de la situation stressante sur des réponses musculaires et sur l'état d'anxiété. Nos résultats ont montré qu'une seconde exposition au stresser cognitif engendre une diminution de l'état d'anxiété et de l'activité EMG de l'ensemble des muscles enregistrés, à l'exception du muscle trapèze. Le maintien de l'activité EMG de ce muscle au cours des deux situations stressantes indique qu'il ne montre pas de processus adaptatif à la seconde situation stressante. La réactivité particulière du muscle trapèze contraste avec celle des autres muscles étudiés. Nous avons suggéré que le muscle trapèze pourrait être sensible à la charge attentionnelle induite par le stresser cognitif, et de ce fait maintenir une activation constante au cours des deux situations stressantes. Ainsi, l'étude 3 a permis de mettre en évidence que certains muscles seraient moins susceptibles de s'adapter à des situations stressantes répétées, supportant ainsi d'importantes assertions sous-jacentes liant le manque d'adaptation avec le risque de plaintes musculaires (*e.g.*, Lundberg et coll., 2002 ; Schleifer et coll., 2008 ; Westgaard, 1999). Néanmoins, la diminution de l'état d'anxiété et de l'activité EMG observée pour les autres muscles lors de la deuxième exposition au stresser cognitif indique que les individus s'habitueraient à la seconde situation stressante et la percevraient comme moins stressante. Dans ce sens, nos résultats ont montré un effet d'apprentissage qui pourrait témoigner d'une adaptation à la seconde tâche stressante. En effet, les sujets ont réalisé une meilleure performance (*i.e.*,

nombre de mots lus) au cours de la seconde tâche du Stroop avec interférence. Ils arriveraient plus facilement à inhiber l'amorçage de la lecture liée à l'interférence, ce qui pourrait témoigner d'une meilleure gestion de la charge cognitive. Par ailleurs, les individus pourraient s'être accoutumés à la caméra lors de la seconde exposition à la tâche stressante en maîtrisant leur image plus facilement. Ceci pourrait avoir libéré des ressources cognitives permettant de réaliser une meilleure performance à la tâche. Ainsi, il semblerait que la diminution de l'état d'anxiété et de la tension musculaire soit due à la somme de ces différents facteurs. Schommer et coll. (2003) ont notamment montré que la diminution de modifications végétatives en réponse à une situation de stress répétée serait accompagnée par une diminution de la perception subjective de nouveauté. Au regard de notre situation expérimentale, il semble possible de suggérer que les individus ayant déjà vécu la même situation stressante pourraient disposer de stratégies préétablies leur permettant de mettre en place des réponses pertinentes et adaptées pour faire face à la situation. L'effet menaçant de la situation en aurait alors été diminué à la seconde exposition. Celle-ci serait donc perçue comme moins stressante en fonction de l'expérience passée de l'individu et pourrait entraîner des modifications affectives et musculaires moins intenses. Finalement, l'étude 3 a montré que les réponses musculaires et l'état d'anxiété auto-évalué peuvent être variables selon des caractéristiques de la situation, notamment la nouveauté et la répétition de la situation, à travers le rôle médiateur de l'évaluation cognitive.

Sur le plan des variables individuelles susceptibles d'influencer l'évaluation cognitive de la situation, les prédispositions internes semblent jouer un rôle important (Rosnet, 2002). Parmi ces prédispositions internes le trait d'anxiété pourrait influencer l'évaluation cognitive. Des auteurs ont suggéré que les situations qui impliquent des menaces pour l'estime de soi seraient perçues comme plus stressantes par les individus de trait d'anxiété élevé comparés aux individus de trait d'anxiété bas entraînant une réponse anxieuse différente chez ces

groupes d'individu (Spielberger, 1972 ; De Bonis, 1996). L'étude 1, qui a montré un état d'anxiété auto-évalué plus élevé pendant le stressor cognitif chez des individus de trait d'anxiété 'haut' comparés à des individus de trait d'anxiété 'bas', semblent confirmer cette hypothèse. Leite et coll. (1999) ont notamment montré que cette différence dans l'état d'anxiété auto-évalué entre des individus de traits d'anxiété élevé et bas pourrait être due à l'imposition d'un temps limite à la réalisation de la tâche de Stroop avec interférence et d'une sanction pour les erreurs. Selon ces auteurs, le temps limite pourrait induire plus d'erreurs. Les erreurs effectuées pourraient être interprétées comme une menace pour l'estime de soi (Boucsein et Wendt-Suhl, 1980 ; Geller et Shaver, 1976 ; Teixeira-Silva et coll., 2004) plus importante pour les individus de trait d'anxiété 'haut'. Ainsi, il semblerait que le niveau de trait d'anxiété prédise une évaluation différente face à un stressor cognitif, qui entraînerait une augmentation de l'état d'anxiété plus élevée chez les individus de trait d'anxiété 'haut' comparés aux individus de trait d'anxiété 'bas'. En revanche, en accord avec Fahrenberg (1992), le niveau de trait d'anxiété ne semble pas être lié à une activation physiologique particulière au cours d'une situation stressante. Nos travaux rendent compte d'un manque de concordance entre l'état d'anxiété auto-évalué et les réponses physiologiques chez des individus de traits d'anxiété différents exposés à un stressor cognitif. Selon les théories cognitives (*e.g.*, Eysenck, 1992, 1997 ; Eysenck et coll., 2007), cette discordance entre les réponses subjectives et les mesures physiologiques objectives pourrait être due à des différences dans les mécanismes cognitifs utilisés face aux situations stressantes chez des individus de traits d'anxiété élevé et bas. D'après la théorie d'Eysenck (1997), le niveau de trait d'anxiété serait associé à différents types de biais cognitifs qui conduiraient les individus de trait d'anxiété élevé à surestimer la situation stressante et les individus de trait d'anxiété bas à la sous-estimer. Ainsi, le niveau de trait d'anxiété prédirait une évaluation différente

face à un stresser cognitif modéré et pourrait influencer le niveau d'état d'anxiété auto-évalué mais pas la réactivité physiologique.

L'évaluation cognitive de la situation se produit jusqu'au moment où l'évènement ne constitue plus une menace pour l'individu. Néanmoins, après l'arrêt de la tâche stressante, l'effet du stresser pourrait perdurer au cours de la récupération. En effet, Brosschot et coll. (2006, 2010) ont notamment suggéré que des cognitions persistantes (*i.e.*, définies comme la représentation mentale du stresser) suivant l'arrêt de la situation stressante pourraient entraîner une activation physiologique prolongée et variable selon les paramètres physiologiques. Il s'est avéré dans notre étude que les sujets de trait d'anxiété 'haut' avaient des pensées plus négatives au cours de la récupération suivant le stresser cognitif mais pas les sujets de trait d'anxiété 'bas'. Aftanas et Pavlov (2005) ont montré au cours d'une période de repos une activation plus importante du cortex pariéto-temporal chez des individus de trait d'anxiété élevé et ont suggéré que cette activité pourrait refléter des représentations mentales associées à une expérience antérieure négative. Si l'on considère l'ensemble des travaux de Brosschot et coll. (2006, 2010) et de Aftanas et Pavlov (2005), il semble possible d'envisager que les pensées plus négatives chez les sujets de trait d'anxiété 'haut' puissent être des cognitions persistantes liées au stresser cognitif. Les individus de trait d'anxiété 'haut' ont également montré un délai dans la récupération de certains paramètres végétatifs et musculaires qui pourrait être dû, selon les paramètres, à ces cognitions persistantes. Bien que nos travaux n'aient pas montré de différence dans les réponses physiologiques chez des sujets de traits d'anxiété 'haut' et 'bas' au cours du stresser, ils ont mis en évidence des différences au cours de la période de récupération après l'arrêt de la tâche stressante. L'effet du stresser pourrait se prolonger au début de la période de récupération chez les sujets de trait d'anxiété 'haut' comparés aux sujets de trait d'anxiété 'bas'. Ainsi, face à un stresser cognitif modéré, les réponses physiologiques pourraient également être liées au niveau de trait d'anxiété des

individus. En accord avec de précédentes études (Anderson et coll., 2005 ; Brosschot et Thayer, 1998 ; Linden et coll., 1997 ; Waugh et coll., 2010), ces données soulignent l'importance d'examiner à la fois la réactivité et la récupération physiologique dans l'étude des différences individuelles. En effet, l'étude de la période de récupération a permis de mettre en évidence l'influence du trait d'anxiété sur les réponses physiologiques.

Les résultats obtenus dans les différentes études ont montré que la nouveauté et la répétition de la situation mais également le trait d'anxiété des individus pourraient influencer les réponses affectives et physiologiques induites par une situation stressante. Il convient de souligner que d'autres prédispositions internes seraient également susceptibles d'influencer les réponses au stress. Par exemple, des études ont montré des liens entre l'alexithymie ou l'hostilité-trait et des réponses affectives et physiologiques (*e.g.*, Anderson et coll., 2005 ; Connelly et Denney, 2007 ; Linden et coll., 1996). Ces résultats sont en adéquation avec le modèle transactionnel du stress proposé par Lazarus et Folkman (1984) qui envisage le stress comme un processus d'évaluation des demandes de l'environnement en fonction de caractéristiques situationnelles et individuelles. Dans cette approche complexe, l'environnement avec ses caractéristiques est constamment évalué par l'individu, conséquence d'un système d'évaluations et de réévaluations permanentes et de la mise en place de stratégies de coping. Conformément aux postulats théoriques de la perspective transactionnelle du stress, nos résultats témoignent bien de l'influence du caractère de la situation et de la personnalité des individus sur les réponses au stress, à travers le rôle médiateur des processus évaluatifs. En outre, ces résultats démontrent qu'il est important de considérer les caractéristiques individuelles et situationnelles dans l'étude des réponses affectives et physiologiques.

5.3. Des processus d'adaptation aux risques pour la santé

Les réactions physiologiques, engendrées par l'évaluation cognitive de la situation stressante, sont déclenchées afin de répondre à la demande environnementale. Elles visent à maintenir un état d'équilibre de l'organisme face aux contraintes de la situation. En réponse à une situation de stress, l'activation des systèmes nerveux sympathique et somatique entraîne des modifications végétatives et une augmentation de la tension musculaire afin de préparer l'organisme à des réponses immédiates. Ensuite, l'activation du système endocrinien permet à l'organisme de résister à la situation de stress. Les réponses physiologiques ont donc une fonction adaptative en préparant l'organisme à réagir de façon appropriée à la situation stressante. D'un point de vue phylogénétique, ces réactions auraient permis de préparer les individus à des réponses musculaires rapides et intenses destinées à assurer leur survie ('fight or flight', Cannon, 1929). Selon la perspective évolutionniste, plus ces comportements adaptatifs sont présents au sein d'une espèce, plus celle-ci voit augmenter ses chances de survivre, de se reproduire et donc de transmettre ces comportements à la descendance (Darwin, 1872). Les résultats de l'étude 2, qui ont mis en évidence des patrons d'activation différents selon les muscles, semblent cohérents avec l'idée de l'aspect adaptatif des réactions périphériques et pourraient s'inscrire dans la perspective évolutionniste. L'augmentation de la tension musculaire différente selon les muscles pourrait permettre de répondre efficacement aux particularités de la demande environnementale. En d'autres termes, le déclenchement de la réaction comportementale la plus adaptée à la situation de stress serait sous-tendu par des patrons d'activation musculaire spécifiques aux caractéristiques de la situation stressante. Ces réponses musculaires pourraient impliquer la formation réticulée et des structures du système limbique (*e.g.*, Malmo et Malmo, 2000). Lorsque le niveau de vigilance est élevé, la stimulation de la formation réticulée pontique entraînerait une augmentation du tonus

musculaire (Dubret, 1985 ; Richard et Orsal, 2007). La formation réticulée reçoit des informations provenant de nombreuses structures (*e.g.*, cortex cérébral, hypothalamus, amygdale) (Amaral et coll., 1992 ; Dubret, 1985 ; Richard et Orsal, 2007). Malmö et Malmö (2000) ont notamment suggéré que l'activation de l'amygdale suite à une situation menaçante pourrait alerter la formation réticulée qui à son tour permettrait l'augmentation de la tension musculaire. Ainsi, des réponses différentes selon les muscles pourraient être issues de l'interaction entre la formation réticulée et certaines structures du système limbique (*e.g.*, amygdale, Davis et Whalen, 2001), et témoigneraient d'une capacité d'adaptation de l'organisme en permettant de mobiliser certaines ressources motrices appropriées à la situation de stress.

Les réponses physiologiques induites par des situations de stress, lorsqu'elles sont adaptées à la demande environnementale, peuvent donc être bénéfiques en répondant efficacement à la nécessité de la situation. En revanche, si les réponses physiologiques ne sont pas appropriées à la situation de stress, elles peuvent produire des effets délétères. Plusieurs types de réponses inappropriées peuvent être distingués comme le manque d'adaptation des réponses à des situations stressantes répétées ou chroniques, des réponses prolongées après l'arrêt du stressor, des réponses excessives ou insuffisantes et des réponses activées de manière répétée et chronique (McEwen, 1998). A long terme, les effets de ces réponses inappropriées pourraient mettre en danger le bien-être de l'individu (*e.g.*, McEwen, 1998). Par exemple, des études ont montré qu'une activation cardiovasculaire chronique ou un délai dans la récupération cardiovasculaire suivant des événements stressants répétés pourrait être un facteur de risque de maladies cardiovasculaires telles que l'hypertension (*e.g.*, Blascovich, 1993 ; Heponiemi et coll., 2007 ; Matthews et coll., 2004 ; Pieper et Brosschot, 2005 ; Schuler et O'Brien, 1997). De façon intéressante, l'étude 1 a mis en évidence un délai dans la récupération de certains paramètres végétatifs et musculaires après un stressor cognitif

modéré de courte durée chez des individus de trait d'anxiété 'haut'. Ces résultats laissent supposer que des situations stressantes plus intenses et répétitives de la vie courante pourraient entraîner des activations physiologiques prolongées chez des individus de trait d'anxiété élevé. Si l'on considère les travaux qui ont montré un lien entre un délai dans la récupération physiologique et le risque de maladies (*e.g.*, Brosschot et coll., 2006 ; Heponiemi et coll., 2007 ; Pieper et Brosschot, 2005), il est alors envisageable que les activations physiologiques prolongées des individus de trait d'anxiété élevé mettent à terme en danger leur bien-être. Sur le plan musculaire, de nombreux travaux ont suggéré un lien entre le développement des troubles musculo-squelettiques liés au travail et une tension musculaire continue due à la fois à des sollicitations biomécaniques et à des expositions à des situations de stress (*e.g.*, Melin et Lundberg, 1997 ; Schleifer et Ley, 1994). Les résultats de l'étude 3, qui ont montré une tension musculaire constante du muscle trapèze face à un stressor cognitif répété, pourraient appuyer ce postulat. Ainsi, sur la base de ce résultat, il semble possible d'envisager que des situations de stress répétées, liées à l'organisation du travail et à son contexte, requérant une certaine charge attentionnelle et/ou cognitive engendrent une activation continue du muscle trapèze. Dans les situations de travail qui sollicitent constamment ce muscle (*e.g.*, travail sur écran), le muscle trapèze pourrait rester activé en continu lors des périodes de repos sous l'effet du stress, ce qui pourrait à terme entraîner des problèmes musculaires au niveau du cou et contribuer au développement de troubles musculo-squelettiques. Ainsi, la persistance des réactions physiologiques face au stress répété ou chronique tend aujourd'hui à mettre en danger la santé de l'individu. Les réponses physiologiques, destinées à l'origine à préparer les individus à réagir rapidement de façon appropriée et adaptée afin de protéger leur survie par l'attaque ou la fuite (Levi, 1972), tendent aujourd'hui à devenir inappropriées et disproportionnées par rapport à la demande environnementale (*i.e.*, stress répété ou chronique). Il y a eu au cours de l'évolution humaine

un changement des sources d'agression. Le stress psychologique s'est substitué aux agents stressants physiques mettant directement en danger la vie de l'individu. Les réponses au stress ne semblent plus adaptées aux contraintes de la vie moderne dans laquelle le stress psychologique a supplanté le stress physique lié à des menaces vitales. Ainsi, comme l'a souligné Levi (1972), il semble que l'évolution de l'homme n'ait pas suivi l'évolution de son environnement social.

6. Conclusion, limites et perspectives

De manière générale, les réponses affectives et physiologiques montrent différents patrons de réponses face à des situations stressantes variées. De plus, ces réponses pourraient dépendre de variables situationnelles (*i.e.*, nouveauté) et de variables individuelles telles que les traits de personnalité (*i.e.*, trait d'anxiété). Par ailleurs, si une part de nos résultats témoigne bien de réponses affectives et physiologiques spécifiques et adaptatives, nos résultats ont également mis en évidence des réponses physiologiques insuffisamment adaptées à la demande environnementale. Finalement, l'ensemble de ces considérations suggère qu'il est important de tenir compte à la fois des variables situationnelles mais également des variables individuelles qui seraient susceptibles d'influencer les réponses, et d'utiliser un ensemble d'indicateurs (*i.e.*, les différentes réponses physiologiques, les réponses subjectives) pour évaluer finement un niveau de stress.

Plusieurs limites nécessitent d'être mentionnées. Nous avons mesuré un nombre limité de paramètres végétatifs et nous nous sommes particulièrement attachés à mesurer le niveau tonique. Il serait intéressant de mesurer d'autres paramètres végétatifs (*e.g.*, pression artérielle) et les réponses phasiques (*e.g.*, réponses électrodermales) dans l'étude de l'influence du trait d'anxiété sur les réponses physiologiques afin de déterminer si d'autres variables seraient susceptibles de différencier des individus de traits d'anxiété contrastés. De même, le nombre de muscles étudiés était limité dans l'ensemble de nos études. Mesurer l'activité EMG d'autres muscles dans l'étude de l'influence du trait d'anxiété sur les réponses physiologiques pourrait être pertinent afin de déterminer si les résultats obtenus peuvent s'étendre à d'autres muscles. Par ailleurs, les deux études examinant les réponses musculaires en situation stressante chez des sujets de trait d'anxiété homogène ont donné un premier

aperçu de la complexité des réponses musculaires face au stress. D'autres études seraient nécessaires afin de déterminer si les résultats actuels peuvent être généralisés à d'autres muscles. Concernant notre situation stressante expérimentale, nous avons utilisé un stressor cognitif modéré. Plusieurs études (Al'Absi et coll., 1997 ; Fechir et coll., 2008 ; Lundberg et coll., 1994) ont montré des réponses physiologiques différentes selon le type de stressors et leurs caractéristiques (*e.g.*, calcul mental, tâche de Stroop, discours en public). Étudier l'influence du trait d'anxiété sur les réponses physiologiques ou étudier les réponses musculaires de différents muscles lors de différents types de stressors et également de différentes intensités permettrait d'appréhender les différentes réponses selon les stressors et pourrait être pertinent notamment pour une meilleure compréhension des effets du stress sur la santé. Enfin, les réponses au stress pourraient dépendre de variables individuelles comme les prédispositions internes. Nous avons examiné l'influence du trait d'anxiété sur les réponses physiologiques. Il serait intéressant de prendre en compte d'autres prédispositions internes telles que le style de coping ou l'alexithymie. De plus, les sujets participant aux études étaient des sujets de sexe masculin caractérisés par un trait d'anxiété 'bas' et 'haut'. Il s'agirait d'intégrer des sujets de sexe féminin et également des sujets de trait d'anxiété considéré comme 'très haut' et des populations cliniques (*e.g.*, trouble d'anxiété généralisée) afin de déterminer si les résultats actuels peuvent être généralisés à la population anxieuse. Par ailleurs, pour examiner la relation entre le trait d'anxiété et les réponses physiologiques induites par une situation stressante, nous avons fait le choix de contraster les groupes afin d'obtenir un effet plus important. Cependant, nous pouvons nous poser la question de la linéarité des effets pour l'ensemble des différents niveaux de traits d'anxiété. La comparaison d'un groupe de trait d'anxiété 'bas' à un groupe de trait d'anxiété 'haut' produirait-elle les mêmes relations que la comparaison d'un groupe de trait d'anxiété 'moyen' à un groupe de trait d'anxiété 'très haut' ? D'autres études avec des groupes de traits d'anxiété différents ou

utilisant d'autres analyses statistiques sur l'ensemble des catégories de trait d'anxiété seraient nécessaires pour répondre à cette question.

