



HAL
open science

Biais attentionnels dans l'anxiété et la dépression : approches comportementale et neurovégétative

Stéphane Ranfaing

► **To cite this version:**

Stéphane Ranfaing. Biais attentionnels dans l'anxiété et la dépression : approches comportementale et neurovégétative. Neurosciences [q-bio.NC]. Université de Lille, 2021. Français. NNT : 2021LILUS103 . tel-03657211

HAL Id: tel-03657211

<https://theses.hal.science/tel-03657211>

Submitted on 2 May 2022

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

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

Université de Lille

Ecole Doctorale Biologie Santé

Thèse

Biais attentionnels dans l'anxiété et la dépression :

Approches comportementale et neurovégétative

STÉPHANE RANFAING

Thèse soutenue publiquement le 07 décembre 2021 en vue de l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE EN NEUROSCIENCES

Devant la Commission d'Examen :

Rapporteurs :	Dr Salvatore Campanella	Université Libre de Bruxelles, Belgique
	Pr Mandy Rossignol	Université de Mons, Belgique
Examineur :	Pr Harold Mouras	Université de Picardie Jules Verne, France
Directeur :	Pr Henrique Sequeira	Université de Lille, France
Co-directeur :	Pr Hugo Critchley	Universités de Brighton et du Sussex, Royaume-Uni

Recherches réalisées dans le cadre de l'Equipe DEEP, sites CHU de Lille et Cité Scientifique, du laboratoire SCALab, CNRS UMR 9193, Université de Lille

Remerciements

Au Professeur Henrique Sequeira,

Je vous remercie de m'avoir accompagné depuis ma troisième année de licence jusqu'à ce travail de thèse. Je vous remercie également pour nos échanges enrichissants et votre soutien ainsi que pour votre disponibilité tout au long de mon parcours.

Au Professeur Hugo Critchley,

Je vous remercie d'avoir accepté de codiriger ce travail de thèse. Je vous remercie également pour l'accueil et les échanges que nous avons pu avoir durant mon séjour au sein de votre équipe.

Aux Docteurs et Professeurs Salvatore Campanella, Mandy Rossignol, Harold Mouras,

Je vous remercie d'avoir accepté d'évaluer ce travail. Je tiens à vous témoigner de ma reconnaissance et de mon profond respect.

Au Docteur Lucas De Zorzi

Merci pour l'aide que tu m'as apportée depuis mon arrivée dans l'équipe. Nos échanges sur le plan scientifique et humain furent pour moi extrêmement enrichissants et m'ont permis d'en arriver là aujourd'hui.

Au Docteur Jacques Honoré,

Je vous remercie pour l'aide que vous avez pu m'apporter sur le plan scientifique. Merci aussi pour les échanges riches et agréables que nous avons pu avoir durant nos réunions d'équipe.

À mes collègues et amis du laboratoire,

Raphaël Kroll, Eduardo S. Martínez-Velázquez, Cassandra Denorme, Marie De Mourra, Charlotte Roux, Marine Duneuf-Jardin, Remi Ruyffelaere, ainsi qu'à tous les autres...

À tous les participants aux études expérimentales qui ont permis ce travail de thèse.

À mes amis pour leur soutien,

Lucas Leignel, Pierre-Louis Dérousseaux, Maximilien Roose, Abbas Attaf, Ismail Zerrifi, Caroline Vandermersch, Clémence Petit, Théo Teneul, Sophie Bouillaud, Léon Cardineaud, Antoine Dambrine

À mes parents, ma grand-mère et mes frères,

Pour l'amour et le soutien sans faille que vous m'avez apportés.

À Senthuriy,

Merci pour ton amour, ton aide, ta patience, ton soutien et ta présence à mes côtés durant toutes ces années.

Table des matières

Table des matières.....	4
--------------------------------	----------

Préambule.....	6
-----------------------	----------

PARTIE I. CADRE THÉORIQUE	8
----------------------------------	----------

Chapitre I. Espace visuel et attention.....	9
--	----------

1. Vision centrale (VC) et Vision périphérique (VP)	9
2. L'attention	13

Chapitre II. Emotion.....	25
----------------------------------	-----------

1. Domaine des émotions et premières théories	25
2. Composantes émotionnelles	26
3. Modèles explicatifs	27
4. Traitement de l'émotion au niveau attentionnel	31
5. Traitement de l'émotion au niveau neurovégétatif	47

Chapitre III. Troubles affectifs, attention et émotion.....	62
--	-----------

1. Anxiété	63
2. Dépression	66
3. Réactivité neurovégétative à l'émotion dans l'anxiété et la dépression	70

Chapitre IV. Synthèse et Objectifs.....	105
--	------------

1. Résumé du cadre théorique	105
2. Limites actuelles	106
3. Hypothèse générale	107
4. Objectifs	107
5. Mise en œuvre expérimentale	108

PARTIE II. EXPÉRIMENTATIONS	109
------------------------------------	------------

Chapitre I. Exploration de la réactivité comportementale et neurovégétative dans l'espace visuel : implications pour la symptomatologie anxieuse et dépressive.....	110
--	------------

1. Autonomic reactivity to emotion: A marker of sub-clinical anxiety and depression symptoms?	113
2. Differential impact of visual eccentricity on emotional reactivity: implications for anxious and depressive symptomatology	146

Chapitre II. Exploration du lien entre déploiement de l'attention et (ré)activité neurovégétative dans l'anxiété et la dépression.....	171
Attention Orientation to Pleasantness and Depressive Symptomatology Predict Autonomic Reactivity	174

Chapitre III. Modulation du déploiement de l'attention et répercussions neurovégétatives.....	195
Autonomic repercussion of attentional modification procedure: implications for anxiety and depression	198

PARTIE III. DISCUSSION GENERALE, PERSPECTIVES ET CONCLUSION 222
--

Chapitre I. Résumé des travaux et principaux résultats.....	223
--	------------

Chapitre II. Discussion générale.....	226
--	------------

1. Réactivité comportementale et neurovégétative dans l'espace visuel	226
2. Réactivité comportementale et symptomatologie	230
3. Réactivité neurovégétative et symptomatologie	233
4. Anxiété, dépression et dynamique temporelle neurovégétative	235
5. Quel lien entre les composantes comportementale, attentionnelle et physiologique ?	238
6. Liens entre attention et physiologie : implication pour la symptomatologie anxieuse et dépressive ?	241

Chapitre III. Perspectives expérimentales et cliniques.....	244
--	------------

1. Utilisation de la réalité virtuelle	244
2. Utilisation d'autres techniques de modulation de l'attention et de la physiologie	245
3. Implications cliniques pour la symptomatologie anxieuse et dépressive	247

Chapitre IV. Conclusion générale	249
---	------------

PARTIE IV. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	251
--	------------

ANNEXES.....	286
---------------------	------------

Préambule

Les processus cognitifs et émotionnels sont souvent considérés comme des processus distincts, voire de nature opposée. Historiquement, la cognition serait basée sur des mécanismes mentaux sous contrôle, dits rationnels, alors que l'émotion serait davantage sous l'emprise de processus mentaux moins contrôlables, et de ce fait moins rationnels. Néanmoins, les recherches récentes en Neurosciences et en Psychologie indiquent des interactions importantes entre ces fonctions, et montrent aussi que leur étude conjointe serait bénéfique, notamment en termes de régulation émotionnelle. En particulier, l'orientation des ressources attentionnelles favorise la perception et le traitement de l'information émotionnelle et aurait un impact sur la modulation des comportements émotionnels. Dans ce cadre, le traitement privilégié de l'émotion déclencherait à son tour des réponses physiologiques généralement associées à des comportements d'adaptation.

Cependant, cette orientation préférentielle vers l'émotion peut également être impliquée dans un grand nombre de troubles psychologiques, en particulier anxieux ou dépressifs, caractérisés notamment par des biais attentionnels et une réactivité physiologique à l'émotion altérée. Néanmoins, les données actuelles ne permettent pas d'aboutir à un réel consensus sur le lien qui unit attention, émotion et réactivité physiologique dans la symptomatologie anxieuse et dépressive.

Dans la partie théorique, nous examinerons la littérature scientifique sur l'attention, l'émotion et l'activité neurovégétative associée. Dans un premier temps, nous considérerons l'orientation de l'attention dans l'espace visuel, subdivisé en vision centrale et périphérique, et son rôle dans la sélection des informations qui y surviennent. Ensuite, nous analyserons les différentes composantes de l'émotion et les potentialités du système attentionnel à les détecter de manière préférentielle ainsi que les variations neurovégétatives associées. Enfin, nous chercherons à caractériser l'anxiété et la dépression, tant par leur modulation des ressources attentionnelles envers les informations environnementales, en particulier émotionnelles, que par les atypies de nature neurovégétative qui font partie de leur expression symptomatique. Toutefois, bien que cette étude de la littérature nous permette de constater un ensemble de dysfonctionnements attentionnels et neurovégétatifs, nous constaterons que le lien entre ces dysfonctionnements demeure mal défini dans le cadre de l'anxiété et la dépression. Ainsi, nous défendrons l'idée selon laquelle le déploiement attentionnel et la réactivité neurovégétative associée permettront de mieux caractériser les symptomatologies anxieuse et dépressive. De plus, nous aurons comme objectif d'étudier les liens entre processus attentionnels et

physiologiques en situation de réactivité émotionnelle. Nous espérons ainsi contribuer à expliquer l'hétérogénéité des résultats de la littérature et favoriser le développement de stratégies de remédiation.

Dans la partie expérimentale, et afin de répondre aux questionnements théoriques qui précèdent, nous développerons quatre études utilisant des méthodes comportementales et neurovégétatives, présentées sous la forme de quatre articles scientifiques rédigés en anglais, publiés, soumis ou en cours de soumission à des revues internationales. Dans un premier temps, nous avons exploré l'impact comportemental et neurovégétatif de l'information émotionnelle dans le champ visuel selon la symptomatologie anxieuse ou dépressive. Pour cela, nous avons récolté les temps de réaction pour répondre aux informations émotionnelles en vision centrale ou périphérique lors d'une tâche de localisation (**Étude 1**) ou lors d'une tâche de catégorisation (**Étude 2**). Des mesures d'activité électrodermale et cardiaque, du diamètre pupillaire et de température cutanée étaient alors effectuées pour attester de l'impact neurovégétatif des informations selon leur valeur émotionnelle et selon leur emplacement dans l'espace visuel. Dans un second temps, nous avons associé la mesure de mouvements oculaires et des activités électrodermale et cardiaque pour spécifier le déploiement de l'attention vers l'émotion lors d'une tâche de visionnage libre selon le niveau d'anxiété ou de dépression (**Étude 3**). Enfin, considérant des données obtenues durant ces expérimentations, nous avons testé l'effet d'une procédure de modification du déploiement de l'attention, sur le versant attentionnel et neurovégétatif, à l'aide de mesures de mouvements oculaires et des activités électrodermale et cardiaque (**Étude 4**).

Au cours de la discussion, nous soutiendrons l'idée selon laquelle les recherches présentées dans cette thèse apportent des arguments expérimentaux favorables à l'étude conjointe du déploiement de l'attention dans l'espace visuel et de la réactivité neurovégétative associée, en vue de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à la symptomatologie anxieuse et dépressive. Nous discuterons aussi la proposition selon laquelle les résultats obtenus pourraient favoriser la mise en place de procédures visant à améliorer la régulation émotionnelle en prenant en compte le déploiement de l'attention vers l'émotion mais aussi vers l'activité neurovégétative. Enfin, nous envisagerons de nouvelles perspectives, tant sur le plan expérimental que clinique.

Partie I. Cadre théorique

Dans cette partie, nous examinerons la littérature scientifique sur l'attention dans l'espace visuel, l'émotion et les liens pouvant exister entre ces fonctions et le système neurovégétatif. Aussi, nous constaterons le fait que des dysfonctionnements sur le plan attentionnel, émotionnel et neurovégétatif sont susceptibles de retentir sur la symptomatologie anxieuse et dépressive ainsi que leurs implications cliniques.

Chapitre I. Espace visuel et attention

Le système visuel correspond à l'ensemble des organes et structures qui participent à la perception visuelle. Ce système, qui va de la rétine aux aires cérébrales tertiaires, se retrouve chez un grand nombre d'espèces, mais est particulièrement développé chez l'être humain. De ce fait, il constitue un atout majeur dans l'optimisation de son adaptation à l'environnement. Cette adaptation est notamment possible grâce à la détection et à la localisation d'éléments pertinents pouvant apparaître au centre du champ visuel, mais également dans sa périphérie.

1. Vision centrale (VC) et Vision périphérique (VP)

Comme chez d'autres espèces, l'être humain ne traite pas les informations apparaissant dans son champ visuel de manière homogène. Dans le cas d'une scène visuelle, les informations localisées au centre du champ visuel sont traitées avec une résolution plus élevée que celles qui se trouvent dans la périphérie visuelle. Le champ visuel humain comporte ainsi deux portions distinctes aux capacités d'analyse inégale : la portion centrale du champ visuel ou **vision centrale (VC)**, caractérisée par un haut degré d'acuité, et le champ visuel périphérique, ou **vision périphérique (VP)**, associée à un traitement visuel de plus bas niveau. Même s'il est difficile de localiser précisément la frontière entre ces deux parties du champ visuel, il existe des données expérimentales qui tendent à les distinguer sur le plan anatomique et fonctionnel.

1.1. Aspects anatomiques et fonctionnels

Sur le plan anatomique, la vision est assurée par un ensemble de structures complexes situées au niveau de l'œil, la rétine en étant l'élément majeur. Fine membrane tapissant la surface interne du globe oculaire, la rétine est un tissu neurosensoriel capable de transformer la lumière en informations nerveuses grâce à des cellules hautement spécialisées : les **photorécepteurs**. Ces derniers, majoritairement des **cônes** et les **bâtonnets**, assurent des fonctions complémentaires : environ 5 millions de cônes assurent la vision diurne et la perception des couleurs alors qu'environ 120 millions de bâtonnets sont impliqués dans la vision crépusculaire, nocturne et également associés à la détection des mouvements. Les photorécepteurs captent les éléments constitutifs de la lumière, les photons, et les transforment en signaux électro-chimiques qui seront ensuite transmis vers le système nerveux central par l'intermédiaire des nerfs optiques. Les signaux ainsi transmis seront d'abord analysés dans les **corps genouillés latéraux (CGL)** du thalamus, puis transférés vers le **cortex visuel primaire (V1)** avant de poursuivre leur traitement approfondi lors de projections finales vers différentes aires cérébrales spécialisées des lobes temporaux et pariétaux.

La densité, la proportion et la localisation des photorécepteurs ont une répartition inégale dans les portions centrale et périphérique de la rétine, ce qui permet de soutenir l'idée d'une distinction entre **VC** et **VP**, sur la base de l'anatomie rétinienne. En effet, **la rétine centrale** a un diamètre de 5 à 6 millimètres et comprend la **macula**, qui contient elle-même la **fovéa**, la **parafovéa** et la **perifovéa** (**Figure 1**). La macula correspond ainsi à la région centrale de la rétine qui traite environ 20° du champ visuel (Watson, 2014), et qui contient en son centre la fovéa laquelle est entourée d'une ceinture parafovéale. C'est au niveau de la fovéa que se concentre la majorité des cônes, proportion qui diminue ensuite drastiquement avec l'excentricité visuelle, jusqu'à 10° d'excentricité visuelle. C'est grâce à la haute concentration de cônes que la fovéa assure l'acuité visuelle maximale sur 2° d'excentricité autour de son point central, matérialisé par une petite dépression au centre de la rétine. Ainsi, il est admis que la VC intègre la fovéa et la région parafovéale couvrant environ 10° d'excentricité visuelle (Roberto, 1993, p. 347). En effet, en dehors de la lecture, de bonnes performances comportementales suggèrent que la limite de la VC peut se prolonger jusqu'aux bords de la région parafovéale (Loschky et al., 2005). En particulier, ces données suggèrent que la parafovéa pourrait constituer la limite de la VC pour la détection de scènes naturelles.

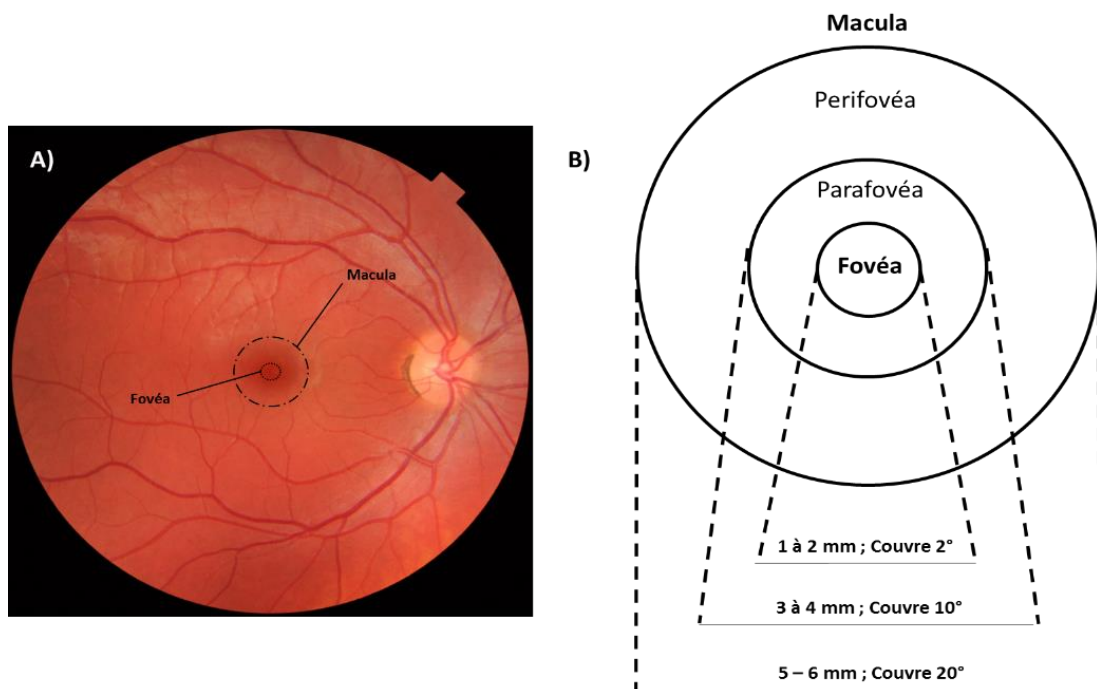
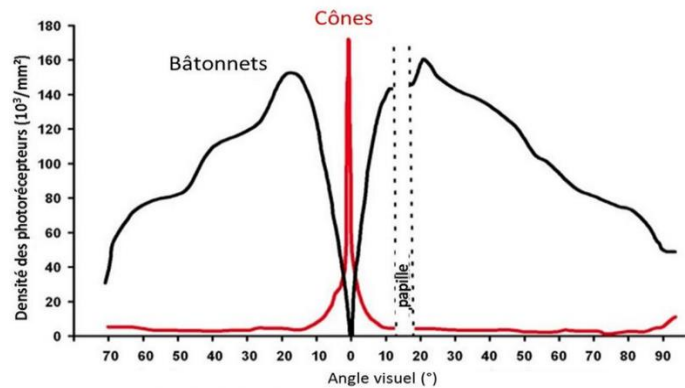


Figure 1. Fond de l'œil représenté à l'ophtalmoscope (A) et représentation schématique de la rétine centrale (B). La macula dotée d'un diamètre de 5 à 6 mm couvre environ 20° d'excentricité visuelle alors que la fovéa couvre 2° d'excentricité pour un diamètre d'1 à 2 mm. Adapté de Häggström, 2014.

À l'inverse de la rétine centrale, représentée par la macula, **la rétine périphérique** s'étend sur environ 17 millimètres, est majoritairement constituée de bâtonnets dont la densité est maximale vers 25° d'excentricité. Ainsi, la délimitation des VC et VP est largement fondée sur la distribution différentielle des photorécepteurs sur les portions centrale et périphérique de la rétine (**Figure 2**).

Figure 2. Densité des cônes et des bâtonnets selon l'emplacement de la rétine. Les cônes sont principalement situés au niveau de la rétine centrale (région fovéale) alors que les bâtonnets sont les plus nombreux au niveau de la rétine périphérique. Adapté de Osterberg G., 1935; *Acta Ophthal Suppl*; Mazzocco, 2017.



Les cônes, photorécepteurs majoritaires de la rétine centrale, projettent vers les **cellules ganglionnaires de type P** (pour *parvus*, petit en latin) localisées dans la même région rétinienne. Plus précisément, jusqu'à 10°, une connexion unitaire relie un cône à une seule cellule ganglionnaire rétinienne (Kaplan, 2013) alors qu'au-delà, une cellule ganglionnaire reçoit les afférences de plusieurs cônes ce qui résulte en une perte d'information. Les informations visuelles résultantes sont ensuite envoyées au niveau du CGL et traitées par des **cellules thalamiques de type P** qui codent les couleurs, le détail des formes et principalement les hautes fréquences spatiales. Une fois ce traitement effectué, les informations sont envoyées vers le **cortex visuel primaire** (V1 ou aire 17) puis, par l'intermédiaire de la **voie dite « ventrale »**, vers le **cortex temporal** (Nakamura et al., 1993) qui permet ainsi d'assurer l'identification d'informations provenant de la VC. L'ensemble des éléments constitutifs de la voie « ventrale » vont permettre une résolution spatiale optimale et assurer de ce fait une bonne acuité visuelle et l'identification précise des éléments de l'environnement, qualités typiques de la VC.

Les bâtonnets, photorécepteurs majoritaires de la rétine périphérique, projettent l'information vers les **cellules ganglionnaires de type M** (pour *magnus*, grand en latin). Puis, les informations sont traitées par les **cellules thalamiques de type M** du CGL, spécialisées dans la détection du mouvement, avant d'être envoyées vers le cortex V1 puis, par la **voie « dorsale »**, vers le **cortex pariétal** qui traite la position et le mouvement des signaux provenant de la VP. Celle-ci, comparativement à la CV, est caractérisée par une résolution spatiale plus faible tout en assurant une meilleure résolution temporelle, ce qui permet une détection optimale des mouvements. Cette différence dans les **voies de transmission** des

informations provenant de la rétine fournit un second argument qui conforte la distinction entre VC et VP. De plus, des différences s'observent en termes de **représentation corticale**. En effet, par rapport à la VP, la VC est surreprésentée dans le CGL (Azzopardi & Cowey, 1996) et encore plus dans le cortex visuel (Azzopardi & Cowey, 1993) où les informations issues des 10° centraux du champ visuel sont prises en charge par plus de 50 % des aires visuelles primaires.

1.2. Données comportementales

Outre les arguments anatomiques évoqués, les résultats aux tâches comportementales, notamment en termes d'acuité, de détection des couleurs ou du mouvement sont aussi susceptibles d'aider à la distinction entre VC et VP. Ainsi, la haute résolution spatiale et la bonne sensibilité chromatique de la VC lui procurent une acuité visuelle qui va décroître fortement avec l'augmentation de l'excentricité (Näsänen et O'Leary, 1998). En effet, la perception d'un objet est meilleure lorsque l'individu le fixe à moins de 1-2° d'excentricité, puis les performances diminuent rapidement avec l'éloignement de la fixation de l'objet de la région fovéale (Nelson & Loftus, 1980 ; Henderson & Hollingworth, 1999). Pour des tâches plus complexes, telles que l'utilisation de la mémoire à long terme pour détecter un changement entre deux scènes impliquant un seul objet, une bonne performance n'est également possible que lorsque les yeux se fixent jusqu'à un angle maximal d'environ 2° de l'objet d'intérêt (Nelson & Loftus, 1980 ; Henderson et al., 2003). Cependant, dans des tâches plus simples, telle que déterminer si une scène naturelle contient un animal ou non, la performance est assez bonne même à 50° d'excentricité avec une précision allant jusqu'à plus de 70% (Thorpe, Gegenfurtner, Fabre-Thorpe, & Buelthoff, 2001). Aussi, la détection des couleurs est diminuée avec l'excentricité, suite à la disparition progressive des cônes (Mullen et Kingdom, 2002). La baisse de la sensibilité chromatique est très dépendante de l'excentricité car, même en augmentant la taille du stimulus, et bien qu'il soit possible d'obtenir une vision des couleurs semblable à celle obtenue pour la fovéa jusqu'à des excentricités de 20°, une diminution nette des performances s'observe à partir de 40° (Abramov et al., 1991). En ce qui concerne la haute résolution temporelle, attribuée à la VP et assurée par les neurones présents dans la voie dorsale, des données comportementales indiquent effectivement une meilleure sensibilité au mouvement en VP (Wright, 1987). Il semble donc que les **données comportementales** contribuent à différencier VC et VP bien que les limites potentielles de leur séparation puissent être modulées par la nature de la tâche demandée.

En résumé, les informations de la **VC** sont codées avec une **bonne acuité et une bonne précision chromatique** alors que les informations de la **VP** sont codées avec une **plus faible**

acuité, mais sont plus sensibles aux **aspects de mouvement**. La distinction entre VC et VP, bien qu'elle soit débattue, se fonde sur des arguments à la fois **anatomiques et fonctionnels**. Ainsi, la **répartition des photorécepteurs**, les **régions et voies cérébrales** impliquées dans le traitement des informations visuelles ainsi que les **résultats aux tâches comportementales** permettent de faire ressortir des différences entre ces deux parties du champ visuel, pourtant **complémentaires** dans la **perception et l'adaptation** à l'environnement.

En effet, les informations dans le champ visuel peuvent apparaître en VC, qui couvre une portion restreinte du champ visuel ou en VP, qui en couvre une plus large étendue. En conséquence, la majorité des informations visuelles de l'environnement apparaissent en VP. Malgré la diminution de l'acuité avec l'augmentation de l'excentricité visuelle, les événements visuels pertinents se produisant dans la VP sont détectés et provoquent des saccades qui déplacent les cibles d'intérêt vers la VC où une analyse visuelle détaillée peut être effectuée (Liversedge & Findlay, 2000). Ce déplacement du regard s'effectue généralement de manière automatique et permet de focaliser les ressources attentionnelles vers l'information pertinente en vue d'un traitement ultérieur plus approfondi en VC. Ainsi, le déplacement du regard sous-tend un déplacement du focus attentionnel bien que l'attention vers les informations visuelles puisse également s'opérer en l'absence de mouvements oculaires. Ces différences dans le déploiement de l'attention seront abordées dans la partie ci-après.

2. L'attention

Le concept d'attention trouve ses origines dans les débuts de la psychologie expérimentale (James, 1890). Dans son ouvrage de 1890 « Les principes de la psychologie », le psychologue et philosophe William James écrit que l'attention « *est la prise de possession par l'esprit, sous une forme claire et vivante, d'un élément parmi un ensemble d'éléments [...] Cela implique de se retirer de certaines choses afin de traiter efficacement avec les autres.* » Aujourd'hui, on peut définir l'attention comme la capacité de traiter activement des informations spécifiques dans l'environnement tout en inhibant le traitement d'autres informations non pertinentes pour la tâche en cours. L'attention étant limitée en termes de capacité et de durée, il est donc important d'avoir les moyens de gérer efficacement les ressources attentionnelles dont nous disposons afin de créer les meilleures conditions d'adaptation. Aussi, du fait de ses capacités limitées, l'attention est prioritairement dirigée vers les informations pertinentes pour l'individu. Cette capacité de diriger et traiter prioritairement certaines informations renvoie au concept **d'attention sélective**. C'est grâce à ce mécanisme attentionnel qu'un individu est capable de **sélectionner** les informations de l'environnement dans le but d'accroître les ressources cognitives dédiées à leur traitement. En plus de cette sélection attentionnelle, un **maintien** de

l'attention s'opère sur les informations pertinentes afin d'en assurer un traitement plus détaillé et se préparer à l'action. Ainsi, la capacité de maintenir et de déplacer sélectivement l'attention est une composante importante de l'autorégulation et de l'adaptabilité de l'organisme (Thayer & Lane, 2000). En effet, sélectionner des informations significatives et ne pas tenir compte des informations non pertinentes pouvant provenir des environnements externe et interne est essentiel pour la survie de l'organisme.

2.1. Attention explicite vs implicite

Le déplacement du focus attentionnel sur un stimulus apparaissant en vision périphérique peut s'effectuer avec ou sans le déplacement des yeux. Ainsi, l'attention peut être différenciée en **attention explicite** (« *overt attention* »), impliquant le déplacement du regard, et en **attention implicite** (« *covert attention* ») dont l'expression n'exige pas des mouvements oculaires.

Des changements dans l'attention peuvent se produire lorsque les yeux bougent de manière explicite ou lorsque les yeux restent fixés, sans mouvement apparent, du moins non détectable (Wright & Ward, 2008). Dans l'œil humain, seule l'information qui parvient à la fovéa fera l'objet d'une mise au point nette, avec un maximum d'acuité. Cependant, c'est cette haute acuité visuelle qui est nécessaire pour effectuer des actions précises telles que la lecture de mots ou la reconnaissance des traits du visage, par exemple. Par conséquent, les yeux doivent continuellement se déplacer afin de diriger la fovéa vers l'information pertinente de l'environnement où l'attention sera également déployée de manière explicite pour un traitement approfondi. Avant une saccade oculaire, durant laquelle les yeux se déplacent vers un emplacement cible, l'attention peut aussi se porter de manière implicite sur cet emplacement (Hoffman & Subramaniam, 1995 ; Peterson et al., 2004). L'attention peut également se déplacer vers des informations de l'environnement ou des pensées pendant que les yeux restent fixés sur un élément du champ visuel. Par exemple, lorsqu'une personne conduit et garde les yeux sur la route, même si ses yeux ne bougent pas, son attention peut se porter sur des informations en VP, comme l'apparition d'un piéton ou d'un animal sur le trottoir. Aussi, les yeux peuvent rester fixés sur la route pendant que l'individu oriente son attention sur ses propres pensées. Les yeux peuvent ainsi rester focalisés sur un stimulus pendant que l'attention se porte sur un autre (Hoffman, 1998). Il existe donc deux manières de focaliser son attention dans l'espace visuel : explicite, accompagnée de mouvements oculaires ; implicite sans impliquer des mouvements des yeux.

➤ **Attention explicite**

La perception d'éléments pertinents dans l'espace visuel nécessite de l'attention car la rétine humaine, comme précisé plus haut, n'a pas une sensibilité uniforme dans tout le champ

visuel, ce qui conduit à détecter certaines informations au détriment d'autres. L'attention permet ainsi d'améliorer les réponses visuelles aux stimuli, conduisant à des amplitudes accrues des réponses électriques cérébrales (Keitel et al., 2013). Comme déjà souligné, le traitement visuel en haute résolution est limité à la région de la fovéa, couvrant ainsi environ 2 degrés d'angle visuel. Pour obtenir des informations à haute résolution à partir de l'ensemble d'une scène visuelle, les yeux doivent être déplacés pour amener les régions d'intérêt sur la fovéa. Typiquement, ceci est accompli par des déplacements oculaires rapides, appelés **saccades**. Les yeux effectuent environ trois saccades par seconde (Henderson & Hollingworth, 1998 ; Rayner, 1998), ce qui entraîne des centaines de milliers de mouvements oculaires chaque jour. Les périodes de stabilité relative du regard entre les saccades sont appelées **fixations**, chacune d'une durée d'environ 300 ms en moyenne (Henderson & Hollingworth, 1998). Lors de ces fixations, les informations visuelles sont codées, et permettent une perception détaillée des éléments visuels concernés. Cependant, une adaptation optimale à l'environnement exige d'y discriminer certaines informations. Pour ce qui concerne les informations émotionnelles, l'utilisation des mouvements oculaires permet de diriger son attention vers une information menaçante par exemple (ex : un animal dangereux) et de maintenir l'attention sur cet élément pour pouvoir parer à toute éventualité. Il s'agit dans ce cas **d'attention explicite**. Cette focalisation de l'attention est aussi utilisée pour soutenir les activités quotidiennes, la position du regard étant étroitement liée aux actions motrices (Land et al., 1999). Ainsi, la fixation du regard spécifie les objets comme cibles de l'action, reliant les informations perceptives visuelles aux programmes moteurs internes et à d'autres opérations cognitives (Ballard et al., 1997). Les mouvements oculaires constituent le principal moyen par lequel les objets pertinents sont sélectionnés pour un traitement plus détaillé. En surveillant la **position**, la **durée**, la **latence** et la **séquence** des **fixations oculaires** sur un stimulus, il est possible de déterminer quelles régions et quelles informations ont attiré l'attention ou retenu l'attention, ou au contraire ont été évitées. Ces données fournissent donc des informations pertinentes dans l'étude du déploiement de l'attention vers les informations d'intérêt. De plus, la séquence de mouvements oculaires se déroule au cours de plusieurs secondes de visualisation, ce qui offre une fenêtre continue sur les opérations perceptives soutenant le comportement (Weierich et al., 2008).

Aussi, il existe deux types de mouvements oculaires : les mouvements oculaires réflexes et ceux contrôlés. Les mouvements réflexes sont commandés par le **colliculus supérieur du mésencéphale**, structure centrale dans la génération des mouvements oculaires, car directement connectée aux circuits pré-moteurs du tronc cérébral qui génèrent des saccades (par exemple, Hanes et Wurtz, 2001 ; revue de la littérature sur les primates : Wurtz et Albano, 1980). Ces mouvements oculaires sont rapides et sont déclenchés par l'apparition soudaine

de stimuli. Dans ce cadre, et pour qualifier un déploiement des ressources attentionnelles de manière **automatique** vers un élément extérieur, il est habituel de parler d'**attention exogène**. Ce mode d'attention met en jeu des **processus ascendants** ou de type « *Bottom-Up* ». Ils peuvent aussi être déclenchés par certaines propriétés d'un stimulus qui captent de manière automatique l'attention de l'individu. En revanche, les mouvements oculaires contrôlés sont commandés par des zones du lobe frontal, notamment les **champs oculaires frontaux (COF)**, qui agissent comme un réseau intégré dans l'initiation des saccades (Wurtz et al., 2001 ; Schall et al., 2011). Ces mouvements oculaires sont lents et **volontaires** et peuvent être modulés par des caractéristiques internes à l'individu. Il s'agit alors d'**attention endogène** qui implique dans ce cas des **processus descendants** « *Top-Down* ». Les COF sont également impliqués dans l'inhibition des saccades par l'intermédiaire du colliculus ce qui suggère que cette région peut aussi être liée à l'attention implicite.

➤ **Attention implicite**

L'attention peut également se déplacer dans le champ visuel sans mouvements oculaires ; c'est l'**attention implicite**. Pendant une fixation, le système visuel peut sélectionner une région particulière du champ visuel pour un traitement plus approfondi. Cette région particulière n'est pas nécessairement placée en vision centrale. Il a déjà été démontré la capacité de diriger son attention sur des éléments visuels sans mouvements oculaires (Posner et al., 1980). Une telle orientation attentionnelle permet de balayer rapidement le champ de vision à la recherche d'informations pertinentes. Par exemple, dans l'étude de Posner et al. (1980), les participants ont pu diriger leur attention vers une région particulière de l'espace où une cible était susceptible d'apparaître en dehors du point de fixation des mouvements oculaires. La détection de la cible était plus rapide dans la région surveillée, Ces données ont conduit Posner à conceptualiser l'attention implicite comme une sorte de « projecteur » qui peut être orienté vers différentes régions du champ visuel, indépendamment de mouvements oculaires. L'expression de ce type d'attention améliorerait la sensibilité visuelle dans la région concernée et faciliterait ainsi le traitement d'informations provenant de la même région.

Alors que les mouvements oculaires se déroulent généralement sur plusieurs secondes, les changements d'attention implicite peuvent opérer sur une échelle de temps beaucoup plus rapide, parfois de l'ordre de 50 à 100 ms (Muller & Rabbit, 1989). En fait, l'attention implicite présente plusieurs avantages dans l'adaptation du comportement humain. Premièrement, elle améliore le traitement visuel précoce pour augmenter la sensibilité perceptive (Hillyard et al., 1998 ; Pestilli & Carrasco, 2005). Par exemple, l'activité d'un neurone de l'aire V4 dont le champ récepteur se trouve sur un stimulus sera renforcée par l'attention implicite (Gregoriou et al., 2010). Une telle attention est aussi connue pour déplacer ou concentrer les champs

récepteurs visuels vers une portion de l'espace visuel (Ben Hamed et al., 2002), ce qui se traduit par l'amélioration de l'acuité visuelle et de la résolution spatiale au niveau de la région visuelle concernée. En plus d'améliorer la résolution spatiale, l'attention implicite améliore d'autres aspects de la performance visuelle, tels que la sensibilité au contraste (Carrasco et al., 2000), la vitesse de traitement (Carrasco & McElee, 2001) et le regroupement d'informations visuelles (Scholte et al., 2001). Deuxièmement, l'attention implicite permet de lier différentes caractéristiques perceptives (par exemple, la couleur et la forme) dans une représentation globale d'un objet, même indépendamment du lieu de fixation du regard (Treisman & Gelade, 1980). Troisièmement, l'attention influence directement la conscience visuelle : en effet, la capacité des participants à percevoir et à rapporter des stimuli visuels sans surveillance ou attention est assez limitée (Mack & Rock, 1998 ; Raymond et al., 1992). L'attention implicite permet donc d'améliorer la prise en compte consciente des informations visuelles. Quatrièmement, l'attention implicite peut sélectionner la cible du prochain mouvement oculaire. En effet, avant une saccade, l'attention se porte sur l'objet cible de la saccade (Hoffman & Subramaniam, 1995). Tout comme pour l'attention explicite, l'attention implicite peut donc se diriger vers un stimulus via une orientation endogène ou volontaire. Par exemple, pendant la lecture, le regard reste fixé sur le mot le temps de le lire pendant que l'attention se dirige sur la suite du texte. Cependant, elle peut aussi s'orienter de manière exogène ou automatique vers un stimulus comme dans le cas de l'apparition brutale d'événements saillants en périphérie visuelle (**Exemple Figure 3**). Dans ces conditions, le déplacement de l'attention implicite est très souvent suivi d'une saccade vers la localisation du stimulus. Ainsi, l'attention implicite et les mouvements oculaires sont distincts, mais peuvent fonctionner de manière couplée ; en d'autres termes, bien que des déplacements d'attention puissent se produire sans mouvements oculaires, les mouvements oculaires sont toujours précédés d'un déplacement de l'attention (Klein, 1980). De plus, l'apparition soudaine d'un stimulus dans la périphérie visuelle peut « capturer » par réflexe à la fois les ressources attentionnelles (Yantis & Jonides, 1984) et les mouvements oculaires (Theeuwes et al., 1998).

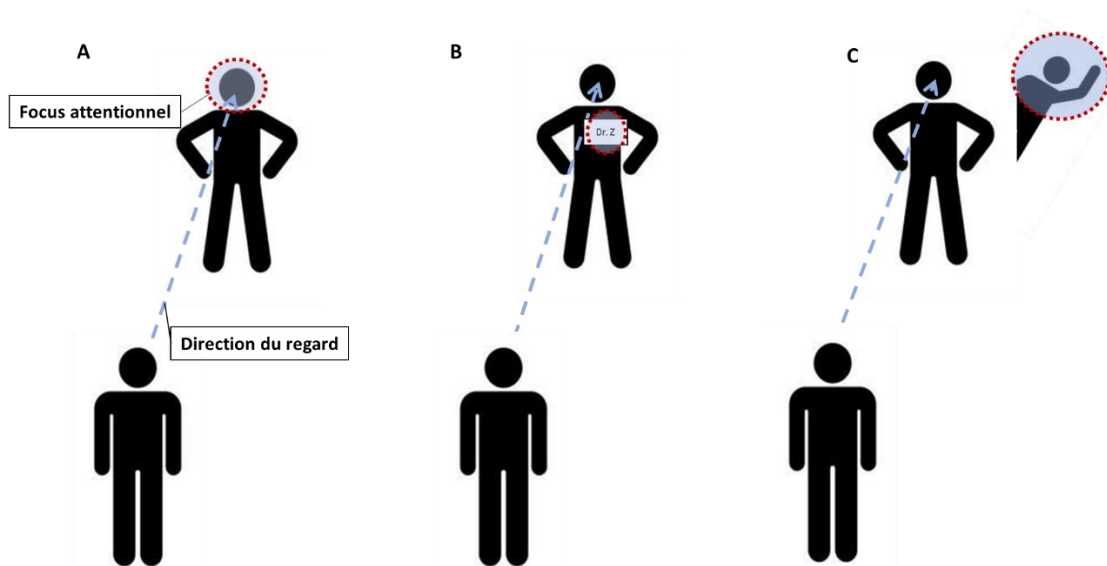


Figure 3. Exemple d'attribution de l'attention spatiale durant une conversation. **A) Attention explicite** : Nous dirigeons notre regard vers l'emplacement d'intérêt, c'est-à-dire le visage de l'interlocuteur. **B) Attention implicite endogène** : Nous dirigeons volontairement notre attention vers l'emplacement d'intérêt, c'est-à-dire le badge, tout en maintenant le regard vers le visage de l'interlocuteur. **C) Attention implicite exogène** : Nous dirigeons notre attention vers l'emplacement d'intérêt de manière automatique, c'est-à-dire vers le collègue faisant un signe, tout en maintenant le regard vers le visage de l'interlocuteur. D'après Anton-Erxleben & Carrasco, 2013.

Il est courant d'utiliser des tâches de "filtrage" pour étudier le rôle de l'attention implicite dans la sélection d'informations visuelles. Ces tâches expérimentales demandent souvent aux participants d'observer un certain nombre de stimuli, mais il leur est demandé de se focaliser sur un seul d'entre eux. Dans le cadre de ces recherches, l'attention visuelle implicite est considérée comme est un mécanisme permettant de balayer rapidement le champ de vision à la recherche d'emplacements ou de stimuli pertinents. Bien que l'attention implicite soit liée aux circuits des mouvements des yeux, son déplacement est plus rapide que la réalisation des mouvements oculaires. Aussi, certaines études suggèrent que les mécanismes d'orientation explicite et implicite peuvent ne pas être contrôlés séparément et indépendamment comme il était admis auparavant. Ainsi, les mécanismes centraux qui contrôlent l'orientation implicite, tels que le **lobe pariétal**, reçoivent également des informations des centres sous-corticaux impliqués dans l'orientation explicite (Posner, 1980). De plus, les théories générales de l'attention supposent que les **processus ascendants**, de type « *Bottom-Up* », automatique ou réflexe et les **processus descendants**, « *Top-Down* » ou volontaires convergeraient vers une architecture neuronale commune, contrôlant à la fois les systèmes attentionnels implicite et explicite (Hunt & Kingstone, 2003).

En résumé, l'attention portée aux informations présentes dans le champ visuel, en vision centrale ou périphérique, peut s'effectuer à l'aide de mouvements oculaires et correspond ainsi à l'**attention dite explicite** ; aussi, l'attention peut s'exprimer indépendamment de ces mêmes mouvements, ce qui correspond à l'**attention implicite**. Cette distinction entre attention explicite et implicite a largement été étudiée dans le cadre d'une forme d'attention particulière, permettant de sélectionner les informations pertinentes dans l'espace visuel : l'**attention sélective**.

*Dans la partie suivante, nous nous intéresserons donc à l'**attention sélective**, processus perceptivo-cognitif qui permet d'opérer un traitement et une sélectivité (« un filtre ») sur les informations parvenant à l'individu. Ce processus aurait pour but d'adapter son comportement tout en tenant compte de la situation environnementale et de paramètres psychiques qui lui sont propres.*

2.2. Attention sélective et saillance

L'attention dans la modalité visuelle, qu'elle soit liée ou non aux mouvements oculaires, est dépendante d'un système cognitif qui n'est pas considéré comme unitaire. Étant donné la large gamme de stimuli concernée par cette modalité, plusieurs mécanismes entrent en jeu pour engager la sélection attentionnelle, la déplacer ou la désengager des éléments pertinents de l'environnement.

L'attention sélective fait référence à la capacité de prêter attention à un éventail limité parmi toutes les informations sensorielles disponibles, internes ou externes, tout en bloquant les informations pouvant avoir une valeur de distraction (Stevens & Bavalier, 2012). Bien que ce type d'attention se manifeste dans l'ensemble des modalités sensorielles, l'attention sélective visuelle occupe toutefois une part privilégiée dans les recherches en neurosciences et psychologie. En effet, l'attention sélective, en tant que filtre pour aider à hiérarchiser les informations en fonction de leur importance, a une haute valeur adaptative. À cette fin, la sélection d'informations environnementales nécessite de donner une valeur à chaque stimulus présent dans une scène visuelle. Cette valeur est d'autant plus importante que les ressources en attention ne sont pas stables au cours du temps et que le milieu environnant change en permanence. De ce fait, certains éléments ont une valeur de saillance qui varie au fil du temps.

La **saillance** des stimuli renvoie à leur importance, à leur intensité et à leur détectabilité (APA, 2020). Ainsi, la valeur attribuée à un stimulus de l'environnement peut s'effectuer selon deux critères. Le premier concerne les **caractéristiques propres d'un stimulus** et correspond à la **saillance intrinsèque**. Ce type de saillance parvient à capter les ressources attentionnelles sur la base d'informations sensorielles et peut, dans un certain nombre de cas,

capter l'attention de manière automatique ou réflexe. Cet effet, aussi appelé effet « **pop-out** », s'observe dans différents paradigmes et permet à l'individu de diriger rapidement son attention sur l'élément physique saillant du stimulus. L'effet « **pop-out** » caractérise la capacité de la cible à se démarquer des distracteurs environnants en raison de sa caractéristique unique (Ashcraft & Radvansky, 2016). C'est un traitement de type ascendant qui permet de détecter des caractéristiques spécifiques à la cible pour la différencier des distracteurs (McElree & Carasco, 1999). Par exemple, dans une tâche de recherche visuelle de cible, la détection de la cible sera plus rapide lorsqu'un trait physique diffère comparativement à un ensemble de distracteurs communs. C'est le cas notamment de la détection d'une cible qui diffère en termes de couleur, d'orientation ou d'expression émotionnelle. La cible est perçue immédiatement, automatiquement, avec une même facilité, quelle que soit la quantité de distracteurs. Plus le nombre de caractéristiques physiques diffère, plus la saillance sera marquée et l'effet « **pop-out** » observable (**Figure 4**).

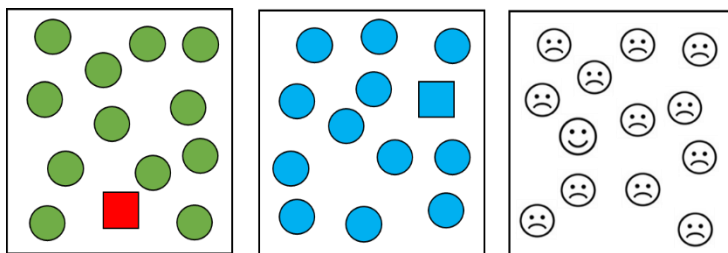


Figure 4. Illustration de l'effet "pop-out" et de l'effet de la saillance intrinsèque sur l'attention. Les éléments présentant une caractéristique physique saillante relativement aux distracteurs sont perçus plus rapidement. Par ailleurs, la détection est d'autant plus rapide que le nombre de caractéristiques physiques diffère. Cet effet est également observable au niveau expérimental pour la détection de stimuli émotionnels parmi des stimuli neutres.

La valeur attribuée à un stimulus peut aussi dépendre **de l'état interne de l'individu** (besoins vitaux, récompenses associées, personnalité, état émotionnel ...). Dans ce cas, il s'agit de **saillance extrinsèque**. Ainsi, des caractéristiques propres à l'individu, telles que des différences individuelles d'expérience et d'apprentissage, modulent la manière dont l'attention se déploie dans l'environnement. Par exemple, l'attention pour des stimuli relatifs à la nourriture et aux signaux pour la nourriture variera considérablement en fonction du niveau de faim de l'individu. Aussi, la présence de fumée de cigarette dans une pièce est un signal puissant qui peut capter l'attention d'un fumeur, mais peut être ressentie comme aversive et distraire un non-fumeur. Ces mécanismes attentionnels sont notamment impliqués dans des pathologies psychologiques tels que les troubles de l'humeur ou les addictions, en orientant et en maintenant l'attention vers des stimuli spécifiques. Par exemple, l'abus de substances peut avoir la capacité de produire des adaptations au niveau neuronal dans les systèmes de motivation et de récompense, entraînant une hypersensibilité au niveau attentionnel à la substance et aux stimuli liés à cette substance (Weafer & Fillmore, 2013). L'attention étant dirigée et maintenue vers la substance addictive, favorisera les comportements d'approche et de consommation. La valeur donnée à chaque stimulus, qu'elle s'effectue sur la base d'une

saillance intrinsèque ou **extrinsèque**, présente donc une importance majeure dans la génération des comportements. Néanmoins, la sélection de l'information saillante de l'environnement n'est pas un processus unitaire et plusieurs composantes peuvent moduler le déploiement de l'attention dans l'espace visuel.

2.3. Les composantes du déploiement attentionnel

Aujourd'hui, la conception unitaire de l'attention a laissé place à une conception modulaire basée sur des données cérébrales et comportementales. Ainsi, le système attentionnel peut être divisé en sous-systèmes qui assurent des fonctions différentes, mais interdépendantes (Posner & Petersen, 1990 ; Petersen & Posner, 2012). Il existe désormais des preuves substantielles en faveur de l'idée selon laquelle le système attentionnel humain serait constitué de trois éléments : le déplacement (*attentional shifting*), l'engagement et le désengagement de l'attention (Posner et Petersen, 1990 ; Fox et al., 2001). Dans ce cadre, pour transférer l'attention vers un nouvel emplacement, l'attention doit d'abord être désengagée de l'emplacement actuel, puis déplacée et engagée sur le nouvel emplacement. Les composantes de déplacement et d'engagement concernent toutes les deux l'orientation de l'attention vers un nouvel emplacement. Ainsi, nous utilisons les termes « orienter » ou « déplacer » l'attention pour faire référence à l'ensemble du processus consistant à diriger l'attention sur un nouvel objet ou un nouvel emplacement.

➤ **Orientation de l'attention**

L'orientation est le processus de déplacement de l'attention vers un emplacement, qu'il s'agisse d'un repère dans l'espace (orientation spatiale) ou, plus rarement, dans le temps (orientation temporelle). L'attention peut également être orientée vers des dimensions particulières d'un stimulus qui se produisent simultanément dans le même emplacement spatial (par exemple, vers la couleur ou le sens du mot). L'orientation implique que les signaux à un endroit donné soient amplifiés, que ce soit en raison de caractéristiques propres au stimulus (intrinsèques), ou en raison de caractéristiques propres à l'individu (extrinsèques). L'orientation visuelle vers un stimulus améliore l'efficacité du traitement en termes d'acuité, notamment à l'aide du déplacement du regard (attention explicite), mais il est également possible de changer la priorité donnée à un stimulus en s'occupant de son emplacement sans aucun changement dans la position des yeux ou de la tête (attention implicite ; Posner 1988).

L'attention peut être orientée vers une localisation précise par deux modes opératoires, **l'orientation endogène** et **l'orientation exogène** (Posner, 2016). **L'orientation endogène** se réfère à une initiation des processus par des traitements cognitifs descendants (dits aussi « *top-down* »). Dans le cas d'une orientation endogène de l'attention, les processus attentionnels sont conduits **volontairement** et guidés par la vigilance, la concentration, l'intérêt

et les besoins tels que la curiosité ou la faim. Dans ce cas, la personne se concentre et oriente son attention volontairement vers un stimulus. Dans **l'orientation exogène**, également appelée *attention réflexive*, les processus attentionnels sont activés **automatiquement** par un indice extérieur. Ce type d'orientation fait référence au processus involontaire dirigé par des événements externes, devenus saillants dans leur environnement, tels qu'un flash lumineux, une forte odeur ou un bruit fort et soudain. L'attention exogène est considérée comme involontaire et automatique et concernerait entre autres la détection d'événements menaçants qui capteraient automatiquement l'attention. Dans ce cas, la perception d'un stimulus dans le champ visuel périphérique peut conduire à orienter l'attention visuelle en direction de ce stimulus et permettre son identification (par exemple une voiture qui arrive dans notre direction).

D'un point de vue expérimental, s'il est demandé à un individu de déplacer ses yeux vers un stimulus cible, une amélioration dans la capacité à détecter la cible commence bien avant que les yeux ne bougent (Remington 1980). Ce déplacement de l'attention semble fonctionner comme un moyen de guider l'œil vers une zone appropriée du champ visuel (Fischer Breitmeyer 1987, Posner & Cohen 1984). De plus, si un individu s'attend à l'apparition d'un stimulus à un emplacement, les événements survenant à cet emplacement peuvent être détectés à des seuils de faible valeur (Bashinski & Bachrach, 1980, Downing 1988), sont traités rapidement (Eriksen & Hoffman 1972, Posner, 1988) et donnent lieu à une activité cérébrale accrue (Mangun & Hillyard, 1987).

➤ **Maintien de l'attention**

Le maintien de l'attention, ou attention soutenue, est le processus par lequel le traitement efficace des stimuli conscients est maintenu dans la durée (Langner & Eickhoff, 2013) et permet donc de garder l'attention focalisée sur une tâche ou un élément spécifique pendant une période prolongée (Fortenbaugh et al., 2017). L'objectif est ainsi de continuer à adopter un comportement jusqu'à ce que la tâche soit terminée ou qu'un certain laps de temps se soit écoulé. La capacité de maintenir l'attention sur un stimulus, de quelques secondes à quelques minutes, est une fonction cognitive fondamentale qui joue un rôle essentiel dans le fonctionnement quotidien. L'attention soutenue est ainsi l'un des principaux éléments ou composants des processus d'attention car elle permet le maintien de la vigilance, une attention sélective et focalisée, la persistance d'une réponse et d'un effort continu malgré le caractère changeant des conditions internes et externes à l'individu (Cohen, 2011).

L'attention soutenue varie considérablement d'un individu à l'autre. Elle est liée à diverses capacités cognitives et différences de personnalité, ainsi qu'à la structure des réseaux cérébraux et leur bon fonctionnement (Robertson et al., 1997 ; Westlye, Grydeland, Walhovd

et Fjell, 2011). Aussi, l'attention soutenue dépend de processus élémentaires comme les intentions de l'individu et le niveau de son contrôle exécutif. Ainsi, les facteurs qui affectent l'intention de réponse et le contrôle exécutif ont tendance à affecter considérablement les performances de maintien de l'attention. L'attention soutenue dépend de la capacité à inhiber les impulsions et les réponses concurrentes, à former une intention d'agir, de générer un ensemble de réponses cohérentes ou encore à éviter d'autres réponses en fonction des exigences de la tâche. La perturbation des processus de contrôle a tendance à conduire à un échec de l'attention soutenue. Pour ces raisons, les patients présentant des lésions du lobe frontal et des troubles affectant les voies frontales sous-corticales ont généralement des problèmes d'attention soutenue et focalisée (Cohen, 2014). Elle dépend également d'une capacité de vigilance relativement stable, permettant une intensité de concentration adéquate au fil du temps. Les facteurs qui interfèrent avec la capacité d'une personne à se préparer à focaliser l'attention de manière sélective, aux signaux externes ou internes, affecteront probablement aussi l'attention soutenue.

Le caractère soutenu de l'attention présente un grand nombre d'implications dans les comportements quotidiens (Fortenbaugh et al., 2017). Par exemple, l'attention soutenue a été liée à la performance académique et professionnelle (Kalechstein et al., 2003 ; Lam & Beale, 1991) alors que les défaillances attentionnelles prédisent les accidents de la route (Ball, Owsley et Sloane, 1991 ; Schmidt et al., 2009). La recherche a également montré que de nombreux autres processus cognitifs, tels que l'apprentissage, la mémoire et les fonctions exécutives, reposent sur une attention soutenue (Barkley, 1997 ; Sarter et al., 2001 ; Silver & Feldman, 2005). En outre, les déficits d'attention soutenue sont l'un des problèmes cognitifs les plus répandus dans un large éventail de populations de patients neurologiques et psychiatriques (Buxbaum et al., 2004 ; Clark et al., 2002 ; Park, et al., 2012).

En résumé, l'**attention sélective** agit en tant que filtre et permet de traiter prioritairement certaines informations au détriment d'autres. La sélectivité des ressources attentionnelles s'opère en favorisant l'**orientation** ou le **maintien** de l'attention en direction de ces informations et est dépendante de la **saillance, intrinsèque ou extrinsèque**, des informations à traiter.

Aussi, parmi le large éventail des informations capables de retenir l'attention, celles de nature émotionnelle occupent une place centrale. En effet, ces dernières permettent l'adaptation de l'individu à une large gamme de situations et possèdent donc une valeur adaptative pouvant expliquer l'important déploiement de ressources attentionnelles en vue d'optimiser leur traitement. Par ailleurs, en plus de leur saillance intrinsèque, sous-tendue par

un intérêt adaptatif, les informations émotionnelles sont aussi susceptibles de posséder une saillance extrinsèque relative à l'état d'humeur et à la santé mentale des individus.

Dans la partie suivante, nous nous intéresserons à l'étude de l'émotion, de ses composantes et à la manière dont les informations dotées d'une valeur émotionnelle peuvent interagir avec le système attentionnel.

Chapitre II. Emotion

1. Domaine des émotions et premières théories

Les émotions ont un impact majeur sur nos comportements quotidiens. Elles modulent nos réactions à l'environnement et influencent une large palette de processus cognitifs. Cependant, malgré le poids prépondérant de l'émotion dans notre vie, elle n'a fait l'objet d'études scientifiques que tardivement. En effet, longtemps opposée au concept de cognition, l'émotion était considérée comme perturbatrice de la pensée logique notamment par les grands philosophes de la pensée occidentale tels que Platon, Kant et Descartes. La tradition transmise par ces penseurs oppose la « raison » aux « passions » et seule la logique, purement rationnelle, et non l'émotion, peut mener à la solution de la plupart des problèmes (Hoorebeke, 2008). Toujours selon cette conception, une décision est inspirée de données sensorielles, d'événements, alors que l'émotion ne ferait qu'interférer avec ces éléments.

Néanmoins, à une époque plus récente, quelques précurseurs ont mis en lumière l'importance de l'étude des émotions pour comprendre le comportement humain. Sur ce plan, Darwin en 1872, met en avant, dans son ouvrage « *The Expression of the Emotions in Man and Animals* », la nécessaire continuité des comportements émotionnels entre les animaux et l'Homme. Ainsi, dans une perspective évolutive, l'émotion présenterait un caractère adaptatif et favoriserait la survie de l'individu au sein du grand processus de la sélection naturelle. Cette prise en compte de l'émotion dans l'étude du comportement humain apparaît donc novatrice pour l'époque et les idées développées dans cet ouvrage donneront aussi naissance à la psychologie évolutionniste (Ghiselin, 1973).

A la même époque, James, dans « *Les principes de la psychologie* » (1890), s'intéresse aussi au concept d'émotion et développera une des premières théories portant sur l'origine et la nature des émotions, appelée **théorie de James-Lange**, car également développée par Lange. Elle postule que c'est l'activation physiologique qui induit l'expérience émotionnelle. Dans ce cadre, ces auteurs proposent que, suite à certains stimuli, des changements physiologiques surviennent aussitôt et provoquent ensuite l'émotion ressentie, conséquence des afférences vers le cerveau de la réaction corporelle. Cette théorie propose aussi que chaque émotion est associée à une configuration unique d'activation physiologique et comportementale. Cette théorie novatrice, qui met l'accent sur la priorité de la réactivité physiologique, sera rapidement critiquée par Cannon (1915). Parmi ses critiques, appuyées par l'expérimentation, Cannon rapporte que la séparation des viscères du système nerveux central n'altère pas les comportements émotionnels et que les mêmes changements viscéraux sont trop lents pour être une source du ressenti émotionnel. Ils se produisent aussi dans des

états émotionnels très différents et dans des états non émotionnels. Il rapporte également que les viscères sont des structures relativement insensibles et que leur stimulation artificielle, pourtant typique des émotions fortes, ne parvient pas à déclencher des émotions. Ainsi naît la **théorie de Cannon-Bard**, clairement opposée à la **théorie James-Lange**. La nouvelle théorie postulera que les changements physiologiques et le sentiment subjectif d'une émotion, en réponse à un stimulus, surviennent de manière concomitante et sont la conséquence d'une forte activation du thalamus. Ainsi, les composantes de l'émotion dépendent directement de l'activation thalamique et non de l'activation physiologique périphérique.

Finalement, il faudra attendre 1962 pour que soit développée la **théorie cognitivo-physiologique** des émotions qui intégrera certains éléments explicatifs des deux théories précédentes. D'après cette théorie, formulée par Schacter et Singer, un état émotionnel nécessite obligatoirement la mobilisation de deux activations conjointes : cognitive et physiologique. Cette théorie met donc en avant l'importance des processus cognitifs qui seraient le résultat d'une activation centrale et corporelle ainsi que leur influence réciproque.

Bien que l'émotion ait fait l'objet d'un intérêt particulier de la part de la Psychologie naissante, son étude expérimentale a bénéficié d'un essor nouveau à partir des années 1980 et ceci grâce notamment aux neurosciences et à ses nouvelles méthodes d'investigation. Par ailleurs, les travaux de Damasio ont contribué à imposer l'idée selon laquelle l'étude de l'émotion était indispensable pour comprendre un certain nombre de mécanismes cognitifs, notamment en termes de prise de décision (Damasio, 1994). En particulier, sa **théorie des marqueurs somatiques** (Damasio, 2008) reprend des éléments de la théorie physiologique des émotions et notamment le rôle modulateur de l'activation physiologique dans le comportement. Cette théorie implique que les stimuli sont associés à des traces biologiques des expériences émotionnelles passées qui seront activées lors des confrontations ultérieures avec ces stimuli et conditionneront ainsi la prise de décision. Ainsi, cette théorie plaide pour une complémentarité des processus émotionnels et cognitifs avec une contribution significative des afférences d'origine corporelle. Aujourd'hui, l'étude expérimentale des émotions seules ou de leur interaction avec la cognition est largement répandue dans le domaine des neurosciences et de la psychologie. Dans ce cadre, l'émotion est définie comme une réaction psychophysologique mettant à contribution des modifications sur plusieurs composantes (Scherer, 2005).

2. Composantes émotionnelles

Il y a désormais un consensus pour considérer l'émotion comme une réponse adaptative multidimensionnelle présentant trois composantes majeures (Damasio, 2000). La première,

comportementale, comprend notamment des expressions faciales, des vocalisations, des mouvements oculaires ou encore des modifications posturales qui viennent accompagner un état émotionnel permettant à l'individu de communiquer ses intentions ou sa réaction à autrui. La seconde, **subjective**, concerne l'état interne et le ressenti subjectif de l'état émotionnel. Enfin, la dernière correspond aux **réponses physiologiques** qui accompagnent l'expression de l'émotion, notamment de type neurovégétatif, telles que l'activité électrodermale et l'activité cardiaque.

Au-delà des trois composantes évoquées, plusieurs auteurs ont élargi le champ des dimensions nécessaires à la définition d'une émotion pour y inclure notamment des facteurs motivationnels, mais aussi des traitements nécessaires à l'évaluation des caractéristiques affectives du stimulus. Ainsi, selon le modèle de Scherer (Component Process Model, CPM ; 2005), aux trois composantes présentées doivent s'ajouter les **tendances à l'action**. Celles-ci correspondent à la motivation qu'aura un individu pour préparer et diriger les réponses motrices vers la source de l'émotion en cas d'affect positif ou, au contraire, les écarter de la source de l'émotion en cas d'affect négatif. Enfin, la dernière composante concerne **l'évaluation cognitive** qui fournit une évaluation des événements susceptibles de déclencher des émotions. Toujours selon le même modèle, l'expérience émotionnelle nécessite que tous les processus liés aux tendances à l'action soient coordonnés et synchronisés pendant une courte période de temps, guidés par des processus d'évaluation. En bref, l'étude de l'émotion peut donc se focaliser sur l'étude indépendante ou simultanée de ces différentes composantes. Ainsi, divers modèles explicatifs ont été développés et diffèrent sur le rôle attribué aux différentes composantes émotionnelles.

3. Modèles explicatifs

Selon les modèles, un poids plus ou moins important est mis sur l'une ou l'autre des composantes précédemment présentées. Dans le cadre des neurosciences affectives, les modèles proposés suivent généralement l'approche componentielle, développée par Scherer déjà évoquée, et les approches discrète et dimensionnelle, présentées ci-après.

3.1. Approche discrète des émotions

Dans l'ouvrage (1872) déjà cité, Darwin avance l'idée selon laquelle l'espèce humaine est dotée de six états émotionnels fondamentaux : la joie, la surprise, la peur, le dégoût, la colère et la tristesse, qui seraient communs à un certain nombre d'espèces animales. Sa réflexion se base principalement sur la composante comportementale et plus précisément sur les expressions faciales émotionnelles de différentes espèces, illustrées de manière convaincante dans son ouvrage. De plus, il y cite notamment le neurologue français Guillaume-Benjamin

Duchenne qui, au cours de ses expérimentations, a mis en évidence que la stimulation de certains muscles faciaux permettait de produire une expression faciale authentique (**Figure 5**). La nature biologique de l'émotion y est développée et Darwin la décrit comme une réponse stéréotypée et automatique à valeur adaptative. Pour Darwin l'expression de l'émotion constituerait un réel avantage en favorisant l'individu en termes de survie, ce qui renforcerait un retour la transmission génétique des réponses émotionnelles.



Figure 5. Photographies de patients avec différentes expressions émotionnelles faciales. Photographies provenant du livre « Mécanisme de la Physionomie Humaine » de Duchenne de Boulogne, publié en 1862.

Ces contributions sur les émotions et leur expression constituent les prémices d'une approche développée plus en détail, près de 100 ans plus tard, par Ekman (1984) avec le concept d'**émotions de base, discrètes ou fondamentales**. Selon cette conception, l'émotion serait constituée d'un nombre variable d'expressions et ressentis fondamentaux, toujours source de débat en ce qui concerne l'espèce humaine. Différents auteurs s'accordent néanmoins sur cinq émotions : la peur, la joie, la tristesse, le dégoût et la colère. Ces émotions auraient un caractère inné et des bases biologiques expliquant pourquoi elles seraient universellement exprimées par différentes cultures. D'autres auteurs considèrent que ce nombre d'émotions de base pourrait être de neuf (Tomkins 1962), voire de douze selon certaines conceptions (Izard, 1993). Dans cette approche de l'émotion, en plus des expressions faciales émotionnelles, les émotions de base semblent être associées à des patterns de réponses physiologiques spécifiques sur différents indicateurs neurovégétatifs (Kreibig, 2010). Dans le champ de la recherche, l'approche discrète des émotions est largement utilisée et a donné naissance à de nombreuses bases de données principalement

centrées sur les expressions faciales émotionnelles (par exemple : KDEF, Lundqvist & Öhman, 1998 ; NIMSTIM, Kapoor et al., 2019 ; RAF-DB, Mollahosseini et al., 2019).