Plusieurs perspectives ont déjà été présentées, notamment pour chaque étude séparément. En effet, les études présentées dans le cadre de ce travail doctoral peuvent faire l'objet d'un approfondissement ou d'une extension des résultats. En outre, ces études peuvent ouvrir vers des perspectives scientifiques plus générales, mais également vers des perspectives plus appliquées. Les résultats obtenus dans les études 1 et 3 font émerger des questions concernant la relation entre les réponses au stress, les caractéristiques de l'environnement et la personnalité des individus. Une perspective intéressante pourrait être d'examiner les réponses affectives et physiologiques face à une situation stressante déclinée avec des caractéristiques différentes (*e.g.*, prédictibilité, incertitude, ambiguïté, contrôlabilité) en tenant compte de la personnalité des individus afin d'identifier les facteurs situationnels qui seraient susceptibles d'influencer le plus les réponses affectives et physiologiques. Quant aux résultats obtenus dans l'étude 3, ils pourraient ouvrir vers une perspective plus appliquée qui consisterait à étudier en situation plus écologique, par exemple une tâche motrice professionnelle, les réponses musculaires en situation de stress répétée. L'objectif serait d'examiner l'adaptation des réponses de différents muscles et de détecter des réponses musculaires insuffisamment adaptées à l'exposition répétée au stress. L'identification de réponses mal adaptées pourrait être d'intérêt pour les recherches sur les effets du stress sur les troubles musculo-squelettiques et pourrait permettre de prévenir et de gérer les plaintes musculaires par des techniques de relaxation musculaire et/ou de biofeedback.

Références bibliographiques

- Abraini, J. H., Anseau, M., Bisson, T., de Mendoza, J. L. et Therme, P. (1998) 'Personality Patterns of Anxiety During Occupational Deep Dives with Long-term Confinement in Hyperbaric Chamber', *Journal of Clinical Psychology*, **54**, 825–830.
- Aftanas, L. I. et Pavlov, S. V. (2005) 'Trait Anxiety Impact on Posterior Activation Asymmetries at Rest and During Evoked Negative Emotions: EEG Investigation', *International Journal of Psychophysiology*, **55**, 85–94.
- Al'Absi, M., Bongard, S., Buchanan, T., Pincomb, G. A., Licinio, J. et Lovallo, W. R. (1997) 'Cardiovascular and Neuroendocrine Adjustment to Public Speaking and Mental Arithmetic Stressors', *Psychophysiology*, **34**, 266–275.
- Al'Absi, M., Petersen, K. L. et Wittmers, L. E. (2002) 'Adrenocortical and Hemodynamic Predictors of Pain Perception in Men and Women', *Pain*, **96**, 197–204.
- Albus, M., Müller-Spahn, F., Ackenheil, M. et Engel, R. R. (1990) 'Different Stress Responses to Mental and Physical Stressors in Healthy Volunteers', *Stress Medicine*, **6**, 259–265.
- Amaral, D. G., Price, J. L., Pitkanen, A. et Carmichael, S.T., (1992) 'Anatomical Organization of the Primate Amygdaloid Complex, Dans Aggleton, J. P. (éd) *The Amygdala. Neurobiological Aspects of Emotion, Memory, and Mental Dysfunction*, New York, Wiley, p. 1–66.
- Anderson, J. C., Linden, W. et Habra, M. E. (2005) 'The Importance of Examining Blood Pressure Reactivity and Recovery in Anger Provocation Research', *International Journal of Psychophysiology*, **57**, 159–163.
- Arena, J. G. et Hobbs, S. H. (1995) 'Reliability of Psychophysiological Responding as a Function of Trait Anxiety', *Biofeedback and Self-Regulation*, **20**, 19–37.

- Asendorpf, J. B. et Scherer, K. R. (1983) 'The Discrepant Repressor: Differentiation Between Low Anxiety, High Anxiety, and Repression of Anxiety by Autonomic-facial-verbal Patterns of Behavior', *Journal of Personality and Social Psychology*, **45**, 1334–1346.
- Ashcraft, M. H. et Kirk, E. P. (2001) 'The Relationships Among Working Memory, Math Anxiety, and Performance', *Journal of Experimental Psychology: General*, **130**, 224–237.
- Baggett, H. L., Saab, P. G. et Carver, C. S. (1996) 'Appraisal, Coping, Task Performance, and Cardiovascular Responses During the Evaluated Speaking Task', *Personality and Social Psychology Bulletin*, **22**, 483–494.
- Baron, R. M. et Kenny, D. A. (1986) 'The Moderator-mediator Variable Distinction in Social Psychological Research: Conceptual, Strategic, and Statistical Considerations', *Journal of Personality and Social Psychology*, **51**, 1173–1182.
- Barry, R. J. et Sokolov, E. N. (1993) 'Habituation of Phasic and Tonic Components of the Orienting Reflex', *International journal of psychophysiology*, **15**, 39–42.
- Bastien, C. et Bastien-Toniazzo, M. (2002) 'Les Émotions en Psychologie Cognitive', Dans Channouf, A. et Rouan, G. (éd) *Emotion and Cognition*, Bruxelles, De Boeck.
- Beck, J. G., Shipherd, J. C. et Read, J. (1999) 'Response Patterns to Repeated CO₂ Inhalation in Individuals with High Anxiety Sensitivity', *Behaviour Research and Therapy*, **37**, 1073–1089.
- Biondi, M. et Picardi, A. (1999) 'Psychological Stress and Neuroendocrine Function in Humans: The Last Two Decades of Research', *Psychotherapy and Psychosomatics*, **68**, 114–150.
- Bisdorff, A. R., Bronstein, A. M. et Gresty, M. A. (1994) 'Responses in Neck and Facial Muscles to Sudden Free Fall and a Startling Auditory Stimulus', *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **93**, 409–416.
- Blascovich, J. (1993) *Cardiovascular Reactivity to Psychological Stress and Disease*, Washington, American Psychological Association.

- Bloemsaat, J. G., Meulenbroek, R. G. J. et Van Galen, G. P. (2005) 'Differential Effects of Mental Load on Proximal and Distal Arm Muscle Activity', *Experimental Brain Research*, **167**, 622–634.
- Bolmont, B. (2005) 'Role and Influence of Moods Including Anxiety on Motor Control', Dans Clark, A. (éd) *Psychology of Moods*, New York, Nova Science Publisher, p. 57–73.
- Bolmont, B. (2010) *Relations Entre États Affectifs, Personnalité et Actions Motrices Volontaires*, Thèse d'Habilitation à Diriger les Recherches, Université Paul Verlaine de Metz.
- Bolmont, B. et Abraini, J. H. (2001) 'State-anxiety and Low Moods: Evidence for a Single Concept', *Physiology and Behavior*, **74**, 421–424.
- Bolmont, B., Gangloff, P., Vouriot, A. et Perrin, P. P. (2002) 'Mood States and Anxiety Influence Abilities to Maintain Balance Control in Healthy Human Subjects', *Neuroscience Letters*, **329**, 96–100.
- Bolmont, B., Thullier, F. et Abraini, J. H. (2000) 'Relationships Between Mood States and Performances in Reaction Time, Psychomotor Ability, and Mental Efficiency During a 31-day Gradual Decompression in a Hypobaric Chamber from Sea Level to 8848 m Equivalent Altitude', *Physiology and Behavior*, **71**, 469–476.
- Borkovec, T. D., Robinson, E., Pruzinsky, T. et DePree, J. A. (1983) 'Preliminary Exploration of Worry: Some Characteristics and Processes', *Behaviour Research and Therapy*, **21**, 9–16.
- Boucsein, W. et Wendt-Suhl, G. (1980) 'An Experimental Investigation of Elements Involved in the Anticipation of Public Speaking', *Archiv für Psychologie*, **133**, 149–156.
- Boutcher, Y. N. et Boutcher, S. H. (2006) 'Cardiovascular Response to Stroop: Effect of Verbal Response and Task Difficulty', *Biological Psychology*, **73**, 235–241.
- Bradley, M. M., Lang, P. J. et Cuthbert, B. N. (1993) 'Emotion, Novelty, and the Startle Reflex: Habituation in Humans', *Behavioral Neuroscience*, **107**, 970–980.

- Breivik, G., Roth, W. T. et Erik Jørgensen, P. (1998) 'Personality, Psychological States and Heart Rate in Novice and Expert Parachutists', *Personality and Individual Differences*, **25**, 365–380.
- Brooke, M. H. et Kaiser, K. K. (1970) 'Muscle Fiber Types: How Many and What Kind?', *Archives of neurology*, **23**, 369–379.
- Brosschot, J. F. (2010) 'Markers of Chronic Stress: Prolonged Physiological Activation and (un)conscious Perseverative Cognition', *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **35**, 46–50.
- Brosschot, J. F., Gerin, William et Thayer, J. F. (2006) 'The Perseverative Cognition Hypothesis: a Review of Worry, Prolonged Stress-related Physiological Activation, and Health', *Journal of Psychosomatic Research*, **60**, 113–124.
- Brosschot, J. F. et Thayer, J. F. (1998) 'Anger Inhibition, Cardiovascular Recovery, and Vagal Function: a Model of the Link Between Hostility and Cardiovascular Disease', *Annals of Behavioral Medicine*, **20**, 326–332.
- Brosschot, J. F., Verkuil, B. et Thayer, J. F. (2010) 'Conscious and Unconscious Perseverative Cognition: Is a Large Part of Prolonged Physiological Activity Due to Unconscious Stress?', *Journal of Psychosomatic Research*, **69**, 407–416.
- Bugat, R. (1989) 'Stress et Plongée Profonde', *Neuro Psy*, **2**, 93–102.
- Buss, A. H. (1989) 'Personality as Traits', *American Psychologist*, **44**, 1378–1388.
- Cacioppo, J. T., Marshall-Goodell, B. et Dorfman, D. D. (1983) 'Skeletal Muscular Patterning: Topographical Analysis of the Integrated Electromyogram', *Psychophysiology*, **20**, 269–283.
- Cacioppo, J. T. et Tassinary, L. G. (1990) *Principles of Psychophysiology: Physical, Social and Inferential Elements*, New York, Cambridge University Press.
- Calvo, M. G. et Cano-Vindel, A. (1997) 'The Nature of Trait Anxiety: Cognitive and Biological Vulnerability', *European Psychologist*, **2**, 301–312.

- Calvo, M. G. et Eysenck, M. W. (1998) 'Cognitive Bias to Internal Sources of Information in Anxiety', *International Journal of Psychology*, **33**, 287–299.
- Cannon, W. B. (1929) *Bodily Changes in Pain, Hunger, Fear, and Rage*, New York, D. Appleton and Compagny.
- Carson, R. G., Welsh, T. N. et Pamblanco-Valero, M.-A. (2005) 'Visual Feedback Alters the Variations in Corticospinal Excitability That Arise from Rhythmic Movements of the Opposite Limb', *Experimental brain research*, **161**, 325–334.
- Chatterton, R. T. Jr, Vogelsong, K. M., Lu, Y. C. et Hudgens, G. A. (1997) 'Hormonal Responses to Psychological Stress in Men Preparing for Skydiving', *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, **82**, 2503–2509.
- Chida, Y. et Hamer, M. (2008) 'Chronic Psychosocial Factors and Acute Physiological Responses to Laboratory-induced Stress in Healthy Populations: a Quantitative Review of 30 Years of Investigations', *Psychological Bulletin*, **134**, 829–885.
- Childs, E., Vicini, L. M. et De Wit, H. (2006) 'Responses to the Trier Social Stress Test (TSST) in single versus Grouped Participants', *Psychophysiology*, **43**, 366–371.
- Clark, L. A., Watson, D. et Mineka, S. (1994) 'Temperament, Personality, and the Mood and Anxiety Disorders', *Journal of Abnormal Psychology*, **103**, 103–116.
- Cohen, S. et Edwards, J. R. (1989) 'Personality Characteristics as Moderators of the Relationship Between Stress and Disorder', Dans Neufeld, R. W. J. (éd) *Advances in the Investigation of Psychological Stress*, New York, Wiley, p. 235–283.
- Cohen, S. et Williamson, G. M. (1988) 'Perceived Stress in a Probability Sample of the United States', Dans Spacapan S. et Oskamp S. (éd) *The Social Psychology of Health*, p. 31–67.
- Connelly, M. et Denney, D. R. (2007) 'Regulation of Emotions During Experimental Stress in Alexithymia', *Journal of Psychosomatic Research*, **62**, 649–656.
- Conrad, A., Isaac, L. et Roth, W. T. (2008) 'The Psychophysiology of Generalized Anxiety Disorder: 1. Pretreatment Characteristics', *Psychophysiology*, **45**, 366–376.

- Costa, P. T., Somerfield, M. R. et McCrae, R. R. (1996) 'Personality and Coping : a Reconceptualization', Dans Zeidner, M. et Endler, N. S. (éd) *Handbook of Coping : Theory, Research, Applications*, New York, Wiley, p. 44–61.
- Cosway, R., Endler, N. S., Sadler, A. J. et Deary, I. J. (2000) 'The Coping Inventory for Stressful Situations: Factorial Structure and Associations With Personality Traits and Psychological Health', *Journal of Applied Biobehavioral Research*, **5**, 121–143.
- Coy, B., O'Brien, W. H., Tabaczynski, T., Northern, J. et Carels, R. (2011) 'Associations Between Evaluation Anxiety, Cognitive Interference and Performance on Working Memory Tasks', *Applied Cognitive Psychology*, **25**, 823–832.
- Dantzer, R. (1984) 'Psychobiologie Des Émotions', Dans Delacour, J. (éd) *Neurobiologie des Comportements*, Paris, Hermann.
- Darwin, C. (1872) *The Expression of the Emotions in Man and Animal*, London, Murray, J.
- Davidson, R. J. (1998) 'Affective Style and Affective Disorders: Perspectives from Affective Neuroscience', *Cognition and Emotion*, **12**, 307–330.
- Davis, M. et Whalen, P. J. (2001) 'The Amygdala: Vigilance and Emotion', *Molecular Psychiatry*, **6**, 13–34.
- De Bonis, M. (1996) *Connaître Les Émotions Humaines*, Sprimont, Mardaga.
- Dubret, G. (1985) *Éléments d'Anatomie et de Physiologie du Système Nerveux Central*, Paris, Flammarion.
- Dyer, F. (1973) 'The Stroop Phenomenon and Its Use in the Study of Perceptual, Cognitive, and Response Processes', *Memory and Perception*, **1**, 106–120.
- Ekman, P. (1992) 'An Argument for Basic Emotions', *Cognition and Emotion*, **6**, 169–200.
- Elfering, A. et Grebner, S. (2012) 'Getting Used to Academic Public Speaking: Global Self-esteem Predicts Habituation in Blood Pressure Response to Repeated Thesis Presentations', *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, **37**, 109–120.
- Engel, W. K. (1962) 'The Essentiality of Histo- et Cytochemical Studies of Skeletal Muscle in the Investigation of Neuromuscular Disease', *Neurology*, **51**, 778–794.

- Ey, H. (1950) 'Anxiété Morbide'. Dans *Etudes Psychiatriques*, Paris, Desclée de Brouwer, p. 379–426.
- Eysenck, H. J. (1967) *The Biological Basis of Personality*, Springfield, Thomas.
- Eysenck, M. W. (1992) *Anxiety: The Cognitive Perspective*, Hove, Lawrence Erlbaum.
- Eysenck, M. W. (1997) *Anxiety and Cognition: a Unified Theory*, Hove, Psychology Press.
- Eysenck, M. W. (2000) 'A Cognitive Approach to Trait Anxiety', *European Journal of Personality*, **14**, 463–476.
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R. et Calvo, M. G. (2007) 'Anxiety and Cognitive Performance: Attentional Control Theory', *Emotion*, **7**, 336–353.
- Eysenck, M. W., MacLeod, C. et Mathews, A. (1987) 'Cognitive Functioning and Anxiety', *Psychological Research*, **49**, 189–195.
- Eysenck, M. W. et Van Berkum, J. (1992) 'Trait Anxiety, Defensiveness, and the Structure of Worry', *Personality and Individual Differences*, **13**, 1285–1290.
- Fahrenberg, J. (1992) 'Psychophysiology of Neuroticism and Emotionality', Dans Gale A. et Eysenck, M. W. (éd) *Handbook of Individual Differences : Biological Perspectives*, Oxford, Wiley, p. 139–158.
- Fechir, M., Gamer, M., Blasius, I., Bauermann, T., Breimhorst, M., Schlindwein, P., Schlereth, T. et Birklein, F. (2010) 'Functional Imaging of Sympathetic Activation During Mental Stress', *NeuroImage*, **50**, 847–854.
- Fechir, M., Schlereth, T., Purat, T., Kritzmann, S., Geber, C., Eberle, T., Gamer, M. et Birklein, F. (2008) 'Patterns of Sympathetic Responses Induced by Different Stress Tasks', *The Open Neurology Journal*, **2**, 25–31.
- Fridlund, A. J., Hatfield, M. E., Cottam, G. L. et Fowler, S. C. (1986) 'Anxiety and Striate-muscle Activation: Evidence from Electromyographic Pattern Analysis', *Journal of Abnormal Psychology*, **95**, 228–236.
- Frijda, N. (1986) *The Emotions*, Cambridge, Cambridge University Press.