3.2. Approche dimensionnelle des émotions

L'approche dimensionnelle des émotions met l'accent sur le sentiment subjectif produit par l'émotion. Ce sentiment ou ressenti pourrait s'expliquer par plusieurs dimensions et pourrait être représenté dans un espace multidimensionnel. Wundt (1832-1920), pionnier allemand de la Psychologie, fût l'un des premiers à avoir proposé un **modèle multi-dimensionnel** des émotions. D'après sa théorie, c'est l'existence et la fusion de trois dimensions qui sous-tendraient les expériences émotionnelles. Chacune de ces dimensions s'exprimerait sur un continuum contenant deux pôles opposés, à savoir : « plaisant-déplaisant », « calme-excitation » et « relaxation-tension ». Dans la continuité de cette conception de l'émotion, Russell développera la **théorie bi-dimensionnelle** à travers le modèle « Circumplex » (1980) impliquant pour chaque émotion deux dimensions : **la valence**, qui renvoie à la valeur émotionnelle se plaçant sur un continuum reliant deux pôles antagonistes : agréable/plaisant/positif vs désagréable/déplaisant/négatif et **l'intensité ou l'activation**, plus ou moins forte, qui renvoie à l'intensité émotionnelle ressentie. Ces dimensions, valence et activation, ont été respectivement associées aux systèmes motivationnels d'approche et d'évitement et à la force de la vigueur avec laquelle les émotions sont ressenties. Elles ont aussi été suggérées comme les fondements du comportement dirigé vers un but pour un large éventail d'organismes (Schneirla, 1959 ; Thayer et Lane, 2000). Tenant compte de ces dimensions, les émotions ont été réparties autour d'un cercle au sein duquel chacun des deux axes correspond à une dimension (**Figure 6**). Cette approche n'exclut donc pas l'approche discrète dans la mesure où les émotions dites de base peuvent se caractériser par une valence et une activation spécifiques.

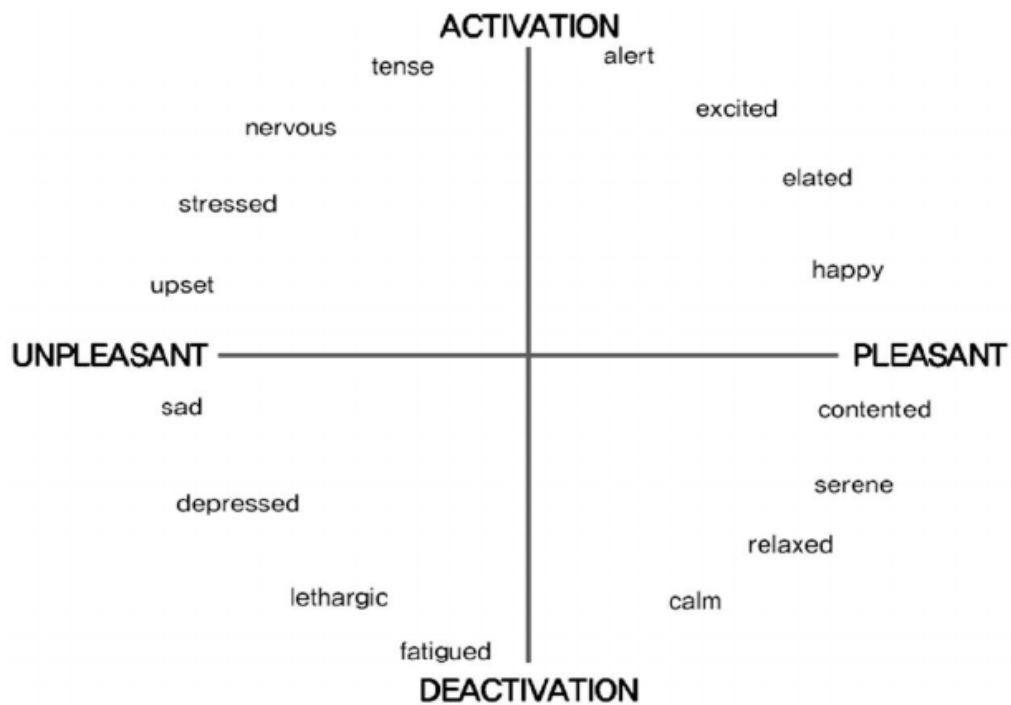


Figure 6. Représentation du modèle du « circumplex » de Russell. La dimension horizontale représente la valence et la dimension verticale représente l'activation. Figure tirée de Feldman-Barrett & Russell (1998).

Une troisième dimension, la **dominance ou contrôle**, a aussi été proposée. Elle renvoie à la sensation de contrôle perçue par l'individu sur le stimulus qui a déclenché l'émotion. Cependant, cette dimension s'avère peu pertinente d'un point de vue statistique et reste largement moins utilisée que les deux premières dimensions (Heilman, 1997 ; Lang et al., 1993).

Certains auteurs ont transposé ce modèle au stimulus provoquant l'émotion et ont considéré que les stimuli pouvaient être eux-mêmes caractérisés sur ces deux dimensions (Lang et al., 1993). Ainsi, sur la base de cette théorie, une banque de données internationale standardisée et largement utilisée s'est développée dans le champ des neurosciences affectives : *l'International Affective Picture System (IAPS ; Lang, Bradley, & Cuthbert, 2008)* pour laquelle chaque stimulus de la base peut être caractérisé par une valeur de valence et une valeur d'activation. L'échelle "*Self-Assessment Manikin*" (SAM ; Bradley & Lang, 1994) a été mise au point pour permettre une évaluation rapide des dimensions de valence et d'activation pour un stimulus donné. De plus, des validations expérimentales existent notamment au niveau de l'association de ces dimensions avec des indices physiologiques (Heilman, 1997 ; Lang et al., 1993), ce qui renforce l'intérêt de l'utilisation d'une telle approche dans l'étude des composantes et processus émotionnels.

En résumé, l'émotion est une réaction caractérisée par des composantes **subjectives, comportementales et physiologiques**. La **tendance à l'action** et l'**évaluation cognitive** sont deux composantes qui peuvent aussi s'y ajouter selon certains auteurs. Un intérêt croissant s'est porté sur l'étude des émotions et plusieurs approches ont pu être développées pour fournir un cadre explicatif et permettre d'opérationnaliser sur le plan expérimental le concept d'émotion. Deux approches sont dominantes dans le domaine des neurosciences affectives, l'**approche discrète** qui postule un nombre défini d'émotions et l'**approche dimensionnelle** selon laquelle l'émotion peut être décrite selon plusieurs dimensions (en général, la **valence** et l'**activation**). Ces approches ont donné naissance à un grand nombre d'études qui ont permis de mettre en lumière le caractère adaptatif de l'émotion et l'intérêt de la mettre en rapport avec d'autres versants de la sphère cognitive.

*En particulier, la littérature scientifique sur l'émotion met en avant le **privilège du traitement des informations émotionnelles sur le plan attentionnel**. Dans ce cadre, l'émotion a la capacité de **capter les ressources attentionnelles** de l'individu et **d'orienter son comportement** en vue de déclencher **une réponse adaptée**.*

4. Traitement de l'émotion au niveau attentionnel

Les mammifères ont évolué dans des environnements où les ressources et les dangers étaient répartis de manière imprévisible dans l'espace et dans le temps. La survie des individus était donc fondée sur la capacité à localiser efficacement les événements d'importance critique dans les environs et à y réagir. Les ressources telles que la nourriture et les partenaires d'accouplement constituaient des éléments d'importance alors que les dangers et menaces devaient être détectés rapidement pour être évités. La détection de ces informations a donc un caractère adaptatif majeur, notamment en termes de survie (Ohman et al., 2001). Dans ce cadre, la peur suscitée par le danger et la manière d'y réagir, par exemple, a certainement contribué à sélectionner les individus aptes à détecter et à traiter les stimuli déclencheurs de la peur. Il est donc probable qu'un processus comparable ait pu installer et renforcer les autres émotions. Ainsi, le système cognitif et plus particulièrement le système attentionnel humain a développé des mécanismes permettant d'orienter les ressources de l'individu et de maintenir son attention vers l'information émotionnelle en vue d'opérer un traitement plus approfondi. De ce fait, les ressources attentionnelles tendent à s'orienter et à se maintenir sur les informations émotionnelles. Ce traitement préférentiel par rapport à celui dédié aux informations neutres caractérise le **biais d'attention sélective** ou **biais attentionnel**. Dans la partie suivante, nous définirons la notion de biais attentionnel et présenterons divers paradigmes permettant de l'analyser. Aussi, nous aborderons les données expérimentales permettant de montrer le lien entre ce type de biais et les différentes informations émotionnelles.

4.1. **Biais attentionnel émotionnel : concept et mesure**

De manière générale, les biais cognitifs renvoient à une distorsion dans le traitement cognitif d'une information. Le terme **biais** fait référence à une déviation systématique de la pensée logique et rationnelle par rapport à la réalité (Haselton et al., 2005). Ces biais affectent différentes fonctions cognitives dont la mémoire, la prise de décision ou encore l'attention. Bien qu'un traitement biaisé de l'information puisse sembler contreproductif et que certains biais soient le produit d'une limitation dans les capacités de traitement de l'information des individus, il peut aussi faciliter un certain nombre de processus dans la vie quotidienne et favoriser l'adaptation en permettant une réaction plus rapide dans un contexte donné (Gigerenzer & Goldstein, 1996). Ainsi, le **biais d'attention sélective** ou **biais attentionnel** est un biais cognitif qui fait référence à la façon dont la perception d'une personne est affectée par des facteurs sélectifs de son attention (Bar-Haim et al., 2007). Les biais attentionnels peuvent être définis comme une attention exagérée envers une catégorie de stimuli qui bénéficierait alors d'un traitement perceptif et cognitif accru (MacLeod & Mathews, 1988).

L'information émotionnelle, grâce à sa haute valeur adaptative, conduit souvent à capter de manière privilégiée les ressources attentionnelles. De ce fait, les biais attentionnels vers l'émotion ont fait l'objet d'une exploration soutenue grâce à l'utilisation de divers paradigmes expérimentaux. De plus, l'implication de ces biais dans certaines pathologies constitue un argument supplémentaire pour analyser leurs mécanismes. Dans ce contexte, un biais attentionnel envers les stimuli émotionnels a pu être retrouvé dans différents types de tâches ou protocoles expérimentaux, ce qui plaide en faveur d'un phénomène à part entière tout en écartant la possibilité de le considérer comme un artefact expérimental (Cisler & Koster, 2010). Ainsi, pour évaluer l'attractivité de l'émotion sur l'attention, la majorité des paradigmes se sont basés sur des mesures comportementales tels que le temps de réaction (TR) ou les mouvements oculaires.

➤ **Tâche de Stroop émotionnelle**

Cette *tâche*, variante émotionnelle de la tâche classique de Stroop (Stroop, 1935), consiste à afficher différents types de mots (par exemple émotionnel ou neutre) dans des couleurs variables (**Figure 7**). La consigne pour le participant est alors de donner la couleur du mot tout en ignorant son contenu sémantique. Les temps de réponse accrus pour signaler la couleur des mots émotionnels par rapport aux mots neutres sont considérés comme un indicateur de biais attentionnel. Le calcul de biais repose sur l'idée que, pour cette tâche, les réponses seront plus lentes si l'attention est captée par le contenu du mot plutôt que par sa couleur. Les mots avec une plus grande charge émotionnelle, ou spécifiquement pertinents pour l'individu, par exemple des mots relatifs à une addiction ou au fait que quelqu'un souffre de troubles de

l'addiction ou encore des mots menaçants pour un individu anxieux, devraient théoriquement créer une plus grande interférence attentionnelle avec la désignation de la couleur du mot. Ainsi, la comparaison entre la latence des temps de réaction pour nommer la couleur d'un mot émotionnel et la latence pour un mot neutre permet de calculer une différence relative à l'ampleur du biais. De nombreuses études ont mis en évidence des biais attentionnels dans la tâche de Stroop chez les populations anxieuses (voir Bar-Haim et al., 2007, Mogg et Bradley, 1998, Williams et al., 1996). Par exemple, les adolescents avec des niveaux d'anxiété élevés mettent plus de temps à nommer la couleur d'un mot menaçant que des mots neutres ce qui suggère une interférence entre les consignes de la tâche et le traitement sémantique du mot. Par ailleurs, l'interférence attentionnelle augmente de manière linéaire avec le niveau d'anxiété des participants indiquant que les caractéristiques individuelles modulent l'ampleur de l'interférence (Richards et al., 2000).

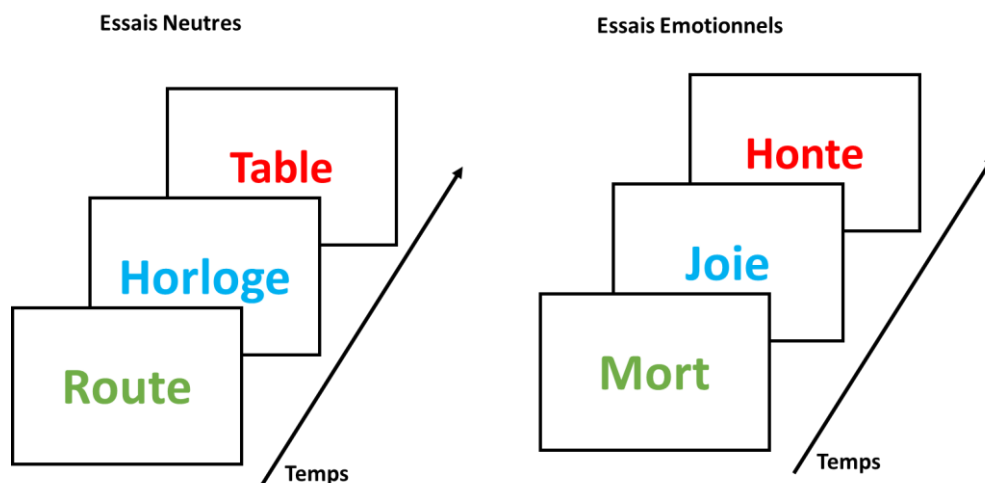


Figure 7. Illustration de la tâche émotionnelle Stroop pour des essais neutres et émotionnels. La tâche du participant est de nommer la couleur dans laquelle le mot apparaît. De manière générale, le temps pour donner la couleur des mots émotionnels est plus long que pour les mots neutres ce qui suggère une interférence attentionnelle entre la tâche et le traitement sémantique de nature émotionnelle.

Bien que cette tâche ait été fréquemment utilisée, quelques limites peuvent lui être associées. Notamment, certains auteurs avancent que cette tâche ne fournit pas un indice clair de biais attentionnel et qu'il existe des difficultés dans l'interprétation des scores (Algom et al., 2004). Par exemple, un délai plus important pour dénommer les mots émotionnels peut être dû à une attention accrue à la signification du mot, mais peut aussi être dû à un retard global dans la réponse à l'émotion. Ainsi, pour un individu anxieux, les mots menaçants peuvent avoir augmenté le niveau d'anxiété et retarder la réponse au mot (Hermans, Vansteenwegen et Eelen, 1999). Aussi, cette tâche ne permet pas de distinguer clairement si le biais est davantage dû à une orientation, au maintien de l'attention sur l'information, ou à la manière dont l'attention s'oriente dans l'espace visuel. Néanmoins, cette tâche, largement

utilisée dans la littérature, permet de mettre en lumière un traitement différentiel entre les informations émotionnelles, ou relatives à une symptomatologie (ex : les mots relatifs à la substance addictive pour les individus avec trouble addictif), et les mots neutres.

➤ **Paradigme modifié de Posner**

Un autre paradigme couramment utilisé pour la mesure du biais attentionnel est une variante émotionnelle de la **tâche de repérage spatial de Posner** (Posner et al., 1984). Cette tâche permet de tester plus directement la répartition de l'attention dans l'espace visuel et mesure à quelle vitesse les individus peuvent orienter leur attention vers des emplacements particuliers dans l'espace visuel en réponse à une cible. Généralement, un carré est présent à gauche et à droite d'une croix de fixation centrale. Lors de la procédure, un indice apparaît et indique dans quel carré le stimulus cible apparaîtra (gauche ou droit). Le participant doit appuyer sur une touche dès que l'image apparaît à l'emplacement indiqué. Dans la variante émotionnelle de cette tâche, l'indice présenté est de nature émotionnelle. L'indice peut être endogène et apparaître en vision centrale, dans le focus attentionnel : par exemple, un visage émotionnel regardant dans la direction dans laquelle la cible sera projetée. L'indice peut aussi être exogène, et apparaître en vision périphérique : par exemple, une image ou un visage émotionnel apparaît dans le carré où la cible sera présentée. Lors de cette tâche, une proportion plus faible d'essais consiste à présenter un indice dit « non valide » indiquant une position spatiale opposée à l'endroit où apparaîtra le stimulus cible ; les essais « valides », sont correctement indicés à travers une concordance spatiale entre l'indice et le stimulus cible (**Figure 8**).

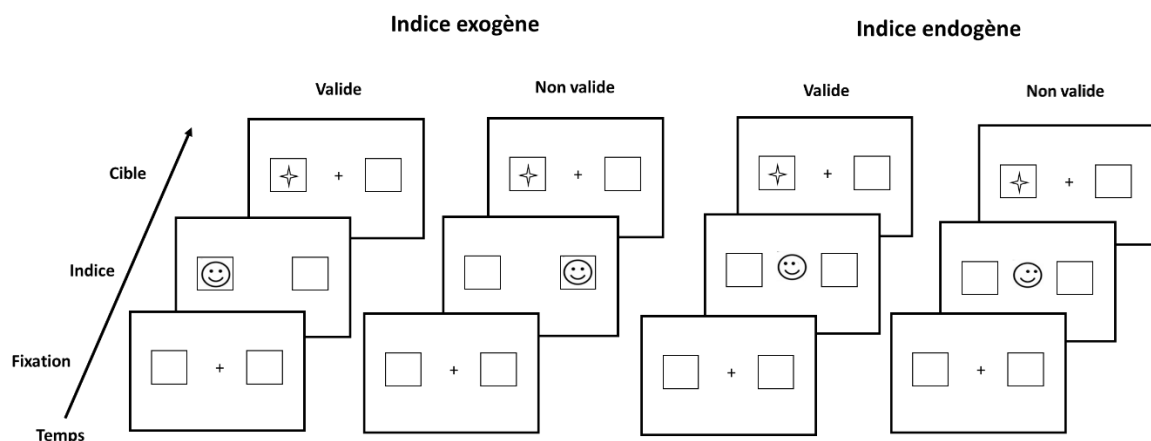


Figure 8. Illustration du paradigme modifié de Posner. Le participant a pour consigne de fixer la croix centrale. Ensuite, un indice émotionnel apparaît, soit en vision périphérique (exogène) soit en vision centrale (endogène). L'indice peut être valide en indiquant la position où la cible apparaîtra ou invalide et indiquer la position opposée.

La comparaison des temps de réaction entre les conditions « valide » et « invalide » permet d'observer un effet de facilitation dû à une orientation de l'attention vers la localisation

de la cible. De manière générale, les sujets sont plus rapides si la cible apparaît sur la position indiquée que non indiquée (Posner et al., 1980). Les biais attentionnels sont indiqués par des réponses plus rapides sur des essais valides basés sur un indice émotionnel par rapport aux essais sur des indices neutres. Aussi, les biais attentionnels sont également indiqués par des réponses plus lentes dans les essais invalides sur l'émotion par rapport aux essais neutres. Enfin, le délai entre l'apparition de l'indice et de la cible peut être manipulé et permet de mettre en évidence un effet appelé **inhibition de retour (IOR)**. En effet, lorsque la cible apparaît à l'endroit indiqué par l'indice, après un délai plus important (environ 300 ms), la détection de la cible met en moyenne plus de temps. Cet effet témoigne d'un désengagement attentionnel sur une position déjà visitée et connue (Rafal et al., 1994).

➤ **Tâche de recherche visuelle**

La **tâche de recherche visuelle** (par exemple, Öhman et al., 2001) est une autre tâche expérimentale qui permet d'évaluer l'allocation de l'attention dans l'espace visuel. Les participants sont invités à détecter un stimulus cible qui est intégré dans une matrice de stimuli distrayants. Par exemple, un visage émotionnel peut être affiché dans une matrice (un modèle à 3 rangées x 3 colonnes de présentation de stimulus) de visages neutres (**Figure 9**). Les biais attentionnels sont déduits des temps de réponse plus rapides pour détecter un stimulus émotionnel dans une matrice de stimuli neutres par rapport aux temps de réponse pour détecter des stimuli neutres dans une matrice neutre (c'est-à-dire que l'attention de l'individu est attirée sur le stimulus émotionnel). Les biais attentionnels peuvent également être déduits des temps de réponse plus lents pour détecter des stimuli neutres dans une matrice de stimuli émotionnels par rapport aux temps de réponse pour détecter des stimuli neutres dans une matrice de stimuli neutres (c'est-à-dire que l'attention de l'individu est retenue par les stimuli émotionnels). La tâche de recherche visuelle a également démontré de manière robuste des biais attentionnels (Cisler et al., 2009, Miltner et al., 2004, Öhman et al., 2001, Rinck et al., 2003). Par exemple, Bjärtå et al., (2013) ont trouvé des biais attentionnels envers les stimuli liés à la menace comme les araignées ou serpents lors de la présentation conjointe avec d'autres stimuli non menaçants (fleurs et champignons). De plus, les participants sensibles aux araignées ont répondu plus rapidement que les participants non craintifs pour cette même tâche indiquant que la rapidité de détection peut être modulée par des caractéristiques individuelles.

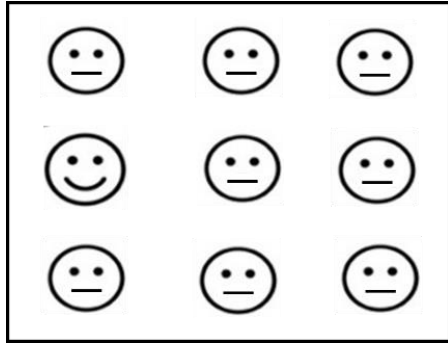


Figure 9. Illustration d'une tâche de recherche visuelle. Un stimulus émotionnel est présenté parmi un ensemble de stimuli neutre. Le participant doit détecter le stimulus émotionnel parmi les stimuli neutre.

Plus récemment, de nouvelles tâches de visualisation, dans lesquelles les mouvements oculaires sont également enregistrés, ont été utilisées. Dans ce cas, il est possible de présenter plusieurs stimuli, dont au moins un émotionnel, et observer la manière dont le regard se déplace vers ces stimuli. Ainsi, il est possible de donner pour consigne aux participants de détecter le plus rapidement possible une cible, mais aussi de regarder librement les stimuli. Le dispositif oculométrique est ainsi utilisé pour suivre les différentes configurations de mouvements oculaires tout au long de chaque essai. Différents paramètres temporels peuvent être calculés tels que **la latence** entre la présentation d'un stimulus et le premier mouvement oculaire ou **la durée des fixations** sur une portion du stimulus visuel qui aura été déterminée préalablement. Il est aussi habituel d'enregistrer des paramètres spatiaux comme les **lieux de fixation** (Duillez & Philippot, 2008). En fonction du paramètre étudié, il est donc possible d'extraire des informations sur l'orientation ou le maintien de l'attention sur les stimuli émotionnels.

➤ **Tâche de sondage attentionnel**

MacLeod, Mathews et Tata (1986) ont développé le paradigme de **sondage attentionnel**, ou « **dot-probe** », permettant d'évaluer l'allocation de l'attention visuelle pour des stimuli émotionnels. Dans cette tâche, deux stimuli (l'un neutre, l'autre émotionnel) sont présentés. Après un laps de temps donné, les stimuli disparaissent et une sonde apparaît au même endroit que l'un des stimuli pour les essais « congruents » et à l'emplacement opposé pour les essais « incongruents ». Les participants sont invités à répondre le plus rapidement possible selon l'emplacement de la sonde : c'est une tâche de détection (par exemple, côté gauche ou droit de l'écran) ; ou, il s'agit d'identifier le type de sonde présenté (par exemple, lettre "E" ou "F") : c'est alors une tâche de discrimination (**Figure 10**). Traditionnellement, les chercheurs se sont concentrés sur les temps de réaction pour détecter ou discriminer la sonde pour calculer un indice de biais attentionnel. L'idée est que les temps de réaction à la sonde seront plus rapides si l'attention est déjà orientée à l'endroit où la sonde apparaît. Par conséquent, une attention préférentielle pour l'émotion est déduite lorsque les temps de réaction sont plus rapides en réponse aux sondes se produisant au même endroit que les stimuli émotionnels

qu'aux sondes se produisant au même endroit que les stimuli neutres. En revanche, l'évitement attentionnel des informations émotionnelles est déduit lorsque les temps de réaction sont plus rapides pour les sondes qui apparaissent à l'endroit où les stimuli neutres étaient présentés, c'est-à-dire que l'attention s'est orientée à l'endroit opposé des stimuli émotionnels. Néanmoins, une critique concerne le fait qu'il n'est pas possible avec cette configuration de définir si les temps de réaction plus rapides concernent une orientation facilitée ou un maintien de l'attention plus marqué. Cette tâche a par la suite été adaptée en ajoutant des essais contenant deux stimuli neutres afin de servir de référence pour estimer la réorientation de l'attention (Koster et al., 2004). En effet, la présence de ce type d'essai permet de comparer les différences de TR entre les essais incongruents contenant une paire de stimuli émotionnel et neutre avec les essais contenant deux stimuli neutres. Cet indice alternatif peut mesurer spécifiquement les difficultés de désengagement de l'information émotionnelle, qui est requis sur les essais incongruents, mais pas sur les essais neutres/neutres. Si la différence est en faveur des essais neutres, il est possible de déduire que le biais attentionnel est lié à un maintien de l'attention sur les informations émotionnelles entraînant un désengagement de l'attention plus coûteux et une réorientation vers la sonde plus lente que lorsque l'information est neutre.

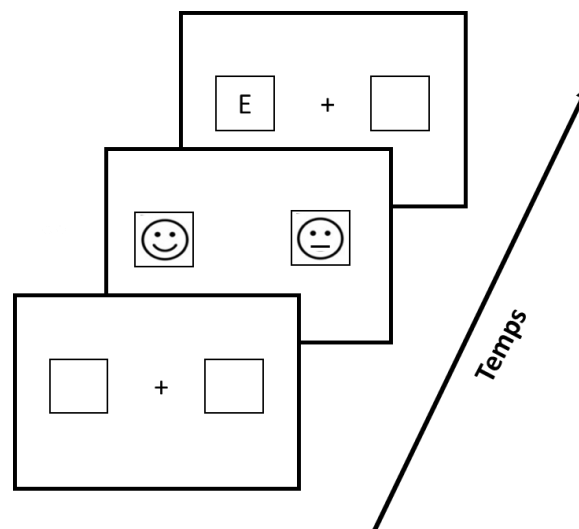


Figure 10. Illustration de la tâche de sondage attentionnel. Après la fixation centrale, une paire de stimuli apparaît. L'un est de nature émotionnelle, l'autre neutre ; puis, l'un d'eux est remplacé par une cible à détecter. La cible est généralement plus vite détectée lorsqu'elle apparaît à la suite du stimulus émotionnel.

En plus des indices de biais attentionnel basés sur les TR, des recherches plus récentes ont utilisé le suivi de mouvements oculaires avec cette tâche. En effet, l'utilisation des temps de réaction ne permet pas de mesurer de manière continue le déploiement de l'attention et a récemment été critiqué concernant ses propriétés psychométriques (Chapman et al., 2019). Comme alternative, les mesures associées aux mouvements oculaires peuvent fournir un indice plus direct du déploiement de l'attention. Ils peuvent refléter à la fois l'orientation, par

exemple l'orientation initiale et la latence de la première fixation, le maintien de l'attention, (par exemple le nombre de fixations, ou la durée totale de fixation ; Duque & Vázquez, 2015) ainsi que la réorientation attentionnelle aux stimuli, c'est-à-dire l'orientation initiale sur un stimulus suivie du maintien de l'attention sur un stimulus opposé. En effet, contrairement aux TR, les mouvements oculaires permettent la mesure continue des processus attentionnels et peuvent ainsi mieux caractériser les biais d'attention aux stimuli émotionnels. Quelques études dans la littérature ont étudié les propriétés psychométriques des indices de mouvement oculaire et la plupart d'entre elles ont utilisé différents stimuli, paradigmes ou échantillons caractéristiques (Lazarov et al., 2016 ; Sears et al., 2019 ; Skinner et al., 2018 ; Waechter et al., 2013). Même si pour les indices d'orientation de l'attention les résultats manquent parfois de consensus (Skinner et al., 2018), ceux pour les indices de maintien de l'attention, tels que le temps de fixation total et le nombre de fixations, semblent plutôt fiables concernant les propriétés psychométriques (Sears et al., 2019). Ainsi, pour évaluer les biais attentionnels chez les enfants et les adultes, plusieurs auteurs suggèrent que les mesures de suivi oculaire peuvent avoir de meilleures propriétés psychométriques globales par rapport aux TR traditionnels (Chong & Meyer, 2020).

L'utilisation des paradigmes cités a permis de faire émerger la présence de trois principaux types de biais attentionnel pour les informations émotionnelles. Le premier, dit **biais de facilitation**, se traduit par une orientation de l'attention vers l'information émotionnelle. Le second type, nommé **biais de désengagement**, conduit l'individu à se focaliser sur le stimulus émotionnel et à ressentir de la difficulté à s'en détacher. Ce biais se traduit par un maintien de l'attention vers l'information émotionnelle. Enfin, le troisième type de biais, connu sous le terme de **biais d'évitement**, amène l'individu à orienter l'attention dans le sens opposé de l'information émotionnelle.

4.2. Types de biais attentionnels et émotion

➤ **Biais de facilitation et orientation vers l'émotion**

Le biais de facilitation se caractérise par une orientation attentionnelle privilégiée envers les stimuli saillants et émotionnels. Plusieurs mécanismes sont impliqués dans l'orientation de l'attention vers l'émotion et il a été suggéré que, par exemple, des processus **pré-attentifs automatiques** permettent à l'organisme de réagir de manière rapide à des situations environnementales (Robinson, 1998 ; voir **Figure 11**). Ces processus ont été particulièrement étudiés dans le cadre d'informations émotionnelles liées à la peur ou à la menace. En effet, les stimuli liés à la menace tels que les serpents, araignées et visages en colère (voir Ohman & Mineka, 2001 ; Ohman et al., 2001), sont susceptibles de capter l'attention automatiquement et ce, même en l'absence de contrôle de l'attention. Il a ainsi été suggéré que ces stimuli

peuvent avoir été sélectionnés par l'évolution pour attirer de manière automatique l'attention (Tooby & Cosmides, 1990). En plus de la détection automatique, les apprentissages peuvent aussi avoir modulé les ressources attentionnelles de manière à détecter plus rapidement des stimuli pertinents, en particulier de nature émotionnelle. Par exemple, l'abus de substances à caractère hédonique entraîne des modifications dans les systèmes de motivation et de récompense, créant ainsi une hypersensibilité au niveau attentionnel à la substance (Weafer & Fillmore, 2013).

Illustrations expérimentales. Comme déjà évoqué plus haut, plusieurs types des tâches ou paradigmes montrent une supériorité de l'impact des informations émotionnelles dans l'orientation de l'attention. Par exemple, l'attention est attirée plus rapidement sur des éléments émotionnels que sur des éléments neutres lorsqu'ils constituent les cibles à rechercher et peuvent guider l'allocation de l'attention (Frischen et al., 2008). Les temps de détection sont plus rapides lorsque la cible a une valeur émotionnelle, comme un visage en colère ou heureux, parmi des visages neutres (Eastwood, et al. 2001), ou un serpent ou une araignée parmi des fleurs (Ohman, et al., 2001). Dans le cadre de l'orientation spatiale, l'orientation vers une cible peut être accélérée dès lors qu'au même endroit de la cible une information émotionnelle ait déjà été présentée ; cet effet a été montré dans les tâches de repérage spatial ou de sondage attentionnel (Pourtois et al., 2005 ; Bradley et al., 1999). L'orientation temporelle est également favorisée par l'information émotionnelle dans le cadre de la technique de présentation visuelle rapide de stimuli de manière séquentielle, connue sous l'acronyme « RSVP ». Dans les paradigmes RSVP de type « clignement attentionnel » (« Attention blink »), durant lesquels des stimuli sont présentés les uns à la suite des autres, séparés par des délais très courts, une cible visuelle est souvent manquée lorsqu'elle est présentée peu de temps après une autre cible. Toutefois, ces échecs d'identification sont réduits lorsque la deuxième cible est émotionnellement activatrice (Anderson, 2005) plutôt que neutre. Aussi, un bref visage émotionnel sans rapport avec la tâche peut améliorer la perception d'une cible ultérieure lorsqu'il n'y a pas de chevauchement spatial entre le visage et la cible (Phelps, Ling, & Carrasco, 2006). Concernant les mouvements oculaires, une revue récente rapporte une orientation privilégiée de l'attention, dans différents paradigmes, vers les informations émotionnelles (Mulckhuysse, 2018). Par exemple, lorsque des scènes visuelles émotionnelles et neutres sont présentées simultanément en vision périphérique, les participants ont une probabilité plus élevée de regarder l'image émotionnelle en premier (Nummenmaa et al., 2006) ; de plus, les saccades sont plus rapides vers les scènes émotionnelles que neutres (Nummenmaa et al., 2009). Aussi, les saccades vers les visages présentés en périphérie sont également plus rapides lorsqu'elles affichent une expression émotionnelle plutôt qu'une expression neutre (Johnson Jr, 1988). La présentation de

distracteurs émotionnels entraîne également une orientation de l'attention vers ces informations même lorsque l'information émotionnelle n'était pas pertinente lors de la tâche. Enfin, les saccades dirigées vers l'emplacement précédemment occupé par un stimulus menaçant sont aussi plus rapides que les saccades dirigées vers un emplacement occupé par un stimulus neutre (Schmidt et al., 2015, 2017). Ceci suggère que l'orientation de l'attention se maintient dans l'emplacement « menaçant », même après disparition de l'information émotionnelle.

Bases neuronales. Au niveau cérébral, la vigilance accrue vers les informations émotionnelles pourrait être sous-tendue par le recrutement du **cortex cingulaire antérieur ventral (ACC)** et des structures limbiques, en particulier **l'amygdale**, qui attireraient automatiquement l'attention sur les stimuli émotionnels saillants et favoriseraient ainsi les réponses émotionnelles (Sanchez-Lopez et al., 2018). En effet, l'amygdale a été proposée comme base neuronale favorisant la vigilance automatique pour l'émotion (Vuilleumier, 2005) grâce à ses nombreux liens avec les régions corticales et sous-corticales (Holland & Gallagher, 1999), potentiellement capables d'influencer la perception et l'expression du comportement. En particulier, des données de neuroimagerie montrent que l'activité de l'amygdale est associée à une réponse accrue aux stimuli émotionnels dans le cortex visuel (Morris et al., 1998). De manière complémentaire, des lésions de l'amygdale peuvent abolir l'activation accrue de certaines régions cérébrales lors de la présentation de visages craintifs par rapport à des visages neutres (Vuilleumier et al., 2004) ou encore supprimer l'avantage attentionnel pour l'émotion dans des paradigmes mesurant le déploiement temporel de l'attention (Anderson, 2005). Une orientation et un traitement perceptif accrus des stimuli émotionnels pourraient donc être le résultat de l'influence de l'amygdale sur l'étape corticale, potentiellement en interaction avec des influences descendantes, imposées par les systèmes attentionnels dans les cortex frontal et pariétal (Vuilleumier, 2005).

➤ ***Biais de désengagement et maintien de l'attention vers l'émotion***

Il est largement établi que le traitement attentionnel facilite la perception rapide et précise de l'environnement ainsi que le codage des stimuli pertinents, notamment de nature émotionnelle (La Berge, 1995). Par conséquent, désengager son attention de ce type de stimuli devient plus coûteux et s'observe au niveau comportemental par des délais accrus pour déplacer son attention. Le désengagement retardé de l'attention a particulièrement été étudié dans le cadre d'informations liées à des situations de menace. L'engagement marqué des ressources attentionnelles pour ces informations pourrait refléter la nécessité de traiter spécifiquement l'objet d'une menace potentielle. En effet, il est écologiquement cohérent de surveiller et d'évaluer les stimuli potentiellement menaçants et de les maintenir sous

surveillance (Fox et al., 2001). Un traitement plus détaillé de l'objet de la menace potentielle donne à l'individu davantage de temps pour évaluer le danger et, le cas échéant, trouver la stratégie de réaction la plus appropriée (Belopolsky et al., 2011). Comme pour l'orientation de l'attention, ce mécanisme semble prépondérant pour les informations menaçantes, mais peut concerner la plupart des stimuli émotionnels. Ce maintien de l'attention sur l'information émotionnelle peut donc encore s'expliquer par la valeur adaptative de cette dernière et la nécessité de maintenir ses ressources cognitives sur les stimulations à caractère appétitif ou aversif de l'environnement. Le **contrôle attentionnel**, c'est-à-dire la capacité à réguler la manière de distribuer les ressources attentionnelles dans un l'environnement donné, est proposé comme mécanisme explicatif d'un maintien de l'attention sur l'émotion (voir **Figure 11**). D'après Eysenck et al. (2007), le contrôle attentionnel implique deux processus centraux : l'inhibition qui permet de réguler la réponse dominante, automatique, et le déplacement (« shifting ») qui renvoie à la capacité à déplacer l'attention entre les tâches, en fonction du contexte. Dans ce cadre, de faibles capacités de contrôle attentionnel favoriseraient les difficultés d'inhibition dans le traitement de l'émotion et expliqueraient le maintien de l'attention sur ces informations. Par exemple, il a été démontré que les personnes anxieuses ayant un bon contrôle attentionnel étaient meilleures pour se désengager des signaux menaçants que celles caractérisées par un mauvais contrôle attentionnel (Derryberry & Reed, 2002). Des données suggèrent aussi que les résultats à des procédures visant à modifier les biais attentionnels sont dépendants des capacités de contrôle attentionnel ; plus précisément, un contrôle attentionnel élevé est associé à un changement de biais élevé (Basanovic et al., 2017). Ainsi, de moindres capacités de contrôle attentionnel ne permettraient pas d'inhiber l'influence de l'émotion sur la tâche en cours et d'allouer son attention aux informations de manière plus flexible.

Illustrations expérimentales. Le maintien privilégié de l'attention sur l'information émotionnelle se retrouve dans plusieurs tâches expérimentales. Par exemple, Fox et al. (2001) ont présenté des visages (en colère, heureux ou neutre) ou des mots (menaçants, positifs ou neutres) comme indices exogènes. Les participants ont été plus rapides à détecter les cibles apparaissant à l'emplacement de l'indice (Mathews et al., 1997) ; cependant, les signaux invalides de type menaçant étaient associés à des coûts accrus en temps de réaction, ce qui suggère que les participants ont davantage maintenu leur attention dirigée vers ces signaux. Le maintien de l'attention vers l'émotion peut s'observer par l'intermédiaire du phénomène **d'inhibition de retour (IOR)**, déjà abordé plus haut. L'IOR, observée principalement au cours du paradigme d'orientation visuospatiale, se définit par des temps de réaction plus longs à une cible visuelle survenant dans une région de l'espace venant d'être explorée que ceux obtenus pour une région nouvelle non indicée auparavant (Kebir et al., 2008). Il a été suggéré que l'IOR

se produit après que l'attention ait été désengagée de l'emplacement indiqué (Klein, 2000) et que l'IOR est reportée si l'attention s'attarde à l'emplacement indiqué. Dans une autre étude de Fox et collègues (2002), aucune IOR n'a été observée à l'emplacement du stimulus émotionnel, alors que l'IOR typique a été provoquée à l'emplacement des stimuli neutres. L'absence d'IOR indique que l'attention a été maintenue à son emplacement et suggère que le désengagement de l'attention a été retardé. La présentation de visages exprimant la peur conjointement à la présentation de lettres cibles à classer en vision périphérique permet aussi d'observer un engagement attentionnel plus marqué pour l'émotion. Dans ce cadre, les participants prennent plus de temps à classer les lettres lorsqu'un visage de peur est présenté en vision centrale que lorsqu'un visage neutre est présenté (Georgiou et al., 2005) suggérant un maintien de l'attention en VC.

Une revue récente confirme les délais plus importants pour désengager son attention des informations émotionnelle dans le cadre des mouvements oculaires (Mulckhuysse, 2018). Par exemple, un désengagement retardé des stimuli émotionnels a été observé dans une étude dans laquelle le signal indiquant la direction de la saccade à effectuer était un visage qui pouvait être émotionnel ou non (Belopolsky, DeVue et Theeuwes, 2011). L'expression du visage était sans importance pour la réalisation de la tâche, mais l'inclinaison des visages indiquait l'emplacement vers lequel une saccade devait avoir lieu. Les participants effectuaient des saccades après une durée plus importante lorsque le visage était émotionnel ce qui suggère que l'attention a été retenue plus longtemps sur le visage émotionnel. Un désengagement plus tardif a aussi été observé pour la présentation de postures corporelles relatives à la peur (Bannerman et al., 2010). De même, dans l'étude de Schmidt et al. (2017), un stimulus conditionné par la peur d'un choc électrique est associé à des saccades plus rapides vers la localisation précédemment conditionnée. Ceci suggère une attention maintenue dans cette localisation en raison de l'émotion de peur y préalablement associée.

Bases neuronales. Au niveau cérébral, les modèles neuronaux de l'attention et de la cognition en général avancent que le **cortex préfrontal dorsolatéral** (CPFDL) serait impliqué dans les dimensions de maintien et de flexibilité de l'attention (Bishop, 2009). Il serait aussi impliqué dans la régulation descendante de l'attention, aidant à maintenir un contrôle émotionnel homéostatique (Ochsner & Gross, 2005). En particulier, le DLPFC est reconnu comme une région importante pour la mise en œuvre du contrôle attentionnel descendant (MacDonald et al., 2000 ; Vanderhasselt et al., 2006) ; ce dernier est un mécanisme attentionnel crucial de régulation des émotions (Sanchez et al., 2017 ; Sanchez et al., 2013). Plus précisément, les activations différentielles dans le DLPFC entre les hémisphères droit et gauche ont été associées à des modifications dans le déploiement de l'attention vers l'émotion

(De Raedt et al., 2015). Des études de neuroimagerie ont montré que les individus anxieux et dépressifs, tous deux caractérisés par des troubles pour le désengagement attentionnel vis-à-vis des informations émotionnellement négatives (par exemple, Leyman et al., 2007 ; Sanchez et al., 2013, 2017), présentent des activations du DLPFC droit augmentées alors que celles du DLPFC gauche sont réduites lors de l'exécution de tâches nécessitant une régulation descendante de l'attention émotionnelle (Disner et al., 2011). Dans ce cadre, des stimulations magnétiques transcrâniennes répétitives à haute fréquence, appliquées au niveau préfrontal droit, ont entraîné des difficultés de désengagement des visages en colère durant une modification émotionnelle de la tâche de repérage spatial chez des individus sains (De Raedt et al., 2010). À l'inverse, la stimulation du DLPFC gauche a entraîné un désengagement du regard plus rapide, tandis que la tDCS active sur le DLPFC droit a entraîné un désengagement du regard plus lent des visages émotionnels lors de la tâche d'oculométrie (Sanchez-Lopez et al., 2018). Par conséquent, ces données laissent supposer qu'une altération dans l'activité des structures frontales engendrerait des capacités de contrôle attentionnel affaiblies chez les individus qui maintiendraient ainsi leur attention sur les informations émotionnelles.

L'avantage des informations émotionnelles s'observe donc pour diverses catégories de stimulus telles que des visages, des mots, des animaux (par exemple des araignées) ou des sons. De tels effets sont généralement considérés comme indiquant un accès privilégié à la conscience des stimuli émotionnellement significatifs, par rapport aux stimuli neutres, lorsque les ressources d'attention sont limitées dans l'espace ou dans le temps (Vuilleumier, 2005). Cependant, l'influence de l'émotion sur l'attention peut varier selon la nature de la tâche et la pertinence des informations émotionnelles. Néanmoins, ces résultats suggèrent que dans des conditions pour lesquelles le déploiement des ressources attentionnelles est limité, l'information émotionnelle est priorisée et bénéficie d'un accès privilégié à l'attention et à la conscience avec une orientation rapide ainsi qu'un maintien des ressources attentionnelles vers cette information (Vuilleumier, 2005). En plus de l'orientation et du maintien de l'attention vers l'émotion, des études rapportent aussi un évitement des informations émotionnelles. Cet évitement survient à des stades plus tardifs de la présentation des informations émotionnelles et peut suivre une orientation initiale vers ces mêmes informations (Mogg & Bradley, 2002). Comparativement aux deux précédents types de biais (orientation et maintien), l'évitement est principalement rapporté dans le cadre de symptomatologies typiques ou de pathologies (Harvold et al., 2018).

➤ ***Biais d'évitement de l'émotion***

L'évitement attentionnel fait référence à un phénomène dans lequel l'attention est préférentiellement allouée aux emplacements opposés à l'emplacement de l'information

émotionnelle, indiquant ainsi l'évitement de l'émotion (Koster et al., 2006, Koster et al., 2005, Mogg et al., 2004). Il est suggéré que l'évitement de l'émotion puisse être un mécanisme de **régulation émotionnelle** (voir **Figure 11**) visant à détourner l'attention notamment d'informations aversives (Cisler & Koster, 2010). Bien que limité, il existe des preuves selon lesquelles le déploiement attentionnel dirigé vers un objectif est associé à la régulation des émotions. Par exemple, lorsque des instructions d'évitement de visages émotionnels de peur sont données aux participants pendant la réalisation d'une tâche de sondage attentionnel, des niveaux moins élevés de frustration sont observés, en comparaison de ceux observés pour les participants n'ayant pas reçu d'instruction (Johnson, 2009). Cet évitement des informations négatives au détriment des positives s'observe aussi chez les adultes plus âgés et correspond à un biais de positivité. Des données suggèrent que les personnes âgées déploient préférentiellement leur attention vers les stimuli positifs et évitent les stimuli négatifs, alors que les jeunes adultes n'expriment pas un tel comportement (Carstensen et Mikels, 2005, Mather et Carstensen, 2005) ; certains auteurs avancent que cette tendance vers la positivité est un comportement qui contribue à une capacité accrue de régulation des émotions (Carstensen, 1995, Mather et Carstensen, 2005). Enfin, on retrouve aussi des associations entre stratégie de *coping* et évitement attentionnel de l'émotion. Dans le cadre des troubles alimentaires, les participants avec des niveaux plus élevés d'évitement en termes de stratégie de *coping* présentent également un évitement des visages émotionnels lors de tâches de repérage spatial (Deroost & Cserjési, 2018). Ces données soutiennent donc que le déploiement attentionnel peut être un mécanisme majeur de la régulation des émotions (Gross & Thompson, 2007).

Illustrations expérimentales. Plusieurs études ont rapporté un évitement attentionnel de l'information émotionnelle, notamment pour des délais de présentation plus importants. Par exemple, un évitement des informations menaçantes s'observe chez les individus « hauts-anxieux » lors d'une tâche de repérage spatial (Koster et al., 2006). Ces individus se sont davantage orientés vers les images neutres que les individus « bas-anxieux », et ils se sont orientés plus fortement vers les images neutres que vers les images menaçantes. Dans une tâche de sondage attentionnel, Koster et al. (2005) ont aussi observé un évitement des informations liées à la menace pour des durées de présentation de 1250 ms alors que pour des temps de présentation plus courts, des effets classiques d'orientation vers la menace étaient observés. Le fait que l'évitement soit retrouvé pour des durées plus longues de présentation suggère que ce mécanisme soit mis en place de manière plus contrôlée et volontaire. En effet, l'évitement attentionnel est principalement observé pour des durées de présentation de stimulus longues, mais moins pour des durées courtes ou intermédiaires. Cet évitement s'observe également lors de mesures de mouvements oculaires. Par exemple,

Calvo & Avero (2005) ont observé une allocation accrue de l'attention vers des images émotionnelles pour les individus anxieux, caractérisée par une plus grande probabilité de première fixation, et d'une durée de fixation plus importante sur ces images. Néanmoins, un évitement est aussi observé, comme indiqué, par des durées de fixation plus courtes et une fréquence de fixation plus faible au cours des 1000 dernières ms d'exposition de l'image. Le pattern d'orientation initiale avec des fixations plus rapides, suivies d'un évitement, se retrouve aussi pour les individus phobiques des araignées dans des tâches de recherche visuelle (Pflugshaupt et al., 2005). Cet effet d'évitement attentionnel pour de plus longues durées de présentation des stimuli a ainsi été retrouvé pour différents paradigmes expérimentaux témoignant d'une robustesse de ce phénomène.

Bases neuronales. Le **cortex préfrontal (CPF)** est suspecté d'être l'un des mécanismes explicatifs de ce type de biais. Le cortex préfrontal joue un rôle central dans les processus d'autorégulation, en particulier en exerçant un contrôle descendant sur les régions sous-corticales impliquées dans la récompense (par exemple, le striatum) et l'émotion (par exemple, l'amygdale) (Kelley et al., 2019). Notamment, il peut réguler à la baisse les structures limbiques impliquées dans l'expérience émotionnelle (Miller & Cohen, 2001) ; des études avancent aussi que l'utilisation de stratégies de régulation des émotions de type « réévaluation » (Gross, 1998b) entraîne une augmentation de l'activité des régions du CPF et des régions associées (cortex cingulaire antérieur, cortex préfrontal dorsolatéral et cortex orbitofrontal). Aussi, cette activation préfrontale est suivie d'une réduction de l'activité de l'amygdale pendant la présentation de stimuli émotionnels (Eippert et al., 2007). Par ailleurs, les procédures de modification de biais attentionnels visant l'évitement des informations aversives entraînent des modifications au niveau du CPF latéral (Browning et al., 2010). Une seule séance d'entraînement attentionnel module la fonction préfrontale latérale même lorsqu'elle est évaluée à l'aide de stimuli émotionnels différents (visages contre mots) de ceux utilisés dans l'entraînement. Ces données suggèrent donc que les régions préfrontales pourraient être impliquées dans l'évitement des informations émotionnelles, particulièrement celles de nature aversive, et ceci dans un processus descendant de régulation des émotions.

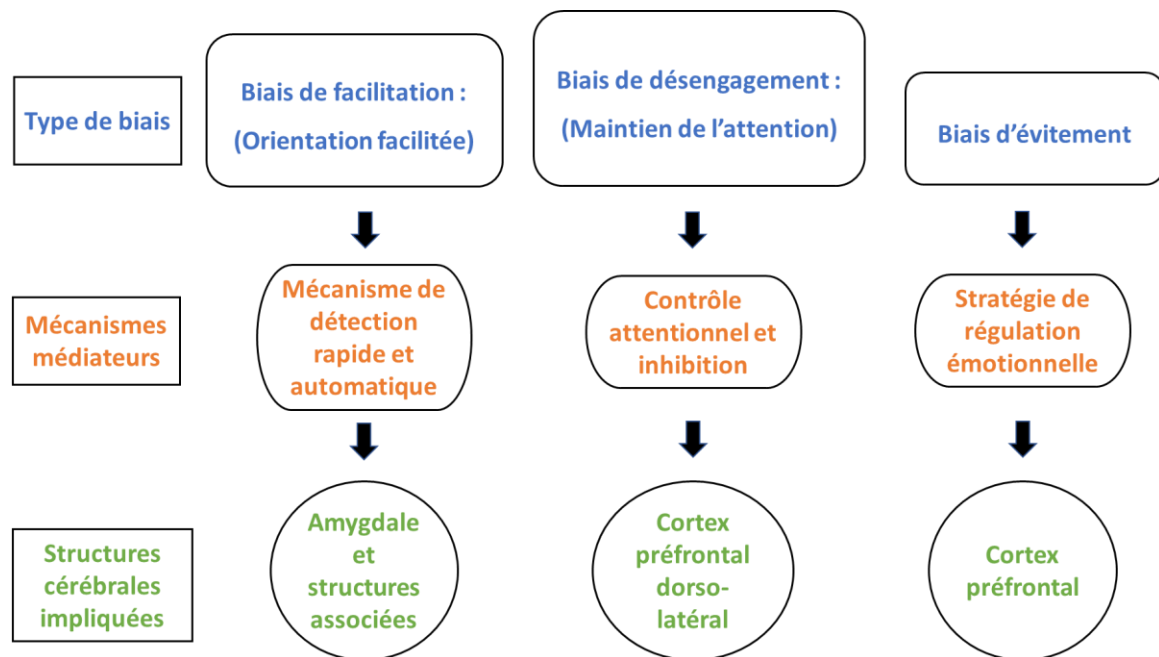


Figure 11. Représentation des relations entre les types de biais attentionnels, les mécanismes médiateurs et les structures cérébrales potentiellement impliquées dans les biais. D'après Cisler & Koster, 2010.

En résumé, la plupart des études portant sur l'effet de la **capture attentionnelle** par un **stimulus émotionnel** rapportent des **biais attentionnels** caractérisés par une **orientation accrue** et un **désengagement attentionnel retardé**. L'orientation vers l'émotion, généralement **automatique et indépendante de la volonté**, semble dépendre de l'**influence de l'amygdale** alors que la **difficulté de désengagement** pourrait refléter un **moindre contrôle attentionnel** résultant en des **difficultés d'inhibition** des informations émotionnelles. Par ailleurs, un **évitement des informations émotionnelles** est également constaté, principalement en lien avec la symptomatologie anxieuse et pourrait refléter la mise en place de **stratégies de régulation émotionnelle** visant à éviter les informations pouvant accroître l'état émotionnel négatif.

La sélectivité attentionnelle qui s'opère sur les informations émotionnelles permet la mise en place d'un traitement cognitif plus détaillé et d'une réponse adaptée. Ainsi, toujours en raison de leur valeur adaptative, les informations émotionnelles sont aussi à l'origine de modifications sur le versant corporel, tant au niveau somatique que neurovégétatif. Ces modifications, complémentaires à la capture attentionnelle, permettent la réaction de l'individu, soit dans le cadre d'un comportement d'approche, soit dans celui de fuite, d'échappement ou d'affrontement. Dans la partie suivante, nous nous intéresserons aux données concernant le traitement des informations émotionnelles et les répercussions sur le système neurovégétatif. Nous verrons également de quelle manière les mesures neurovégétatives peuvent fournir des indicateurs de traitement de l'émotion au niveau corporel.

5. Traitement de l'émotion au niveau neurovégétatif

Le traitement d'informations émotionnelles est susceptible d'entraîner des modifications sur le volet neurovégétatif. En effet, parmi les composantes de l'émotion, la composante physiologique caractérise les modifications qui s'opèrent au niveau somatique. En particulier, lorsque l'individu doit faire face à une stimulation pertinente, sa capacité d'adaptation repose sur une réaction rapide et ajustée. La réaction ou réponse de l'individu est notamment facilitée par l'activation d'un certain nombre d'organes et de systèmes physiologiques. Par ailleurs, lorsque l'individu cesse de faire face à cette stimulation, le corps retrouve plus ou moins rapidement son état initial. L'activation physiologique est notamment possible grâce à l'action du **système nerveux végétatif ou système neurovégétatif (SNV)** qui possède deux composantes principales, le **système nerveux sympathique (SNS)** et **parasymphatique (SNP)**. La mobilisation variable de chacun de ces systèmes permet à l'individu d'engager des ressources énergétiques habituellement adaptées à la situation à laquelle il est confronté. Dans la partie suivante, après une brève description du SNV, nous verrons les modifications physiologiques induites par des stimuli émotionnels.

5.1. Le système nerveux végétatif

Le SNV, encore appelé **système nerveux autonome**, est la partie du système nerveux responsable des fonctions physiologiques non soumises au contrôle volontaire. Le SNV est relié aux muscles lisses (digestion, vascularisation...), aux muscles cardiaques, à la majorité des glandes exocrines (digestion, sudation...), à certaines glandes endocrines, et à certains éléments sensoriels (pupille). C'est aussi un système de contrôle qui agit de manière automatique, indépendamment de la conscience, régulant une large palette de réponses corporelles, telles que la fréquence cardiaque, la digestion, la fréquence respiratoire, la réponse pupillaire, la sudation, la thermorégulation, ou encore la miction et l'excitation sexuelle. Par ces réponses, il assure les mécanismes de l'homéostasie (c'est-à-dire la capacité à maintenir l'équilibre des fonctions corporelles), participe aussi aux mécanismes régulateurs des réactions de fuite, d'échappement et d'affrontement et, selon les circonstances, peut s'avérer un indice utile des comportements cognitifs, exécutifs et émotionnels.

Le SNS, l'une des branches du SNV, est souvent considéré comme le système de « combat ou fuite », tandis que le SNP est plutôt considéré comme le système « repos et digestion » ou « alimentation et reproduction » (**Figure 12**). En général, les différents organes viscéraux reçoivent une action antagoniste de ces deux systèmes : le SNS les active alors que le SNP les inhibe. Un autre type de caractérisation considère le SNS comme étant un "système

de mobilisation de réponse rapide" alors que le SNP serait davantage un "système d'amortissement activé plus lentement".

Au niveau anatomique, le SNV a pour origine privilégiée des centres nerveux appartenant au système limbique, tels que l'hypothalamus, l'amygdale, le septum, le gyrus cingulaire, l'hippocampe, ou localisés dans le tronc cérébral et la moelle épinière. L'action du SNV sur les cibles somatiques nécessite des voies efférentes séquentielles à deux neurones : un neurone préganglionnaire faisant synapse avec un neurone postganglionnaire lequel innerve directement l'organe concerné. Toutes les fibres préganglionnaires, qu'elles soient dans les systèmes sympathique ou parasympathique, sont cholinergiques. Cependant, alors que les fibres postganglionnaires sont majoritairement noradrénergiques pour le SNS, à l'exception les fibres innervant les glandes sudoripares et les neurones vasodilatateurs cutanés qui sont cholinergiques, les fibres postganglionnaires pour le SNP sont cholinergiques.

Les projections périphériques du SNS émergent de la substance grise de la corne intermédiolatérale de la moelle épinière thoracique et lombaire (de T1 à L2). À ce niveau, les fibres des neurones préganglionnaires sympathiques, relativement courtes, font principalement synapse avec les neurones postganglionnaires dans l'un des nombreux ganglions de la chaîne paravertébrale. Au contraire, les fibres postganglionnaires sont longues et projettent directement vers les organes effecteurs ; ces fibres se répartissent dans l'ensemble du corps, par l'intermédiaire de nerfs rachidiens, pour contrôler la plupart des organes viscéraux, notamment les vaisseaux sanguins de la peau et des muscles striés, les glandes sudoripares, et les muscles de contrôle du diamètre pupillaire.

Les projections périphériques du SNP émergent à deux niveaux, soit dans le tronc cérébral, soit dans la moelle sacrée (entre S2 et S4). Les fibres des neurones préganglionnaires parasympathiques qui en partent font synapse sur les neurones postganglionnaires situés à proximité de l'organe cible qui l'innerve par l'intermédiaire de fibres courtes. Les fibres du SNP innervent, entre autres cibles, le cœur, les poumons, les muscles de contrôle du diamètre pupillaire ou encore les glandes lacrymales.

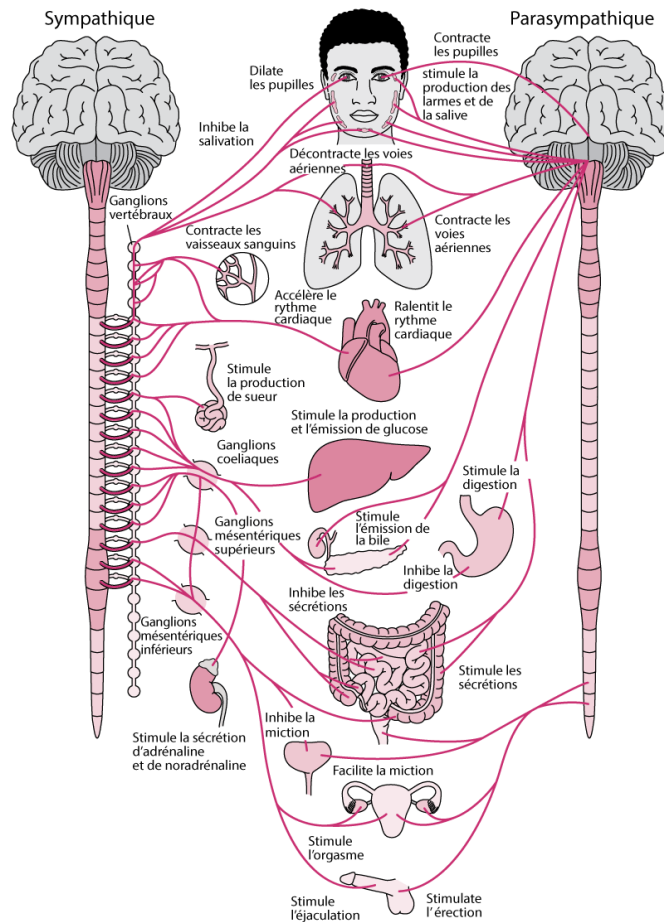


Figure 12. Schéma des systèmes sympathique et parasympathique du système nerveux végétatif. La majorité des organes sont innervés par les deux composantes du SNV qui exercent sur eux un contrôle activateur ou inhibiteur. D'après Low, 2020.

Compte tenu du fait que le SNV régule l'homéostasie et que cette dernière peut être profondément perturbée par les réactions somato-végétatives inhérentes aux activations propres aux états émotionnels, de très nombreux travaux ont ainsi pu utiliser une riche palette de réponses neurovégétatives comme indicateurs fiables des traitements cérébraux pouvant sous-tendre des processus cognitifs et émotionnels. À cet égard, les progrès dans le domaine des émotions ont particulièrement bénéficié de l'utilisation des réponses dépendantes du SNV.

5.2. Le SNV comme marqueur de l'émotion

Les réponses neurovégétatives liées aux émotions ont l'avantage d'être involontaires et donc difficiles à contrôler ce qui leur donne un avantage potentiel comme indicateurs objectifs la réactivité émotionnelle. Aussi, comme déjà souligné, par l'influence qu'exercent les centres cérébraux sur la réactivité neurovégétative, la mesure de ces signaux permet d'offrir une fenêtre sur les activations cérébrales et les répercussions corporelles des émotions. Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéresserons principalement à quatre indicateurs

classiquement associés à l'étude des émotions, à savoir **l'activité électrodermale (AED)**, **l'activité cardiaque**, les **variations de diamètre pupillaire** et la **vasomotricité cutanée**.

➤ ***Variations de l'activité électrodermale (AED)***

Parmi les indicateurs neurovégétatifs les plus étudiés, l'activité électrodermale est un indice reconnu de l'activité sympathique. En effet, la sécrétion des glandes sudoripares eccrines situées à la surface palmaire des mains ou à la surface plantaire des pieds est activée par une stimulation neurosympathique (Boucsein, 2012) et peut donc renseigner sur des activations psychophysiologiques (Critchley, 2002 ; Sequeira, Hot, Silvert et Delplanque, 2009). Au niveau cérébral, l'AED est principalement associée à la formation réticulée (Roy, Sequeira, & Delerm, 1993 ; Sequeira, 2009) qui est une structure centrale dans l'éveil et de l'activation de l'organisme. Aussi, des influences limbiques notamment de l'hypothalamus, de l'amygdale et de l'hippocampe sont retrouvées (Lee, Arena, Meador, & Smith, 1988 ; Sequeira & Roy, 1993 ; Mangina & Beuzeron-Mangina, 1996) suggérant la pertinence de l'étude de cet indicateur en lien avec les réactions émotionnelles. Enfin, certaines régions corticales, dont le cortex pariétal et préfrontal, seraient également impliquées d'après certaines études en neuroimagerie (Critchley et al., 2000 ; Fredrikson et al., 1998 ; Nagai, et al., 2004 ; Williams et al., 2000). Lors de l'activation des glandes eccrines, plusieurs paramètres peuvent être extraits (Dawson, Schell, & Fillion, 2007), en particulier le niveau de conductance cutanée qui fait référence au niveau tonique de conductivité électrique cutanée alors que la réponse de conductance cutanée ou réponse électrodermale (RED) traduit l'augmentation de la conductance cutanée phasique à la suite d'un stimulus (**Figure 13**). Aussi, les RED sont généralement considérées comme spécifiques à la stimulation si elles apparaissent après une latence, variant de 1 à 4 s, après la présentation de la stimulation ; si ce critère de latence n'est pas respecté, elles sont alors considérées comme non spécifiques. Dans la littérature, la modulation de ces paramètres est associée à un certain nombre de processus cognitifs, notamment en rapport avec l'engagement émotionnel ou l'orientation attentionnelle (Bradley, 2009).

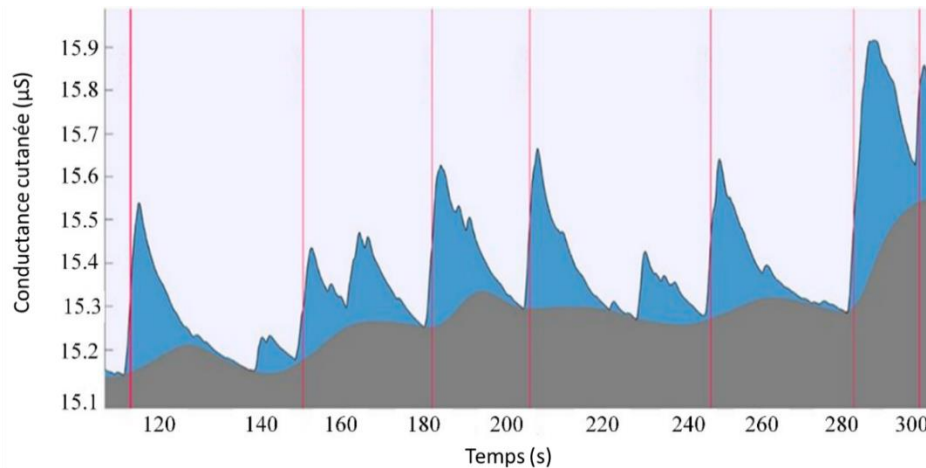


Figure 13. Exemple de représentation du signal électrodermal. L'aire bleue représente la composante phasique du signal et l'aire grise la composante tonique. Les lignes rouges indiquent le moment de présentation des stimuli. Adapté de Gatti et al., 2018.

L'utilisation de l'AED dans le cadre de la recherche sur la réactivité émotionnelle est largement rependue dans la littérature car elle constitue un indicateur robuste de l'activation physiologique (Critchley, 2002 ; Sequeira, 2009) sous-tendue par une activation réticulaire au niveau central. En particulier, l'AED reflète principalement la dimension d'activation relative à l'évaluation de stimuli émotionnels. Par exemple, l'AED rapportée lors de l'exposition aux informations émotionnelles est supérieure à celle des informations neutres, et ce indépendamment de la valence de l'information (Bradley, 2009). Des données indiquent également que l'AED augmente à mesure que l'évaluation subjective d'activation des stimuli augmente suggérant qu'elle consiste donc en une bonne mesure de cette dimension (Winton, Putnam, & Krauss, 1984). Aussi, bien que l'AED diminue avec l'exposition répétée de stimuli émotionnels indiquant une habitude, cette diminution est moins marquée qu'avec les informations neutres. Au vu de ces données, et d'autres études ayant confirmé ces aspects (par ex : Bradley et al., 2001 ; D'Hondt et al., 2010), l'AED est considérée comme l'un des indicateurs les plus pertinents dans la mesure de la réactivité neurovégétative à l'émotion.