- Gage, W. H., Sleik, R. J., Polych, M. A., McKenzie, N. C. et Brown, L. A. (2003) 'The Allocation of Attention During Locomotion Is Altered by Anxiety', *Experimental Brain Research*, **150**, 385–394.
- Geller, V. et Shaver, P. (1976) 'Cognitive Consequences of Self-awareness', *Journal of Experimental Social Psychology*, **12**, 99–108.
- Gerin, W., Davidson, K. W., Christenfeld, N. J. S., Goyal, T. et Schwartz, J. E. (2006) 'The Role of Angry Rumination and Distraction in Blood Pressure Recovery from Emotional Arousal', *Psychosomatic Medicine*, **68**, 64–72.
- Girdler, S. S., Turner, J. R., Sherwood, A. et Light, K. C. (1990) 'Gender Differences in Blood Pressure Control During a Variety of Behavioral Stressors', *Psychosomatic Medicine*, **52**, 571–591.
- Goldstein, I. B., Grinker, R. R., Heath, H. A., Oken, D. et Shipman, W. G. (1964) 'Study in Psychophysiology of Muscle Tension: I. Response Specificity', *Archives of General Psychiatry*, **11**, 322–330.
- Gonzalez-Bono, E., Moya-Albiol, L., Salvador, A., Carrillo, E., Ricarte, J. et Gomez-Amor, J. (2002) 'Anticipatory Autonomic Response to a Public Speaking Task in Women: The Role of Trait Anxiety', *Biological Psychology*, **60**, 37–49.
- Goswami, N., Lackner, H. K., Papousek, I., Jezova, D., Hinghofer-Szalkay, H. et Montani, J.-P. (2010) 'Rate of Cardiovascular Recovery to Combined or Separate Orthostatic and Mental Challenges', *International Journal of Psychophysiology*, **75**, 54–62.
- Gramer, M. et Saria, K. (2007) 'Effects of Social Anxiety and Evaluative Threat on Cardiovascular Responses to Active Performance Situations', *Biological Psychology*, **74**, 67–74.
- Gruenewald, T. L., Kemeny, M. E., Aziz, N. et Fahey, J. L. (2004) 'Acute Threat to the Social Self: Shame, Social Self-esteem, and Cortisol Activity', *Psychosomatic Medicine*, **66**, 915–924.

- Hägg, G. (1991). 'Static Work Loads and Occupational Myalgia - a New Explanation Model', Dans Anderson, P. A., Hobart, D. J. et Danhoff, J. V. (éd) *Electromyographical Kinesiology*, Amsterdam, Elsevier, p. 141-144.
- Hainaut, J. P. et Bolmont, B. (2005) 'Effects of Mood States and Anxiety as Induced by the Video-recorded Stroop Color-word Interference Test in Simple Response Time Tasks on Reaction Time and Movement Time', *Perceptual and Motor Skills*, **101**, 721–729.
- Hainaut, J. P. et Bolmont, B. (2006) 'Moderate State-anxiety Differently Modulates Visual and Auditory Response Times in Normal- and Very Low Trait-anxiety Subjects', *Neuroscience Letters*, **395**, 129–132.
- Hainaut, J.-P., Caillet, G., Lestienne, F. G. et Bolmont, B. (2011) 'The Role of Trait Anxiety on Static Balance Performance in Control and Anxiogenic Situations', *Gait and Posture*, **33**, 604–608.
- Hainaut, J. P., Monfort, V. et Bolmont, B. (2006) 'Trait-anxiety Dependence of Movement Time Performance in a Bimodal Choice Task in Subjects Exposed to Moderate Anxiogenic Conditions', *Neuroscience Letters*, **409**, 196–199.
- Hamer, M., Boutcher, Y. N., Park, Y., et Boutcher, S. H. (2006) 'Reproducibility of Skeletal Muscle Vasodilatation Responses to Stroop Mental Challenge over Repeated Sessions', *Biological psychology*, **73**, 186–189.
- Hazlett, R. L., McLeod, D. R. et Hoehn-Saric, R. (1994) 'Muscle Tension in Generalized Anxiety Disorder: Elevated Muscle Tonus or Agitated Movement?', *Psychophysiology*, **31**, 189–195.
- Heath, H. A., Oken, D. et Shipman, W. G. (1967) 'Muscle Tension and Personality. A Serious Second Look', *Archives of General Psychiatry*, **16**, 720–726.
- Henneman, E., Somjen, G. et Carpenter, D. O. (1965) 'Excitability and Inhibitibility of Motoneurons of Different Sizes', *Journal of Neurophysiology*, **28**, 599–620.
- Heponiemi, T., Elovainio, M., Pulkki, L., Puttonen, S., Raitakari, O. et Keltikangas-Järvinen, L. (2007) 'Cardiac Autonomic Reactivity and Recovery in Predicting Carotid

- Atherosclerosis: The Cardiovascular Risk in Young Finns Study', *Health Psychology*, **26**, 13–21.
- Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C. et Rau, G. (2000) 'Development of Recommendations for SEMG Sensors and Sensor Placement Procedures', *Journal of Electromyography and Kinesiology*, **10**, 361–374.
- Hoehn-Saric, R., Hazlett, R. L., Pourmotabbed, T. et McLeod, D. R. (1997) 'Does Muscle Tension Reflect Arousal? Relationship Between Electromyographic and Electroencephalographic Recordings', *Psychiatry Research*, **71**, 49–55.
- Hoehn-Saric, R. et McLeod, D. R. (1993) 'Somatic Manifestations of Normal and Pathological anxiety', Dans Hoehn-Saric, R. et McLeod, D. R. (éd) *Biology of Anxiety Disorders*, Washington, American Psychiatric Press, p. 177–222.
- Hopko, D. R., Ashcraft, M. H., Gute, J., Ruggiero, K. J. et Lewis, C. (1998) 'Mathematics Anxiety and Working Memory: Support for the Existence of a Deficient Inhibition Mechanism', *Journal of Anxiety Disorders*, **12**, 343–55.
- Hopko, D. R., McNeil, D. W., Lejuez, C. W., Ashcraft, M. H., Eifert, G. H. et Riel, J. (2003) 'The Effects of Anxious Responding on Mental Arithmetic and Lexical Decision Task Performance', *Journal of Anxiety Disorders*, **17**, 647–65.
- Izard, C. E. (1991) *The Psychology of Emotions*, New York, Plenum.
- Jensen, C., Vasseljen, O. et Westgaard, R. H. (1993) 'The Influence of Electrode Position on Bipolar Surface Electromyogram Recordings of the Upper Trapezius Muscle', *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, **67**, 266–273.
- Jezova, D., Makatsori, A., Duncko, R., Moncek, F. et Jakubek, M. (2004) 'High Trait Anxiety in Healthy Subjects Is Associated with Low Neuroendocrine Activity During Psychosocial Stress', *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, **28**, 1331–1336.
- Johnson, J. A., Lavoie, K. L., Bacon, S. L., Carlson, L. E. et Campbell, T. S. (2012) 'The Effect of Trait Rumination on Adaptation to Repeated Stress', *Psychosomatic Medicine*, **74**, 258–262.

- Johnson, M. A., Polgar, J., Weightman, D. et Appleton, D. (1973) 'Data on the Distribution of Fibre Types in Thirty-six Human Muscles. An Autopsy Study', *Journal of the Neurological Sciences*, **18**, 111–129.
- Jönsson, P., Wallergård, M., Osterberg, K., Hansen, A. M., Johansson, G. et Karlson, B. (2010) 'Cardiovascular and Cortisol Reactivity and Habituation to a Virtual Reality Version of the Trier Social Stress Test: a Pilot Study', *Psychoneuroendocrinology*, **35**, 1397–1403.
- Jørgensen, L. S., Christiansen, P., Raundahl, U., Ostgaard, S., Christensen, N. J., Fenger, M. et Flachs, H. (1990) 'Autonomic Response to an Experimental Psychological Stressor in Healthy Subjects: Measurement of Sympathetic, Parasympathetic, and Pituitary-adrenal Parameters: Test-retest Reliability', *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, **50**, 823–829.
- Kelsey, R. M., Blascovich, J., Leitten, C. L., Schneider, T. R., Tomaka, J. et Wiens, S. (2000) 'Cardiovascular Reactivity and Adaptation to Recurrent Psychological Stress: The Moderating Effects of Evaluative Observation', *Psychophysiology*, **37**, 748–756.
- Kelsey, R. M., Blascovich, J., Tomaka, J., Leitten, C. L., Schneider, T. R. et Wiens, S. (1999) 'Cardiovascular Reactivity and Adaptation to Recurrent Psychological Stress: Effects of Prior Task Exposure', *Psychophysiology*, **36**, 818–831.
- Kettunen, J., Ravaja, N., Näätänen, P., Keskiivaara, P. et Keltikangas-Järvinen, L (1998) 'The Synchronization of Electrodermal Activity and Heart Rate and Its Relationship to Energetic Arousal: a Time Series Approach', *Biological Psychology*, **48**, 209–225.
- Kirouac, G. (1989) *Les Émotions*, Québec, Presses de l'Université du Québec.
- Kirschbaum, C., Pirke, K. M. et Hellhammer, D. H. (1993) 'The 'Trier Social Stress Test'-a Tool for Investigating Psychobiological Stress Responses in a Laboratory Setting', *Neuropsychobiology*, **28**, 76–81.
- Knardahl, S. (2002) 'Psychophysiological Mechanisms of Pain in Computer Work: The Blood Vessel-nociceptor Interaction Hypothesis', *Work and Stress*, **16**, 179–189.

- Krantz, G., Forsman, M. et Lundberg, U. (2004) 'Consistency in Physiological Stress Responses and Electromyographic Activity During Induced Stress Exposure in Women and Men', *Integrative Physiological and Behavioral Science*, **39**, 105–118.
- Kudielka, B. M., Buske-Kirschbaum, A., Hellhammer, D. H. et Kirschbaum, C. (2004) 'Differential Heart Rate Reactivity and Recovery After Psychosocial Stress (TSST) in Healthy Children, Younger Adults, and Elderly Adults: The Impact of Age and Gender', *International Journal of Behavioral Medicine*, **11**, 116–121.
- Kukulka, C. G. et Clamann, H. P. (1981) 'Comparison of the Recruitment and Discharge Properties of Motor Units in Human Brachial Biceps and Adductor Pollicis During Isometric Contractions', *Brain Research*, **219**, 45–55.
- Lackner, H. K., Goswami, N., Papousek, I., Roessler, A., Grasser, E. K., Montani, J.-P., Jezova, D. et Hinghofer-Szalkay, H. (2010) 'Time Course of Cardiovascular Responses Induced by Mental and Orthostatic Challenges', *International Journal of Psychophysiology*, **75**, 48–53.
- Lackner, H. K., Papousek, I., Batzel, J. J., Roessler, A., Scharfetter, H. et Hinghofer-Szalkay, H. (2011) 'Phase Synchronization of Hemodynamic Variables and Respiration During Mental Challenge', *International Journal of Psychophysiology*, **79**, 401–409.
- Lamb, D. H. (1973) 'The Effects of Two Stressors on State Anxiety for Students Who Differ in Trait Anxiety', *Journal of Research in Personality*, **7**, 116–126.
- Lamb, D. H. (1979) 'On the Distinction Between Physical and Psychological Stressors', *Motivation and Emotion*, **3**, 51–61.
- Larsen, J. T. et Norris, J. I. (2009) 'A Facial Electromyographic Investigation of Affective Contrast', *Psychophysiology*, **46**, 831–842.
- Larsson, S. E., Bengtsson, A., Bodegård, L., Henriksson, K. G. et Larsson, J. (1988) 'Muscle Changes in Work-related Chronic Myalgia', *Acta Orthopaedica Scandinavica*, **59**, 552–556.
- Lazarus, R. S. (1966) *Psychological Stress and the Coping Process*, New York, McGraw Hill.
- Lazarus, R. S. (1991) *Emotion and Adaptation*, New York, Plenum Press.

- Lazarus, R. S. (1999) *Stress and Emotion: A New Synthesis*, New York, Springer Publishing Company.
- Lazarus, R. S. (2001) 'Relational Meaning and Discrete Emotions', Dans Scherer, K. R., Schorr, A. et John-Stone, T. (éd) *Appraisal Processes in Emotion: Theory, Methods, Research*, New York, Oxford University Press, p. 37–67.
- Lazarus, R. S. et Folkman, S. (1984) *Stress, Appraisal, and Coping*, New York, Springer Publishing Compagny.
- Lazarus, R. S. et Launier, R. (1978) 'Stress-related Transactions Between Persons and Environment', Dans Pervin, L. et Lewis M. (éd), *Perspectives in Interactional Psychology*, New York, Plenum Press.
- Leite, J. R., Seabra, M. de L., Sartori, V. A. et Andreatini, R. (1999) 'The Video-recorded Stroop Color-Word Test as a New Model of Experimentally-induced Anxiety', *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, **23**, 809–822.
- Lerner, J. S., Dahl, R. E., Hariri, A. R. et Taylor, S. E. (2007) 'Facial Expressions of Emotion Reveal Neuroendocrine and Cardiovascular Stress Responses', *Biological Psychiatry*, **61**, 253–260.
- Levi, L. (1972) 'Stress and Distress in Response to Psychosocial Stimuli. Laboratory and Real Life Studies on Sympathoadrenomedullary and Related Reactions', *Acta medica Scandinavica. Supplementum*, **528**, 1–166.
- Lieberman, H. R., Tharion, W. J., Shukitt-Hale, B., Speckman, K. L. et Tulley, R. (2002) 'Effects of Caffeine, Sleep Loss, and Stress on Cognitive Performance and Mood During U.S. Navy SEAL Training. Sea-Air-Land', *Psychopharmacology*, **164**, 250–261.
- Linden, W., Earle, T. L., Gerin, W. et Christenfeld, N. (1997) 'Physiological Stress Reactivity and Recovery: Conceptual Siblings Separated at Birth?', *Journal of Psychosomatic Research*, **42**, 117–135.
- Linden, W., Lenz, J. W. et Stossel, C. (1996) 'Alexithymia, Defensiveness and Cardiovascular Reactivity to Stress', *Journal of Psychosomatic Research*, **41**, 575–583.

- Lindman, R., Eriksson, A. et Thornell, L. E. (1990) 'Fiber Type Composition of the Human Male Trapezius Muscle: Enzyme-histochemical Characteristics', *The American Journal of Anatomy*, **189**, 236–244.
- Lovallo, W. R. (2005) 'Cardiovascular Reactivity: Mechanisms and Pathways to Cardiovascular Disease', *International Journal of Psychophysiology*, **58**, 119–132.
- Luminet, O. (2008) *Psychologie des Emotions: Confrontation et Evitement*, Bruxelles, De Boeck.
- Lundberg, U. (1999) 'Stress Responses in Low-status Jobs and Their Relationship to Health Risks: Musculoskeletal Disorders', *Annals of the New York Academy of Sciences*, **896**, 162–172.
- Lundberg, U. (2002) 'Psychophysiology of Work: Stress, Gender, Endocrine Response, and Work-related Upper Extremity Disorders', *American Journal of Industrial Medicine*, **41**, 383–392.
- Lundberg, U., Dohns, I. E., Melin, B., Sandsjö, L., Palmerud, G., Kadefors, R., Ekström, M. et Parr, D. (1999) 'Psychophysiological Stress Responses, Muscle Tension, and Neck and Shoulder Pain Among Supermarket Cashiers', *Journal of Occupational Health Psychology*, **4**, 245–255.
- Lundberg, U., Forsman, M., Zachau, G., Eklöf, M., Palmerud, G., Melin, B. et Kadefors, R. (2002) 'Effects of Experimentally Induced Mental and Physical Stress on Motor Unit Recruitment in the Trapezius Muscle', *Work and Stress*, **16**, 166–178.
- Lundberg, U., Kadefors, R., Melin, B., Palmerud, G., Hassmen, P., Engstrom, M. et Dohns, I. E. (1994) 'Psychophysiological Stress and EMG Activity of the Trapezius Muscle', *International Journal of Behavioral Medicine*, **1**, 354–370.
- Malathi, A. et Parulkar, V. G. (1992) 'Evaluation of Anxiety Status in Medical Students Prior to Examination Stress', *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, **36**, 121–122.
- Malmo, R. B. et Malmo, H. P. (2000) 'On Electromyographic (EMG) Gradients and Movement-related Brain Activity: Significance for Motor Control, Cognitive

- Functions, and Certain Psychopathologies', *International Journal of Psychophysiology*, **38**, 145–209.
- Marieb, E. et Hoehn, K. (2010) *Anatomie et Physiologie Humaine*, 8^e édition, Paris, Pearson.
- Martin-Soelch, C., Stöcklin, M., Dammann, G., Opwis, K. et Seifritz, E. (2006) 'Anxiety Trait Modulates Psychophysiological Reactions, but Not Habituation Processes Related to Affective Auditory Stimuli', *International Journal of Psychophysiology*, **61**, 87–97.
- Matthews, K. A., Katholi, C. R., McCreath, H., Whooley, M. A., Williams, D. R., Zhu, S. et Markovitz, J. H. (2004) 'Blood Pressure Reactivity to Psychological Stress Predicts Hypertension in the CARDIA Study', *Circulation*, **110**, 74–78.
- Mauss, I. B. et Robinson, M. D. (2009) 'Measures of Emotion: A Review', *Cognition and Emotion*, **23**, 209–237.
- Mauss, I. B., Wilhelm, F. H. et Gross, J. J. (2003) 'Autonomic Recovery and Habituation in Social Anxiety', *Psychophysiology*, **40**, 648–653.
- Mauss, I. B., Wilhelm, F. H. et Gross, J. J. (2004) 'Is There Less to Social Anxiety Than Meets the Eye? Emotion Experience, Expression, and Bodily Responding', *Cognition and Emotion*, **18**, 631–642.
- McEwen, B. S. (1998) 'Protective and Damaging Effects of Stress Mediators', *The New England Journal of Medicine*, **338**, 171–179.
- McGrath, J. E. (1970) *Social and Psychological Factors in Stress*, New York, Holt Rinehart and Winston.
- McNair, D. M., Frankenthaler, L. M., Czerlinsky, T., White, T. W., Sasson, S. et Fisher, S. (1982) 'Simulated Public Speaking as a Model of Clinical Anxiety', *Psychopharmacology*, **77**, 7–10.
- Melin, B. et Lundberg, U. (1997) 'A Biopsychosocial Approach to Work-stress and Musculoskeletal Disorders', *Journal of Psychophysiology*, **11**, 238–247.

- Naveteur, J. et Freixa I Baque, E. (1987) 'Electrodermal Asymmetry and Vigilance in Negative Emotion, Anxiety and Stress', *International Journal of Psychophysiology*, **6**, 339–342.
- Naveteur, J., Buisine, S. et Gruzelier, J. H. (2005) 'The Influence of Anxiety on Electrodermal Responses to Distractors', *International Journal of Psychophysiology*, **56**, 261–269.
- Newton, T. L. et Contrada, R. J. (1992) 'Repressive Coping and Verbal-autonomic Response Dissociation: The Influence of Social Context', *Journal of Personality and Social Psychology*, **62**, 159–167.
- Nilsen, K. B., Sand, T., Stovner, L. J., Leistad, R. B. et Westgaard, R. H. (2007) 'Autonomic and Muscular Responses and Recovery to One-hour Laboratory Mental Stress in Healthy Subjects', *BMC Musculoskeletal Disorders*, **8**, 81.
- Noteboom, J. T., Barnholt, K. R. et Enoka, R. M. (2001a) 'Activation of the Arousal Response and Impairment of Performance Increase with Anxiety and Stressor Intensity', *Journal of Applied Physiology*, **91**, 2093–2101.
- Noteboom, J. T., Fleshner, M. et Enoka, R. M. (2001b) 'Activation of the Arousal Response Can Impair Performance on a Simple Motor Task', *Journal of Applied Physiology*, **91**, 821–831.
- Öhman, A. (2000) 'Fear and Anxiety: Clinical, Evolutionary, and Cognitive Perspectives', Dans Lewis M. et Haviland-Jones J. M. (éd) *Handbook of emotion*, 2^e édition, New York, Guilford, p. 573–593.
- Öhman, A., Hamm, A. et Hugdahl, K. (2000) 'Cognition and the Autonomic Nervous System: Orienting, Anticipation, and Conditioning', Dans Cacioppo, J. T., Tssinary, L. G. et Berntson, G. G. (éd) *Hanbook of psychophysiology*, 2^e édition, Cambridge, Cambridge University Press, p. 533–575.
- Ohno, H., Wada, M., Saitoh, J., Sunaga, N. et Nagai, M. (2004) 'The Effect of Anxiety on Postural Control in Humans Depends on Visual Information Processing', *Neuroscience Letters*, **364**, 37–39.

- Palinkas, L. A., Gunderson, E. K., Johnson, J. C. et Holland, A. W. (2000) 'Behavior and Performance on Long-duration Spaceflights: Evidence from Analogue Environments', *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **71**, A29–36.
- Panksepp, J. (2000) 'Emotions as Natural Kinds within the Mammalian Brain', Dans Lewis M. et Haviland-Jones, J. M. (éd) *Handbook of Emotion*, New York, Guilford, p.137–156.
- Parker, J. D. A. et Endler, N. S. (1992) 'Coping with Coping Assessment: A Critical Review', *European Journal of Personality*, **6**, 321–344.
- Pieper, S. et Brosschot, J. F. (2005) 'Prolonged Stress-related Cardiovascular Activation: Is There Any?', *Annals of Behavioral Medicine*, **30**, 91–103.
- Pieper, S., Brosschot, J. F., van der Leeden, R. et Thayer, J. F. (2010) 'Prolonged Cardiac Effects of Momentary Assessed Stressful Events and Worry Episodes', *Psychosomatic Medicine*, **72**, 570–577.
- Pluess, M., Conrad, A. et Wilhelm, F. H. (2009) 'Muscle Tension in Generalized Anxiety Disorder: a Critical Review of the Literature', *Journal of Anxiety Disorders*, **23**, 1–11.
- Plutchik, R. (1984) 'Emotions: a General Psychoevolutionary Theory', Dans Scherer K. R. et Ekman P. (éd) *Approaches to emotion*, Hillsdale, Erlbaum, p. 197–219.
- Quinlan, P., Lane, J. et Aspinall, L. (1997) 'Effects of Hot Tea, Coffee and Water Ingestion on Physiological Responses and Mood: The Role of Caffeine, Water and Beverage Type', *Psychopharmacology*, **134**, 164–173.
- Ranvier, M. L. (1873) 'Propriétés et Structures Différentes des Muscles Rouges et des Muscles Blancs, chez les Lapins et chez les Raies', *Comptes Rendus de l'Académie de Sciences*, **77**, 1030–1034.
- Renaud, P. et Blondin, J. P. (1997) 'The Stress of Stroop Performance: Physiological and Emotional Responses to Color-word Interference, Task Pacing, and Pacing Speed', *International Journal of Psychophysiology*, **27**, 87–97.
- Richard, D. et Orsal, D. (2007) *Neurophysiologie : Organisation et Fonctionnement du Système Nerveux*, Paris, Dunod.

- Rivolier, J. (1989) *L'homme Stressé*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Robinson, O. J., Overstreet, C., Letkiewicz, A. et Grillon, C. (2011) 'Depressed Mood Enhances Anxiety to Unpredictable Threat', *Psychological Medicine*, **42**, 1397–1407.
- Roger, D. et Jamieson, J. (1988) 'Individual Differences in Delayed Heart-rate Recovery Following Stress: The Role of Extraversion, Neuroticism and Emotional Control', *Personality and Individual Differences*, **9**, 721–726.
- Rosnet E. (2002) 'Définitions, Théories et Modèle Du Stress', Dans Lassarre D. (éd) *Stress et société*, Reims, Presses Universitaires de Reims, p. 17–37.
- Rosnet, E., Le Scanff, C. et Sagal, M. S. (2000) 'How Self-image and Personality Influence Performance in an Isolated Environment', *Environment and Behavior*, **32**, 18–31.
- Rotter, J. B. (1966) 'Generalized Expectancies for Internal Versus External Control of Reinforcement', *Psychological Monographs*, **80**, 1–28.
- Sanders, A. F. (1983) 'Towards a Model of Stress and Human Performance', *Acta Psychologica*, **53**, 61–97.
- Scherer, K. R. (1984) 'Emotion as a Multicomponent Process: A Model and Some Cross-cultural Data', *Review of Personality and Social Psychology*, **5**, 37–63.
- Scherer, K. R. (2000) 'Psychological Models of Emotions'. Dans Borod, J. C. (éd) *The neuropsychology of emotion*, New York, Oxford University Press.
- Schleifer, L. M. et Ley, R. (1994) 'End-tidal PCO₂ as an Index of Psychophysiological Activity During VDT Data-entry Work and Relaxation', *Ergonomics*, **37**, 245–254.
- Schleifer, L. M., Spalding, T. W., Kerick, S. E., Cram, J. R., Ley, R. et Hatfield, B. D. (2008) 'Mental Stress and Trapezius Muscle Activation Under Psychomotor Challenge: a Focus on EMG Gaps During Computer Work', *Psychophysiology*, **45**, 356–365.
- Schmaus, B. J., Laubmeier, K. K., Boquiren, V. M., Herzer, M. et Zakowski, S. G. (2008) 'Gender and Stress: Differential Psychophysiological Reactivity to Stress Reexposure in the Laboratory', *International journal of psychophysiology*, **69**, 101–106.

- Schneider, S., Brümmer, V., Göbel, S., Carnahan, H., Dubrowski, A. et Struder, H. K. (2007) 'Parabolic Flight Experience Is Related to Increased Release of Stress Hormones', *European Journal of Applied Physiology*, **100**, 301–308.
- Schommer, N. C., Hellhammer, D. H. et Kirschbaum, C. (2003) 'Dissociation Between Reactivity of the Hypothalamus-pituitary-adrenal Axis and the Sympathetic-adrenal-medullary System to Repeated Psychosocial Stress', *Psychosomatic medicine*, **65**, 450–460.
- Schuler, J. L. et O'Brien, W. H. (1997) 'Cardiovascular Recovery from Stress and Hypertension Risk Factors: a Meta-analytic Review', *Psychophysiology*, **34**, 649–659.
- Schwabe, L., Haddad, L. et Schachinger, H. (2008) 'HPA Axis Activation by a Socially Evaluated Cold-pressor Test', *Psychoneuroendocrinology*, **33**, 890–895.
- Selye, H. (1936) 'A Syndrome Produced by Diverse Nocuous Agents', *Nature*, **138**, 32.
- Selye, H. (1946) 'The General Adaptation Syndrome and the Diseases of Adaptation', *The Journal of Clinical Endocrinology*, **6**, 117–230.
- Selye, H. (1956) *The Stress of Life*, New York, McGraw-Hill.
- Seniam group, 'Recommendations for sensor locations on individual muscles', En ligne : www.seniam.org.
- Shipman, W. G., Oken, D., Goldstein, I. B., Grinker, R. R. et Heath, H. A. (1964) 'Study in Psychophysiology of Muscle Tension: II. Personality Factors', *Archives of General Psychiatry*, **11**, 330–345.
- Shusterman, V., Anderson, K. P. et Barnea, O. (1997) 'Spontaneous Skin Temperature Oscillations in Normal Human Subjects', *The American Journal of Physiology*, **273**, R1173–1181.
- Shusterman, V. et Barnea, O. (1995) 'Spectral Characteristics of Skin Temperature Indicate Peripheral Stress-response', *Biofeedback and Self-Regulation*, **20**, 357–367.

- Silva, F. T. et Leite, J. R. (2000) 'Physiological Modifications and Increase in State Anxiety in Volunteers Submitted to the Stroop Color-Word Interference Test: A Preliminary Study', *Physiology and Behavior*, **70**, 113–118.
- Skinner, N. et Brewer, N. (2002) 'The Dynamics of Threat and Challenge Appraisals Prior to Stressful Achievement Events', *Journal of Personality and Social Psychology*, **83**, 678–692.
- Spangler, G. (1997) 'Psychological and Physiological Responses During an Exam and Their Relation to Personality Characteristics', *Psychoneuroendocrinology*, **22**, 423–441.
- Spielberger, C. D. (1966) 'Theory and Research on Anxiety', Dans Spielberger, C. D. (éd) *Anxiety and Behavior*, New York, Academic Press.
- Spielberger, C. D. (1972) 'Anxiety as an Emotional State', Dans Spielberger, C. D. (éd) *Anxiety: Current Trends in Theory and Research (Vol.1)*, New York, Academic Press.
- Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., Lushene, R., Vagg, P. R. et Jacobs, G. A. (1983) 'Manual for the State-Trait Anxiety Inventory (Form Y) (Self-Evaluation Questionnaire)', Palo Alto, CA, Consulting Psychologists Press.
- Staub, F., Bruggimann, L., Magistretti, P. et Bogousslavsky, J. (2002) 'Anatomy of Emotions', *Schweizer Archiv für Neurologie und Psychiatrie*, **153**, 344–353.
- Stephenson, J. L. et Maluf, K. S. (2010) 'Discharge Behaviors of Trapezius Motor Units During Exposure to Low and High Levels of Acute Psychosocial Stress', *Journal of Clinical Neurophysiology*, **27**, 52–61.
- Stephoe, A. (1991) 'Psychological Coping, Individual Differences and Physiological Stress Responses', Dans Cooper, C. L. et Payne R. (éd), *Personality and Stress, Individual Differences in the Stress Process*, New York, Wiley, p. 205-233.
- Stephoe, A. et Vögele, C. (1992) 'Individual Differences in the Perception of Bodily Sensations: The Role of Trait Anxiety and Coping Style', *Behaviour Research and Therapy*, **30**, 597–607.
- Stroop, J. R. (1935) 'Studies on Interference in Serial Verbal Reactions', *Journal of Experimental Psychology*, **18**, 643–662.

- Svebak, S. (1982) 'The Effect of Task Difficulty and Threat of Aversive Electric Shock Upon Tonic Physiological Changes', *Biological Psychology*, **14**, 113–128.
- Tait, R., Martin-Iverson, M., Michie, P. T. et Dusci, L. (2000) 'The Effects of Cigarette Consumption on the Sternberg Visual Memory Search Paradigm', *Addiction*, **95**, 437–446.
- Tallis, F., Eysenck, M. et Mathews, A. (1992) 'A Questionnaire for the Measurement of Nonpathological Worry', *Personality and Individual Differences*, **13**, 161–168.
- Tang, J. et Gibson, S. J. (2005) 'A Psychophysical Evaluation of the Relationship Between Trait Anxiety, Pain Perception, and Induced State Anxiety', *The Journal of Pain*, **6**, 612–619.
- Teixeira-Silva, F., Prado, G. B., Ribeiro, L. C. et Leite, J. R. (2004) 'The Anxiogenic Video-recorded Stroop Color-Word Test: Psychological and Physiological Alterations and Effects of Diazepam', *Physiology and Behavior*, **82**, 215–230.
- Tulen, J. H., Moleman, P., van Steenis, H. G. et Boomsma, F. (1989) 'Characterization of Stress Reactions to the Stroop Color Word Test', *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, **32**, 9–15.
- Turhanoglu, A. D. et Beyazova, M. (2003) 'Reaction Time and Movement Time in Patients with Carpal Tunnel Syndrome: An Electromyographic Study', *Clinical Biomechanics*, **18**, 380–384.
- Verkuil, B., Brosschot, J. F., de Beurs, D. P. et Thayer, J. F. (2009) 'Effects of Explicit and Implicit Perseverative Cognition on Cardiac Recovery After Cognitive Stress', *International Journal of Psychophysiology*, **74**, 220–228.
- Visser, B. et Van Dieën, J. H. (2006) 'Pathophysiology of Upper Extremity Muscle Disorders', *Journal of Electromyography and Kinesiology*, **16**, 1–16.
- Von Känel, R., Kudielka, B. M., Preckel, D., Hanebuth, D. et Fischer, J. E. (2006) 'Delayed Response and Lack of Habituation in Plasma Interleukin-6 to Acute Mental Stress in Men', *Brain Behavior and Immunity*, **20**, 40–48.

- Wada, M., Sunaga, N. et Nagai, M. (2001) 'Anxiety Affects the Postural Sway of the Antero-posterior Axis in College Students', *Neuroscience Letters*, **302**, 157–159.
- Waersted, M. et Westgaard, R. H. (1996) 'Attention-related Muscle Activity in Different Body Regions During VDU Work with Minimal Physical Activity', *Ergonomics*, **39**, 661–676.
- Waugh, C. E., Panage, S., Mendes, W. B. et Gotlib, I. H. (2010) 'Cardiovascular and Affective Recovery from Anticipatory Threat', *Biological Psychology*, **84**, 169–175.
- Weinberger, D.A. (1990) 'The Construct Validity of the Repressive Coping Style', Dans Singer, J. L. (éd) *Repression and Dissociation : Implications for personality Theory, Psychopathology, and health*, Chicago, University of Chicago Press, p. 321–348.
- Weinberger, D. A., Schwartz, G. E. et Davidson, R. J. (1979) 'Low-anxious, High-anxious, and Repressive Coping Styles: Psychometric Patterns and Behavioral and Physiological Responses to Stress', *Journal of Abnormal Psychology*, **88**, 369–380.
- Westad, C., Mork, P. J. et Westgaard, R. H. (2004) 'Firing Patterns of Low-threshold Trapezius Motor Units in Feedback-controlled Contractions and Vocational Motor Activities', *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, **158**, 465–473.
- Westgaard, R. H. (1999) 'Effects of Physical and Mental Stressors on Muscle Pain', *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, **25**, 19–24.
- Westgaard, R. H. et De Luca, C. J. (2001) 'Motor Control of Low-threshold Motor Units in the Human Trapezius Muscle', *Journal of Neurophysiology*, **85**, 1777–1781.
- Wilken, J. A., Smith, B. D., Tola, K. et Mann, M. (2000) 'Trait Anxiety and Prior Exposure to Non-stressful Stimuli: Effects on Psychophysiological Arousal and Anxiety', *International Journal of Psychophysiology*, **37**, 233–242.
- Williams, J. M. G., Watts, F. N., MacLeod, C. et Mathews, A. (1997) *Cognitive Psychology and Emotional Disorders*, 2^e édition, Chichester, Wiley.
- Zinbarg, R. E. et Barlow, D. H. (1996) 'Structure of Anxiety and the Anxiety Disorders: a Hierarchical Model', *Journal of Abnormal Psychology*, **105**, 181–193.

Zysset, S., Muller, K., Lohmann, G. et von Cramon, D. Y. (2001) 'Color-word Matching Stroop Task: Separating Interference and Response Conflict', *Neuroimage*, **13**, 29–36.

Annexe : Publications

Annexe a : Article publié dans International Journal of Psychophysiology

Willmann M., Langlet C., Hainaut J. P. et Bolmont B. (2012) 'The time course of autonomic parameters and muscle tension during recovery following a moderate cognitive stressor: Dependency on trait anxiety level', *International Journal of Psychophysiology*, **84**, 51–58.



The time course of autonomic parameters and muscle tension during recovery following a moderate cognitive stressor: Dependency on trait anxiety level

Magali Willmann, Cécile Langlet, Jean-Philippe Hainaut, Benoît Bolmont*

University of Lorraine, UFR SciFA, Dept STAPS-Metz, LASC (EA 3467) Emotions-Actions, Campus-Bridoux, Avenue Général Delestraint, 57070 Metz, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 31 August 2011
Received in revised form 6 January 2012
Accepted 7 January 2012
Available online 20 January 2012

Keywords:

Trait anxiety
State anxiety
Autonomic measures
Cognitive stressor
Muscle tension
Recovery

ABSTRACT

It has proved difficult to demonstrate the differences in physiological response in individuals with contrasting trait anxiety levels. The purpose of this study was to examine tonic autonomic activity and muscle tension in male subjects with different levels of trait anxiety during and especially after a stressful situation. Twenty-eight low anxiety (LA) and thirty-one high anxiety (HA) individuals performed a video-recorded Stroop color-word interference test. Heart rate, skin conductance level, finger temperature, electromyographic activity of gastrocnemius and trapezius muscles were recorded; state anxiety and valence of thought content were assessed. Physiological activity increased during the stressful situation, whatever the group. However, prolonged gastrocnemius muscle tension and prolonged decrease in finger temperature were found in HA subjects after the stressful situation, but not in LA subjects. These results suggest that physiological recovery following a moderate cognitive stressor could depend on trait anxiety level.

© 2012 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Exposure to stressful situations is typically associated with increased state anxiety and physiological modifications, such as activation of the sympathetic nervous system (e.g., increased heart rate, blood pressure, sweat gland activity, respiration rate, etc.), activation of the neuroendocrine system (e.g., cortisol) and increased muscle tension, in order to prepare a person to act ('fight or flight', Cannon, 1929). An important feature of state anxiety reaction is the apparent variability in similar stressful situations across individuals. This appears to be associated in large part with personality traits such as trait anxiety (e.g., Jezova et al., 2004). While state-anxiety is defined as a transitory emotional state characterized by subjective perceived feelings of tension and apprehension occurring in stressful situations, trait-anxiety refers to individual differences in the proneness of a person to experience anxiety reactions (Spielberger, 1972). This latent disposition leads subjects to perceive and to react in a specific manner (Spielberger, 1972). According to Eysenck (1992, 1997), high anxiety individuals interpret internal and external stimuli as being more threatening than low anxiety individuals do. These appraisal process biases in stressful situations lead them to have greater self-reported state anxiety (Baggett et al., 1996; Noteboom et al., 2001; Tang and Gibson, 2005) and greater self-reported physiological activation (Calvo and Cano-Vindel, 1997; Calvo and Eysenck, 1998; Mauss et al., 2004).

Recent studies that examine physiological activity such as tonic autonomic activity during stressful situations have shown contrasting results according to the level of trait anxiety (e.g., Arena and Hobbs, 1995; Hofmann and Kim, 2006; Mauss et al., 2003; Noteboom et al., 2001; Wilken et al., 2000). Individuals with higher trait anxiety compared to those with lower trait anxiety have a higher level of heart rate (HR) during public speaking tasks (Jezova et al., 2004) and a lower level of skin conductance (SCL) during cognitive stressful tasks (Wilken et al., 2000). In contrast, many studies have found no differences in HR, SCL and finger temperature between individuals higher in trait anxiety and those lower in trait anxiety during stressful situations such as mental stress (i.e., mental arithmetic), physical stress (i.e., cold pressor, electric shock) and social stress (i.e., speech tasks) (Arena and Hobbs, 1995; Baggett et al., 1996; Gonzalez-Bono et al., 2002; Mauss et al., 2003; Noteboom et al., 2001; Steptoe and Vögele, 1992). Similarly to results about the tonic autonomic activity in higher and lower anxiety individuals, muscle tension during stressful situations also showed contrasting results. No differences have been found between these subjects in frontalis electromyographic (EMG) activity during either mental stress or physical stress (Arena and Hobbs, 1995). In contrast, one study (Fridlund et al., 1986) investigated EMG activity from eight muscles (i.e., frontalis muscle, neck muscles and limb muscles) during severe auditory stressor (i.e., 105-dB binaural white noise stimulation) and showed higher EMG activity in individuals with higher trait anxiety compared to those with lower trait anxiety. This study was focused on a general tension factor and did not analyze the EMG activity of each muscle separately.