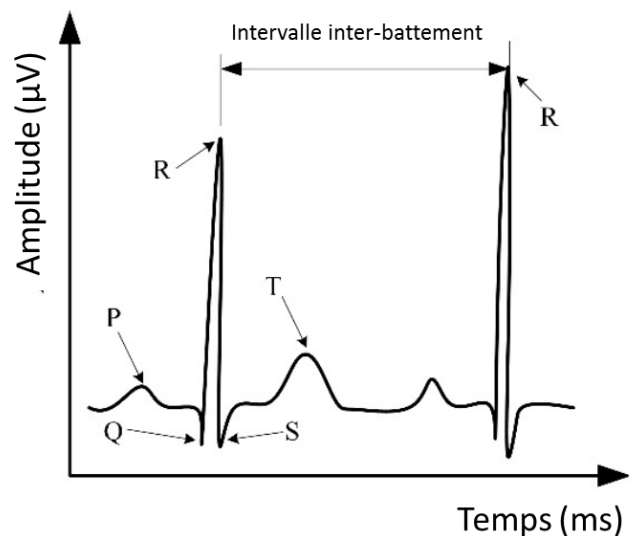
➤ Variations de l'activité cardiaque

L'activité cardiaque est sous le contrôle des deux SNS et SNP. Elle dépend donc de l'équilibre entre le système sympathique et parasympathique. De manière générale, le SNS augmente la fréquence cardiaque (FC), et le SNP la diminue (Berntson et al., 1997). La décélération cardiaque peut donc refléter à la fois une augmentation de l'activité du SNP et/ou un retrait du SNS. Inversement, l'accélération cardiaque reflète à la fois une augmentation de l'activité du SNS et/ou un retrait du SNP. Les effets du SNP sur la variation de FC sont plus rapides que ceux du SNS en raison de l'innervation plus directe de la composante parasympathique par l'intermédiaire du nerf vague. Au niveau cérébral, les variations de FC

semblent être associées principalement au cortex préfrontal en particulier le cortex orbital, latéral et médian qui auraient une fonction inhibitrice sur les structures sous-corticales responsables de l'activation sympathique (Thayer et al., 2012). Aussi, des régions sous-corticales impliquées plus généralement dans la régulation du SNV et la réactivité émotionnelle, comme le cortex cingulaire et insulaire, l'amygdale ou l'hypothalamus, ont aussi une influence modulatrice (Park & Thayer, 2014).

L'activité cardiaque semble donc être un indicateur pertinent dans la mesure de l'impact corporel des émotions. Ainsi, la FC et les variations instantanées de la FC, c'est-à-dire à la suite de la présentation d'un stimulus, ont largement été étudiées. Des paramètres typiques tels que la décélération cardiaque (principalement dépendante d'une activité du SNP) ou l'accélération cardiaque (SNS et SNP) ont pu être rapportées. La variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) est également une mesure importante l'activité cardiaque. La VFC caractérise la variation de la durée de l'intervalle inter-battements (IIB, **Figure 14**) et est typiquement dominée au repos par des effets parasympathiques qui associent la FC à la respiration (arythmie sinusale respiratoire, RSA).

Figure 14. Paramètres principaux des signaux cardiaques issus d'un électrocardiogramme. L'intervalle inter-battement correspond à l'intervalle de temps entre deux ondes RR. National Heart Lung and Blood Institute (NIH).



La VFC peut être analysée par deux approches principales : les méthodes temporelles et fréquentielles. La méthode temporelle est basée sur des calculs effectués directement sur les IIB, c'est-à-dire les temps écoulés entre les ondes R successives (intervalles RR). L'écart type des intervalles RR (SDNN) fournit des informations sur les changements rapides et lents de l'IIB, tandis que l'écart type des différences d'intervalle RR successives (SDSD) et la racine carrée des différences RR successives (RMSSD) fournissent des informations sur la variation de l'IIB. Étant donné que ces paramètres sont basés sur des intervalles R-R successifs,

l'augmentation du SDSD et du RMSSD reflète une activité accrue du SNP, qui a une latence d'action plus courte que l'activité sympathique (Berntson, et al., 1993).

Les méthodes du domaine fréquentiel reposent sur l'analyse de la densité spectrale de puissance qui fournit des informations de base sur la façon dont la puissance est distribuée en fonction de la fréquence. Ces analyses spectrales sont typiquement basées sur une Transformée de Fourier Rapide qui permet d'extraire des bandes de fréquences spécifiques. La bande des hautes fréquences (HF), comprise entre 0,15 et 0,4 Hz, est sous l'influence de la respiration et constitue un indicateur fiable de l'activité du SNP et du tonus cardio-vagal. La bande des basses fréquences (BF), entre 0,04 et 0,15 Hz, est généralement signalée comme reflétant les influences du SNS sur la fréquence cardiaque (Billman, 2011). Cependant, il est aussi reconnu qu'il existe des composantes du SNP de l'ordre des BF. Aussi, le rapport entre la BF et HF (BF / HF) est souvent utilisé comme indicateur de l'équilibre sympatho-vagal. Enfin, une bande de très basse fréquence est occasionnellement signalée, reflétant presque entièrement une influence sympathique sur le système vasculaire périphérique.

L'étude de la FC dans le cadre de la recherche sur la réactivité émotionnelle indique que la décélération cardiaque est plus importante pour les images déplaisantes, par rapport à celles neutres et même plaisantes (Bradeley, 2009). Cette configuration de réactivité cardiaque accrue pour les stimuli désagréables a déjà été rapportée dans d'autres études (par ex : Libby et al., 1973 ; Winton et al., 1984). Cette décélération cardiaque plus marquée pour les informations déplaisantes est interprétée comme indiquant une attention accrue pour ces informations, associée à un apport sensoriel plus important (« sensory intake » ; Bradley, 2009). Concernant l'accélération cardiaque, une plus grande amplitude est généralement retrouvée en lien avec l'activation émotionnelle et pourrait renvoyer à la préparation à l'action (Bradley, 2009 ; Lang et al., 1993). Parmi les autres mesures largement étudiées, la VFC au repos est associée à une meilleure régulation émotionnelle (Thayer et al., 2012). Par exemple, des valeurs plus importantes de VFC ont été associées à un sentiment de détresse moindre lors de la présentation de clips contenant du contenu stressant (Fabes et al., 1993). Ces données semblent confirmées par d'autres études indiquant que la VFC au repos était positivement associée à un sentiment subjectif positif médié par la régulation des émotions chez les participants (Geisler et al., 2010). Plus généralement, la VFC est considérée comme reflétant la stabilité de système de régulation interne (McCraty & Shaffer, 2015). Enfin, le modèle d'intégration neuroviscérale (Thayer et Lane, 2000) postule que le tonus vagal cardiaque, mesuré par la VFC, renseigne sur l'intégrité fonctionnelle des réseaux neuronaux impliqués dans les interactions émotion-cognition, d'où sa pertinence dans l'étude des influences entre processus cognitifs et émotionnels.

➤ *Variations du diamètre pupillaire*

Comme le cœur, la pupille est innervée par les SNS et SNP lesquels provoquent respectivement une dilatation (mydriase) et une constriction de la pupille (myosis). Au niveau central, le locus coeruleus, structure fortement associée à l'éveil attentionnel, est largement impliquée dans les variations pupillaires (Costa & Rudebeck, 2016). Dans une moindre mesure, les collicules inférieur et supérieur et le cortex semblent également impliqués dans ces variations (Joshi et al., 2016 ; Joshi, Li, Kalwani, & Gold, 2016). La variation du diamètre pupillaire est principalement modulée par des facteurs physiques tels que la quantité de lumière qui parvient à la rétine. Néanmoins, les facteurs cognitifs et affectifs sont aussi susceptibles de moduler les variations du diamètre pupillaire. Par conséquent, dans le cadre de stimulations visuelles, le contrôle des paramètres physiques est primordial pour pouvoir observer les modulations imputables aux facteurs cognitifs ou affectifs. Aussi, ces stimulations induisent une réponse typique en deux phases : d'abord une phase qui se caractérise par une diminution rapide et brève du diamètre pupillaire et qui correspond au réflexe pupillaire, puis une augmentation du diamètre de la pupille.

Dans le cadre des études impliquant des stimulations émotionnelles visuelles, l'apparition d'un stimulus visuel déclenche donc un réflexe consistant en une constriction à médiation parasympathique qui peut aussi être influencée par le contenu émotionnel de la stimulation. Cette influence est toutefois moins marquée pour les images émotionnelles comparativement aux images neutres (Henderson et al., 2014). Pour ce qui concerne la dilatation de la pupille suivant le réflexe pupillaire, elle a été associée à l'activation émotionnelle de la stimulation (Partala & Surakka, 2003), cet effet s'observant parfois spécifiquement pour les informations négatives (Kawai et al., 2013, Babiker et al., 2013). Des données indiquent aussi que la dilatation de la pupille est corrélée avec des mesures d'activation sur d'autres indicateurs telles que l'activité électrodermale (Bradley et al., 2008). Ainsi les variations du diamètre pupillaire semblent caractériser le niveau d'activation des informations émotionnelles, mais pourraient aussi attester de différences de valence émotionnelle (**Figure 15**).

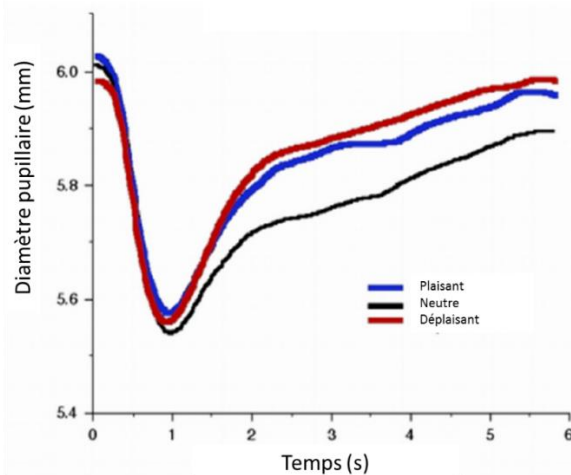


Figure 15. Variation du diamètre pupillaire en fonction du temps et selon le type d'image émotionnelle présentée. Adapté de Bradley et al., 2008.

➤ Variations de la température cutanée

La vasomotricité sous-cutanée est principalement régulée par les fibres noradrénergiques sympathiques, dont l'activation conduit à une vasoconstriction (Donadio et al., 2016). En cas d'activation sympathique, les vaisseaux sanguins sous-cutanés subissent une constriction notamment en raison de la présence de récepteurs adrénergiques au niveau de leurs parois. Ces modifications physiologiques de vasoconstriction, censées protéger contre les pertes de sang excessives et les hémorragies possibles en cas de blessure d'après la conception évolutionniste (Ioannou et al., 2014), entraînent aussi une diminution quantifiable de la température cutanée.

Peu d'études se sont intéressées aux variations de température en réponse aux informations émotionnelles comparativement aux autres indicateurs. Néanmoins, quelques recherches ont pu mettre en avant une modulation de la réponse thermique cutanée par la valeur affective des stimulations. Par exemple, lors d'une tâche de stress arithmétique, une diminution de la température cutanée a été observée, ce qui reflète un effet de vasoconstriction dû à une hausse de l'activité sympathique des participants (Lin et al., 2011). Ces résultats vont dans le sens d'études menées chez l'animal ayant subi un conditionnement aversif et pour lequel une diminution de température cutanée est également observée (Franzini, Lenzi, & Cianci, 1981). La température cutanée a aussi permis de mettre en évidence des différences de réactivité à l'émotion dans le cadre de troubles de l'humeur avec une température cutanée plus élevée en réponse à la présentation de stimuli émotionnels pour le groupe de participants dépressifs comparativement au groupe contrôle (Wenzler et al., 2017). Plus récemment, des études ont été consacrées à l'analyse de la température cutanée au niveau du visage. Par exemple, Kosonogov et al. (2017), ont montré que la température cutanée en réponse à des stimulations émotionnelles diminue par rapport à des stimulations neutres, et ce indépendamment de la valence. De plus, les réponses thermiques et électrodermales sont

corrélées avec les évaluations subjectives suggérant que les variations de température cutanée pourraient refléter la dimension d'activation émotionnelle.

En résumé, l'émotion se manifeste au niveau **neurovégétatif**, ce qui accroît les capacités de l'individu à **réagir de manière adaptée**. Dans la littérature, les **indicateurs neurovégétatifs** se sont montrés sensibles au traitement de l'information émotionnelle et permettent ainsi de mesurer son **influence au niveau corporel**. L'ensemble des données disponibles permet de soutenir l'idée selon laquelle les mesures neurovégétatives sont des **indicateurs fiables de réactivité à l'émotion**. De plus, ces mêmes indicateurs sont susceptibles de renseigner sur certains **phénomènes attentionnels**. Dans la partie suivante, nous apportons des arguments montrant que les indicateurs neurovégétatifs peuvent aussi renseigner sur le déploiement de l'attention, en particulier vers l'information émotionnelle.

5.3. L'attention vers l'émotion : corrélats neurovégétatifs

L'attention et l'émotion ont longtemps été considérées comme des processus distincts et de nature opposée. L'attention étant considérée comme rationnelle et « froide » et l'émotion comme irrationnelle, passionnée et « chaude » (Bradley, 2009). Néanmoins, les corrélats physiologiques de ces processus psychologiques ont été largement étudiés dans le domaine de la psychophysiologie et des liens entre eux ont pu être mis en lumière à travers de nombreuses études. Par exemple, pour Bradley (2009), l'émotion s'organise autour de deux systèmes de motivation qui ont évolué pour protéger et maintenir la vie de l'individu, l'un étant défensif et l'autre appétitif. L'activation des systèmes de motivation initie une cascade de processus sensoriels et moteurs, y compris la mobilisation des ressources cognitives et physiologiques, le traitement perceptif amélioré et la préparation à l'action, qui ont évolué pour aider probablement à sélectionner les comportements de survie appropriés. Ainsi, l'orientation de l'attention et l'émotion semblent être des processus complémentaires dans la sélection de tels comportements, ce qui justifie notre intérêt ici à les étudier de manière conjointe.

➤ La réponse d'orientation

Des changements physiologiques peuvent être étudiés en examinant les réponses à de nouveaux stimuli. Issue des recherches de Pavlov, la **réponse d'orientation (RO)** à de nouveaux stimuli est caractérisée par un ensemble de changements sur le plan corporel. Également appelé réflexe d'orientation, la RO peut être définie comme la réponse immédiate d'un organisme à un changement dans son environnement, lorsque ce changement n'est pas assez soudain pour déclencher le réflexe de sursaut. De manière simplifiée, la RO est parfois résumée en une réponse à la nouveauté, mais elle permet de manière plus générale la

détection automatique et l'orientation comportementale vers des événements ou des changements inattendus dans l'environnement (Pavlov, 1927 ; Sokolov, 1963 ; Lynn, 1966). Par exemple, lorsqu'un individu rencontre un nouveau stimulus environnemental, tel qu'un éclair lumineux, un bruit, une odeur ou plus simplement un stimulus visuel nouveau, il orientera son attention en direction de ce stimulus avant même de l'identifier. La RO est décrite comme un phénomène psychophysologique global (Sokolov, 1963 ; Lynn, 1966) pouvant être mesuré à l'aide d'indicateurs centraux ou périphériques, en particulier neurovégétatifs.

D'un point de vue subjectif, la RO est perçue comme une perturbation du focus attentionnel en cours. Cette commutation d'attention involontaire est une caractéristique que la RO partage avec d'autres mécanismes de détection de changement automatique, comme ceux observés dans les paradigmes *Oddball*. En fait, une RO typique augmente le niveau d'activation et déclenche une orientation comportementale vers la source du changement détecté en engageant de nouvelles ressources attentionnelles et des ajustements moteurs et neurovégétatifs. Cette réponse, à caractère multi-niveau, est l'expression immédiate aux changements de l'environnement sur le plan comportemental, cognitif et physiologique (Lynn, 1966 ; Berti et al., 2017).

➤ **La réponse d'orientation: mesures neurovégétatives**

La RO est typiquement quantifiée à l'aide d'indicateurs neurovégétatifs. Par exemple, la réponse d'orientation de la conductance cutanée est une réponse neurovégétative à de nouveaux stimuli et reflète indirectement à quel point un individu s'occupe et traite les nouveaux stimuli dans l'environnement (Dawson, Schell & Filion, 2007). Dans ce contexte, les réponses électrodermales sont également potentialisées par la qualité activatrice du contenu du stimulus indépendamment de la valence affective, positive ou négative, de sorte que des stimuli activateurs émotionnellement induisent une RED plus forte (Bradley, 2009). La visualisation de nouvelles images plaisantes ou déplaisantes, par rapport aux images neutres, indique donc une orientation accrue en fonction de l'importance du stimulus.

Les changements de fréquence cardiaque ont aussi été largement utilisés pour étudier l'activation liée au traitement sensoriel et cognitif. L'accélération et la décélération cardiaques phasiques, qui correspondent aux augmentations et diminutions momentanées de la fréquence cardiaque en réponse à des stimulations, sont associées à différents aspects cognitifs. La décélération s'observe dans des contextes impliquant la perception et la prise en compte d'informations sensorielles (« *détection environnementale* ») tandis que l'accélération est plus prononcée dans des contextes mettant l'accent sur le traitement cognitif (Bradley, 2009). La décélération au cours des premiers battements cardiaques suivant la présentation d'un stimulus est généralement caractérisée comme faisant partie d'une RO automatique et

est souvent interprétée comme reflétant les ressources en réserve pour se préparer à l'encodage et au traitement du stimulus (Lacey et Lacey, 1977 ; Lang, 1994). La décélération cardiaque constitue une composante de la RO automatique ou du moins ne nécessitant pas un traitement détaillé des stimuli. Ainsi, le traitement de stimuli plus complexes ou exigeants sur le plan de la perception, ou les stimuli perçus comme menaçants ou aversifs pourrait conduire à une décélération cardiaque pendant la RO plus marquée.

Il a également été observé qu'après la phase initiale de décélération, la fréquence cardiaque augmente lorsqu'un effort cognitif est exigé. Par exemple, lorsqu'il est demandé aux sujets de compter silencieusement des stimuli auditifs, l'accélération cardiaque est plus marquée que lorsque cela n'est pas demandé (Kaiser et al., 1999). Lorsqu'une tâche mentale devient plus difficile, par exemple lors d'un calcul mental de plus en plus complexe (Jennings, 1975), cette accélération persiste généralement pendant toute la durée de la tâche. En fait, à l'inverse de la décélération, l'accélération est corrélée aux processus nécessitant un traitement actif et conscient (Lawrence & Barry, 2009). Ainsi, différents aspects de la réponse cardiaque peuvent refléter différents processus cognitifs. La décélération peut être associée à une réponse d'orientation automatique potentiellement modulée par l'exigence de l'information à traiter tandis que l'accélération peut être associée à des tâches perçues comme plus complexes et coûteuses sur le plan cognitif, car impliquant une élaboration mentale importante ou un traitement actif de l'information une fois le stimulus encodé (Andreassi, 2007).

Des changements dans la taille de la pupille ont également été associés à la réponse d'orientation (Sokolov, 1963). La présentation d'un stimulus saillant ou nouveau déclenche une série de réponses dans le but d'orienter le corps pour une action appropriée. Parmi les réponses, on retrouve des saccades oculaires qui permettent de déplacer le focus attentionnel sur le stimulus d'intérêt (Kowler, 2011), mais aussi une dilatation transitoire de la pupille (Nestler et al., 2010 ; Wang et al., 2014). Cette dilatation pupillaire est particulièrement sensible à la valeur émotionnelle, car des stimuli plaisants ou déplaisants, tels que les images érotiques ou des facteurs de stress provoquent généralement une dilatation pupillaire importante (Bradley, Miccoli, Escrig et Lang, 2008). La réponse pupillaire d'orientation semble également sensible à la probabilité d'apparition des stimuli ; en effet, des réponses pupillaires d'une plus grande amplitude sont associées à une moindre probabilité d'apparition des stimuli, soit une plus grande sensibilité à des stimuli nouveaux et inattendus (Qiyuan et al., 1985).

➤ *Attention, émotion et autorégulation*

D'autres données plaident pour un rôle critique du SNV dans l'activité du système nerveux central et donc de son implication dans les processus attentionnels et émotionnels. Les modèles d'intégration neuroviscérale (Thayer & Lane, 2000, 2009) et la théorie polyvagale

(Porges, 2007) décrivent des cadres théoriques similaires dans lesquels l'activité neurovégétative renseigne sur le fonctionnement cognitif et affectif en raison de l'interconnexion entre les structures cérébrales et périphériques régulant le comportement et l'état physiologique (Smith, Thayer, Khalsa et Lane, 2017). En particulier, la régulation du système nerveux parasympathique, évalué par la variabilité cardiaque, est pour un certain nombre d'auteurs liée à la régulation attentionnelle et à l'affect (Porges, 1991, Porges, 1992 ; Richards et Casey, 1992 ; Thayer et al., 2000). Par exemple, la fréquence cardiaque ralentit et la variabilité cardiaque diminue durant les tâches nécessitant de l'attention soutenue (Porges & Raskin, 1969 ; Richards & Casey, 1991). Aussi, la mesure de variabilité de la fréquence cardiaque pendant une période de repos a aussi été utilisée dans la prédiction des différences individuelles dans les capacités attentionnelles chez les nourrissons ou l'adulte. Il a notamment été rapporté que les nouveau-nés avec une plus grande variabilité cardiaque ont des réponses cardiaques moyennes plus importantes à des stimuli visuels et auditifs que les nouveau-nés dont la variabilité de la fréquence cardiaque était plus faible (Porges, 1974 ; Porges et al., 1973, Vranekovic, Hock, Isaac et Cordero, 1974). Des données indiquent également que les individus avec une VFC de base plus élevée avaient des temps de réaction plus rapides et ont exprimé des changements plus importants de la VFC pendant une tâche d'attention (Porges, 1972, 1973). Les mesures de variabilité cardiaque pourraient ainsi renseigner sur l'efficacité des mécanismes d'interactions centrale-périphérique au niveau neuronal (Thayer & Lane ; 2000). Ces mesures peuvent servir à évaluer la capacité d'autorégulation, c'est-à-dire la capacité de réguler les pensées, les émotions et les comportements, permettant ainsi aux personnes de choisir des réponses appropriées aux différentes demandes situationnelles (Parke & Thayer, 2014). L'autorégulation est donc quantifiable à travers la mobilisation des ressources physiologiques et la sélection de réponses appropriées, au service d'un comportement dirigé vers un but.

Les structures cérébrales en jeu dans les mécanismes d'autorégulation correspondraient au « *Central Autonomic Network* » (CAN) qui a été impliqué dans le déclenchement de réponses viscéromotrices, neuroendocriniennes et comportementales, nécessaires aux diverses demandes environnementales (Thayer et Lane, 2000). Les structures du CAN comprennent le cortex cingulaire antérieur, l'insula, les cortex préfrontaux ventromédian, le noyau central de l'amygdale, les noyaux paraventriculaires et apparentés de l'hypothalamus, la matière grise périaqueductale et le noyau du tractus solitaire (NTS) entre autres (Parke & Thayer, 2014). Ce sont particulièrement les circuits inhibiteurs préfrontaux sous-corticaux au sein du CAN qui joueraient un rôle essentiel dans la fonction d'autorégulation. Par exemple, le cortex préfrontal identifie les signaux de sécurité dans l'environnement et exerce un contrôle inhibiteur sur les circuits sous-corticaux activateur sympathique (Thayer et al., 2009 ; Parke &

Thayer, 2014) ce qui permet d'apporter des réponses optimales aux demandes environnementales. Aussi, ce circuit est lié au cœur via le nerf vague qui assure le contrôle inhibiteur de l'activité cardiaque. Dans ce contexte, un tonus vagal élevé reflète un degré plus élevé de variabilité dans l'activation du SNP qui, à son tour, reflète une plus grande capacité d'engagement flexible face aux changements des exigences environnementales. À l'inverse, un faible tonus vagal est associé à une mauvaise autorégulation et à un manque de flexibilité comportementale (Porges, 1992, p. 208). Ainsi, la VFC semble indexer les aspects de l'autorégulation en raison de sa capacité à refléter les mécanismes de rétroaction neuronale de l'intégration des systèmes nerveux central et périphérique (Friedman et Thayer, 1998). Sur le plan de l'attention envers les informations émotionnelles, on retrouve des associations entre VFC plus faible au repos et orientation attentionnelle plus rapide vers des visages de peur ; une attention plus soutenue a également été retrouvée pour ces stimuli (Park & Thayer, 2014). Ces résultats suggèrent donc que la VFC peut renseigner sur une hypervigilance ou une difficulté d'inhibition des informations émotionnelles. Par ailleurs, ces résultats fournissent des preuves que l'attention vers l'émotion est liée à certains aspects neurovégétatifs et renforcent la pertinence d'utiliser des mesures neurovégétatives dans l'étude du lien entre attention et émotion.

En conclusion, sur le plan neurovégétatif, la réponse d'orientation peut être considérée comme un regroupement de changements physiologiques se produisant généralement de manière concomitante et accompagnée d'un déplacement du focus attentionnel de manière automatique sur l'évènement déclencheur, quelle que soit l'importance du stimulus (Bradeley, 2009). D'un point de vue évolutif, cette réponse se retrouve tout au long de la vie et est considérée comme permettant à l'individu d'orienter son attention et ses ressources en direction de l'information pertinente afin de mieux préparer sa réaction comportementale (Nieuwenhuis et al., 2011). Aussi, des facteurs émotionnels tels que la valence du stimulus ou son niveau d'activation sont susceptibles de venir moduler l'amplitude de la réponse (Bradeley, 2009) renforçant ainsi l'intérêt d'étudier cette réponse dans le cadre des interactions entre processus attentionnels et émotionnels.

La variabilité de la fréquence cardiaque est aussi considérée comme un indicateur du fonctionnement de structures cérébrales responsables des processus attentionnel et émotionnel. Plusieurs modèles postulent que la VFC pourrait renseigner sur les capacités de régulation émotionnelle et attentionnelle. Dans ce cadre, une plus grande VFC renvoie à de meilleures capacités d'autorégulation avec une meilleure adaptabilité. Dans le cadre de l'attention aux émotions, une plus grande VFC renvoie aussi à plus de flexibilité alors qu'à

l'inverse une faible VFC a pu être associée à une orientation et au maintien soutenu de l'attention vers les informations émotionnelles, ce qui pourrait refléter de moindres capacités de régulation émotionnelle. Les mesures neurovégétatives semblent donc pertinentes pour renseigner sur les processus d'attention sélective, notamment envers les informations émotionnelles.

En résumé, l'émotion, de par son caractère **adaptatif**, entraîne une cascade de réactions, en particulier sur les plans **comportementaux, cognitifs et neurovégétatifs**. Les informations dotées d'une valence émotionnelle sont donc capables de capter les ressources attentionnelles dans le but d'adapter et d'orienter le comportement de l'individu. Ce traitement privilégié des informations émotionnelles au détriment d'autres constitue un **biais d'attention sélective** ou **biais attentionnel** qui peut se traduire par une **facilitation** dans l'**orientation** ou le **maintien** de l'attention. Les informations émotionnelles sont aussi à l'origine de modifications sur le plan **neurovégétatif** permettant la réaction de l'individu, que cela soit dans le cadre d'un comportement d'approche, de fuite ou d'affrontement. Aussi, le traitement de l'information émotionnelle est susceptible d'être altéré dans certains troubles. C'est notamment le cas des **troubles de l'humeur** et plus particulièrement de **l'anxiété et de la dépression**. En effet, ces deux pathologies sont caractérisées par un **traitement biaisé des informations émotionnelles** sur les plans attentionnels et neurovégétatifs. De ce fait, dans la partie suivante, nous nous intéresserons aux données expérimentales concernant le déploiement de l'attention et la réactivité neurovégétative aux informations émotionnelles en lien avec la symptomatologie anxieuse ou dépressive.

Chapitre III. Troubles affectifs, attention et émotion

Le système attentionnel humain dirige et maintient préférentiellement ses ressources vers les informations émotionnelles. Cette préférence a une valeur adaptative car les informations émotionnelles peuvent enclencher des réactions comportementales de type approche ou évitement favorisant la défense, la survie, voire le plaisir de l'organisme. Affecter avec souplesse son attention aux signaux pertinents dans l'environnement, qu'ils soient positifs ou négatifs, est essentiel pour le fonctionnement adaptatif. Aussi, une altération des ressources attentionnelles pourrait jouer un rôle important dans la psychopathologie car l'attrait de l'attention pour les informations émotionnelles peut, dans certains cas, devenir mal adaptatif. C'est notamment le cas lors de l'existence de biais attentionnels pour certains types de stimuli, en particulier chez des populations souffrant de maladies physiques (Lowther et al., 2016, Skinner et al., 2021). Dans ce cadre, ils pourraient avoir pour conséquence d'accroître le sentiment subjectif de souffrance, une incapacité accrue et l'évitement de certaines activités (Tabira et al., 2020). Les biais attentionnels se retrouvent également chez des populations souffrant de troubles psychologiques et ont dans ce cas une place centrale. Par exemple, une hypervigilance spécifique s'observe pour des stimuli liés à l'addiction dans les troubles addictifs (Franken, 2003), ce qui favoriserait leur utilisation ou consommation. Les biais attentionnels se retrouvent aussi dans tous les troubles anxieux et semblent se manifester avec une ampleur similaire, quel que soit le trouble anxieux (Bar-Haim et al., 2007). Ainsi, des biais attentionnels ont été observés dans le trouble anxieux généralisé (Bradley et al., 1999 ; Rinck et al., 2003), la phobie sociale (Amir et al., 2003, Becker et al., 2001), le syndrome de stress posttraumatique (Bryant et Harvey, 1995, McNally et al., 1990), les phobies (Öhman et al., 2001, Rinck et al., 2005), le trouble panique (Buckley et al., 2002, Horenstein et Segui, 1997) et les troubles obsessionnels compulsifs (Amir et al., 2009, Cisler et Olatunji, 2010, Foa et al., 1993, Tata et al., 1996). Ils se retrouvent aussi dans la dépression tant au niveau clinique que sous-clinique (Peckham et al., 2014).

Dans cette partie, nous nous intéresserons dans un premier temps aux manifestations cognitives et comportementales de l'anxiété et de la dépression, en privilégiant notamment le déploiement de l'attention vers les informations émotionnelles. Ce processus pourrait participer à l'apparition et au maintien de ces symptomatologies (Gotlib & Joormann, 2010). Dans un second temps, nous nous concentrerons sur l'altération supposée de la réactivité neurovégétative à l'émotion dans ces mêmes symptomatologies.

1. Anxiété

1.1. Définition et caractéristiques

L'anxiété est classiquement définie comme une peur sans objet, c'est-à-dire une peur qui ne s'appuie pas sur des éléments de réalité, notamment en lien apparent avec des menaces. L'anxiété se traduit aussi par un état psychophysiologique intégrant des composantes cognitives, émotionnelles, neurovégétatives et comportementales. Cet état semble se décliner sur un continuum dont le pôle le plus élevé correspondrait à un niveau d'anxiété pathologique telle que les troubles anxieux généralisés (TAG) dont la prévalence est de l'ordre de 4 à 6 % (Kessler et al., 2012) et qui touche majoritairement les femmes (1 homme pour 2 femmes). L'anxiété est associée à des sentiments de tension, une inquiétude chronique et des manifestations somatiques diverses. Les personnes souffrant de troubles anxieux ont généralement des pensées ou des préoccupations intrusives récurrentes et peuvent éviter certaines situations par inquiétude. Ils peuvent également présenter des symptômes physiques tels que transpiration, tremblements, étourdissements ou battements cardiaques rapides. Les troubles anxieux rassemblent les pathologies relatives à une peur non spécifique, mais aussi celles relatives à une peur spécifique comme dans le cadre de phobies, de troubles du stress post-traumatique ou de trouble panique.

Au niveau sous-clinique, l'anxiété peut s'observer par l'intermédiaire d'un trait-anxieux qui se caractérise par un sentiment de stress, d'inquiétude, d'inconfort, éprouvé au quotidien (Heeren et al., 2018). De manière générale, il est proposé que les symptômes anxieux puissent provenir d'une dérégulation des émotions (Mennin et al., 2005), conséquence de perturbations neuronales tendant à exagérer la réactivité aux stimuli saillants d'une part, et d'un déficit rendant incapable le sujet d'atténuer la réactivité corporelle aux émotions d'autre part. L'anxiété implique donc à la fois des aspects cognitifs et neurovégétatifs.

1.2. Manifestations cognitivo-comportementales

Sur le volet cognitif, l'anxiété est caractérisée par une inquiétude excessive tournée vers les événements à venir. Sur ce point, il existe dans la littérature plusieurs modèles portant sur le traitement cognitif opéré par les individus avec des troubles anxieux. Le modèle de « *l'intolérance à l'incertitude* » (IU ; Dugas et al., 1998) stipule que les individus anxieux tendent à surestimer le risque et les conséquences négatives liées à une situation. Cette surestimation des risques serait exacerbée dans les situations incertaines (ex : situation présentant un manque d'information sur les événements à venir). Cette appréhension relative à l'incertitude pourrait expliquer, en partie, l'inquiétude excessive observée chez les anxieux. Elle pourrait également avoir pour origine une combinaison d'activation de représentations

internes d'incertitude et d'interprétations menaçantes. Ce modèle est soutenu par des données montrant une association positive entre intolérance à l'incertitude et l'inquiétude chez les sujets anxieux (Buhr & Dugas, 2006). Un second modèle, dit de « *l'intolérance à l'ambiguïté* » (IA) traduit une interprétation biaisée des situations ou des stimuli menaçants. Pour l'IU, les causes de la menace sont ou se réfèrent à l'avenir, alors que pour l'IA, les causes de la menace se trouvent dans le présent ou s'y réfèrent (Kirschner et al., 2016). Ainsi, les anxieux présentent une réactivité accrue aux stimuli ambigus ou neutres comme s'il s'agissait de stimuli négatifs (Olatunji et al. 2011). Ce phénomène trouverait son origine dans l'hypoactivité préfrontale, entraînant une désinhibition de l'amygdale et une hyperactivité émotionnelle (Davidson, 2002), ce qui serait associé à une évaluation des stimuli ambigus comme étant menaçants.