These results emphasize the difficulty in defining consistent physiological patterns related to level of trait anxiety. It should be noted

* Corresponding author. Tel.: +33 387 378 671.

E-mail address: bolmont@univ-metz.fr (B. Bolmont).

that most of the studies investigated physiological reactivity during a stressful situation, while the physiological recovery period has received little attention (Linden et al., 1997). Recovery period can be defined as a poststress rest period that provides information about the persistence of physiological arousal after the stressor is removed (Linden et al., 1997). This delayed physiological recovery following stressors may lead to somatic disease (Pieper and Brosschot, 2005; Heponiemi et al., 2007). Given the increasing evidence that prolonged stress responses are predictive of adverse health outcomes, the study of the physiological recovery presents growing interest and could have implications for clinical assessment (e.g., the subsequent development of therapeutic techniques for stress reduction) and the psychophysiology of anxiety. Interestingly, a study has found that slower heart rate recovery was associated with trait anxiety level after social stress (Calvo and Cano-Vindel, 1997). This study supports Davidson's assertion that individual differences in emotional reactivity could be characterized in part by temporal dynamics of affective response such as recovery time (Davidson, 1998). Physiological differences might emerge during recovery following a stressful event, depending on individual differences. In the present study, we hypothesized that subjects with different trait anxiety levels would differ in the time course of physiological activity during the recovery period following stressful situations. It was expected that subjects higher in trait anxiety would show prolonged physiological activity following stressful tasks compared to those lower in trait anxiety. Furthermore, it should be noted that previous studies have shown that prolonged physiological activation following stressors is related to perseverative cognition (Brosschot et al., 2006, 2010). In the present study we investigated whether the relationship between trait anxiety level and prolonged physiological recovery could be mediated by intrusive negative thoughts.

The aim of the present study was to compare the time course of physiological recovery in male subjects with contrasting trait anxiety levels after a stressful task. Two groups were constituted by selecting the subjects whose scores on trait anxiety were at the extremes of the distribution. The Stroop color-word interference test combined with video was selected as the stressor because it has been shown to be a reliable and valid method of inducing a moderate level of state-anxiety and transitory physiological modifications (Leite et al., 1999; Silva and Leite, 2000; Teixeira-Silva et al., 2004). The individuals' differences in physiological recovery may be specific to particular systems and will not necessarily generalize across systems (Davidson, 1998). Also, we selected several parameters from somatic and autonomic systems that have been demonstrated to be reactive to stressful situation (Chida and Hamer, 2008; Hazlett et al., 1994; Lundberg et al., 1994) and particularly to the stressful task used in the present study (Silva and Leite, 2000; Teixeira-Silva et al., 2004). We measured heart rate and skin conductance level, which are the most commonly employed autonomic measures (Mauss and Robinson, 2009), and the finger temperature in an exploratory way. As muscle tension seems to be an important physiological manifestation of anxiety (Hoehn-Saric and McLeod, 1993), we also chose to record EMG activity from two muscles characterized by different functions, localization and structure (i.e., gastrocnemius and trapezius muscles). These physiological measures were recorded in high anxiety and low anxiety groups during a task period and a recovery period under the control condition and the stressful condition.

2. Methods

2.1. Participants

Subject selection included a cohort of 109 males studying for a degree in Sport Sciences at the University who volunteered for this experiment. They completed the trait version of the State-Trait Anxiety Inventory (STAI, Spielberger et al., 1983) (mean T-score = 46.15, SD = 8.44). Two groups were formed using the top and bottom quartile

of the distribution of trait anxiety scores of the 109 male students. The 28 subjects with lower scores formed the Low Anxiety (LA) group (mean T-score = 36.89, SD = 3.21), whereas the 31 subjects with higher scores formed the High Anxiety (HA) group (mean T-score = 54.68, SD = 5.26). The LA group was within the lower 30% of a French normative sample and the HA group was within the top 50%. Data from four participants were removed from the physiological analyses due to artifacts and technical problems. All subjects gave their full informed consent prior to the study according to the declaration of Helsinki. They declared themselves to be free of psychiatric, neurological or cardiovascular diseases, to possess normal hearing and vision and to be non-smokers or occasional smokers (less than 5 cigarettes per day). None had alcoholic beverage consumption during the 48 h before the evaluation test and none were taking medication.

2.2. Self-report measures

State anxiety was assessed at the beginning of the experiment and for the Stroop tasks by means of the state version of the State-Trait Anxiety Inventory (STAI, Spielberger et al., 1983). This self-evaluated questionnaire consists of 20 items, each scored on a four-point scale. Self-evaluation of state anxiety was also assessed using a Visual Analog Scale (VAS) during the baseline periods and the recovery periods. Subjects were asked to assess how anxious they felt on a scale from 0 (not at all anxious) to 10 (extremely anxious).

Self-evaluation of the valence of thought content was assessed using a VAS during the baseline periods and the recovery periods. Subjects were asked to assess their thoughts on a scale from 0 (negative thoughts) to 10 (positive thoughts).

2.3. Physiological measures

Beat-to-beat HR was recorded with a Polar S810 HR monitor (Polar Electro, Kempele, Finland). An electrode transmitter belt (T61, Polar Electro; Kempele, Finland) was fitted to the chest of the subject as instructed by the manufacturer. All RR series data were extracted by means of dedicated software (Polar Precision Performance SW 4.03, Polar Electro). The data were visually inspected and occasional ectopic beats and missed beats were visually identified and manually replaced with interpolated adjacent R-R interval values (less than 5% of the data). Data from two subjects were excluded from physiological analyses due to excessive artifacts in those signals. The LA and HA groups did not differ in the amount of artifact removed. After artifact corrections HR was computed based on the RR series, which represents the successive interbeat intervals.

Surface EMG activity, skin conductance level (SCL) and finger temperature were recorded using the Biopac MP 150 system (Biopac System Inc., Santa Barbara, CA). These physiological signals were sampled at 2000 Hz and were analyzed off-line using AcqKnowledge 3.9 software.

Skin conductance level (SCL) was recorded with a constant voltage of 0.5 V across two electrodes placed on the palmar surface of the middle phalanges of the first and second fingers of the non-dominant hand. Ag/AgCl electrodes with a circular contact area of 6 mm were filled with an isotonic gel. The signal was amplified using a 5 $\mu\Omega$ gain and a 10 Hz low-pass. The time difference between attachment and recording was at least 10 min.

Finger temperature was measured using a thermal sensor attached to the little finger of the non-dominant hand by a piece of adhesive tape. The signal was amplified using a 5 °F gain and a 1 Hz low-pass.

Surface EMG activity was recorded from right medial gastrocnemius and upper trapezius muscles using self-adhesive disposable, pregelled Ag/AgCl electrodes. The electrodes were positioned on the middle portion of the belly of the gastrocnemius muscle (Hermens et al., 2000) and 20 mm laterally at the midpoint of a line between the C7 spinous process and the acromion for the trapezius muscle

(Jensen et al., 1993). Electrodes with a circular contact area 10 mm in diameter were placed parallel to the muscle fibers with 30 mm center-to-center spacing. Signals were amplified using a gain of 500 and band-pass filtered from 10 to 500 Hz. Muscle activity was defined as the root mean square (RMS) of the absolute filtered data. EMG data were first visually inspected for artifacts that were indicative of sudden unusual movements. Movement artifacts were defined as isolated burst of EMG activity (i.e., values two standard deviations higher than the mean of the segment) and were marked for exclusion from further analysis (less than 6% of the data). Data from two subjects were excluded from physiological analyses due to excessive artifacts in those signals. The LA and HA groups did not differ in the amount of artifact removed.

2.4. Control and stressful conditions

Under the control condition, the subjects were asked to perform a Stroop color-word test with no interference (the control task) that consisted of color words printed in congruent colors. This test consists in presenting a board to the participant with 100 of the color words blue, yellow, red, green and purple displayed in ten rows. The subjects had to name the color presented in sequence for 2 min.

Under the stressful condition, the subjects were asked to perform a Stroop color-word interference test (the stressful task), which consisted of color words printed in incongruent colors. The subjects had to say as quickly as possible the name of the colors seen but not the colors designated by the words. Hesitations or errors were indicated by means of a strident sound. Moreover, as used in procedures that simulate public performance, the subjects' performance was video recorded and shown on a TV screen placed in the visual field of the subject in order to increase state-anxiety (Silva and Leite, 2000).

2.5. Procedure

Volunteers participated in a 75 min experimental session that was conducted between 2:00 and 6:00 p.m. Subjects were seated in a comfortable armchair with a footrest and arm support in a temperature-controlled room. After the subjects signed the consent forms, they were asked to complete the STAI for state anxiety. When the electrodes and sensors were placed, they were told to find a comfortable position and to sit as still as possible during the experiment. The subjects performed first the control condition and then the stressful condition. Neither condition was counterbalanced in order to avoid a specific effect from the stressful condition on the control condition. Between conditions, the subjects had to watch a landscape film (i.e., neutral film) for 5 min. This neutral film is used to allow for extra time between the two conditions in order to allow physiological parameters to return to baseline level and to create a similar affective state in all subjects that was independent of the affective state evoked by the prior control condition. The procedure was similar for both conditions. The subjects rested for 3 min, and this was considered to be a baseline period. Then the subjects performed the Stroop task for 2 min followed immediately by a recovery period of 3 min.

After performing each condition, the subjects were asked to complete the STAI for state-anxiety on the basis of their general feelings during the Stroop tasks. The VAS for state-anxiety and valence of thought content were completed immediately after baseline periods and recovery periods on the basis of their feelings during these periods. The subjects had the instruction to close their eyes during the baseline periods and the recovery periods. Physiological parameters were recorded continuously throughout the conditions.

2.6. Statistical analysis

The *t* tests were performed to investigate whether there were pre-existing differences between the LA and the HA group for age and

BMI; Chi square comparisons were performed for smoking. To analyze task performance, repeated analysis of variance (ANOVA) was performed for the number of words, with group (LA, HA) as the between-subjects variable, and period (control task, stressful task) as the within-subjects variable. The *t* test was performed between groups for errors during the stressful task.

Repeated measures ANOVA was applied to state-anxiety with group (LA, HA) as the between-subjects variable, and period (baseline, control task, stressful task) as the within-subjects variable. Anxiety VAS was analyzed with a non-parametric test to assess differences between groups and rest periods. Repeated measures ANOVA was applied to valence of thought content with group (LA, HA) as the between-subjects variable, and condition (control, stressful) and period (baseline, recovery) as the within-subjects variables.

Physiological signals were averaged for the last 10 s of the baseline periods and over periods of 10 s for the Stroop tasks and the recovery periods. EMG activity was transformed logarithmically (Ln) to normalize the distribution. To evaluate the differences in physiological reactivity, repeated measures ANOVAs were performed for each physiological variable, with group (LA, HA) as the between-subjects variable, and condition (control, stressful) and period (baseline, task₁, task₂, ..., task₁₂) as the within-subjects variables. To evaluate the differences in physiological recovery, repeated measures ANOVAs were performed for each physiological variable, with group (LA, HA) as the between-subjects variable, and condition (control, stressful) and period (task₁₂, recovery₁, recovery₂, recovery₃) as the within-subjects variables. This time window was chosen because previous studies lead us to expect group differences during the early stage of recovery. Indeed, Mauss et al. (2003), assuming that recovery would be the ability to return to baseline quickly, suggested that group separations would occur earlier during the recovery period rather than later. Moreover, Roger and Jamieson (1988) have found elevated HR for the 15 s period after a 150 s Stroop task.

To test a priori hypothesis on differential recovery between the two groups, linear and quadratic trends from task₁₂ to recovery₃ between LA and HA individuals were performed for the stressful condition and the control condition separately. Significant linear and/or quadratic interactions were further investigated by means of simple effects tests in order to test trend components in each group. When appropriate, paired *t*-tests were additionally conducted to compare the LA and the HA group for each period. Bonferroni-adjusted *p* values are reported (i.e., the *p* value of the simple *t*-test \times 4 in accordance with the number of comparisons involved).

To test whether negative thoughts mediate the association between trait anxiety and physiological recovery, the Baron and Kenny (1986) method was conducted with trait anxiety as independent variable, slope of physiological recovery (i.e., slope from recovery₁ to recovery₃) as dependent variable and valence of thought content as mediator. In addition, bootstrap analyses were conducted to examine the indirect effect between the independent variable and the dependent variable (Preacher and Hayes, 2004).

The Greenhouse–Geisser correction for violation of sphericity was applied when appropriate. Partial eta squared (η_p^2) and Cohen's *d* values are reported in order to demonstrate the effect sizes. Post hoc comparisons were performed using Tukey's test. Statistical significance was accepted for $p < .05$.

3. Results

3.1. Demographic characteristics and task performance

Demographic characteristics for LA and HA individuals are presented in Table 1. No between-group differences were found for age, BMI and smoking. Analysis of task performance revealed no main effects of Group or Period, and no Group \times Period interaction. No

Table 1
Demographic characteristics by group.

	HA (n = 31)	LA (n = 28)
Age (years)	19.2 (1.2)	19.1 (1.2)
BMI (kg/m ²)	22.7 (2.9)	22.2 (2.3)
Smoking status	25 non smokers 6 occasional smokers	23 non smokers 5 occasional smokers
Trait anxiety	54.68 (5.26)	36.89 (3.21)

Note. Values are expressed as mean (SD); HA: high anxiety group; LA: low anxiety group; BMI: body mass index; occasional smoker: less than 5 cigarettes per day.

significant differences were found between the LA and the HA group for the errors during the stressful task.

3.2. Self-report measures

Changes in state-anxiety for the LA and the HA group are shown in Fig. 1A. Analysis of state-anxiety as measured by the STAI revealed significant main effects of Group ($F(1,57) = 30.15, p < .0001, \eta_p^2 = .35$) and Period ($F(2,114) = 48.64, p < .0001, \varepsilon = .86, \eta_p^2 = .46$) and a significant Group \times Period interaction ($F(2,114) = 3.25, p < .05, \varepsilon = .86, \eta_p^2 = .05$). Post hoc analysis showed a significant increase in state anxiety during the stressful task, no matter which group was compared to the baseline (both groups, $p < .001$) and the control task (both groups, $p < .001$). State anxiety was higher in HA group than in LA group for the control task ($p < .05$) and for the stressful task ($p < .001$). Analysis of anxiety VAS scores showed that the HA group reported higher VAS scores compared to the LA group for baseline periods and recovery periods (Control condition: baseline: $z = 3.28, p < .01, \text{recovery: } z = 2.01, p < .05$; Stressful condition: baseline $z = 2.56, p < .01, \text{recovery: } z = 3.48, p < .001$). The HA group reported higher VAS scores for the baseline before the control task compared to the baseline before the stressful task ($z = 2.75, p < .01$), but not the LA group. However, no differences between the recovery periods were found, whatever the group. Changes in the valence of

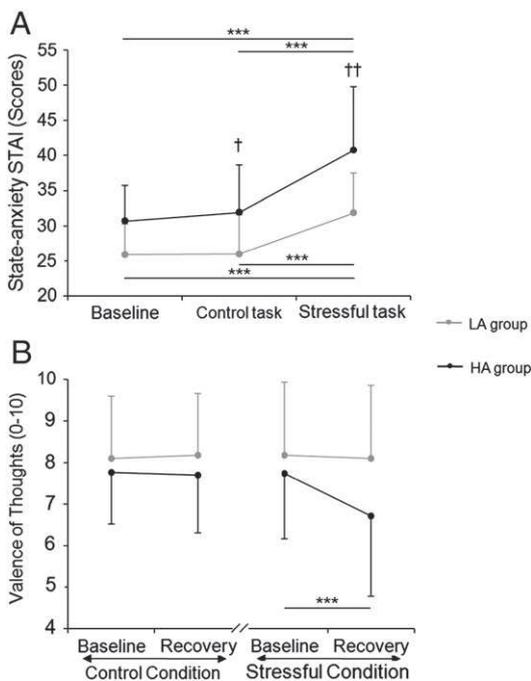


Fig. 1. State anxiety (A) during baseline, control task and stressful task, and valence of thought content (B) during baseline and recovery for control condition and stressful condition in low anxiety (LA) subjects and high anxiety (HA) subjects. Error bars represent standard deviation. Significant post hoc comparisons have been marked: differences between LA and HA groups: † $p < .05$, †† $p < .001$; differences between periods for each group: *** $p < .001$.

thought content for the LA and the HA group are shown in Fig. 1B. Analysis of valence of thought content revealed a significant Group \times Condition \times Period interaction ($F(1,57) = 3.85, p < .05, \eta_p^2 = .06$). Analysis of each condition separately showed a significant Group \times Period interaction for the stressful condition ($F(1,57) = 8.72, p < .01, \eta_p^2 = .13$) but not for the control condition. Post hoc analysis showed that the HA group reported more negative thoughts during recovery after the stressful task than during the baseline ($p < .001$) with no significant difference for the LA group.

3.3. Physiological measures

3.3.1. Physiological reactivity (Table 2)

There were significant Condition \times Period interactions for HR ($F(12,636) = 48.26, p < .0001, \varepsilon = .36, \eta_p^2 = .48$), SCL ($F(12,636) = 34.17, p < .0001, \varepsilon = .22, \eta_p^2 = .39$), finger temperature ($F(12,636) = 19.07, p < .0001, \varepsilon = .13, \eta_p^2 = .26$), gastrocnemius EMG activity ($F(12,636) = 19.94, p < .0001, \varepsilon = .30, \eta_p^2 = .27$) and trapezius EMG activity ($F(12,636) = 6.66, p < .001, \varepsilon = .27, \eta_p^2 = .11$). No interaction with group was found. Post hoc analysis indicated no differences between conditions in the baseline of all physiological variables, except for finger temperature which was lower during the baseline before the control task compared to the baseline before the stressful task ($p < .0001$). Post hoc analysis showed a significant increase in HR, SCL and trapezius EMG activity, and a significant decrease in finger temperature from baseline to task₁ for both conditions (for all, $p < .0001$) with greater modifications for the stressful condition. For gastrocnemius EMG activity post hoc analysis indicated a significant increase from baseline to task₄ for the control condition ($p < .05$) and from baseline to task₁ for the stressful condition ($p < .0001$). Post hoc analysis showed significantly higher HR, SCL, gastrocnemius EMG activity and trapezius EMG activity, and lower finger temperature during the stressful task compared to the control task (HR, SCL, finger temperature, gastrocnemius EMG activity: task₁ to task₁₂, $p < .0001$; trapezius EMG activity: task₁ $p < .01$, task₂ $p < .001$, task₃ to task₁₂ $p < .0001$).