Sur le volet comportemental, il est probable que le système de détection des menaces surréagit à tout danger potentiel ou ambigu et se traduit par un **état d'hypervigilance** qui mène à un balayage accru de l'environnement dans l'objectif d'identifier des stimuli menaçants. Cette hypervigilance servirait à s'assurer que le système cognitif est alerte et prêt à détecter les signaux prioritaires susceptibles de menacer la survie (Beck et Clark, 1997 ; Dolan et Vuilleumier, 2003). Plus particulièrement, l'hypothèse d'hypervigilance (Eysenck, 1992) postule que l'anxiété est associée, soit à une large répartition de l'attention, soit à un balayage rapide de l'environnement avec une focalisation attentionnelle. Dans ce sens, des données oculométriques indiquent que lors de tâches de visionnage libre avec présentation de visages émotionnels, la distance totale parcourue par les yeux était plus grande pour les individus souffrant de phobie sociale que pour les sujets contrôles (Horley et al., 2004) ; ceci suggérerait, d'après les auteurs, une hypervigilance pour les stimuli émotionnels. Aussi, en utilisant un paradigme de signaux redondants, Richards et al. (2011) ont demandé aux participants d'indiquer la présence ou l'absence d'un visage de cible émotionnelle (en colère ou heureux) dans des essais ne contenant aucune cible, une cible ou deux cibles. Les résultats ont indiqué que l'anxiété était associée à moins de mouvements oculaires, mais aussi une capacité de traitement accrue pour détecter plusieurs visages menaçants. D'autres études suggèrent que l'hypervigilance dans l'anxiété peut être non spécifique comme reflétée par une capture attentionnelle accrue par des stimuli non menaçants distracteurs (Gerdes et al., 2008 ; Wieser et al., 2009). Ces résultats indiquent ainsi que l'anxiété peut mener à un plus grand balayage de l'ensemble de l'espace visuel dans le cadre de la recherche de la menace, mais que ce balayage attentionnel peut s'effectuer avec ou sans déplacement du regard.

L'hypervigilance retrouvée dans l'anxiété peut aussi mener à la présence de biais attentionnels envers certains types d'information émotionnelle. La plupart des modèles

théoriques d'anxiété impliquent une attention accrue aux menaces qui aurait un lien dans l'étiologie et le maintien du trouble (par exemple, MacLeod & Mathews, 1988 ; Mathews et MacLeod, 1994). Dans ce cadre, il est supposé que les individus anxieux traitent préférentiellement les indices liés à la menace. Ce traitement préférentiel est considéré comme mal adaptatif et semble impliqué dans le maintien des symptômes anxieux. De ce fait, un large pan de la littérature s'est intéressé à explorer les mécanismes en jeu et à quantifier les effets de l'attention vers la menace dans l'anxiété, notamment à travers deux hypothèses portant sur les informations visuelles.

La première hypothèse, dite de Vigilance-Evitement (« *Vigilance-Avoidance* »), considère que, dans une première phase de vigilance, l'attention est initialement dirigée plus rapidement vers la menace et que celle-ci est détectée plus facilement. Par exemple, les anxieux ont des seuils de détection plus bas pour la menace dans le cadre de tests d'écoute dichotique (Foa et McNally, 1986) et d'études de détection de signaux (Wiens et al., 2008) ; aussi, l'orientation spatiale vers la menace est accrue (Mogg & Bradley, 2002). Mais, cette période initiale de vigilance à la menace est suivie par un évitement. Cet évitement attentionnel a un rôle fonctionnel similaire à l'évitement comportemental, en évitant la réévaluation des stimuli menaçants (Armstrong & Olatunji, 2013). Williams et al. (1997) ont proposé que l'orientation vers la menace soit rapide, automatique et soit présente au stade précoce du traitement de l'information. Cette facilitation dans la détection de la menace est sous-tendue par le rôle de l'amygdale qui reçoit des afférences sensorielles et renvoie des projections aux zones de traitement sensoriel (Vuilleumier, 2005). Ensuite, des processus de traitement plus élaborés entraîneraient un évitement attentionnel des informations qui serait, à l'inverse du processus général de la vigilance, stratégique et volontaire dans un objectif de régulation émotionnelle. On retrouverait donc d'après cette hypothèse, un biais de facilitation vers la menace suivie par un évitement des informations aversives.

La seconde hypothèse est celle du maintien de l'attention (Fox et al., 2001 ; Fox et al., 2002 ; Yiend & Mathews, 2001 ; Weierich et al., 2008) et stipule que l'attention n'est pas dirigée plus rapidement vers la menace, mais qu'une fois détectés, les stimuli relatifs à la menace ont tendance à retenir l'attention, ce qui rend le désengagement de l'attention plus difficile. La théorie du contrôle attentionnel qui stipule trois fonctions centrales dans le contrôle de l'attention endogène (« inhibition », « shifting », « updating »), fournit un cadre explicatif à ce phénomène (Eysenck et al., 2007). Le maintien de l'attention sur la menace serait lié à un défaut d'inhibition dans le traitement initial de la menace. Malgré les désaccords sur les mécanismes cognitifs spécifiques en jeu dans l'anxiété, il existe un consensus sur la présence

d'un biais vers les informations menaçantes dans l'anxiété. Dans ce cadre, deux méta-analyses ont pu mettre à jour la présence de biais attentionnels dans l'anxiété.

La première méta-analyse (Bar-Haim et al., 2007), rapporte que les biais en faveur des informations menaçantes sont retrouvés avec différents paradigmes expérimentaux (Stroop émotionnel, visionnage libre, tâche de sondage attentionnel ...) et dans diverses conditions expérimentales. Les données en faveur des stimuli négatifs s'observent lorsque ces stimuli correspondent à des mots (Mathews et al., 1995) ou à des images (Mogg et al., 2000). Les anxieux présentent également un biais attentionnel pour des stimuli menaçants masqués et inattendus (Bishop et al., 2004), voire présentés de manière subliminale (Jansson & Najström, 2011). De ce fait, les anxieux manifestent un biais dès le niveau pré-attentionnel, donc en dehors du traitement conscient des informations. Des données suggèrent que ce traitement privilégié peut également s'effectuer pour les informations émotionnelles plaisantes (Martin et al., 1991 ; Bradley et al., 1999 ; Becker et al., 2001 ; Calvo & Averó, 2005). Par exemple, les individus très anxieux accordant une attention préférentielle aux visages heureux, par rapport aux visages neutres (Fox et al., 2001, expérience 3 ; Fox et al., 2002, expérience 1), et montrant même tardivement une durée de fixation accrue sur les visages heureux, par rapport aux visages en colère, après avoir initialement regardé les deux visages de la même manière (Rohner, 2002). L'explication de ce biais s'inscrirait alors dans le cadre de l'hypothèse émotionnelle de Martin et al. (1991) : les individus anxieux réagiraient davantage aux informations émotionnelles en général et pas spécifiquement aux informations menaçantes ou déplaisantes ; ceci suggère que la dimension d'activation puisse être prépondérante dans la manifestation des biais attentionnels.

Plus récemment, une seconde méta-analyse s'est intéressée à la manière dont les mouvements oculaires permettaient de renseigner sur la présence de biais attentionnels dans l'anxiété (Armstrong & Olatunji, 2013). Les auteurs confirment l'hypothèse de vigilance dans l'anxiété caractérisée par une orientation rapide vers la menace alors que le processus de maintien de l'attention semble moins assuré et plus dépendant de tâche utilisée. Néanmoins, des données indiquent une tendance au maintien de l'attention sur les informations menaçantes, même lorsque ce sont des distracteurs.

2. Dépression

2.1. Définition et caractéristiques

La dépression ou épisode dépressif caractérisé (EDC) est un trouble psychiatrique majeur touchant près de 300 millions de personnes dans le monde (Guilbert, 2003) et fortement associé à un risque suicidaire. En 2017, la proportion de la population mondiale souffrant de

dépression était estimée à 3,4 % (4,1 % chez les femmes et 2,7 % chez les hommes ; Ritchie & Roser, 2018). La dépression provoque des sentiments de tristesse et/ou une perte d'intérêt pour les activités et peut entraîner une variété de problèmes émotionnels et physiques diminuant la capacité à fonctionner sur le plan personnel et professionnel ; aussi, la dépression se caractérise par l'omniprésence, pendant au moins deux semaines, d'humeur à coloration négative. Le tableau clinique comprend également une faible estime de soi, avec dévalorisation, doutes, autodépréciation, sentiment d'incapacité, d'inutilité, une perte d'intérêt pour des activités normalement agréables (anhédonie), un sentiment de culpabilité, une faible énergie et des douleurs sans cause somatique. Certaines personnes ont des périodes de dépression séparées par des années, tandis que d'autres présentent des symptômes de manière presque continue. La symptomatologie de la dépression concerne aussi un niveau élevé de fatigue, des troubles du sommeil et de l'appétit, un ralentissement psychomoteur ainsi que des dysfonctions de la sphère neurovégétative. Enfin, les symptômes dépressifs augmentent à la fois le risque de maladie coronarienne et le taux de mortalité. Tout comme l'anxiété, la dépression implique des difficultés sur les versants cognitif et comportemental, relatifs à la manière de traiter les informations émotionnelles.

2.2. Manifestations cognitivo-comportementales

Sur le volet cognitif, les modèles de la dépression stipulent que les biais dans le traitement de l'information contribuent à l'apparition et au maintien du trouble. Selon ces modèles, les biais de traitement de l'information influencent la mémoire, les capacités d'interprétation et l'attention chez les personnes dépressives (Peckham et al., 2010). On retrouve, par exemple, chez des individus dépressifs, des ruminations fréquentes et des pensées répétitives générant un affect négatif. Ces pensées concernent notamment des événements ou thèmes négatifs tels que la perte, l'erreur, l'échec, ou un jugement autodépréciatif. Ces pensées négatives favoriseraient le développement du trouble, son intensification et sa réapparition (Nolen-Hoeksema et al., 2008). Une des théories cognitives les plus connues à ce sujet concerne la triade cognitive négative de Beck (Beck, 1976). Cette théorie est centrée sur les pensées négatives automatiques, spontanées et relativement incontrôlables ; elles impliquent aussi la propre image de l'individu, son environnement et son futur. Dans le cadre de cette théorie, les avancées neurobiologiques suggèrent que deux facteurs peuvent expliquer le traitement émotionnel de l'information dans la dépression : la réduction de l'activité préfrontale et l'augmentation de l'activité amygdalienne. Selon Beck (2008), l'altération de l'interaction fronto-amygdalienne contribuerait à modifier la réévaluation des informations émotionnelles laquelle retentirait sur la symptomatologie dépressive.

Sur le volet comportemental, les troubles de la concentration sont aussi un symptôme courant du trouble dépressif (Ottowitz et al., 2002, Porter et al., 2007). En particulier, une altération de l'attention sélective est fréquemment retrouvée. Par exemple, des études utilisant les tâches de Stroop ont décrit une altération des performances chez des sujets déprimés se caractérisant par un ralentissement accru pour la dénomination des mots et une précision réduite (Lemelin et al., 1997 ; Moritz et al., 2002 ; Paradiso et al., 1997 ; Trichard et al., 1995). Cette réduction de performance a souvent été interprétée comme particulièrement liée à des difficultés à inhiber les distracteurs. Par exemple, le paradigme classique des signaux de Posner a été utilisé pour démêler les mécanismes constitutifs des biais attentionnels chez les individus déprimés et suggère un déficit dans le désengagement de la menace (Koster et al., 2006). L'utilisation de cette tâche a également démontré une réduction de l'effet de facilitation dans la détection de la cible en lien avec des niveaux plus élevés de dépression (Pike et al., 2020). De même, des études portant sur les déficits de l'attention ont spécifiquement relié la symptomatologie dépressive à des déficits d'inhibition ou de désengagement des distracteurs, en utilisant des paradigmes tels que la tâche anti-saccade (De Lissnyder et al., 2011), l'amorçage négatif (MacQueen et al., 2000) et la tâche *flanker* (Dillon et al., 2015).

La lenteur psychomotrice est aussi un symptôme important retrouvé dans la dépression (Parker et al., 1993). Ce retard psychomoteur perturbe l'exploration visuelle, entraînant une augmentation du temps de réaction, notamment dans les tâches pro-saccade et anti-saccade (Mahlberg et al., 2001 ; Carvalho et al., 2015). De plus, dans les tâches de visualisation passive, les patients atteints de trouble dépressif présentent moins de saccades et une fixation moyenne plus longue que les participants contrôles (Li et al., 2016). Enfin, les individus déprimés présentent des déficits d'orientation visuelle et d'attention soutenue et exécutive (Paelecke-Habermann et al., 2005). Globalement, contrairement à ce qui est observé dans l'anxiété, une diminution des ressources attentionnelles dédiées à l'espace visuel ainsi qu'une diminution de l'exploration visuelle semble caractériser la symptomatologie dépressive.

Par ailleurs, l'hyperactivité de l'amygdale (Siegle et al., 2007) associée à l'hypoactivité frontale serait impliquée dans l'accroissement de la sensibilité aux stimuli négatifs et conduirait à un biais de négativité dans le traitement de stimuli émotionnels (Dannlowski et al., 2007). L'hyperactivité amygdalienne (Siegle et al., 2007) pourrait, à terme, conduire à des biais attentionnels aboutissant aux distorsions cognitives dans la dépression. En effet, la dépression est caractérisée par la présence de biais attentionnels envers certaines classes de stimuli (Eizenman et al., 2003). Ces biais participent à l'instauration et au maintien des symptômes et se manifestent par un traitement privilégié des informations déplaisantes (Carvalho et al., 2015). Ces biais se manifesteraient à un niveau plus tardif que dans l'anxiété et concerneraient

une difficulté de désengagement attentionnel envers le stimulus (Bradley et al. 1997). Ainsi, les biais attentionnels chez les dépressifs concerneraient davantage les stades ultérieurs du traitement attentionnel et seraient plutôt le produit d'un style cognitif ruminatif, dans lequel les individus déprimés s'attardent sur un contenu dysphorique. Bien que le biais de maintien sur le contenu dysphorique dans la dépression puisse commencer volontairement, les personnes déprimées peuvent présenter des difficultés pour désengager l'attention du contenu dysphorique, sans toutefois pouvoir déplacer l'attention de manière endogène ailleurs, d'une manière comparable au biais de maintien dans l'anxiété. En effet, comme pour l'anxiété, des déficits dans le contrôle attentionnel sont aussi rapportés et pourraient expliquer des difficultés d'inhibition dans le traitement des informations négatives (Koster et al., 2011). Le déploiement de l'attention vers les informations positives est également amoindri dans la dépression. Dans ce cadre, cela peut refléter l'absence de « biais protecteur » envers les stimuli positifs qui sont habituellement observés chez les individus sains ou non dysphoriques (Shane et Peterson, 2007) et une insensibilité à la récompense, de sorte que les stimuli gratifiants ne parviennent pas à capter l'attention.

Deux méta-analyses ont pu mettre à jour la présence de biais attentionnels dans la dépression. Une première méta-analyse de Peckham et al. (2010) rapporte que les biais en faveur des informations négatives sont retrouvés avec différents paradigmes expérimentaux (*par ex* : stroop émotionnel et tâche de sondage attentionnel) et dans diverses conditions expérimentales. Ces résultats s'observent à la fois pour du matériel verbal, les mots pertinents pour le sujet, ainsi que pour des scènes (Joorman & Gotlib, 2007) ou des visages émotionnels (Lu et al., 2017). Par ailleurs, il ne semblait pas y avoir de modulation de ces résultats selon l'âge, le sexe, le caractère clinique ou sous-clinique de l'échantillon et le type de stimuli (verbaux ou non verbaux). Aussi, un effet significatif, mais plus faible, a été trouvé avec une moindre orientation vers des stimuli positifs pour les déprimés par rapport aux échantillons de comparaison. Trois années plus tard, une seconde méta-analyse s'est intéressée à la manière dont les mouvements oculaires permettaient de renseigner sur la présence de biais attentionnels dans la dépression (Armstrong & Olatunji, 2013). Les individus déprimés ont montré une réponse d'orientation amoindrie aux stimuli plaisants par rapport aux individus non déprimés. Un « biais anhédonique » a également été observé dans le maintien prolongé du regard : les individus déprimés ont montré une attention réduite aux stimuli plaisants, par rapport aux individus non déprimés et un maintien accru du regard sur les stimuli dysphoriques.

En résumé, l'**anxiété** est caractérisée par une **vigilance ou orientation** accrue pour les informations de l'espace visuel, en particulier celles **menaçantes** et un **maintien de l'attention** sur ces informations. D'autres données suggèrent que l'orientation privilégiée de l'attention pourrait se manifester pour les informations **émotionnelles** plus généralement et qu'un **évitement attentionnel** peut aussi s'observer à la suite de l'orientation rapide de l'attention. La **dépression** quant à elle est davantage caractérisée par une réduction des capacités attentionnelles menant à une moindre exploration de l'espace visuel. De plus, un **maintien de l'attention sur les informations négatives**, congruentes avec l'état d'humeur des individus est aussi observé en association avec une **moindre orientation et un maintien plus court de l'attention vers les informations plaisantes**.

Ces données rapportent donc une réactivité comportementale à l'émotion, altérée dans l'anxiété et la dépression. Ce traitement biaisé de l'information au niveau de l'attention est pour certains auteurs impliqué dans l'émergence et le maintien de ces symptomatologies. Comme vu précédemment, l'attention et l'émotion sont susceptibles d'impacter certains paramètres physiologiques, notamment sur le plan neurovégétatif. Il peut donc être supposé que la réactivité comportementale à l'émotion soit accompagnée d'altérations sur le plan neurovégétatif, ce qui semble en accord avec diverses données de la littérature. Celles-ci sont présentées ci-après dans une revue systématique, en cours de finalisation, afin d'être soumise pour publication.

3. Réactivité neurovégétative à l'émotion dans l'anxiété et la dépression

➤ Cadre global de la revue

L'ensemble des données présentées au cours de la première partie de cette thèse indiquent l'existence **d'interactions** entre les **processus attentionnels**, **l'émotion et la réactivité physiologique**. L'attention s'oriente et se maintient de manière privilégiée vers les informations émotionnelles, ce qui s'accompagne également d'une réactivité physiologique spécifique associée au traitement de l'émotion. De plus, **l'anxiété** et la **dépression** sont caractérisées par des **dysfonctions** dans le **traitement de l'information émotionnelle** et dans le **déploiement de l'attention** vers l'émotion. Aussi, la littérature rapporte des **altérations dans la réactivité neurovégétative aux informations émotionnelles** dans ces symptomatologies comparativement à des sujets contrôles. Ainsi, dans la partie suivante, nous avons cherché à établir une **revue de la littérature** concernant la **réactivité neurovégétative à l'émotion dans l'anxiété et la dépression** en appliquant des **critères méthodologiques** afin de sélectionner les articles à inclure. Parmi eux, nous avons sélectionné les articles

impliquant la mesure **d'indicateurs neurovégétatifs** au cours de **tâches émotionnelles** chez des individus pour lesquels les **niveaux d'anxiété ou de dépression** ont été recueillis. Les résultats principaux de ces études sont ici synthétisés et discutés afin de tenter de dresser un cadre explicatif à leur hétérogénéité.

➤ Objectifs

L'anxiété et la dépression sont deux symptomatologies caractérisées par un traitement altéré de l'information émotionnelle. Aussi, elles s'accompagnent d'atypies dans la réactivité neurovégétative lors de tâches impliquant des stimulations émotionnelles. En effet, certaines études rapportent une hypo- ou une hyper-réactivité à l'émotion comparativement à des sujets contrôles. Par conséquent, nous avons effectué une revue de la littérature concernant la réactivité neurovégétative à l'émotion dans l'anxiété et la dépression. L'objectif est ainsi d'établir un bilan concernant la manière dont les individus anxieux et dépressifs répondent à l'émotion sur le plan neurovégétatif ainsi que les facteurs pouvant expliquer cette modulation.

➤ Méthodologie

Nous avons effectué une recherche d'article sur la base de données PubMed en utilisant la combinaison de termes suivants : "Major Depressive Disorder", "MDD", "depress*", "General Anxiety Disorder", "GAD", "anxi*", "autonomic", "neurovegetative", "physiological", "sympathetic", "parasympathetic", "vagal", "heart rate", "heart rate variability", "skin conductance", "electrodermal activity", "galvanic skin response", "emotion", "emotional", "affective", "pleasant", "unpleasant", "baseline", "rest", "resting state", "task-free". Pour être inclus dans la revue, les articles devaient impliquer 1) une comparaison de mesures neurovégétatives entre un groupe dépressif (clinique ou subclinique) et/ou anxieux et un groupe témoin sans diagnostic psychiatrique, ou une approche corrélacionnelle entre mesures neurovégétatives et scores psychométriques ; 2) des participants dépressifs et anxieux sans troubles spécifiques (par exemple, trouble affectif saisonnier, phobie spécifique, trouble de stress post-traumatique, trouble obsessionnel-compulsif); 3) un rapport satisfaisant des statistiques (c'est-à-dire, moyenne, écart-type, p-valeur, t, r, valeur F, η^2); 4) des études rédigées en langue anglaise ou française; 5) une période d'enregistrement concernant les réponses à des stimulations ; 6) des stimulations émotionnelles ou tâches stressantes, en favorisant les stimuli visuels.

➤ Principaux résultats

La façon dont les individus anxieux et dépressifs réagissent aux stimuli émotionnels dépend dans une large mesure de la nature de ces stimuli.

Pour l'anxiété, une diminution des réponses neurovégétatives chez des individus avec trait-anxieux ou diagnostic d'anxiété est parfois rapportée, en particulier lors de tâches impliquant des mesures de performance. D'autres données indiquent des réponses neurovégétatives accrues notamment lors de l'anticipation à la survenue d'information de nature émotionnelle. Enfin, certaines études indiquent également une absence de modulation de la réactivité neurovégétative à l'émotion.

Pour la dépression, les tâches cognitives stressantes, même avec une possibilité de récompense, induisent moins d'activation physiologique. Lorsque des films émotionnels sont utilisés comme stimulation, ceux comprenant de courts récits induisent une plus grande activation neurovégétative comparativement aux contrôles. Cependant, des données indiquent également que la réactivité neurovégétative aux images émotionnelles dans la dépression ne semble pas différer de celle des témoins.

➤ **Conclusions**

Les données présentées dans cette revue attestent d'une certaine hétérogénéité des résultats laquelle se caractérise par une hyporéactivité, une hyperréactivité ou une absence de différence en comparaison à des individus contrôles. Bien que des pistes explicatives puissent être avancées, notamment en termes de stratégies d'adaptation ou de déploiement attentionnel, un certain nombre de paramètres semblent également moduler les réponses neurovégétatives à l'émotion. En particulier, la variabilité dans la constitution des groupes, dans l'utilisation des stimuli et des tâches ou encore le choix des variables neurovégétatives sont discutés. Par ailleurs, la comorbidité entre ces deux symptomatologies constitue également une difficulté dans la mise en évidence de spécificités sur le plan de la réactivité neurovégétative à l'émotion.

Emotion and autonomic activity in depression and anxiety: A systematic qualitative review

To be submitted

Lucas De Zorzi^a, **Stéphane Ranfaing**^a, Jacques Honoré^a, Hugo Critchley^{b, c}, Henrique Sequeira^a

^a University of Lille, CNRS, CHU Lille, UMR 9193 - SCALab - Sciences Cognitives et Sciences Affectives, F-59000 Lille, France

^b Clinical Imaging Sciences Centre, Brighton and Sussex Medical School, University of Sussex, United Kingdom

^c Sackler Centre for Consciousness Science, University of Sussex, United Kingdom; Psychiatry, Brighton and Sussex Medical School, Brighton, United Kingdom.

3.1. Introduction

Emotion is an adaptive response that includes three components: 1) A subjective component, which concerns the feelings of the individual (much originating from interoceptive signalling of bodily changes); 2) a behavioural (expressive) component that encompasses facial expressions, vocalisation, postural modifications and action tendencies and lastly; 3) a internal physiological component, i.e. visceromotor and hormonal changes that accompany and underpin the two other components. The visceromotor responses depend on the autonomic nervous system (ANS). Emotional-related autonomic responses have the advantage of being involuntary and difficult to control. Thus, autonomic and visceromotor changes are widely used as objective indices for investigating the emotional reactivity of healthy individuals.

Indeed, emotional context produce physiological modifications which can be considered as a stress response for the organism and a threat for the homeostasis (i.e. the stability of physiological indices; Cannon, 1935; Selye, 1956; Johnson et al., 1992). Here, adaptive physiological changes temporarily perturb homeostasis (i.e. it is allostatic providing stability through change). The ability of an organism to maintain homeostasis under stress, or specifically under an emotional context, relies on the capacity to initiate such adaptive physiological responses to cope with the stressor (allostatic responses), and then to inhibit these responses when the stressor has passed (Sterling & Eyer, 1988; McEwen, 1998). Legacies from the Walter Cannon era include the concept that the ANS serves homeostasis through coordinated control of distinct physiological processes, and that the sympathetic and

parasympathetic branches generally exert opposing effects on effector organs (Cacioppo, Tassinary, & Berntson, 2007, p. 433). Heuristically, the sympathetic nervous system (SNS) activity mobilises energy resources to prepare an individual for motor action in a so-called 'fight or flight' response. These changes lend themselves well for the study of emotion. In particular, SNS activation causes increases in sweating through action on the eccrine glands (measured by electrodermal / skin conductance (SC) variation), in heart rate (HR), in pupil diameter, and in the redness or pallor of the skin (subcutaneous vasodilation or vasoconstriction, causing measurable variation in regional skin temperature). The SNS also innervates salivary glands in the mouth eliciting secretions of salivary-alpha amylase (sAA). Conversely, the parasympathetic nervous system (PNS) slows down HR and is associated with a 'rest-and-digest' or 'feed-and-breed' activities. Modulation of ANS activity (early withdrawal of PNS, then increased SNS, drive) characterises the 'alarm phase' of the stress response, allowing rapid adaptation. This phase is followed by a 'resistance phase', underpinned by hormonal responses, notably mediated through the Hypothalamic-Pituitary-Adrenal (HPA) axis (Selye, 1956).

The dysregulation or inactivation of allostatic responses will result in an inappropriate physiological balance and/or the accumulation of 'allostatic load'. This describes the negative effects of putting the body outside of homeostatic balance, incurring physiological costs to the body when it is forced to adapt to stress. These maladaptive states have pathophysiological consequences (McEwen & Stellar, 1993). Indeed, a hyper- or hypoactivation of either branch of ANS (at rest or in response to a stressor) introducing a vulnerability to both psychological and physical pathology. The most common relevant psychological conditions are affective disorders, specifically depression and anxiety. These correspond to aberrant psychophysiological states expressed along a continuum ranging from weak transient depressive or anxious symptomatology to enduring pathological depression and/or clinical anxiety. In this context, depression is associated with lack of stress resilience, that is instantiated within the brain as dysfunctional neural interaction between key regions including medial prefrontal cortex (mPFC) and amygdala. Within the body, there is a characteristic inhibition of the HPA axis and the attenuation of adaptive responses to (now uncontrollable) stress (Myers-Schulz & Koenigs, 2012; Franklin, Saab, & Mansuy, 2012). Such a chronic maladaptive stress response increases allostatic load, which further enhances susceptibility to anxiety disorder as a consequence of dysfunctional neurochemical responses (Charney, 2003). Chronic stress is recognised by DSM-V as a cross-cutting construct associated with Major Depressive Disorder (MDD) and General Anxiety Disorder (GAD), through its impact on individuals across multiple (behavioural, neuroendocrine and autonomic levels). (Patriquin and Mathew, 2017).

In 2015, the proportion of the global population with depression was estimated at 4.4% (5.1% among females and 3.6% among males) and that with anxiety at 3.6% (4.6% among females and 2.6% among males), making these disorders a major public health issue (World Health Organisation, 2017). Furthermore, converging evidence from both epidemiological and experimental fields indicates that depressive and anxiety disorders have a bidirectional relationship to cardiovascular disease (Celano, Daunis, Lokko, Campbell, & Huffman, 2016; Dhar & Barton, 2016). However, the mechanisms underlying this association between psychological and physical morbidity remain poorly understood. Across the literature, reports appear to vary regarding the nature and extent of autonomic dysfunction in affective disorders. Consequently, the study of normal and abnormal autonomic activity in the psychophysiological states of depression and anxiety is a topic of major clinical interest.

In the present review, we sought first to determine the autonomic profile of depression and anxiety both at rest and in response to emotional stimulation. Specifically, we examined whether depressed or anxious individuals manifest decreases or increases sympathetic (SC, HR, pupil diameter, sAA, blood pressure) and/or parasympathetic (HR, HRV, pupil diameter) indices compared to controls. To this aim, we focused our literature search on studies that compare such measures between healthy individuals and depressed or anxious patients, or which test for correlations studies between SNS and/or PNS variations with depressive and/or anxious symptomatology. Compared to controls, autonomic hyperactivity is defined here by a greater sympathetic arousal and/or lower parasympathetic activity, while an autonomic hypoactivity is defined by a lower sympathetic arousal and/or a greater parasympathetic activity. We hypothesised that depressed and anxious individual would exhibit greater sympathetic activation at rest, and differ significantly from controls in their autonomic reactivity to emotional stimulation relative to control.

3.2. Method

Literature selection

The study was carried out in accordance with guidelines outlined in the preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses (PRISMA) statement. Peer-reviewed research articles were located in PubMed databases and sort by best match with all relevant combinations of the following keywords: “Major Depressive Disorder”, “MDD”, “depress*”, “General Anxiety Disorder”, “GAD”, “anxi*”, “autonomic”, “neurovegetative”, “physiological”, “sympathetic”, “parasympathetic”, “vagal”, “heart rate”, “heart rate variability”, “skin conductance”, “electrodermal activity”, “galvanic skin response”, “emotion”, “emotional”, “affective”, “pleasant”, “unpleasant”, “baseline”, “rest”, “resting state”, “task-free”. We excluded studies of personality disorder or autism and those including bipolar or patients with psychosis

(schizophrenia). We also excluded studies involving brain stimulation or cognitive-behavioural or biofeedback interventions. In addition to these electronic searches, each report's citation list was examined for additional studies. The search began in February 2019 with no limitation on time-period.

Article abstracts were screened by either of the investigators (LD or SR) for relevant content and articles with empirical data regarding autonomic activities in depression and/or anxiety were accessed for further review. The inclusion criteria were: 1) a comparison of autonomic measures between a (clinical or subclinical) depressive group and/or anxious group and a control group free from psychiatric diagnosis, or a correlational approach between autonomic measures and psychometric scores; 2) depressive and anxious participants without specific disorders (e.g. seasonal affective disorder, specific phobia, post-traumatic stress disorder, obsessive-compulsive disorder); 3) satisfactory reporting of statistics (i.e., mean, SD, p, t, r, F value, η^2); 4) English or French studies; 5) a recording period of at least 2 minutes; concerning the responses to stimulation; 6) emotional stimulation or stressor tasks, by promoting visual stimuli.

All potentially relevant manuscripts were independently reviewed by two investigators (LD and SR) and areas of disagreement or uncertainty were adjudicated by a third investigator (HS). The full texts of all included studies were read, and the following data were extracted: Study design, the number of participants, diagnosis of selection criteria, stimulation condition, main outcome measures, main results, baseline and reactivity observations.

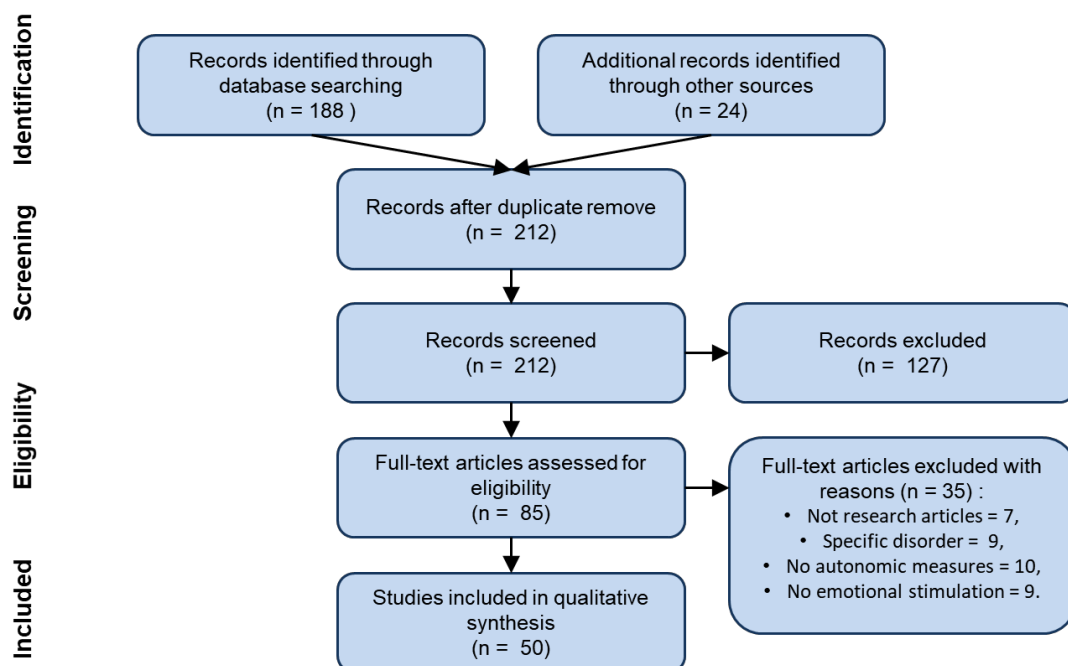


Figure 1. The flowchart of the article selection.

Physiological indicators investigated

Within the literature concerning investigations of autonomic mechanisms associated with anxiety and depression, many physiological indicators are reported providing information about the activity of the sympathetic and parasympathetic branches of the ANS in those disorders. However, most of the experiment consider an organ-specific approach considering that ANS innerves diverse organs and therefore that organ-specific patterns can be observed (Berntson, Sarter, & Cacioppo, 1998). In this review, we focused on studies that measure the parameters described below.