3.3.2. Physiological recovery (Fig. 2)

There were significant Condition \times Period interactions for HR ($F(3,159) = 14.70, p < .0001, \varepsilon = .63, \eta_p^2 = .22$), SCL ($F(3,159) = 18.00, p < .0001, \varepsilon = .58, \eta_p^2 = .25$) and trapezius EMG activity ($F(3,159) = 11.95, p < .0001, \varepsilon = .55, \eta_p^2 = .18$). No interaction with group was found. Post hoc analysis showed significantly higher HR, SCL and trapezius EMG activity during the stressful condition compared to the control condition (HR: task₁₂ and recovery₁, $p < .0001$; SCL: task₁₂ to recovery₃, $p < .0001$; trapezius EMG activity: task₁₂ and recovery₁, $p < .0001$, recovery₂, $p < .001$). Furthermore, analysis of linear and quadratic trends indicated no significant Period \times Group interaction for the stressful condition and the control condition indicating that LA and HA subjects have similar recovery of HR, SCL and trapezius EMG activity.

For finger temperature there was a significant Condition \times Period \times Group interaction ($F(3,159) = 5.82, p = .01, \varepsilon = .38, \eta_p^2 = .10$). Post hoc analysis showed for each group significantly lower finger temperature during the stressful condition compared to the control condition from task₁₂ to recovery₃ ($p < .0001$). Analysis of trend showed a significant Period \times Group interaction for the linear trend for the stressful condition ($F(1,53) = 5.79, p = .02, \eta_p^2 = .10$) but not for the control condition, indicating a different recovery after the stressful task between the two groups. HA subjects have a marginally significant negative linear trend ($F(1,27) = 3.58, p = .06, \eta_p^2 = .12$), but not the LA subjects. Following the stressful task, whereas finger temperature did not change in the LA group, a decrease was observed in the HA group.

For gastrocnemius EMG activity there was a trend toward a significant Condition \times Period \times Group interaction ($F(3,159) = 2.93, p = .08, \varepsilon = .39, \eta_p^2 = .05$). Post hoc analysis showed significantly higher

Table 2
Means and standard deviations of the five physiological parameters during baseline and task periods for control condition (CC) and stressful condition (SC).

	Baseline	Task ₁	Task ₂	Task ₃	Task ₄	Task ₅	Task ₆	Task ₇	Task ₈	Task ₉	Task ₁₀	Task ₁₁	Task ₁₂
<i>Heart rate (bpm)</i>													
CC	66.26 (9.01)	72.72 (10.39)	71.69 (10.18)	71.78 (10.71)	71.51 (10.69)	71.59 (10.61)	71.09 (10.50)	70.86 (9.84)	71.40 (10.23)	71.64 (10.24)	71.93 (10.84)	72.39 (11.03)	71.46 (10.15)
SC	64.81 (8.88)	89.79 (14.71)	91.15 (15.55)	89.80 (16.50)	85.95 (15.33)	83.22 (14.93)	81.47 (13.83)	80.94 (14.48)	79.44 (13.97)	78.59 (14.39)	77.85 (13.58)	77.55 (13.04)	77.01 (12.92)
<i>Skin conductance level (μS)</i>													
CC	6.52 (3.61)	9.72 (4.44)	9.47 (4.25)	9.38 (4.22)	9.30 (4.20)	9.24 (4.17)	9.13 (4.13)	9.05 (4.14)	9.04 (4.19)	9.01 (4.15)	8.97 (4.11)	8.89 (4.11)	8.88 (4.19)
SC	6.89 (3.72)	12.23 (5.00)	12.02 (4.99)	11.77 (4.85)	11.64 (4.82)	11.49 (4.72)	11.43 (4.71)	11.33 (4.67)	11.22 (4.64)	11.21 (4.71)	11.13 (4.70)	11.01 (4.63)	10.98 (4.69)
<i>Finger temperature ($^{\circ}$C)</i>													
CC	31.59 (3.83)	31.08 (3.42)	31.07 (3.42)	31.05 (3.42)	31.03 (3.42)	31.01 (3.42)	31.00 (3.42)	30.99 (3.43)	30.99 (3.44)	30.99 (3.45)	31.00 (3.46)	31.00 (3.48)	31.01 (3.51)
SC	31.90 (3.63)	30.75 (3.17)	30.71 (3.16)	30.66 (3.15)	30.62 (3.14)	30.56 (3.12)	30.52 (3.11)	30.47 (3.11)	30.42 (3.10)	30.39 (3.10)	30.35 (3.10)	30.32 (3.10)	30.30 (3.10)
<i>Gastrocnemius–Ln EMG activity (μV)</i>													
CC	–0.11 (0.10)	–0.06 (0.16)	–0.05 (0.17)	–0.03 (0.19)	–0.01 (0.23)	0.01 (0.24)	0.01 (0.21)	0.03 (0.23)	0.04 (0.24)	0.05 (0.22)	0.04 (0.21)	0.03 (0.20)	0.04 (0.21)
SC	–0.10 (0.11)	0.08 (0.23)	0.18 (0.29)	0.24 (0.31)	0.27 (0.31)	0.31 (0.32)	0.33 (0.33)	0.32 (0.32)	0.33 (0.33)	0.33 (0.32)	0.31 (0.31)	0.32 (0.31)	0.34 (0.32)
<i>Trapezius–Ln EMG activity (μV)</i>													
CC	–0.03 (0.11)	0.03 (0.12)	0.05 (0.13)	0.05 (0.12)	0.05 (0.12)	0.06 (0.12)	0.06 (0.12)	0.08 (0.12)	0.07 (0.12)	0.07 (0.11)	0.08 (0.11)	0.08 (0.12)	0.07 (0.12)
SC	–0.01 (0.14)	0.08 (0.12)	0.11 (0.12)	0.13 (0.13)	0.14 (0.13)	0.15 (0.13)	0.16 (0.13)	0.16 (0.14)	0.18 (0.14)	0.18 (0.13)	0.19 (0.14)	0.19 (0.13)	0.19 (0.14)

gastrocnemius EMG activity during the stressful condition compared to the control condition for the HA group (task₁₂, $p < .0001$, recovery₁, $p < .01$) and for the LA group (task₁₂, $p < .0001$). Analysis of trend showed a significant Period \times Group interaction for the linear trend for the stressful condition ($F(1,53) = 4.04$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .07$) but not for the control condition, indicating a different recovery after the stressful task between the two groups. HA and LA subjects have a significant negative linear trend ($F(1,27) = 72.22$, $p < .0001$, $\eta_p^2 = .73$; $F(1,26) = 33.33$, $p < .0001$, $\eta_p^2 = .61$; respectively). Paired t -tests indicated a significantly higher EMG level in HA subjects compared to LA subjects for recovery₁ ($t(53) = 3.43$, $p = .004$, $d = .94$) but not for the stressful task₁₂, recovery₂ and recovery₃.

3.4. Relationship between valence of thought content and physiological recovery

Next, we examined whether valence of thought content mediated the association between trait anxiety and the slope of physiological recovery, using two series of regression analyses. Since recovery of HR, SCL and trapezius muscle tension were not associated with trait anxiety level, these physiological parameters were excluded from these analyses and only finger temperature and gastrocnemius EMG activity were included. Evidence to support a possible mediation requires satisfaction of four criteria which are tested in three regression equations (Baron and Kenny, 1986). The first regression indicated that trait anxiety level predicts valence of thought content ($\beta = -.38$, $p = .002$). The second regression indicated that trait anxiety level predicts recovery of finger temperature ($\beta = -.33$, $p = .01$) and gastrocnemius muscle tension ($\beta = -.35$, $p = .008$). The third regression indicated that valence of thought content predicts finger temperature recovery ($\beta = .34$, $p = .01$) and marginally gastrocnemius muscle tension recovery ($\beta = .23$, $p = .09$). When valence of thought content and trait anxiety level were entered together in the model, the effect of valence of thought content remained marginally significant ($\beta = .25$, $p = .08$) and the effect of trait anxiety level was reduced on finger temperature ($\beta = -.23$, $p = .10$), but this did not occur for gastrocnemius muscle tension. These regression analyses support that valence of thought content might be considered as a partial mediator of the relationship between trait anxiety and recovery of finger temperature. Bootstrap analysis was then conducted to confirm this finding. The indirect effects were estimated to lie between $-.019$ and $-.001$ with 95% confidence. Because zero is not in the 95% confidence interval, we can conclude that the indirect effect is significantly different from zero at $p < .05$. Thus, these results confirm that valence of thought content partially mediates the association between trait anxiety and recovery of finger temperature.

4. Discussion

Studies have failed to define consistent physiological patterns during stressful situations related to level of trait anxiety (e.g., Arena and Hobbs, 1995; Baggett et al., 1996; Mauss et al., 2003; Steptoe and Vögele, 1992). In line with Davidson's assertion (1998), the present study tested the hypothesis that the time course of tonic autonomic activity (heart rate, skin conductance level and finger temperature) and muscle tension might reveal discrepancies after stressful situations according to trait anxiety level. Although high anxiety (HA) subjects reported greater self-reported anxiety compared to low anxiety (LA) subjects in the stressful task, physiological activity increased similarly, whatever the group. During the recovery period following the stressful task, HA subjects have prolonged gastrocnemius muscle tension and prolonged decrease in finger temperature and have more negative thoughts compared to LA subjects.

State-anxiety, HR, SCL, gastrocnemius and trapezius muscle tension increased and finger temperature decreased significantly during the stressful task, whatever the group. These results are in agreement

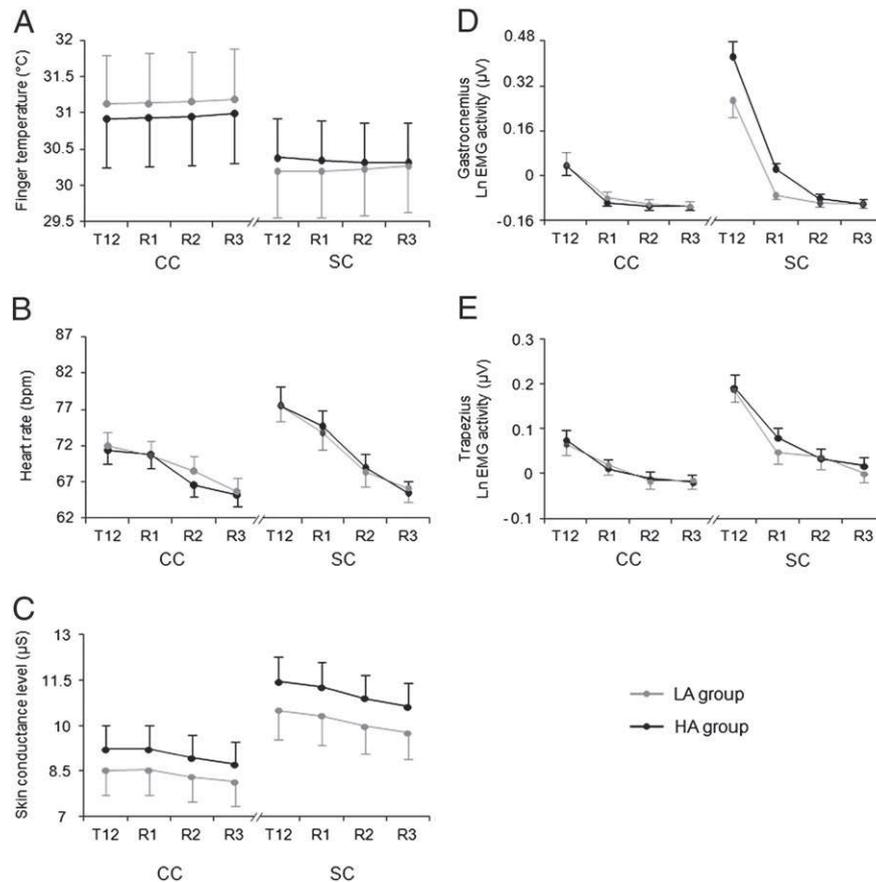


Fig. 2. Finger temperature (A), heart rate (B), skin conductance level (C), gastrocnemius EMG activity (D) and trapezius EMG activity (E) during task₁₂ (T12), recovery₁ (R1), recovery₂ (R2) and recovery₃ (R3) for control condition (CC) and stressful condition (SC) in low anxiety (LA) subjects and high anxiety (HA) subjects. Data represent physiological signals averaged over periods of 10 s. Error bars represent standard error of the mean.

with previous studies (Hainaut and Bolmont, 2006; Krantz et al., 2004; Leite et al., 1999; Lundberg et al., 1994; Silva and Leite, 2000; Teixeira-Silva et al., 2004; Tulen et al., 1989) that showed that the Stroop color-word interference test was efficient in eliciting a moderate increase in state anxiety and physiological modifications. Although HA subjects had a higher level of state-anxiety than LA subjects during the stressful task, our results showed no differences in physiological reactivity between both groups. The data are in agreement with previous studies (Baggett et al., 1996; Noteboom et al., 2001; Tang and Gibson, 2005) that reported greater self-reported state anxiety in subjects with higher trait anxiety. This could be due to cognitive biases leading the high anxiety individuals to overestimate the stressful situation (Eysenck, 1992). Although studies have shown group differences in physiological reactivity between individuals higher in trait anxiety and those lower in trait anxiety (Fridlund et al., 1986; Jezova et al., 2004; Wilken et al., 2000), our results seem to be in agreement with studies that have shown that HR, SCL, finger temperature and muscle tension did not differ as a function of trait anxiety levels during stressful situations (e.g., Arena and Hobbs, 1995; Baggett et al., 1996; Mauss et al., 2003; Noteboom et al., 2001; Steptoe and Vögele, 1992). These findings lend support to the position that trait anxiety level could influence self-report of state-anxiety in subjects exposed to a moderate cognitive stressor while physiological reactivity does not seem to differ according to trait anxiety level.

After exposure to the stressful situation, compared with LA subjects, HA subjects have prolonged gastrocnemius muscle tension and prolonged decrease in finger temperature but this did not occur for HR, skin conductance level and trapezius muscle tension. To the best of our knowledge, there is very limited research that has

investigated the relationship between trait anxiety level and physiological recovery following stressful situations. A previous study has shown no relationship between trait anxiety level and electrodermal recovery time while trait anxiety may be associated with HR recovery following social stress (Calvo and Cano-Vindel, 1997). Although we obtained similar data for SCL, suggesting no effect of trait anxiety on recovery of this parameter, our results do not support the HR findings. This could be explained by methodological discrepancies, such as the type of stressor used (social stress vs cognitive stress) and the sample used. Indeed, studies have found higher heart rate during stressful task and recovery in women compared to men (Girdler et al., 1990; Kudielka et al., 2004). Thus, contrasted results could be due to the fact that subjects participating in the current study were males while Calvo and Cano-Vindel (1997) used a sample of 118 women and 48 men. Moreover our results showed that finger temperature recovery seems to be related to trait anxiety level. Significant linear interaction between groups indicates a different recovery after the stressful task between LA and HA individuals. Finger temperature did not change in the LA group, whereas finger temperature decreased in the HA group. Previous studies have shown that stress alters skin temperature due to changes of peripheral vasomotor activity (Shusterman and Barnea, 1995; Shusterman et al., 1997). Peripheral vasoconstriction reduces peripheral blood flow, thus leading to reduced finger temperature. Following the stressful task, finger temperature in HA subjects compared to LA subjects continued to decrease, suggesting prolonged peripheral vasoconstriction mediated through the sympathetic nervous system. Interestingly, Brosschot et al. (2006, 2010) suggested that perseverative cognition, as manifested in worry and rumination, is associated with prolonged sympathetic nervous system activity. Classically, subjects higher in trait

anxiety worry more than those lower in trait anxiety (Eysenck and Van Berkum, 1992). Our results showed that HA subjects have more negative thoughts during recovery following the stressful task but this did not occur for LA subjects. Thus, we suggest that prolonged decrease in finger temperature in HA subjects could be due to negative thoughts during recovery following the stressful task. In line with these data, we carried out supplementary statistical analyses to test whether negative thoughts could mediate the association between trait anxiety and finger temperature recovery. Results showed that negative thoughts partially mediated this association. It should be noted that there are certainly other mediators (e.g., automatic vigilance and/or coping) involved. For example, automatic vigilance (i.e., 'the increased sensitivity of attentional system for stressor related information', Verkuil et al., 2009) could persist after the stressful task in individuals with higher trait anxiety and cause prolonged decrease in finger temperature. Finally, finger temperature among parameters of autonomic nervous system, could differ according to different trait anxiety levels during recovery following a moderate cognitive stressor.

Contrasting results have been found for gastrocnemius and trapezius muscles according to trait anxiety. Whereas no difference has been found between groups for recovery of trapezius muscle tension, results showed a significant linear interaction between groups for gastrocnemius EMG activity after the stressful task, indicating a different recovery between the LA and HA individuals. Although the two groups showed a significant decrease in gastrocnemius muscle tension after the stressful task, results further showed that HA subjects have higher gastrocnemius muscle tension during the first 10 s of recovery following the stressful task compared to LA subjects. Moreover, the HA group has higher gastrocnemius muscle tension during the first 10 s after the stressful task compared to the control task, but not the LA group. This is in line with previous studies that have found response specificity within the skeletal muscles according to personality trait (Goldstein et al., 1964; Heath et al., 1967; Shipman et al., 1964). In addition, a more recent study has reported among six muscles recorded a trend toward higher gastrocnemius muscle tension in generalized anxiety disorders (GAD) patients following a speech task than in control subjects (Conrad et al., 2008). In agreement with these studies, our results could suggest a potential link between trait anxiety level and recovery of specific muscles. Particularly, recovery of gastrocnemius muscle tension could depend on trait anxiety level. It should be noted that recovery time is different in the trapezius muscle and the gastrocnemius muscle following the stressful task. This different recovery time could depend on muscle types and could be related to firing rate modulation of motor units or biochemical changes in metabolites (Kimura et al., 2007).

Although the perseverative cognition hypothesis is mainly associated with prolonged sympathetic nervous system activity, we suggest that negative thoughts in HA subjects could also have delayed muscle tension recovery of specific muscles (i.e., gastrocnemius muscle), mediated through somatic nervous system. However analyses did not confirm a mediating role of negative thoughts on the relationship between trait anxiety and recovery of gastrocnemius muscle tension. This suggests that other potential mediators could perhaps explain the effect of trait anxiety on recovery of gastrocnemius muscle tension (e.g., automatic vigilance and/or coping). It should be noted that the significant difference between LA and HA groups in recovery of gastrocnemius muscle tension could also be due to individual differences in gastrocnemius EMG activity during the stressful task. Although between-group differences do not reach the statistical level of significance, graphically HA group showed a higher level of gastrocnemius EMG activity than LA group during the end of the stressful task.

Finally, our results showed that some parameters of different response systems (i.e., somatic nervous system and autonomic nervous system) involved in recovery following a moderate cognitive stressor

vary according to trait anxiety level. These suggest that differences between higher and lower anxiety individuals could be found across response systems but will not necessarily generalize across one response system. From the standpoint of preparing for 'fight or flight' (Cannon, 1929), prolonged gastrocnemius muscle tension and prolonged decrease in finger temperature in HA subjects after the stressful task could maintain a state of action readiness.