Cardiac activity, notably chronotopy, typically depends on the balance between activity within sympathetic and parasympathetic innervation (sinoatrial) pacemaker: While the SNS increases HR, the parasympathetic nervous system (PNS) decreases HR (Berntson et al., 1997). Cardiac deceleration can thus reflect both an increase of PNS activity and/or a SNS withdrawal. Conversely, cardiac acceleration reflects both an increase of SNS activity and/or a PNS withdrawal. The effects of PNS drive and withdrawal on HR are more rapid than SNS effects, by virtue of more direct (vagus nerve) innervation. Heart rate variability (HRV) is also an important metric of cardiac autonomic function. HRV characterises the variation of the inter-beat interval (IBI) duration and is typically dominated at rest by parasympathetic effects that couple HR to breathing (respiratory sinus arrhythmia, RSA). HRV can be analysed by two main approaches: temporal and frequency methods. The temporal method is based on calculations directly made on the IBIs, i.e. the times elapsed between successive R-waves (RR intervals). The standard deviation of the RR intervals (SDNN) provides information on fast and slow changes in IBI, while the standard deviation of the successive RR interval differences (SDSD) and the square root of the successive RR differences (RMSSD) provide information about the rapid variations of IBI. Since these parameters are based on successive R-R intervals, increasing SDSD and RMSSD reflect increased PNS activity, which has a shorter action latency than the sympathetic activity (Berntson, Cacioppo, & Quigley, 1993). Frequency domain methods rely on power spectral density analysis which provides basic information on how power is distributed as a function of frequency. These spectral analyses are typically based on a Fast Fourier Transform (FFT) which allows to extract specific frequency bands. The high frequency band (HF), between 0.15 and 0.4Hz, is under the influence of respiration and constitutes a reliable indicator of PNS activity and cardiovagal tone. A low frequency band (LF), between 0.04 and 0.15 Hz, is typically reported as reflecting SNS influences on heart rate (Billman, 2011; Malliani et al., 1991; Reyes del Paso, Langewitz, Mulder, van Roon, & Duschek, 2013). However, there is wide acknowledgement that there are PNS components to LF power. The ratio between the LF and HF (LF / HF) is often used as an indicator of the sympathovagal balance, in part to control for this issue, although its interpretation is still

debated. Lastly, a very low frequency (VLF) band is occasionally reported, reflecting almost entirely sympathetic influence on peripheral vasculature.

Among the most studied indicators, electrodermal activity is a well-known index of sympathetic activity. Indeed, the secretion of the eccrine sweat glands located on the palmar surface of the hands or the plantar surface of the feet is activated by neural sympathetic stimulation (Boucsein, 2012) and therefore may indicate a psycho-physiological arousal (Critchley, 2002; Sequeira, Hot, Silvert, & Delplanque, 2009). This secretion stimulation leads to an increase of the electrical conductivity of the skin from which several parameters can be extracted (Dawson, Schell, & Fillion, 2007) among which the skin conductance level (SCL) refers to the tonic level of skin electrical conductivity. The skin conductance response (SCR) amplitude is the phasic conductance increase following a stimulus and is known to increase with emotional arousal (Lang et al., 1993; Bradley et al., 2001). The SCR latency corresponds to the interval between the stimulus onset and SCR initiation and the SCR half-recovery time is the time interval between SCR peak and the point where SCR amplitude falls back to 50% of its peak value. SCRs elicited more than three seconds after the stimulus onset are considered as non-specific SCRs (NS-SCR). The frequency of SCRs and NS-SCRs can also be extracted. Modulation of these parameters is associated with range number of cognitive processes, not least emotional engagement or attentional reallocation (Bradley, 2009).

Like the heart, the pupil is innervated by both sympathetic and parasympathetic nervous systems. While the SNS causes a pupil dilation (mydriasis), the PNS constricts the pupil (myosis). In event-related studies, the onset of a visual stimulus triggers a light reflex consisting of a parasympathetic-mediated constriction which can be influenced by the emotional content of the stimulation (Henderson et al., 2014). In this context, the subsequent pupil dilatation has been associated with the emotional arousal of the stimulation (Bradley et al., 2008).

Finally, salivary-alpha amylase (sAA) which is the most abundant enzyme in saliva (Zakowski & Bruns, 1985) is another indicator to investigate ANS activity. Secretions of sAA begin in the mouth by the salivary glands, which are innervated by SNS and has been shown to be reactive to emotional arousal changes (Fisher et al., 2010; 2013) and could inform about a state of chronic stress (Nater et al., 2006) or depression (Rohleder, Chen, Wolf, & Miller, 2008).

3.3. Results

Autonomic activity at rest in depression

Heart rate variability

Of the 50 selected studies, 8 measured HR and/or HRV parameters on depressed samples, selected according to the diagnosis of Major Depressive Disorder (MDD) or a self-

report depression screening. Those studies accumulating a large number of participants demonstrated an effect of depression on cardiac parameters. Liang, Lee, Chen, & Chang (2015) showed that 156 Major Depressive Disorder (MDD) patients had faster HR, higher LF/HF ratio, lower variance of IBI and lower SDNN than controls. These indicate cardiac parasympathetic withdrawal at rest in depression. However, in this study, neither LF-HRV nor HF-HRV differed in MDD patients as compared to control group. Parasympathetic withdrawal at rest in depression is further supported by the findings of Sun et al. (2016) who reported that patients with MDD show greater HR and lower HF-HRV and LF/HF ratio at rest than controls. Moreover, the authors showed that HRV-based screening method performed better than a screening method based on subjective patient report in discriminating patients with MDD. Continuing this theme, Kanthak et al. (2017) showed within a large sample (N = 446) that depression symptoms, assessed by the Patient Health Questionnaire (PHQ-9), are negatively associated with RMSSD during seated rest, and that PHQ-9 somatic symptoms were primarily responsible for this association. Thus, depression diagnosis and the somatic symptoms of depression are both associated with a parasympathetic withdrawal at rest.

Stone et al., (2018) compared three groups: 1) MDD women with childhood abuse; 2) MDD women without childhood abuse and 3) healthy controls without childhood abuse. They found lower HF-HRV in depressed women with childhood abuse group compared to other groups. Thus, specific characteristics of the depressive disorder appear to play a central role in the modulation of vagal tone. However, when comparing three groups of men, heroin users with depressive symptoms as measured by Beck Depressive Inventory (BDI), patients with MDD, and healthy controls, Lin et al. (2016) failed to find a group difference in HRV indices between the depressive and the MDD groups. In this study, the heroin group had lower SDNN and HF values than the healthy controls and there was a higher LF/HF ratio in the heroin group than in healthy controls. However, heroin consumption is a confounding factor regarding HRV, not least because of the drug's vasoactive properties. These authors still showed a negative association between depression scores and HF-HRV, a positive association between depression and LF/HF ratio, but no significant association between depression scores and SDNN or LF. Again, these results suggest a parasympathetic withdrawal in patients that is greater with increasing severity of depression.

In another hand, studies with a smaller sample size do not all go in the direction of parasympathetic withdrawal and/or sympathetic activation on cardiac indices at rest in depression. In particular, Salomon et al., (2013) did not show any significant difference between MDD (n = 50), remitted MDD (n = 25) and controls (n = 45) on resting levels of the investigated cardiovascular measures: HR, systolic blood pressure, diastolic blood pressure,

HR, pre-ejection period, stroke volume, total peripheral resistance. In this study, the rest period was a 10 - min neutral film which may have relaxed participants and may have enhanced parasympathetic tone, even in depressive individuals. Similarly, Jin, Steding, & Webb (2015) did not show HR or HRV (RSA) differences between MDD patients (n = 25) and controls (n = 25) during a 10-min baseline where participants were asked to relax, sit quietly and stay awake. Brinkmann & Franzen (2017) found no more differences between dysphoric (CES-d range: 17-45; n = 33) and non- dysphoric (CES-d range: 1-9; n = 33) on HR, pre-ejection period (PEP), systolic blood pressure (SBP), or diastolic blood pressure (DBP) during an 8-min baseline period. However, this period was composed of 8-min excerpt of a hedonically neutral documentary film for which the "baseline" qualification is debatable. The instructions given to participants during the baseline period may, in these cases, have relaxed the participants and attenuated the above-mentioned autonomic hyperarousal at rest in depressive individuals, thereby reducing autonomic differences between depressed and control participants.

Skin conductance & pupil

Few studies have investigated the skin conductance during a resting state in MDD patients or participants with a self-report depression. Only two fulfilled the criteria of this review. Among these, that of Schumann, Andrack, & Bär (2017) showed an increase in HR, Skin Conduction Level (SCL) and pupil diameter in unmedicated patients with MDD (n = 29) compared to controls (n = 29), without significant difference on HRV parameters. Both sympathetic activation and/or vagal withdrawal might lead to a HR increase, but the other indices are suggestive of the predominance of a sympathetic involvement in the disease. The second study showed that depressed students (depressive symptomatology measured by the BDI) exhibited reduced SCL at baseline and concludes that there is blunted sympathetic tone at rest in depression (Gehricke & Shapiro, 2001). The discrepancy between these results on SC may come from the depressed population studied (subclinical versus clinical).

To summarise, depressive disorders are associated with cardiac parasympathetic withdrawal identified thanks to a large sample. Besides, there is little evidence of an increase of sympathetic indices at resting state, pleading for a sympathetic predominance. Depressed patients would be more aroused than controls during the rest state, and thus exhibit less "rest-and-digest" or "feed-and-breed" activities and more "flight-or-fight" responses. However, it should also be noted that some studies point to an absence of differences which could be partly due to the nature of the rest period used.

Autonomic reactivity to emotional stimulation in depression

Of the 50 selected research papers, 17 studied the autonomic reactivity to stressors or emotional stimulation in depressed samples, selected on the basis of a Major Depressive Disorder diagnosis or of scores to self-report screening instruments. However, the results and their interpretation support either a hypo- or a hyperreactivity.

Hyporeactivity

A meta-analysis of self-reported, behavioural and physiological emotional reactivity in MDD showed reduced reactivity for pleasant (with a medium effect size) and unpleasant (with a small effect size) content (Bylsma, Morris, & Rottenberg, 2008). Considering these components separately, only self-reported and behavioural reactivity remained reduced in MDD compared to controls for pleasant content. For unpleasant content, only self-reported and physiological reactivity remained reduced in MDD, with a relatively small sample size (N = 196 for MDD vs. N = 220 for controls) for 8 studies. The effect sizes of the physiological reactivity to unpleasant differed greatly according to the study.

The fact that physiological reactivity to pleasant content was no longer significant in the separate analysis could be explained by the relatively small sample size (N = 122 MDD vs. N = 89 controls) with only 4 studies included. Also, Bylsma et al. (2008) considered reactivity to mixed stimuli (stress; imagery; audiotape; faces; International Affective Pictures System, IAPS; reward/punishment; films) on mixed physiological variables (HR, SC, BP, RSA, respiration), which also could explain the heterogeneity observed for negative reactivity.

During speech, cold pressure, or video viewing, Schwerdtfeger & Rosenkaimer (2011) observed an increase from a 3-min baseline in cardiovascular variables (HR, SDB, DBP) and NS-SCRs. In this study, participants with high depressive symptoms (assessment: BDI) exhibited lower SBP and NS-SCRs reactivity than individuals with low depressive symptoms during the speech task and the video viewing but not during cold pressure. This indicates that during a sensory stress, the physiological reactivity sets up the same way whatever the depressive symptoms, but during social stressors, this reactivity is more inhibited in individuals with high depressive symptoms.

Salomon et al. (2013) showed that during a speech task, MDD exhibit less HR, PEP and SBP reactivity than controls and less HR and PEP reactivity than remitted MDD, while remitted MDD did not differ from controls whatever the measure. Besides, in response to the forehead cold pressor, no significant difference between the groups was observed, which suggests that the difference observed during the stressor did not depend on the cardiovascular system but rather on the ability to deal with the social stressor.

During a mental task, Sun et al. (2016) obtained no significant differences between patients with MDD and healthy controls in terms of HR, HF-HRV or LF/HF ratio. During the baseline, controls exhibited lower HR and higher HF-HRV and LF/HF ratio than MDD patients. While MDD patients did not show any significant differences between the baseline and task, controls showed an increase of HR and a decrease of HF-HRV and LF/HF ratio during the mental task. In this study, HR increased in healthy controls to reach the level recorded in MDD during rest. These results endorse the presence of hyper-arousal at rest in depression, which thus translates into a lack of evoked physiological reactivity to stressors.

During mental arithmetic task, non-dysphoric participants (CES-d range: 1-9) showed sympathetic arousal (PEP, SBP and HR) when expecting a possible reward (Brinkmann & Franzen, 2017), while dysphoric (CES-d range: 17-45) participants' effort mobilisation was not influenced by the reward possibility.

Apart from HRV indices, Mardaga & Hansenne (2009) showed that depressed individuals did not differ from controls on SCR frequency or amplitude to IAPS pictures, despite the fact that they rated emotion pictures less arousing than control. However, depressed individuals exhibited shorter SCR half recovery time than controls regardless the emotional content of pictures. These shorter half-recovery times in depression, according to Mardaga & Hansenne (2009), suggests either a faster dissipation of responses or a deficit of attentional focusing on stimuli.

To summarise, during stressful cognitive tasks, depression seems to reduce the magnitude of autonomic arousal compared to control. This could be explained by a ceiling effect due to hyper-arousal at rest in depression. Higher HR, which restricts the HR variability in depressed participants, may lead to a lower margin of HR increase in response to stressful events. Besides, dysphoric participants are not aroused by the possibility of a reward following a task.

Hyperreactivity

In contrast, a proportion of studies contradict the idea of a hyporeactivity in depression. For example, in response to video clips depicting actors telling self-related narratives, patients with MDD showed more SCR than controls when the narratives were emotional (happy, sad, fearful or disgusted; Schneider et al., 2012). The narratives contained in these videos may have recalled patients' self-experiences, making these narratives self-relevant stimuli. Autonomic reactivity may predict treatment response. Panaite et al. (2016) showed that RSA withdrawal to a sad film predicts overall symptomatic improvement over a 30-week treatment course in patients with MDD. Conversely, diminished RSA withdrawal when watching the sad film predicted an overall worse course of MDD symptoms over time. Wenzler et al. (2017) also

observed higher temperature (throughout the experiment) and an increase of the respiratory rate in MDD patients compared to controls when they were presented with unpleasant pictures. To explain such responsiveness in depression, the authors advance the hypothesis of negative potentiation, which proposes that depression is characterised by a hyperreactivity to unpleasant events, without modulation of the reactivity to pleasant events.

Undifferentiated activity

During the performance of an arithmetical task, Liang et al. (2015) showed that first-episode MDD patients and control groups have similar trends in variance of RR intervals and SDNN. In this study, the authors only found a parasympathetic withdrawal during the baseline period in patients with MDD. Similar results were obtained by Jin et al. (2015), who did not observe any difference on HR or pupil diameter between group of MDD and controls. However, taking into account the subjective feelings induced by stimulation, Sloan and Sandt (2010) showed that, even though patients with MDD did not differ from controls on HR reactivity to IAPS pictures, they rated lower their feeling of happiness during neutral pictures (IAPS) and sounds (IADS). They also felt less arousal during positive pictures and sounds and greater arousal during negative pictures and sounds. Emotional stimuli are therefore not perceived or evaluated with the same valence or intensity, but they can nevertheless initiate similar physiological responses. This uncoupling of subjective and physiological responses was also observed by Rottenberg, Kasch, Gross, & Gotlib (2002) who noted that even if depressed participants reported more sadness than did controls during neutral and amusing films, and less amusement during amusing film, they did not differ from controls on HR and SCR rate. They did show that a greater difference in HR between amusing and neutral films predicted a better recovery from depression 6 months later. The ability of autonomic indicators to predict patient remission is supported by another work (Rottenberg, Salomon, Gross, & Gotlib, 2005), which showed that HRV (RSA) reactivity to the sad film predicted recovery from depression 6 months following entry to the study, and that depressed persons who later recovered exhibited significant vagal withdrawal to the sad film.

At cerebral level, a greater HRV reactivity is associated with a greater connectivity between the rostral Anterior Cingulate Cortex and the pons. Such a connectivity was reduced in MDD patients compared to controls (R. Smith, Allen, Thayer, & Lane, 2015), even if the authors were not able to show differences in HRV reactivity to IAPS pictures between MDD patients and healthy controls. This suggests at least a lack of cortical control over this physiological activity.

To summarise, the way depressed individuals react to relevant stimuli depends to a large extent on the nature of these stimuli. Stressful cognitive tasks, even with a reward possibility, induce less arousal in depressed individuals than in controls. When emotional films are used

as stimulation, those including short narratives induce greater autonomic arousal in depressed individuals than in controls. Finally, half-recovery times of SCR suggest a deficit of attentional focus on stimuli. However, the autonomic reactivity of depressed individuals to emotional pictures do not seem to differ from that of controls.

Autonomic activity at rest in anxiety

Heart rate variability

Of the 50 selected studies, 6 concern resting-state HR and HRV with anxious populations selected according to a Generalised Anxiety Disorder (GAD) diagnosis or a score on self-report anxiety screening instruments.

One study is a meta-analysis on several anxiety disorder by Chalmers, Quintana, Abbott, & Kemp (2014) who reviewed 24 studies about Panic Disorder (PD), 13 about PTSD, 5 about GAD, 2 about OCD, 1 about specific phobia, 4 about social anxiety and 3 about mixed anxiety disorders. Taking into account what each study reported, PD would appear to be globally reliably associated with a decrease in HRV, with a decrease in parasympathetic and decrease in sympathetic activity (LF/HF parameter); PTSD is also associated with a decrease in HRV, but an increase in sympathetic activity (elevated LF and LF/HF parameters); GAD is associated with a decrease in parasympathetic activity with no significant differences in HRV or sympathetic activity (unchanged LF, LF/HF parameters); OCD, social phobia and mixed anxiety are associated with a decrease in parasympathetic activity with no significant differences in HRV or sympathetic (LF, LF/HF parameters) activity.

Regardless of specific diagnosis, the meta-analysis revealed a reduced HF-HRV, thus a parasympathetic withdrawal, in anxiety relative to healthy controls (small effect size). Low frequency HRV did not differ between participants with any anxiety disorder and controls. Since LF-HRV is an index of both sympathetic and some parasympathetic activity, we could assume that there is a predominance in sympathetic activity at resting state, concomitantly with decrease in parasympathetic in anxiety.

However, as for depression, some studies failed to find differences between anxiety patients and controls in for heart rate parameters. At clinical level, Hubert & de Jong-Meyer (1990) failed to show a difference between GAD (with mild depression measured by BDI) and controls, during 3-min baseline recording before emotional clips. A set of measures were recorded and among them HR and HRV. In this study, only the EMG activity of corrugator supercilia differed at rest between groups. A small sample size (N = 12 GAD) could explain the absence of significant difference on autonomic measures. However, these results are in line with those of Hoehn-Saric (1989) who compared control and GAD female on a 10-min baseline period. This author, who also failed to find differences on autonomic measures such as HR,

BP or respiration, observed a higher level of forehead and gastrocnemius EMG activity for GAD compared to control. The depressive comorbidity may also explain the absence of significant difference as in a study from Llera & Newman (2010) for which GAD patients (with mild depression evaluated by the BDI; $n = 28$) did not differ from controls ($n = 35$) on HF-HRV during a 2-min baseline period following a 10-min acclimatisation period. During a 5-min baseline period, Aldao & Mennin (2012) did not show any difference in an HRV parasympathetic index, the mean squared difference of the successive IBI (MSD), between GAD ($n = 80$) with mild depression (assessment: BDI) and controls ($n = 50$). Similarly, a comparison between high worry GAD patients, high worry controls and low worry (PSWQ) in a study by Levine, Fleming, Piedmont, Cain, & Chen (2016) did not observe differences in HF-HRV during a 5-min baseline period.

Skin conductance

Hyperactivation at rest is also demonstrated using the skin conductance. For example, Wilken, Smith, Tola, & Mann (2000) showed that highly anxious individuals, evaluated by the State-Trait Anxiety Inventory (STAI), had higher SCL than low anxious individuals during 1-min before stressful or not stressful task. At clinical level, Pruneti, Lento, Fante, Carrozzo, & Fontana (2010) showed that, during a 6-min rest period after a 5-min adaptation period and a 4-min stress phase, GAD and PD patients had greater SCR than MDD and OCD patients and that GAD exhibited greater HR than PD, MDD, and OCD patients. Similarly, Pruneti et al. (2016) showed that, during a 6-min rest period after an adaptation phase and before a stress session, GAD and PD patients had higher SCR than MDD, OCD, anorexia nervosa (AN) patients and controls and that GAD showed greater HR than all groups. In this study, MDD and AN showed lower SCR in comparison to GAD, PD and controls. These results indicate higher sympathetic arousal in GAD in comparison to other patients and controls.

However, this elevated sympathetic activity at rest is not always observed. Indeed, Katkin (1965) did not observe any difference between high and low anxious evaluated with the Taylor Manifest Anxiety Scale (TMAS) on EDA during a baseline period. Weinberger et al. (1979) also failed to differentiate the anxious group (assessment: TMAS). In this study, they compared low anxious, repressors (low anxious participants with defensive style) and moderate anxious during several baseline period but could not distinguish the groups on the basis of their spontaneous skin resistance responses. Noteboom et al. (2001) also failed to find differences between high and low anxious (assessment: STAI) in EDA measures obtained during a 8-min baseline period. However, it has to be noted that this baseline period was recorded after a stress phase in order to avoid anticipatory anxiety. Comparing low and high worriers, a subclinical phenotype of GAD, Kirschner et al. (2016) did not find any difference between

groups on SCL and NSSCR during the 10 min of the baseline. Taking into account the comorbidities, Fisher, Granger, & Newman (2010) did not show any difference in sympathetic arousal during a 2-min baseline period (sAA, SCL, NS-SCRs) between non-comorbid GAD, comorbid GAD (MDD or OCD or dysthymia or PD or social phobia or PTSD) and controls. Finally, as described before, Hubert & de Jong-Meyer (1990) also failed to find differences between GAD patients and control groups in the skin conductance during a 3-min baseline.

Biochemical: salivary alpha-amylase

Tamura et al. (2013) showed that patients with social anxiety disorder (SAD) produced greater concentrations of salivary alpha-amylase (sAA) than controls at baseline and both during electrical stimulation delivered to motor and sensory fibres of the median nerve and during recovery from this stimulation. No differences between patients and controls were found in the levels of salivary cortisol. The production of sAA increases in response to psychological and physical stress through interactions with the autonomic nervous system, and it has been found to be a useful marker of SNS activity (Nater et al., 2006; Allwood, Handwerker, Kivlighan, Granger, & Stroud, 2011). Thus, a high production of sAA at baseline reflected a high sympathetic activity in SAD. In this study, neither patients nor controls displayed cortisol responsiveness to electrical stimulation, which implies that the Hypothalamic–Pituitary–Adrenal axis in patients with SAD is relatively stable at the baseline. The ANS is more aroused at the baseline in SAD patients than in healthy individuals, whereas the HPA axis activity is comparatively unchanged. Moreover, GAD patients showed a greater sAA than controls during a 2-min baseline period before induction of worrying or relaxed mental states (Fisher & Newman, 2013). This indicates a greater sympathetic arousal, but no differences on HR, RSA or RR despite a large sample (N = 76 GAD).

However, some studies failed to find differences between groups on sAA. For example, as in the above-mentioned study of Fisher et al. (2010) which compared non-comorbid GAD, comorbid GAD and control groups, for which no differences were found between groups.

To summarise, a meta-analytic review shows a consistency in parasympathetic withdrawal / reduced PNS tone in anxious individuals relative to healthy controls, regardless of the specific diagnosis. This finding is complemented by the skin conductance and biochemical data which additionally show higher sympathetic arousal with anxious symptomatology. Anxious individuals, as depressive ones, are more aroused than controls in resting state. However, it is worthy that many studies did not find any difference between anxious and control groups.

Autonomic reactivity to emotional stimulation in anxiety

Of the 50 selected research papers, 19 dealt with the autonomic reactivity to stressors or with emotional stimulation in anxious samples selected according to the diagnosis of Generalised Anxiety Disorder or a self-reported anxiety on screening instruments. However, the data and their interpretations are contained inconsistencies: Similar to what was observed for depression, the literature provides evidence to support either a hypo- or a hyperreactivity of autonomic physiology.

Hyporeactivity

Oathes, Siegle, & Ray (2011) showed that greater worry, a central component of GAD quantified by the Penn State Worry Questionnaire, is associated with lower pupil reactivity in response to negative emotion stimuli. Similarly, a hyporeactivity in the context of high trait anxiety is also reported by Naveteur, Buisine, & Gruzelier (2005) during a visual search task when emotional auditory words were presented as distractors. In this study, anxious individuals showed lower SCRs than non-anxious individuals. This was not the case with neutral words as distractors or when the words were presented alone. In this context, anxiety could blunt response activity to emotional information and thereby allowing active resources- based active adaptive coping to help maximise task performance. Hyporeactivity for anxious individuals observed here in the context of divided attention was also previously observed by Naveteur & Freixa I Baque (1987) during the presentation of slides, with smaller SCRs amplitude to visual stimuli for anxious participants compared to controls, especially for negative slides. Hoehn-Saric (1989) also showed a sympathetic inhibition during a risk-taking task in GAD patients with less skin conductance relative to controls. There were no differences, in heart rate differences.

These data suggest an inhibitory process on physiological reactivity subserves a coping strategy. Plausibly, this finding may relate to the Gray's anxiety theory (1982), which postulates the existence of a behavioural inhibition system (BIS) that blocks active response behaviours and initiates defensive responses or passive avoidance behaviours (Pruneti et al., 2016). Activation of a BIS will attenuate SCR in anxious individuals.

Hyperreactivity

In contrast, hyperreactivity to emotion content is also reported, with a theoretical grounding in the Tripartite Model of Anxiety and Depression proposed by Clark and Watson (1991). This model which attributes to anxiety, besides other symptoms, exaggerated SNS activity in the sympathetic system in response to threat. Hyperarousal is observed, for example by Najström & Jansson (2006) as greater SCRs in response to masked and unmasked threatening pictures in people scoring high in trait anxiety (STAI). Greatest responses to masked (i.e. subliminal) threatening pictures were observed for participants with higher trait

anxiety scores, whereas high social desirability scores (impression management) reduced this hyperreactivity. This increase of reactivity to subliminal stimuli seems to indicate a pre-attentional bias in anxiety. However, the pattern of reactivity of anxious individuals is modulated by other traits, including as social desirability: Weinberger et al. (1979) also observed that highly anxious participants show opposite heart rate and skin resistance responses depending on whether they scored low or high on a measure of level of social desirability.

Hepsomali, Hadwin, Liversedge, & Garner (2017) reported greater pupillary response to emotion faces for high anxious participants (STAI). At clinical level, that GAD patients showed greater SCR (C. A. Pruneti et al., 2010) and HR (C. Pruneti et al., 2016) to a mental arithmetic task.

Some studies did not bring out differences between anxious and controls participants on autonomic measures, but still observe differences in the subjective assessment of physiological arousal (Hubert & de Jong-Meyer, 1990; Rosebrock, Hoxha, Norris, Cacioppo, & Gollan, 2017). In such cases, reported 'hyperarousal' reflects uncoupling of subjective feeling states of activation from autonomic control and reactivity. Alternatively, Fisher et al. (2010) observed that GAD patients, without other comorbidities, are more able to detect accurately and report their level of physiological arousal, and Andor et al. (2008) reporting increased attention to bodily sensation and better perception of arousal in GAD patients relative to controls.

Kirschner, Hilbert, Hoyer, Lueken, & Beesdo-Baum (2016) compared high worriers (HW), a subclinical phenotype of GAD, to low worriers (LW) on autonomic reactivity to dangerous, safe, or ambiguous pictures. Pictures were preceded by a relevant cue announcing which kind of picture would follow, or an uncertain cue, giving no relevant information about the picture. HW and LW showed great SCRs to the danger cue in anticipation of the dangerous pictures, but HW also showed greater SCRs than LW to safe and uncertain cues. Hence, worry seems to induce anticipatory autonomic activity in a general way, independent of the veracity of the cue and what type of pictures is announced but does not itself modulate autonomic reactivity to the picture. In another study, highly anxious individuals exhibited greater SCRs than low anxious to threatening cues and pictures (Schwerdtfeger, 2006). Moreover, Thayer, et al (2000) showed that GAD but not controls developed anticipatory HR decelerations to threat cues and show an HR acceleration following threat words.

These data from patients indicate that attentional processes can lead to greater responsiveness, measured by physiological indices, in anticipation of, or during, affective stimulation. Also relevant is the "Intolerance to Uncertainty" model (IU ; Dugas et al., 1998) which states that GAD patients tend to overestimate both the risk and negative consequences of

a situation. This reflects a tendency to control external stimuli and leads to an anticipatory anxiety reaction.

Undifferentiated activity

Differences in autonomic reactivity to emotional stimulation between anxious and controls are not always observed. For example, Houtveen et al., (2001) compared the responses of low anxious, moderately anxious, and repressors to neutral, threatening and sexual pictures. They found no between-group differences on HR, SCRs or self-reported valence and arousal. In the context of painful stimulation, Noteboom, Barnholt, & Enoka (2001) could not differentiate either low or moderately anxious individuals from controls based on evoked changes in HR, blood pressure or SCR. During an emotional Stroop task using masked and unmasked words (Jansson & Najström, 2009), SCR and SCL were unrelated to the participants' trait anxiety score. The discrepancy observed between studies and even within studies between sympathetic activities (e.g. SC and HR, Hoehn-Saric, 1989) could mean that the sympathetic system is not unitary and that the EDA does not necessarily reflect the entire sympathetic subsystem. Indeed, ANS innerves diverse organs, and some authors suggest that organ-specific patterns of activation are also possible (G. G. Berntson, Sarter, & Cacioppo, 1998).

To summarise, much heterogeneity is observed in the expression of autonomic reactivity in anxiety. Some results report a reduction of autonomic response, which can occur for both anxious traits across the population or observed at the level of differences between clinical patients and control populations. This suggests the employment of a coping strategy that improves performance during a task by limiting the emotional impact of distractors. This may also relate to the excessive attention of anxious individuals to bodily information and especially interoceptive sensations (Paulus & Stein, 2010). This can cause attention to deviate from the ongoing behaviour. Consequently, reducing internal responses may facilitate the capacity to process and react to external stimuli. This effect is also found during simple exposure to negative stimuli. However, this process of implementing inhibition as a coping strategy is intrinsically active, hence conceptually it does not quite meet criteria of reduced reactivity. Therefore, there are constraints to interpreting data showing attenuated SNS indices purely in terms of diminished response or inflexibility.

Other published work suggest that anxious individuals show exaggerated responses to stimuli, either as a profile of autonomic hyperarousal or only as subjective hyperarousal level. This effect is observable at both subclinical and clinical levels. Moreover, increased reactivity could manifest itself in anticipation of stimulation, involving attentional processes, but not necessarily during the stimulus presentation. If true, this account can offer a plausible

explanation of some discrepancies in the literature, including studies reporting the absence of hyperreactivity to stimulation in particular situations.

Finally, there remain a set of studies indicating that anxious people do not appear to differ significantly from controls in autonomic responsiveness. In view of all these mixed results, highlight further the need for attention must be paid to factors including variation in the population studied, and differences in experimental condition or specific autonomic measures. A combination of such factors is likely to explain the observed heterogeneity of autonomic responsiveness in anxiety.

Anxiety vs Depression and Comorbidity

Of all mood and anxiety disorders, epidemiological studies of large patient samples showed that depressive disorder and generalised anxiety disorder share the highest frequency of comorbidities (Zbozinek et al., 2012). Besides, chronicity of depressive symptoms substantially increases the likelihood of underlying anxiety disorders (American Psychiatric Association & American Psychiatric Association, 2013). The association between anxiety and depression is also evident in the subclinical population, notably when measured through self-reported scales (Haaga, McDermut, & Ahrens, 1993; Karagözoğlu, Masten, & Baloğlu, 2005). Many factors are common to generalised anxiety and depression such as childhood genetic and environmental risk factors, socio demographic factors, and associated personality traits (Hettema, 2008). This link between anxiety and depression makes it difficult to disentangle the distinct influence of each on emotional processing and reactivity; especially since when one of these two disorders is studied, the other is too rarely controlled for. However, despite the strong relationship between these two disorders, some authors have attempted to dissociate the specific reactivity of depressive and anxious individuals. Pruneti et al. (2010) observed SCR differences between GAD and PD patients, on the one hand, and MDD and OCD patients on the other, during a 6-min rest period and a 4-min stress phase (mental arithmetic task), GAD and PD patients exhibiting higher SCR. This effect was later confirmed in another study (Pruneti et al., 2016) which observed that GAD patients had higher SCL than MDD patients during the baseline and stress phase and higher HR than MDD during the baseline. Moreover, in this study, MDD patients had lower SCL than controls during both phases. However, a subsequent study based on a relatively large sample (n=96) failed to distinguish pathological anxiety and depression on the basis of electrodermal responses to emotional pictures viewing (Rosebrock et al., 2017).

In response to IAPS pictures followed by acoustic startle probe, greater depression symptoms (evaluated by the Depression and Anxiety Stress Scale, DASS) were positively associated with attenuated post-auricular reflex (PAR) and eye blink startle response (Sloan &

Sandt, 2010) in the absence of differences in SC and HR reactivity between depressed and control individuals. In this study, anxiety symptoms (DASS) were associated with an overall attenuated PAR and increased HR. This suggests that depressive and anxious symptomatologies can act on reactivity in opposite ways. Their interaction should be therefore acknowledged when studying emotional reactivity in affective disorder. Rosebrock et al. (2017) were also interested in anxious-depressive comorbidity and found no difference on SCL to IAPS pictures between controls and MDD patients, whether or not they have associated anxiety disorders. In another study by Hofmann et al. (2010), GAD patients with and without comorbid MDD were asked to worry or relax after a baseline period while HR, HF-HRV and SCL were recorded. No difference was observed between these groups during both baseline and induction periods. However, GAD patients without comorbid depression had lower HF-HRV throughout the experiment compared to MDD-comorbid GAD patients. These observations favour a distinction to be made between GAD and MDD based on general (baseline) level of autonomic indicators, but not on reactivity to emotion induction.