A number of limitations should be mentioned. First, because in the present study we manipulated affective state, we did not counterbalance the order of control condition and stressful condition to avoid carry-over effects. For example, we did not ensure that all physiological modifications due to the stressful task such as neuroendocrine changes would return to baseline level during a determined rest period. Second, the investigation of individual differences in the time course of physiological responses is fraught with conceptual and methodological difficulties. In the present study, we choose to analyze physiological signals over a period of 10 s during the task and, in line with previous studies (Mauss et al., 2003; Roger and Jamieson, 1988), during the first 30 s of post-stress recovery. However, other experiments should adapt time windows according to stressor type, intensity and duration. Third, a visual analog scale was used to assess the valence of thought content. The use of a continuous measurement (e.g., how long subjects think about the task? how often? how many?) could have led to better characterization of thoughts and is warranted for use in future studies. Fourth, although between-group differences do not reach the statistical level of significance, graphically HA group showed a higher level of gastrocnemius EMG activity than LA group during the stressful task. Further experiments are needed to determine whether differences between LA and HA group during the recovery period could be due partly or solely to individual differences in gastrocnemius muscle tension during the stressful task or to others potential mediators. This study provides an initial insight into muscle tension recovery following stressful situations according to trait anxiety level. The number of muscles from which recordings were obtained was limited, and therefore does not allow generalization to other muscles. Future studies are required to assess whether the current findings can be extended to other muscle groups. Fifth, we used only LA and HA as participants, in future studies it will be important to assess physiological recovery following stressful situations in more diverse samples including very high anxiety individuals and clinical populations such as GAD patients in order to examine whether the present findings could be generalized to anxious populations. In addition, given the studies that have found gender differences in physiological activity during stressful task and recovery (e.g., Girdler et al., 1990; Kudielka et al., 2004) it would be relevant to extend this research question to female participants. Finally, the procedure used a moderate cognitive stressor. Feczir et al. (2008) showed different physiological responses in different stress tasks such as the color-word interference test, a mental arithmetic task and a speaking task. Thus, studies with different types of stressor and with different stressor intensity may provide additional information on the relation between trait anxiety and the time course of physiological recovery.

To conclude, our study presents features of the time course of tonic autonomic activity (heart rate, skin conductance level and finger temperature) and muscle tension in male subjects with contrasted trait anxiety level exposed to a moderate cognitive stressor. Physiological activity increases during the stressful task, whatever the group. However, recovery of finger temperature and gastrocnemius muscle tension following the stressful task could depend on trait anxiety level. Our results further suggest a relationship between trait anxiety level and recovery of some parameters of different response systems. Given studies that have shown that prolonged physiological recovery following stressors may predict somatic complaints (Brosschot et al., 2006), the present results highlight the importance of examining physiological recovery following stressful events in

subjects with different levels of trait anxiety. Therefore, investigating physiological recovery following more severe stressor or during daily life in individuals from the whole range of trait anxiety could be of interest for future research and for health outcomes.

Acknowledgments

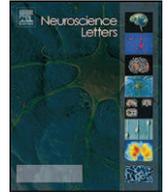
The authors express sincere appreciation to the referees for their helpful comments and suggestions on an earlier version of the manuscript.

References

- Arena, J.G., Hobbs, S.H., 1995. Reliability of psychophysiological responding as a function of trait anxiety. *Biofeedback and Self-Regulation* 20, 19–37.
- Baggett, H.L., Saab, P.G., Carver, C.S., 1996. Appraisal, coping, task performance, and cardiovascular responses during the evaluated speaking task. *Personality and Social Psychology Bulletin* 22, 483–494.
- Baron, R.M., Kenny, D.A., 1986. The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology* 51, 1173–1182.
- Brosschot, J.F., Gerin, W., Thayer, J.F., 2006. The perseverative cognition hypothesis: a review of worry, prolonged stress-related physiological activation, and health. *Journal of Psychosomatic Research* 60, 113–124.
- Brosschot, J.F., Verkuil, B., Thayer, J.F., 2010. Conscious and unconscious perseverative cognition: is a large part of prolonged physiological activity due to unconscious stress? *Journal of Psychosomatic Research* 69, 407–416.
- Calvo, M.G., Cano-Vindel, A., 1997. The nature of trait anxiety: cognitive and biological vulnerability. *European Psychologist* 2, 301–312.
- Calvo, M.G., Eysenck, M.W., 1998. Cognitive bias to internal sources of information in anxiety. *International Journal of Psychology* 33, 287–299.
- Cannon, W.B., 1929. *Bodily Changes in Pain, Hunger, Fear, and Rage*. D. Appleton, New York.
- Chida, Y., Hamer, M., 2008. Chronic psychosocial factors and acute physiological responses to laboratory-induced stress in healthy populations: a quantitative review of 30 years of investigations. *Psychological Bulletin* 134, 829–885.
- Conrad, A., Isaac, L., Roth, W.T., 2008. The psychophysiology of generalized anxiety disorder: 1. pretreatment characteristics. *Psychophysiology* 45, 366–376.
- Davidson, R.J., 1998. Affective style and affective disorders: perspectives from affective neuroscience. *Cognition & Emotion* 12, 307.
- Eysenck, M.W., 1992. *Anxiety: The Cognitive Perspective*. Lawrence Erlbaum, Howe.
- Eysenck, M.W., 1997. *Anxiety and Cognition: A Unified Theory*. Psychology Press, Howe.
- Eysenck, M.W., Van Berkum, J., 1992. Trait anxiety, defensiveness, and the structure of worry. *Personality and Individual Differences* 13, 1285–1290.
- Fechir, M., Schlereth, T., Purat, T., Kritzmann, S., Geber, C., Eberle, T., Gamer, M., Birklein, F., 2008. Patterns of sympathetic responses induced by different stress tasks. *Open Neurology Journal* 2, 25–31.
- Fridlund, A.J., Hatfield, M.E., Cottam, G.L., Fowler, S.C., 1986. Anxiety and striate-muscle activation: evidence from electromyographic pattern analysis. *Journal of Abnormal Psychology* 95, 228–236.
- Girdler, S.S., Turner, J.R., Sherwood, A., Light, K.C., 1990. Gender differences in blood pressure control during a variety of behavioral stressors. *Psychosomatic Medicine* 52, 571–591.
- Goldstein, I.B., Grinker, R.R., Heath, H.A., Oken, D., Shipman, W.G., 1964. Study in psychophysiology of muscle tension. I. response specificity. *Archives of General Psychiatry* 11, 322–330.
- Gonzalez-Bono, E., Moya-Albiol, L., Salvador, A., Carrillo, E., Ricarte, J., Gomez-Amor, J., 2002. Anticipatory autonomic response to a public speaking task in women: the role of trait anxiety. *Biological Psychology* 60, 37–49.
- Hainaut, J., Bolmont, B., 2006. Moderate state-anxiety differently modulates visual and auditory response times in normal- and very low trait-anxiety subjects. *Neuroscience Letters* 395, 129–132.
- Hazlett, R.L., McLeod, D.R., Hoehn-Saric, R., 1994. Muscle tension in generalized anxiety disorder: elevated muscle tonus or agitated movement? *Psychophysiology* 31, 189–195.
- Heath, H.A., Oken, D., Shipman, W.G., 1967. Muscle tension and personality. A serious second look. *Archives of General Psychiatry* 16, 720–726.
- Heponiemi, T., Elovainio, M., Pulkki, L., Puttonen, S., Raitakari, O., Keltikangas-Järvinen, L., 2007. Cardiac autonomic reactivity and recovery in predicting carotid atherosclerosis: the cardiovascular risk in young Finns study. *Health Psychology* 26, 13–21.
- Hermens, H.J., Frenks, B., Disselhorst-Klug, C., Rau, G., 2000. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 10, 361–374.
- Hoehn-Saric, R., McLeod, D.R., 1993. Somatic manifestations of normal and pathological anxiety. In: Hoehn-Saric, R., McLeod, D.R. (Eds.), *Biology of Anxiety Disorders*. American Psychiatric Press, Washington, DC.
- Hofmann, S.G., Kim, H., 2006. Anxiety goes under the skin: behavioral inhibition, anxiety, and autonomic arousal in speech-anxious males. *Personality and Individual Differences* 40, 1441–1451.
- Jensen, C., Vasseljen, O., Westgaard, R.H., 1993. The influence of electrode position on bipolar surface electromyogram recordings of the upper trapezius muscle. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 67, 266–273.
- Jezova, D., Makatsori, A., Duncko, R., Moncek, F., Jakubek, M., 2004. High trait anxiety in healthy subjects is associated with low neuroendocrine activity during psychosocial stress. *Progress in Neuropsychopharmacology Biological Psychiatry* 28, 1331–1336.
- Kimura, M., Sato, H., Ochi, M., Hosoya, S., Sadoyama, T., 2007. Electromyogram and perceived fatigue changes in the trapezius muscle during typewriting and recovery. *European Journal of Applied Physiology* 100, 89–96.
- Krantz, G., Forsman, M., Lundberg, U., 2004. Consistency in physiological stress responses and electromyographic activity during induced stress exposure in women and men. *Integrative Physiological and Behavioral Science* 39, 105–118.
- Kudielka, B.M., Buske-Kirschbaum, A., Hellhammer, D.H., Kirschbaum, C., 2004. Differential heart rate reactivity and recovery after psychosocial stress (TSST) in healthy children, younger adults, and elderly adults: the impact of age and gender. *International Journal of Behavioral Medicine* 11, 116–121.
- Leite, J.R., Seabra, M.D.L., Sartori, V.A., Andreatini, R., 1999. The video-recorded Stroop Color-Word test as a new model of experimentally-induced anxiety. *Progress in Neuropsychopharmacology Biological Psychiatry* 23, 809–822.
- Linden, W., Earle, T.L., Gerin, W., Christenfeld, N., 1997. Physiological stress reactivity and recovery: conceptual siblings separated at birth? *Journal of Psychosomatic Research* 42, 117–135.
- Lundberg, U., Kadefors, R., Melin, B., Palmerud, G., Hassmén, P., Engström, M., Elfsberg Dohns, I., 1994. Psychophysiological stress and EMG activity of the trapezius muscle. *International Journal of Behavioral Medicine* 1, 354–370.
- Mauss, I.B., Robinson, M.D., 2009. Measures of emotion: a review. *Cognition & Emotion* 23, 209–237.
- Mauss, I.B., Wilhelm, F.H., Gross, J.J., 2003. Autonomic recovery and habituation in social anxiety. *Psychophysiology* 40, 648–653.
- Mauss, I.B., Wilhelm, F.H., Gross, J.J., 2004. Is there less to social anxiety than meets the eye? Emotion experience, expression, and bodily responding. *Cognition & Emotion* 18, 631–642.
- Noteboom, J.T., Barnholt, K.R., Enoka, R.M., 2001. Activation of the arousal response and impairment of performance increase with anxiety and stressor intensity. *Journal of Applied Physiology* 91, 2093–2101.
- Pieper, S., Brosschot, J.F., 2005. Prolonged stress-related cardiovascular activation: is there any? *Annals of Behavioral Medicine* 30, 91–103.
- Preacher, K.J., Hayes, A.F., 2004. SPSS and SAS procedures for estimating indirect effects in simple mediation models. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 36, 717–731.
- Roger, D., Jamieson, J., 1988. Individual differences in delayed heart-rate recovery following stress: the role of extraversion, neuroticism and emotional control. *Personality and Individual Differences* 9, 721–726.
- Shipman, W.G., Oken, D., Goldstein, I.B., Grinker, R.R., Heath, H.A., 1964. Study in psychophysiology of muscle tension. II. personality factors. *Archives of General Psychiatry* 11, 330–345.
- Shusterman, V., Barnea, O., 1995. Spectral characteristics of skin temperature indicate peripheral stress-response. *Biofeedback and Self-Regulation* 20, 357–367.
- Shusterman, V., Anderson, K.P., Barnea, O., 1997. Spontaneous skin temperature oscillations in normal human subjects. *American Journal of Physiology* 273, 1173–1181.
- Silva, F.T., Leite, J.R., 2000. Physiological modifications and increase in state anxiety in volunteers submitted to the Stroop Color-Word Interference Test: A preliminary study. *Physiology & Behavior* 70, 113–118.
- Spielberger, C.D., 1972. Anxiety as an emotional state. In: Spielberger, C.D. (Ed.), *Anxiety: Current Trends in Theory and Research*. Academic Press, New York.
- Spielberger, C.D., Gorsuch, R.L., Lushene, R., Vagg, P.R., Jacobs, G.A., 1983. *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory*. Consulting Psychologists Press, Palo Alto, CA.
- Steeptoe, A., Vögele, C., 1992. Individual differences in the perception of bodily sensations: the role of trait anxiety and coping style. *Behaviour Research and Therapy* 30, 597–607.
- Tang, J., Gibson, S.J., 2005. A psychophysical evaluation of the relationship between trait anxiety, pain perception, and induced state anxiety. *The Journal of Pain* 6, 612–619.
- Teixeira-Silva, F., Prado, G.B., Ribeiro, L.C.G., Leite, J.R., 2004. The anxiogenic video-recorded Stroop Color-Word Test: psychological and physiological alterations and effects of diazepam. *Physiology & Behavior* 82, 215–230.
- Tulen, J.H., Moleman, P., van Steenis, H.G., Boomsma, F., 1989. Characterization of stress reactions to the Stroop Color Word Test. *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 32, 9–15.
- Verkuil, B., Brosschot, J.F., de Beurs, D.P., Thayer, J.F., 2009. Effects of explicit and implicit perseverative cognition on cardiac recovery after cognitive stress. *International Journal of Psychophysiology* 74, 200–228.
- Wilken, J.A., Smith, B.D., Tola, K., Mann, M., 2000. Trait anxiety and prior exposure to non-stressful stimuli: effects on psychophysiological arousal and anxiety. *International Journal of Psychophysiology* 37, 233–242.

Annexe b : Article publié dans Neuroscience Letters

Willmann M. et Bolmont B. (2012) 'The trapezius muscle uniquely lacks adaptive process in response to a repeated moderate cognitive stressor', *Neuroscience Letters*, **506**, 166-169.



The trapezius muscle uniquely lacks adaptive process in response to a repeated moderate cognitive stressor

Magali Willmann, Benoît Bolmont*

Université Paul Verlaine-Metz, UFR SciFa, Dept STAPS, LASC (EA 3467) Emotions-Actions, Campus-Bridoux, Avenue Général Delestraint, 57070 Metz, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19 September 2011

Received in revised form 25 October 2011

Accepted 31 October 2011

Keywords:

State-anxiety

Moderate cognitive stressor

Muscle tension

Adaptive process

EMG reactivity

ABSTRACT

The aim of this study was to examine the adaptive process of muscular responses in healthy subjects over two repeated exposures to the same moderate cognitive stressor. The electromyographic (EMG) activity of the flexor pollicis brevis, biceps brachii, triceps brachii, trapezius, gastrocnemius and soleus muscles was recorded in 35 males during video-recorded Stroop color-word interference tests. The results showed lower EMG activity in all muscles during the second exposure to the stressful task, but not in the trapezius muscle. These findings could help to the understanding of the role of stressful situations in the development of musculoskeletal disorders.

© 2011 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

Exposure to psychological stress is typically associated with increased state anxiety and physiological modifications, such as increased muscle tension, which is an important component of the defense response. However, some studies have shown that increased EMG activity under psychological stress in repetitive work could lead muscular complaints [1,15,22]. Although studies have examined muscular adaptation processes to repeated stressful situations, they have used negative stressful stimulations of short duration, mainly auditory stimulus, and recorded facial muscles (e.g., [12]). Consistent with the stress models that emphasize the health risk associated with repeated exposure to stress (e.g., [14]), and to better understand the musculoskeletal disorders, it could be relevant to study muscular adaptation processes to repeated psychological stress of longer duration which seems to be more ecologic.

Thus, the aim of the present study was to examine the adaptive process of the muscular responses in healthy subjects over two repeated exposures to the same psychological stressor. Since previous studies had largely shown that gastrocnemius and trapezius muscles are very responsive to stressful situations [2,6,11,19], and that psychological stress could be a risk factor for the development of complaints in the neck region [1,9,21], we selected these muscles along with others that have different functions and characteristics (i.e., the flexor pollicis brevis, biceps brachii, triceps brachii and soleus muscles). The EMG activity of these muscles was recorded in healthy subjects during a control task and two successive stressful tasks. We expected different adaptive processes between muscles

during the second exposure to the stressful task. We used the Stroop color-word interference test combined with video (i.e., a cognitive task) as the psychological stressor because it has been shown to be a valid method of inducing a moderate level of state anxiety and increased muscle tension, notably for gastrocnemius and trapezius muscles [6,11,19].

Thirty-five male volunteers (mean age: 19.82 ± 1.25) studying for a university degree in sports sciences were selected for this experiment. Trait anxiety scores (STAI [18]) ranged between 29 and 46 (mean score: 37.06 ± 3.95). Data from four participants were removed from the analyses due to EMG artefacts and extreme outliers. All subjects gave their full informed consent prior to the study according to the declaration of Helsinki. They declared themselves to be free of psychiatric, neurological or cardiovascular diseases, to possess normal hearing and vision, and to be non-smokers or occasional smokers (less than 5 cigarettes per day). None had alcoholic beverage consumption during the 48 h before the evaluation test and none of them was taking medication.

State and trait anxiety were assessed using the STAI Y1 and Y2 forms [18], respectively. These two self-evaluated questionnaires consist of 20 items, each scored on a four-point scale. While state-anxiety is defined as a transitory emotional state characterized by subjective perceived feelings of tension and apprehension occurring in stressful situations, trait-anxiety refers to individual differences in the proneness of a person to develop state anxiety [17].

Surface EMG activity was recorded using the Biopac MP 150 system (Biopac System Inc., Santa Barbara, CA). The EMG signals were analyzed off-line using AcqKnowledge 3.9 software. Surface EMG activity was recorded from the right gastrocnemius (medial head), soleus, upper trapezius, triceps brachii (lateral head) and biceps

* Corresponding author. Tel.: +33 387 378 671; fax: +33 387 378 603.

E-mail address: bolmont@univ-metz.fr (B. Bolmont).

Table 1State-anxiety (mean \pm SD) and task performance (mean \pm SD) during baseline, control task, stressful task 1 and stressful task 2.

	Baseline	Control task	Stressful task 1	Stressful task 2
State-anxiety (STAI)	26.69 \pm 4.93	26.00 \pm 4.41	32.86 \pm 6.46 ^{**} , [†]	30.29 \pm 6.06 ^{**} , [‡]
Task performance		136.02 \pm 33.38	122.23 \pm 24.28	139.66 \pm 22.84 [†]

^{**} Significantly different from baseline ($p < .001$).[‡] Significantly different from control task ($p < .001$).[†] Significantly different from stressful task 1 ($p < .05$).

brachii muscles using self-adhesive disposable, pregelled Ag/AgCl electrodes and from the right flexor pollicis brevis muscles using Ag/AgCl electrodes with electrically conductive gel. The electrodes were positioned along the belly of the gastrocnemius (medial head), soleus, triceps brachii (lateral head), biceps brachii and flexor pollicis brevis muscles [3], 20 mm laterally at the midpoint of a line between the C7 spinous process and the acromion for the upper trapezius muscle [4]. Electrodes with a circular contact area 10 mm in diameter were placed parallel to the muscle fibers with 30 mm, center-to-center spacing, and for the flexor pollicis brevis muscle, electrodes with a circular contact area 8 mm in diameter were placed parallel to the muscle fibers with 10 mm, center-to-center spacing. A device was used to ensure that the subject's thumb rested in a fixed position placed on a button. An additional ground electrode was placed on the left wrist. The EMG signals were sampled at 2 kHz, amplified by a gain of 500, band-pass filtered from 10 to 500 Hz. A root mean square (RMS) filter was applied to the raw EMG data for each of the six muscles. EMG data were first visually inspected for artefacts that were indicative of sudden unusual movements. Contaminated epochs were marked for exclusion from further analysis. EMG activity was recorded continuously throughout the experiment.

Under the control condition, the subjects were asked to perform a Stroop color-word test with no interference (the control task) that consisted of color words printed in congruent colors. This test consists in presenting a board to the participant with 100 of the color words blue, yellow, red, green and purple displayed in ten rows. The subjects had to name the color presented in sequence for 2 min at a normal reading tempo. Before the beginning of the experiment, subjects performed a training session for the control task.

Under the stressful condition, the subjects were asked to perform a Stroop color-word interference test (the stressful task) which consisted in color words printed in incongruent colors. The subjects had to say as quickly as possible the name of the colors seen but not the colors designated by the words. Hesitations or errors were indicated by means of a strident sound. Moreover, as in procedures that simulate public performance, the subjects' performance was video recorded and shown on a TV screen placed in the visual field of the subject in order to increase state-anxiety [16]. Furthermore, in order to maintain the anxiogenic characteristics of the task, subjects did not receive any training.

Volunteers participated in a 75 min experimental session that was conducted between 2:00 and 6:00 p.m. Subjects were seated

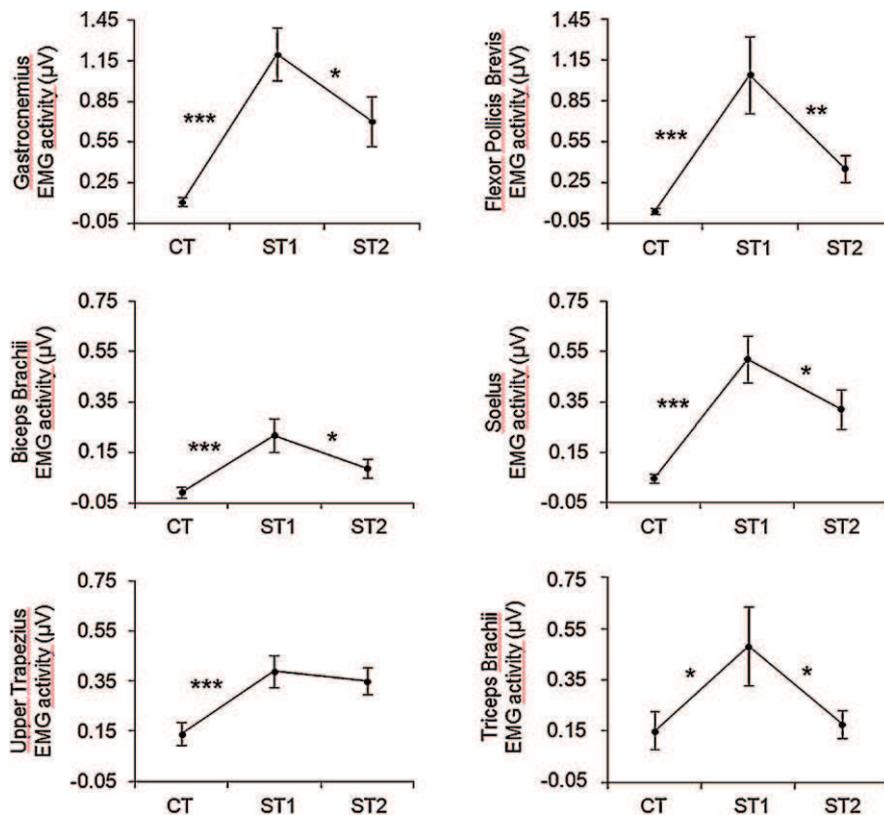


Fig. 1. EMG activity of gastrocnemius, flexor pollicis brevis, biceps brachii, soleus, upper trapezius and triceps brachii muscles during the control task (CT), stressful task 1 (ST1) and stressful task 2 (ST2). Error bars represent the standard error of the mean. Significant post hoc comparisons have been marked: ^{***} $p < .001$, ^{**} $p < .01$, ^{*} $p < .05$.

in a comfortable armchair with a footrest, headrest and arm support in a temperature-controlled room. Hence, posture was constant across the experiment. After the subjects signed the consent forms, they were asked to complete the STAI for state anxiety. When the electrodes had been placed, they were told to find a comfortable position and to sit as still as possible during the experiment. The subjects performed the control condition first and then two stressful conditions. The procedure was similar for the three conditions. The subjects rested for 3 min, and this was considered to be a baseline period. The subjects performed a Stroop task for 2 min followed by a recovery period of 3 min in order to allow physiological parameters to return to baseline level. The subjects were instructed to close their eyes during the baseline periods and the recovery periods. After performing each condition, the subjects were asked to complete the STAI for state-anxiety on the basis of their general feelings during the Stroop tasks.

The EMG activity of each muscle was averaged for baseline periods and Stroop tasks. Following previous research (e.g., [7]), for each muscle, EMG data from the Stroop tasks that were 3 *SD* above the grand mean were considered outliers and removed. EMG reactivity was measured as change scores representing the difference between activity during the Stroop tasks and the baseline periods. Repeated analyses of variance (ANOVAs) were performed for each muscle with condition (control task, stressful task 1, stressful task 2) as factor. Repeated ANOVA was applied to state-anxiety with condition (baseline, control task, stressful task 1, stressful task 2) as factor. To analyze task performance (i.e., quantified as the number of words read during each Stroop task), repeated ANOVA was performed for the number of words with condition (control task, stressful task 1, stressful task 2) as factor. The Greenhouse–Geisser correction for violation of sphericity was applied when appropriate. Partial eta squared (η_p^2) values are reported in order to demonstrate the effect sizes. Post hoc comparisons were performed using Tukey's test. Statistical significance was accepted for $p < .05$.

Changes in state-anxiety are shown in Table 1. Analysis of state anxiety as measured by the STAI revealed a significant main effect of condition ($F(3,102) = 27.85, p < .0001, \varepsilon = .75, \eta_p^2 = .45$). Post hoc analysis showed a significant increase in state anxiety during the stressful task 1 and the stressful task 2 compared to the baseline ($p < .001$) and the control task ($p < .001$), and a decrease in state anxiety during the stressful task 2 compared to the stressful task 1 ($p = .02$).

Changes in task performance are shown in Table 1. Analysis of task performance revealed a significant main effect of condition for the number of word ($F(2,68) = 4.48, p < .05, \varepsilon = .57, \eta_p^2 = .12$). Post hoc analysis showed that subjects read more word in the stressful task 2 compared to the stressful task 1 ($p = .02$) and marginally less word in the stressful task 1 compared to the control task ($p = .07$).

No differences between the baseline periods for the control condition and the two stressful conditions were found for EMG activity of all muscles. Changes in EMG activity during the control task and the two stressful tasks for each of the six muscles are shown in Fig. 1. For EMG activity of the trapezius, triceps brachii, biceps brachii, flexor pollicis brevis, soleus and gastrocnemius muscles, there was a significant main effect of condition ($F(2,60) = 8.83, p < .001, \varepsilon = .98, \eta_p^2 = .23; F(2,60) = 4.20, p = .03, \varepsilon = .83, \eta_p^2 = .12; F(2,60) = 10.19, p < .01, \varepsilon = .59, \eta_p^2 = .25; F(2,60) = 10.51, p < .01, \varepsilon = .59, \eta_p^2 = .26; F(2,60) = 18.07, p < .0001, \varepsilon = .87, \eta_p^2 = .38; F(2,60) = 17.51, p < .0001, \varepsilon = .98, \eta_p^2 = .37$; respectively). Post hoc analysis showed that EMG activity of these muscles increase from the control task to the stressful task 1 ($p < .001, p = .04, p < .001, p < .001, p < .001, p < .001$, respectively). EMG activity of the triceps brachii, biceps brachii, flexor pollicis brevis, soleus and gastrocnemius muscles decreased from the stressful task 1 to the stressful task 2 ($p = .04; p = .03; p < .01; p = .04; p = .02$; respectively). For trapezius EMG activity,

there was no difference between the stressful task 1 compared to the stressful task 2 ($p = .82$).

The aim of the present study was to examine the adaptive process of muscular responses in healthy subjects over two repeated exposures to a moderate cognitive stressor. EMG activity of muscles and state anxiety increased during the stressful task compared to the control task. These results are in agreement with previous studies showing that the Stroop color-word interference test increases state anxiety and muscle tension moderately [6,11,19]. During the second exposure to the stressful task, subjects had a lower level of state anxiety, an improvement in task performance (i.e., number of words) and lower EMG activity in the biceps brachii, triceps brachii, flexor pollicis brevis, gastrocnemius and soleus muscles, but not in the trapezius muscle.

The increase in task performance could correspond to a learning effect, and the decrease in state anxiety and EMG activity for some muscles indicates an adaptive process. In contrast, the lack of adaptation of the trapezius muscular response during the second exposure to the stressful situation suggests a particular behaviour for this muscle which could be related to its function. Indeed, this muscle is commonly involved in postural tasks and is constantly required to stabilize the neck and shoulder. However, given that the seated posture and head position of the subjects was constant across conditions, the results cannot be attributed to head movements. Thus, in agreement with a previous study that has shown that the trapezius muscle seems to be sensitive to attentional load induced by tasks [20], we suggest that the trapezius has higher attention-related activity than other muscles. The second exposure to the stressful task may have required the same attentional load and so led to maintaining a similar level of trapezius muscle tension. Interestingly, Lundberg et al. [10] have shown that exposure to the Stroop-color word interference test may keep low-threshold motor units active in the trapezius muscle, and that a prolonged activation of low-threshold motor units could induce damage to muscle fibers [8]. Our data show no adaptive process for the trapezius muscle to the psychological stress task and suggest that repeated exposure may keep low-threshold motor units constantly active, thereby reducing any possibility for recovery. These findings lend support to the idea that failing to adapt to repeated psychological stress has physiological costs that, in turn, might contribute to musculoskeletal complaints and/or disorders.

If studies have shown a decrease in some physiological measures during a second exposure to a stressful situation (e.g., [5,13]), the present study provides the first insight into the adaptive processes of muscular responses to repeated exposure to a moderate psychological stressor. All muscles seem to adapt, but not the trapezius muscle. These findings could help in understanding the role of stressful situations and attentional load in the development of musculoskeletal disorders, especially for the trapezius muscle. This could have some clinical implications, such as biofeedback treatment for stress reduction. Because this study used a moderate cognitive stressor, future studies close to daily life with different types of, duration of, and intensity of stressor could be of interest in order to better understand the adaptive process of the muscles and its implications for health outcomes.

References

- [1] K. Ekberg, J. Eklund, M.A. Tuvevsson, R. Örtengren, P. Odenrick, M. Ericson, Psychological stress and muscle activity during data entry at visual display units, *Work Stress* 9 (1995) 475–490.
- [2] R.L. Hazlett, D.R. McLeod, R. Hoehn-Saric, Muscle tension in generalized anxiety disorder: elevated muscle tonus or agitated movement? *Psychophysiology* 31 (1994) 189–195.
- [3] H.J. Hermens, B. Freriks, C. Disselhorst-Klug, G. Rau, Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures, *J. Electromyogr. Kinesiol.* 10 (2000) 361–374.

- [4] C. Jensen, O. Vasseljen, R.H. Westgaard, The influence of electrode position on bipolar surface electromyogram recordings of the upper trapezius muscle, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 67 (1993) 266–273.
- [5] P. Jönsson, M. Wallergard, K. Osterberg, A.M. Hansen, G. Johansson, B. Karlson, Cardiovascular and cortisol reactivity and habituation to a virtual reality version of the Trier Social Stress Test: a pilot study, *Psychoneuroendocrinology* 35 (2010) 1397–1403.
- [6] G. Krantz, M. Forsman, U. Lundberg, Consistency in physiological stress responses and electromyographic activity during induced stress exposure in women and men, *Integr. Physiol. Behav. Sci.* 39 (2004) 105–118.
- [7] J.T. Larsen, J.I. Norris, A facial electromyographic investigation of affective contrast, *Psychophysiology* 46 (2009) 831–842.
- [8] S.E. Larsson, A. Bengtsson, L. Bodegard, K.G. Henriksson, J. Larsson, Muscle changes in work-related chronic myalgia, *Acta Orthop. Scand.* 59 (1988) 552–556.
- [9] U. Lundberg, Psychophysiology of work: stress, gender, endocrine response, and work-related upper extremity disorders, *Am. J. Ind. Med.* 41 (2002) 383–392.
- [10] U. Lundberg, M. Forsman, G. Zachau, M. Eklof, G. Palmerud, B. Melin, R. Kadefors, Effects of experimentally induced mental and physical stress on motor unit recruitment in the trapezius muscle, *Work Stress* 16 (2002) 166–178.
- [11] U. Lundberg, R. Kadefors, B. Melin, G. Palmerud, P. Hassmén, M. Engström, I.E. Dohns, Psychophysiological stress and EMG activity of the trapezius muscle, *Int. J. Behav. Med.* 1 (1994) 354–370.
- [12] C. Martin-Soelch, M. Stöcklin, G. Dammann, K. Opwis, E. Seifritz, Anxiety trait modulates psychophysiological reactions, but not habituation processes related to affective auditory stimuli, *Int. J. Psychophysiol.* 61 (2006) 87–97.
- [13] I.B. Mauss, F.H. Wilhelm, J.J. Gross, Autonomic recovery and habituation in social anxiety, *Psychophysiology* 40 (2003) 648–653.
- [14] B.S. McEwen, Protective and damaging effects of stress mediators, *N. Engl. J. Med.* 338 (1998) 171–179.
- [15] L.M. Schleifer, T.W. Spalding, S.E. Kerick, J.R. Cram, R. Ley, B.D. Hatfield, Mental stress and trapezius muscle activation under psychomotor challenge: a focus on EMG gaps during computer work, *Psychophysiology* 45 (2008) 356–365.
- [16] F.T. Silva, J.R. Leite, Physiological modifications and increase in state anxiety in volunteers submitted to the Stroop Color-Word Interference Test: a preliminary study, *Physiol. Behav.* 70 (2000) 113–118.
- [17] C.D. Spielberger, *Anxiety: Current Trends in Theory and Research*, Academic Press, New York, 1972.
- [18] C.D. Spielberger, R.L. Gorsuch, R. Lushene, P.R. Vagg, G.A. Jacobs, *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory*, Consulting Psychologists Press, Palo Alto, CA, 1983.
- [19] F. Teixeira-Silva, G.B. Prado, L.C.G. Ribeiro, J.R. Leite, The anxiogenic video-recorded Stroop Color-Word Test: psychological and physiological alterations and effects of diazepam, *Physiol. Behav.* 82 (2004) 215–230.
- [20] M. Wærsted, R.H. Westgaard, Attention-related muscle activity in different body regions during VDU work with minimal physical activity, *Ergonomics* 39 (1996) 661–676.
- [21] R.H. Westgaard, Effects of physical and mental stressors on muscle pain, *Scand. J. Work. Environ. Health* 25 (1999) 19–24.
- [22] R.H. Westgaard, R. Bjørklund, Generation of muscle tension additional to postural muscle load, *Ergonomics* 30 (1987) 911–923.

Modifications végétatives, somatiques et de l'état d'anxiété en réponse à un stress modéré : Influence de caractéristiques individuelles ou situationnelles

L'exposition à une situation de stress entraîne des réactions cognitives, affectives, physiologiques et comportementales. Ce travail de thèse s'est attaché à examiner des réponses affectives et physiologiques induites par une situation de stress modéré, plus particulièrement l'état d'anxiété et la tension musculaire, et a également considéré les caractéristiques de la situation et le trait d'anxiété des individus.

Une première étude a montré chez des individus de traits d'anxiété différents une réactivité physiologique similaire au cours de la situation stressante, bien que les individus de trait d'anxiété 'haut' aient rapporté un état d'anxiété plus élevé que les individus de trait d'anxiété 'bas'. En revanche, après la situation stressante, les individus de trait d'anxiété 'haut' ont montré un délai dans la récupération de certains paramètres végétatifs et musculaires. Ces résultats ont suggéré que des différences dans les réponses physiologiques entre des individus de traits d'anxiété différents pourraient émerger au cours de la période de récupération. Ainsi, les réponses, qu'elles soient affectives ou physiologiques, pourraient dépendre du niveau de trait d'anxiété des individus. Les deux autres études ont montré chez des individus de trait d'anxiété homogène soumis à la situation stressante des patrons d'activation musculaire différents selon les muscles. Ces résultats ont suggéré un lien entre les différentes réponses musculaires et le rôle fonctionnel des muscles. Par ailleurs, les résultats ont montré une diminution de l'état d'anxiété et de ces réponses musculaires au cours d'une deuxième exposition à la situation stressante, excepté pour le muscle trapèze qui semble avoir une réactivité particulière liée à sa fonction. Toutefois, l'adaptation des réponses des différents muscles et de l'état d'anxiété suggère que les réponses affectives et musculaires pourraient être influencées par les caractéristiques de la situation (nouveau et répétition).

Finalement, l'ensemble de ces résultats suggère qu'il est important de considérer les caractéristiques de l'environnement et la personnalité des individus dans l'étude des réponses affectives et physiologiques en situation de stress.

Mots clés : stress, anxiété-trait, anxiété-état, modifications végétatives, tension musculaire.

Autonomic and muscular modifications and state anxiety in response to moderate stress: Influence of individual or situational characteristics

Exposure to stressful situations is typically associated with cognitive, affective, physiological and behavioral responses. The aim of this work was to examine the affective and physiological responses to moderate stress, particularly state anxiety and muscle tension and also to consider the characteristics of the situation and the trait anxiety of the subjects.

Our results showed that high anxious subjects have a higher level of state-anxiety than low anxious subjects during the stressful task, but no difference in physiological reactivity has been found between both groups. However, after exposure to the stressful situation, high anxious subjects have delayed physiological recovery. This suggests that physiological differences might emerge during the recovery period according to trait anxiety level. Thus, affective and physiological responses could depend on trait anxiety level. Furthermore, our results showed in individuals with homogeneous trait anxiety level that muscle tension induced by the stressful situation could differ depending on the muscles. This result suggests a relationship between the different muscular responses and the functional role of the muscles. Moreover, the results showed that state anxiety and these muscular responses decrease during a second exposure to the same stressful situation, except for the trapezius muscle which seems to have a particular reactivity to the stressor. However, adaptation of these muscular modifications and of state anxiety suggests that affective and muscular responses could be influenced by the characteristics of the situation (novelty and repetition).

In conclusion, these findings highlight the importance of considering the environmental characteristics and the personality trait of individuals in research on stress responses.

Keywords: stress, trait-anxiety, state-anxiety, autonomic modifications, muscle tension.