Besides, Fisher et al. (2010) showed that both comorbid and non-comorbid GAD patients exhibited less change in sAA than controls following viewing of an unpleasant video clip. However, non-comorbid GAD with the highest numbers of NS-SCRs during baseline did not show further SCR increase following such unpleasant clips. In this context, for non-comorbid GAD but not comorbid GAD, a higher sympathetic arousal at baseline seems to be associated with a lower sympathetic response to emotion stimulation.

These data indicate greater sympathetic reactivity in anxiety disorders compared to depressive disorders in response to cognitive stressors but not in response to unpleasant clips. Also, anxious patients often exhibit a greater sympathetic activity than depressed ones during the baseline condition. This greater sympathetic arousal at rest in anxious individuals may attenuate their reactivity to stimulation (buffering/ceiling effect). Consequently, depressed individuals can 'catch up' after stimulation to levels of sympathetic arousal exhibited by anxious individuals. Hence, GAD and MDD disorder may be associated with different psychophysiological patterns but more importantly, the above data highlight the comorbidity-dependent heterogeneity of autonomic patterns characterising these affective disorders.

3.4. Discussion

The aim of this systematic qualitative review was to establish the autonomic profile of depression and anxiety both at rest and in response to emotional stimulation. Firstly, at resting state, the selected research papers suggest that depression and anxiety are characterised by a parasympathetic withdrawal. This is supported by large studies of depression, and by a meta-analytic review on HR and HRV parameters in anxiety disorders. There is some evidence for

an increase of sympathetic activity at rest in both depressed and anxious patients relative to controls. Thus, depressed and anxious individuals seem to exhibit more "flight-or-fight" responses and less "rest-and-digest" or "feed-and-breed" activity. Secondly, with respect to autonomic activation in response to stressors or emotional stimulation, the literature diverges for depression and anxiety. When the depressed or anxious sample differs from a population of healthy controls, general hyporeactivity or a hyperreactivity can be inferred. Indeed, less reactivity to emotional stimulation is reported for both diagnoses, and respectively interpreted as showing reduced sensitivity to emotional context in depression or the engagement of strategy to cope with negative emotional challenges in anxiety. However, some studies also report hyperreactivity to different types of stimulation in either or both these disorders. For depressive individuals, the hypothesis of emotional or negative potentiation has emerged, mainly based on behavioural data. In contrast, for anxious individuals, attentional process and exacerbated vigilance to environment are more often highlighted. Finally, in both cases, absences of difference are also reported, further complicating the interpretation and generalisability of findings, which tend to favour non-specific autonomic reactivity in these affective disorders. This inconsistency might be explained by the relatively small number of studies measuring such autonomic reactivity to this kind of stimulation in these populations or by the diversity of the rest periods used, the sample chosen, the stimulation presented, or the specific autonomic measurements selected.

Can autonomic resting activity predict autonomic reactivity to emotion?

The level of arousal in the baseline conditions seems to be another important element to take into account when considering the reactivity to emotional stimulation. For example, Yaroslavsky, Rottenberg, & Kovacs (2013) studied parasympathetic (RSA) activity during rest and sad video-clip in depressed (assessment with BDI and Follow-up Depression Scale, FDS) and anxious (assessment with the Beck Anxiety Inventory, BAI and Follow-up Anxiety Scale, FAS) participants. They found no relationship between depression scores and resting RSA, on the one hand, and RSA variations, on the other hand, however, taking into account the interaction between the resting RSA and RSA variations significantly predicted variance in the depression factor when controlling for anxiety symptoms. In this study, high resting RSA was associated with reduced depressive symptoms in the context of RSA withdrawal, which means that lower parasympathetic level at rest is associated with higher depression if participants showed parasympathetic withdrawal during sad film. Besides, if participants showed high parasympathetic withdrawal during sad film, higher parasympathetic level at rest decreased the probability of being depressed. Also, whatever the parasympathetic level at rest, parasympathetic augmentation in reactivity is associated with high depression symptoms. Finally, for people with low resting parasympathetic level at rest, vagal augmentation when

watching a video clip did not significantly change the membership of the depressed group. While neither autonomic activity during the resting state nor stimulus evoked reactivity predicts depression, but the interaction between resting parasympathetic toned and reactivity does. At rest, low parasympathetic level is associated with depression but only with parasympathetic withdrawal in reactivity; and higher parasympathetic at rest is “protective” from depression only if there is high parasympathetic withdrawal in reactivity. In reactivity, parasympathetic augmentation is associated with depression, whatever the parasympathetic level at rest.

In another study, Fisher and Newman (2013) highlighted the influence of the initial / baseline levels of autonomic indices on evoked reactivity and the importance of this interaction in patients with anxiety. Indeed, in GAD patients, when sAA level in the baseline condition was higher, it did not increase during the stressor. Conversely, in controls, a higher baseline sAA level led to a greater sAA increase. Moreover, a higher baseline sAA predicted a higher HR increase during induced stress and a greater reduction in RSA in all the participants. These results show that baseline level can predict a moderate or enhanced sympathetic response to emotional stimuli. This baseline x reactivity interaction in anxiety could have different implications for GAD participants with an inverse pattern of autonomic activation reduction than controls. Significant effects were not observed for high-trait worry control group (Fisher & Newman, 2013) possibly indicating that only a clinical level of worry or symptomatology is accompanied by autonomic impairments.

Methodological considerations and recommendations

Group constitution

The ways in which depressive and anxiety groups are constituted greatly vary from one study to another. Some of these studies are clinical and use for the pathological group inclusion criteria from the Structured Clinical Interview for the Diagnostic and Statistical Manual for Mental Disorders – DSM- IV criteria (DATA, 1997; American Psychiatric Association & American Psychiatric Association, 2013). To receive an MDD diagnosis the “depressed mood” or the “anhedonia” symptoms had to be met with at least 4 of 8 other symptoms, and to receive a GAD diagnosis the “excessive anxiety and worry” and the “difficulty to control the worry” symptoms had to be met with at least 3 of 6 other symptoms. This leads to heterogeneous patient profile. In addition, clinical samples are particular in the sense that patients are included in a health system providing for example pharmacologic or cognitive-behavioural therapy, which may have different implications depending on the duration of the pathology, as many factors as it is necessary to control.

Other studies are subclinical and use a variety of questionnaires to constitute their depressed groups (BDI; Hospital Anxiety and Depression Scale, HADS; or the Hamilton

Depression Rating Scale, HRSD...) or anxiety groups (STAI; BAI; or the Hamilton Anxiety Rating Scale, HAM-A...). Questionnaires such as the PSWQ are used to select the worriers, who correspond to the subclinical form of GAD. These different questionnaires have different psychometric qualities and weaknesses and evaluate concepts which can vary from one scale to another according to the associated theoretical design on which they are based. This brings heterogeneity to the profile of depressed and anxious individuals defined by the authors. Finally, samples may not be alike across studies which is likely responsible for discrepancies in the literature. The study of the whole spectrum of affective disorders from asymptomatic to pathological, through weak, moderate or strong non- pathological symptomatology, could alleviate inconsistencies and bring important information about the development of symptoms and the switch to pathology.

For studies on the pathophysiology of depression or anxiety, it is worth noting that there is a very strong relationship between these disorders. Such divergence is likely to induce discrepancies if depressive and anxious symptoms are not mutually controlled. Indeed, a specific pattern of reactivity is already observed for each symptomatology (Pruneti et al., 2010; Pruneti et al., 2016) and anxious patients with comorbid depression also seem to exhibit a different autonomic reactivity than anxious patients without comorbidity (Hofmann et al., 2010; Fisher & Newman, 2013). Nowadays, there are still too few studies that control both depression and anxiety levels of participants, and it seems essential to include a measure of each symptomatology in further studies focusing on categorisation of depression or anxiety and based on autonomic indicators.

Baseline analysis and baseline Instructions

Paradoxically, one of the major elements to consider even in the study of reactivity could be the study of the baseline level and the instructions given to participants during the period before stimulation. Indeed, baseline period, whether at cognitive or autonomic level, can lead to differences in responsiveness. It seems that higher level of activation notably on SNS at basal state could lead to an inhibition or at least a reduction of sympathetic response (Fisher et al., 2010; Fisher & Newman, 2013). This sympathetic hyperarousal at rest is supposed in both depression and anxiety and can therefore impact the responsiveness to stressors or affective events. This refers to the inverted U- shaped relation between arousal input and arousal output (B. Smith, 1983). Wilken et al. (2000) transcribed this model considering that arousal input such as stress could lead to an increase of physiological output such as electrodermal activity or heart rate up to a point where physiological reactivity achieved a peak before decreasing with further augmentation of stress. In this context, having a high level of autonomic arousal at basal levels would lead to a smaller stress-induced arousal. According to these authors, high

anxiety may have a buffering effect which leads to a reduction of autonomic reactivity to stress or emotion because of the initial level of arousal already high, which would also be observed with depression. This model is close to the Yerkes-Dodson inverted U- shaped (Yerkes & Dodson, 1908) and meets with Wilder's law of initial value which postulates that "the direction of response of a body function to any agent depends to a large degree on the initial level of that function" (Wilder, 1962).

In addition, the standardisation and the choice of the instructions given to the participants during the baseline period is of particular importance. Indeed, relaxation or and neutral instructions are susceptible to have different effects observable at the physiological level (Llera & Newman, 2010), in particular in anxious individuals who tend to fear future events. As describe above, the resting state autonomic activity is able to predict how the individual reacts to stressors or emotion. Besides, it is suggested that the resting state or the reactivity does not predict depressive or anxious symptomatology themselves, but the interaction of the two does. Hence, interactions between baseline and evoked reactivity is an issue of major interest for future research on depression and anxiety.

These considerations lead to the conclusion that standardisation of the baseline period preceding the presentation of stimuli is needed. Important points are the instructions given to participants before and the activity performed during this period. Indeed, it is reported that clip viewing is associated with less vagal activity change following worry induction whereas prior relaxation leads to vagal withdrawal (Llera & Newman, 2010). In this study, GAD exhibited lower vagal activity during a worry induction phase than during a relaxation one while controls showed no difference between phases. Moreover, after a neutral induction, GAD group exhibited less vagal response to fear clip than controls did. The reduced vagal response for GAD following neutral induction was explained by the fact that neutral induction may have led participants to basic state which, in this context, would be related to an anxious or worry state, explaining the reduction of change in vagal activity following clip presentation.

Other data from Levine et al. (2016) also put forward a decrease in vagal activity during a worry induction as well as during a period of imagery. This decrease in HRV was accompanied by an increase in heart rate suggesting a phasic reduction in vagal tone. In view of these results, worry seems able to reduce physiological reactivity to negative information notably in case of prior induction. As reported in literature, worry is a cardinal feature of GAD (Rickels & Rynn, 2001) which drives the patients to avoid or escape aversive emotional experience especially physiological arousal. Thus, worry could be used to prolong and maintain a negative emotional state in order to avoid an unexpected negative emotional shift, or contrast experience (Newman & Llera, 2011). In fact, elevated levels of worry state can be viewed as

cognitive avoidance of an emotion context associated with a reduced autonomic reactivity after an emotional exposure which could constitute the physiological component of avoidance.

Stimulation procedures

Another conclusion about the literature is the huge heterogeneity in the experimental protocols employed. Indeed, added to the small number of studies on autonomic responsiveness to emotions, this heterogeneity could explain the diversity of the results. Different kinds of stimuli can be used to try to elicit emotion and in depression and anxiety, emotional pictures, mainly from IAPS, are frequently used, as well as video clips, emotional words, affective imagery or different types of laboratory stressor such arithmetic mental task or threat of electric shock. Other cognitive tasks or contexts such as worry induction or psychiatric interview have also been used. Some data suggest that for the same individual, using different stressors can modify the direction of the autonomic response with a hypo- or a hyperreactivity. For example, hyporeactivity to cognitive stressors for depressed/anxious individuals has already been shown on sympathetic and parasympathetic indicators whereas the opposite pattern (hyperreactivity) were observed for psychiatric interview (Hu, Lamers, de Geus, & Penninx, 2016). A similar case was observed more specifically in anxiety between cognitive stressor and affective stressors (J. Wilken, Smith, Tola, & Mann, 1999). Indeed, trait anxiety could diminish phasic arousal during cognitive work but increase arousal during affective challenges. In this affective system, the dimensional model of emotion which frames emotion along two dimensions, valence (i.e. whether it is unpleasant, neutral or pleasant) and arousal /activation (i.e. emotional intensity) is often adopted. However, anxiety symptomatology may specifically concern threatening stimuli whereas depressive symptomatology may specifically concern sad stimuli. From the above, a question arises: Is the dimensional model of emotion relevant to study anxiety or depressive disorders, or do we need a discrete approach? Many data highlight the importance of the choice of the stimuli which can elicit different patterns of reactivity according to its nature (cognitive stressors, personal-emotional stressors, ecological).

Choice and value of autonomic indicators

Depression and anxiety are thought to influence both the sympathetic (SNS) and parasympathetic (PNS) components of the ANS. The unique use of sympathetic or parasympathetic measurements therefore requires cautious interpretation of the data and does not allow a general evaluation of autonomic impact of stimulation. Moreover, criticisms have emerged regarding an overarching concept of a unitary ANS. The view that branches sympathetic nervous system are parts of a globally organised and undifferentiated system is outdated (Berntson et al., 1998). The concept of generalised activation of the SNS in response

to stimulation is only heuristic, since organ-specific patterns of activation are possible (Wallin & Fagius, 1988). In consequence, Berntson et al. (1998) suggest that autonomic responses are more often associated with the pattern of functional response (organism's reactions to the stimulus) than with the specific characteristics of the stimulus *per se*. Schumann, Andrack, & Bär (2017) suggest that changes in HRV are very subtle (at least in affective disorders – they are exaggerated in psychosis) and need a large sample size to be evidenced. Thus, a long debate regarding the status of the autonomic dysfunction in depression may suffer methodological shortcomings through a focus on HRV indices only.

In addition to these considerations, it is important to note that physiological activity, especially those dependent on the ANS, are modulated by many parameters, such as gender, age, BMI, physical activity, medications etc., parameters which need to be standardised across groups.

Clinical applications and conclusions

Towards a diagnosis or follow-up tool?

Depressed and anxious patients exhibit parasympathetic withdrawal and an increase of sympathetic activity relative to controls in the resting state, indicating a stress-related tonic state of physiological arousal. Thus, a short and simple physiological recording makes it possible to distinguish these populations. Moreover, we have seen that, even if depressed individuals do not show any difference from controls in terms of autonomic reactivity, depressive symptomatology can be predicted from vagal baseline level and reactivity (Yaroslavsky et al., 2013). Thus, the autonomic pattern of activity and reactivity seem to be relevant to the diagnostic process for clinical depression and ought to be given future consideration as an intermediate depressive endophenotype. Additionally, autonomic activity in depressed patients can predict the evolution of their depressive symptoms. Indeed, cardiovagal reactivity to a sad film can predict overall symptomatic improvement over a 30-week treatment course (Panaite et al., 2016) and recovery from depression 6 months later (Rottenberg, Salomon, et al., 2005). Similarly, larger HR reactivity to amusing films predicts better recovery from depression 6 months later (Rottenberg et al., 2002). Such a longitudinal approach may also be very relevant for anxiety disorders, bringing important information about the recovery from anxious symptomatology. Autonomic measures at baseline, or in the context of emotional reactivity, may thus be applied to the prediction of treatment effectiveness and may be included in the patients' follow-up.

Towards a therapeutic strategy?

Vagus nerve stimulation (VNS) is reported to have a beneficial effect on depressive symptomatology. This reinforces the hypothesis of a strong association between these disorders and the ANS. In particular, VNS is licenced as an option for managing patients with

treatment-resistant depression (TRD, for review see Rush & Siefert, 2009). Martinez & Zboyan (2006) described a case of a 41-year-old female with TRD who benefits from VNS (in addition to a pharmaceutical medication), and whose HRSD score fell, ten weeks after implantation, from 33.5 to 16. Moreover, in 30 patients with TRD, long-term treatment with VNS is associated with significant symptomatic benefits, sustained or further improved over time. A 17% of remission rate after 3 months of VNS and 29% after 1 year is reported (remission was defined by HRSD drop to ≤ 10 ; Marangell et al., 2002). Earlier VNS was approved as a procedure for managing refractory epilepsy and noted to improve the mood of epileptic patients, independent of its effect on epilepsy (Harden et al., 2000). Other forms of non-invasive brain stimulation including transcranial direct current stimulation (TDCS) or transcranial magnetic stimulation (TMS), in particular when applied over the dorsolateral prefrontal cortex, is starting to emerge as strategic therapeutic options for TRD patients (Ferrari & Villa, 2017; Koenigs & Grafman, 2009). Although the precise neurobiological mechanisms responsible for the improvement of depressive symptomatology in these patients is not yet fully determined, there is evidence that parasympathetic enhancement by activation of ('vasomotor') anterior cingulate cortex (Iseger et al., 2017; Remue et al., 2016) is involved, thus implicating the control of autonomic arousal. Autonomic control, and its afferent feedback seem to play a central role in depression. The implementation of strategies to increase vagal tone at rest, and thus enhance cardiac parasympathetic activity, seems to improve the depressive symptomatology. On the basis of this synthesis of results, we hypothesise that such therapeutic strategies would also be beneficial for anxious individuals. Nevertheless, more research is needed to clarify the relationship between ANS and depression or anxiety particularly at an individual level to personalise treatment. The outcomes of this research will thus help to forge procedures to improve the health and the well-being of depressed and anxious individuals.

References

- Aldao, A., & Mennin, D. S. (2012). Paradoxical cardiovascular effects of implementing adaptive emotion regulation strategies in generalized anxiety disorder. *Behaviour Research and Therapy*, 50(2), 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2011.12.004>
- Allwood, M. A., Handwerger, K., Kivlighan, K. T., Granger, D. A., & Stroud, L. R. (2011). Direct and moderating links of salivary alpha-amylase and cortisol stress-reactivity to youth behavioral and emotional adjustment. *Biological Psychology*, 88(1), 57–64.
- American Psychiatric Association, & American Psychiatric Association (Eds.). (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5 (5th ed)*. Washington, D.C: American Psychiatric Association.
- Andor, T., Gerlach, A. L., & Rist, F. (2008). Superior perception of phasic physiological arousal and the detrimental consequences of the conviction to be aroused on worrying and metacognitions in GAD. *Journal of Abnormal Psychology*, 117(1), 193–205. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.117.1.193>
- Berntson, G. G., Sarter, M., & Cacioppo, J. T. (1998). Anxiety and cardiovascular reactivity: The basal forebrain cholinergic link. *Behavioural Brain Research*, 94(2), 225–248.
- Berntson, Gary G, Bigger, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., ... Stone, P. H. (1997). Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34(6), 623–648. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x>
- Berntson, Gary G, Cacioppo, J. T., & Quigley, K. S. (1993). Cardiac psychophysiology and autonomic space in humans: Empirical perspectives and conceptual implications. *Psychological Bulletin*, 114(2), 296.
- Billman, G. E. (2011). Heart Rate Variability? A Historical Perspective. *Frontiers in Physiology*, 2. <https://doi.org/10.3389/fphys.2011.00086>
- Boucsein, W. (2012). *Electrodermal activity*. Springer Science & Business Media.
- Brinkmann, K., & Franzen, J. (2017). Blunted cardiovascular reactivity during social reward anticipation in subclinical depression. *International Journal of Psychophysiology*, 119, 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2017.01.010>
- Bylsma, L. M., Morris, B. H., & Rottenberg, J. (2008). A meta-analysis of emotional reactivity in major depressive disorder. *Clinical Psychology Review*, 28(4), 676–691. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2007.10.001>
- Cacioppo, J. T., Tassinary, L. G., & Berntson, G. (2007). *Handbook of psychophysiology*. Cambridge University Press.
- Cannon, W. B. (1935). Stress and strains of homeostasis. *American Journal of Medical Science*, 189, 1–14.
- Celano, C. M., Daunis, D. J., Lokko, H. N., Campbell, K. A., & Huffman, J. C. (2016). Anxiety disorders and cardiovascular disease. *Current Psychiatry Reports*, 18(11), 101. <https://doi.org/10.1007/s11920-016-0739-5>
- Chalmers, J. A., Quintana, D. S., Abbott, M. J.-A., & Kemp, A. H. (2014). Anxiety Disorders are Associated with Reduced Heart Rate Variability: A Meta-Analysis. *Frontiers in Psychiatry*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2014.00080>
- Charney, D. (2003). Neuroanatomical circuits modulating fear and anxiety behaviors. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 108, 38–50.
- Clark, L. A., & Watson, D. (1991). Tripartite model of anxiety and depression: Psychometric evidence and taxonomic implications. *Journal of Abnormal Psychology*, 100(3), 316–336.
- Clark, Lee Anna, & Watson, D. (1991). Tripartite Model of Anxiety and Depression: Psychometric Evidence and Taxonomic Implications. 21.
- Critchley, H. D. (2002). Electrodermal Responses: What Happens in the Brain. *The Neuroscientist*, 8(2), 11. <https://doi.org/10.1177/107385840200800209>
- DATA, D. (1997). *Structured clinical interview for DSM-IV axis I disorders*. Washington, DC: American Psychiatric Press.
- Dawson, M. E., Schell, A. M., & Filion, D. L. (2007). The electrodermal system. *Handbook of Psychophysiology*, 2, 200–223.

- Dhar, A. K., & Barton, D. A. (2016). Depression and the Link with Cardiovascular Disease. *Frontiers in Psychiatry*, 7, 33. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2016.00033>
- Dugas, M. J., Gagnon, F., Ladouceur, R., & Freeston, M. H. (1998). Generalized anxiety disorder: A preliminary test of a conceptual model. *Behaviour Research and Therapy*, 36(2), 215–226.
- Ferrari, F., & Villa, R. F. (2017). The Neurobiology of Depression: An Integrated Overview from Biological Theories to Clinical Evidence. *Molecular Neurobiology*, 54(7), 4847–4865. <https://doi.org/10.1007/s12035-016-0032-y>
- Fisher, A. J., Granger, D. A., & Newman, M. G. (2010). Sympathetic arousal moderates self-reported physiological arousal symptoms at baseline and physiological flexibility in response to a stressor in generalized anxiety disorder. *Biological Psychology*, 83(3), 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.12.007>
- Fisher, A. J., & Newman, M. G. (2013). Heart rate and autonomic response to stress after experimental induction of worry versus relaxation in healthy, high-worry, and generalized anxiety disorder individuals. *Biological Psychology*, 93(1), 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.01.012>
- Franklin, T. B., Saab, B. J., & Mansuy, I. M. (2012). Neural mechanisms of stress resilience and vulnerability. *Neuron*, 75(5), 747–761.
- Gehricke, J.-G., & Shapiro, D. (2001). Facial and autonomic activity in depression: Social context differences during imagery. *International Journal of Psychophysiology*, 41(1), 53–64. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(00\)00181-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(00)00181-1)
- Gray, J. A. (1982). *The neuropsychology of anxiety: An enquiry into the functions of the septo-hippocampal system*. New York, NY, US: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Haaga, D. A., McDermet, W., & Ahrens, A. H. (1993). Discriminant validity of the Inventory to Diagnose Depression. *Journal of Personality Assessment*, 60(2), 285–289.
- Harden, C. L., Pulver, M. C., Ravdin, L. D., Nikolov, B., Halper, J. P., & Labar, D. R. (2000). A pilot study of mood in epilepsy patients treated with vagus nerve stimulation. *Epilepsy & Behavior*, 1(2), 93–99.
- Hepsomali, P., Hadwin, J. A., Liversedge, S. P., & Garner, M. (2017). Pupillometric and saccadic measures of affective and executive processing in anxiety. *Biological Psychology*, 127, 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.05.013>
- Hettema, J. M. (2008). The nosologic relationship between generalized anxiety disorder and major depression. *Depression and Anxiety*, 25(4), 300–316.
- Hoehn-Saric, R. (1989). Somatic Manifestations in Women With Generalized Anxiety Disorder: Psychophysiological Responses to Psychological Stress. *Archives of General Psychiatry*, 46(12), 1113. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.1989.01810120055009>
- Hofmann, S. G., Schulz, S. M., Heering, S., Muench, F., & Bufka, L. F. (2010). Psychophysiological correlates of generalized anxiety disorder with or without comorbid depression. *International Journal of Psychophysiology*, 78(1), 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2009.12.016>
- Houtveen, J. H., Rietveld, S., Schoutrop, M., Spiering, M., & Brosschot, J. F. (2001). A repressive coping style and affective, facial and physiological responses to looking at emotional pictures. *International Journal of Psychophysiology*, 42(3), 265–277. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(01\)00150-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(01)00150-7)
- Hu, M. X., Lamers, F., de Geus, E. J. C., & Penninx, B. W. J. H. (2016). Differential Autonomic Nervous System Reactivity in Depression and Anxiety During Stress Depending on Type of Stressor: Psychosomatic Medicine, 78(5), 562–572. <https://doi.org/10.1097/PSY.0000000000000313>
- Hubert, W., & de Jong-Meyer, R. (1990). Psychophysiological response patterns to positive and negative film stimuli. *Biological Psychology*, 31(1), 73–93. [https://doi.org/10.1016/0301-0511\(90\)90079-C](https://doi.org/10.1016/0301-0511(90)90079-C)
- Iseger, T. A., Padberg, F., Kenemans, J. L., Gevirtz, R., & Arns, M. (2017). Neuro-Cardiac-Guided TMS (NCG-TMS): Probing DLPFC-sgACC-vagus nerve connectivity using heart rate - First results. *Brain Stimulation*, 10(5), 1006–1008. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2017.05.002>
- Jansson, B., & Najström, M. (2009). Is preattentive bias predictive of autonomic reactivity in response to a stressor? *Journal of Anxiety Disorders*, 23(3), 374–380. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2008.12.001>
- Jin, A. B., Steding, L. H., & Webb, A. K. (2015). Reduced emotional and cardiovascular reactivity to emotionally evocative stimuli in major depressive disorder. *International Journal of Psychophysiology*, 97(1), 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.04.014>

- Johnson, E. O., Kamilaris, T. C., Chrousos, G. P., & Gold, P. W. (1992). Mechanisms of stress: A dynamic overview of hormonal and behavioral homeostasis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 16(2), 115–130.
- Kanthak, M. K., Stalder, T., Hill, L. K., Thayer, J. F., Penz, M., & Kirschbaum, C. (2017). Autonomic dysregulation in burnout and depression: Evidence for the central role of exhaustion. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 43(5), 475–484. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3647>
- Karagözoğlu, C., Masten, W. G., & Baloğlu, M. (2005). Evidence for differentiating between anxiety and depression in Turkish college students. *Social Behavior and Personality: An International Journal*, 33(6), 579–586.
- Katkin, E. S. (1965). RELATIONSHIP BETWEEN MANIFEST ANXIETY AND TWO INDICES OF AUTONOMIC RESPONSE TO STRESS. *Journal of Personality and Social Psychology*, 2, 324–333.
- Kirschner, H., Hilbert, K., Hoyer, J., Lueken, U., & Beesdo-Baum, K. (2016). Psychophysiological reactivity during uncertainty and ambiguity processing in high and low worriers. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 50, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2015.06.001>
- Koenigs, M., & Grafman, J. (2009). The functional neuroanatomy of depression: Distinct roles for ventromedial and dorsolateral prefrontal cortex. *Behavioural Brain Research*, 201(2), 239–243. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.03.004>
- Levine, J. C., Fleming, R., Piedmont, J. I., Cain, S. M., & Chen, W.-J. (2016). Heart rate variability and generalized anxiety disorder during laboratory-induced worry and aversive imagery. *Journal of Affective Disorders*, 205, 207–215. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.07.019>
- Liang, C.-S., Lee, J.-F., Chen, C.-C., & Chang, Y.-C. (2015). Reactive heart rate variability in male patients with first-episode major depressive disorder. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 56, 52–57. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2014.08.004>
- Lin, I.-M., Ko, J.-M., Fan, S.-Y., & Yen, C.-F. (2016). Heart Rate Variability and the Efficacy of Biofeedback in Heroin Users with Depressive Symptoms. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, 14(2), 168–176. <https://doi.org/10.9758/cpn.2016.14.2.168>
- Llera, S. J., & Newman, M. G. (2010). Effects of worry on physiological and subjective reactivity to emotional stimuli in generalized anxiety disorder and nonanxious control participants. *Emotion*, 10(5), 640–650. <https://doi.org/10.1037/a0019351>
- Malliani, A., Pagani, M., Lombardi, F., Furlan, R., Guzzetti, S., & Cerutti, S. (1991). Spectral analysis to assess increased sympathetic tone in arterial hypertension. *Hypertension*, 17(4_supplement), III36.
- Marangell, L. B., Rush, A. J., George, M. S., Sackeim, H. A., Johnson, C. R., Husain, M. M., ... Lisanby, S. H. (2002). Vagus nerve stimulation (VNS) for major depressive episodes: One year outcomes. *Biological Psychiatry*, 51(4), 280–287. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(01\)01343-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(01)01343-9)
- Mardaga, S., & Hansenne, M. (2009). Autonomic aspect of emotional response in depressed patients: Relationships with personality. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 39(4–5), 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2009.06.002>
- Martinez, J. M., & Zboyan, H. A. (2006). Vagus Nerve Stimulation Therapy in a Patient with Treatment-Resistant Depression: A Case Report of Long-Term Follow-up and Battery End-of-Service. *CNS Spectrums*, 11(02), 143–148. <https://doi.org/10.1017/S1092852900010683>
- McEwen, B. S. (1998). Protective and Damaging Effects of Stress Mediators. *The New England Journal of Medicine*, 9.
- McEwen, B. S., & Stellar, E. (1993). Stress and the individual: Mechanisms leading to disease. *Archives of Internal Medicine*, 153(18), 2093–2101.
- Myers-Schulz, B., & Koenigs, M. (2012). Functional anatomy of ventromedial prefrontal cortex: Implications for mood and anxiety disorders. *Molecular Psychiatry*, 17(2), 132.
- Najström, M., & Jansson, B. (2006). Unconscious Responses to Threatening Pictures: Interactive Effect of Trait Anxiety and Social Desirability on Skin Conductance Responses. *Cognitive Behaviour Therapy*, 35(1), 11–18. <https://doi.org/10.1080/16506070510011566>
- Nater, U. M., La Marca, R., Florin, L., Moses, A., Langhans, W., Koller, M. M., & Ehlert, U. (2006). Stress-induced changes in human salivary alpha-amylase activity—Associations with adrenergic activity. *Psychoneuroendocrinology*, 31(1), 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2005.05.010>

- Naveteur, J., Buisine, S., & Gruzelier, J. H. (2005). The influence of anxiety on electrodermal responses to distractors. *International Journal of Psychophysiology*, 56(3), 261–269. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2004.12.006>
- Naveteur, J., & Freixa I Baque, E. (1987). Individual differences in electrodermal activity as a function of subjects' anxiety. *Personality and Individual Differences*, 8(5), 615–626. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(87\)90059-6](https://doi.org/10.1016/0191-8869(87)90059-6)
- Newman, M. G., & Llera, S. J. (2011). A novel theory of experiential avoidance in generalized anxiety disorder: A review and synthesis of research supporting a contrast avoidance model of worry,. *Clinical Psychology Review*, 31(3), 371–382. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2011.01.008>
- 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(5), 2093–2101.
- Oathes, D. J., Siegle, G. J., & Ray, W. J. (2011). Chronic worry and the temporal dynamics of emotional processing. *Emotion*, 11(1), 101–114. <https://doi.org/10.1037/a0021781>
- Panaite, V., Hindash, A. C., Bylsma, L. M., Small, B. J., Salomon, K., & Rottenberg, J. (2016). Respiratory sinus arrhythmia reactivity to a sad film predicts depression symptom improvement and symptomatic trajectory. *International Journal of Psychophysiology*, 99, 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.12.002>
- Patriquin, M. A., & Mathew, S. J. (2017). The neurobiological mechanisms of generalized anxiety disorder and chronic stress. *Chronic Stress*, 1, 2470547017703993.
- Paulus, M. P., & Stein, M. B. (2010). Interoception in anxiety and depression. *Brain Structure & Function*, 214(5–6), 451–463. <https://doi.org/10.1007/s00429-010-0258-9>
- Pruneti, C. A., Lento, R. M., Fante, C., Carrozzo, E., & Fontana, F. (2010). Autonomic arousal and differential diagnosis in clinical psychology and psychopathology La valutazione della risposta neurovegetativa nella diagnosi differenziale in psicologia clinica e psicopatologia. 10.
- Pruneti, C., Saccò, M., Cosentino, C., & Sgromo, D. (2016). Relevance of Autonomic Arousal in the Stress Response in Psychopathology. *Journal of Basic and Applied Sciences*, 12, 176–184. Remue, J., Baeken, C., & De Raedt, R. (2016). Does a single neurostimulation session really affect mood in healthy individuals? A systematic review. *Neuropsychologia*, 85, 184–198. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.03.012>
- Reyes del Paso, G. A., Langewitz, W., Mulder, L. J. M., van Roon, A., & Duschek, S. (2013). The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: A review with emphasis on a reanalysis of previous studies: LF HRV and sympathetic cardiac tone. *Psychophysiology*, 50(5), 477–487. <https://doi.org/10.1111/psyp.12027>
- Rickels, K., & Rynn, M. (2001). Overview and clinical presentation of generalized anxiety disorder. *The Psychiatric Clinics of North America*, 24(1), 1–17.
- Rohleder, N., Chen, E., Wolf, J. M., & Miller, G. E. (2008). The psychobiology of trait shame in young women: Extending the social self preservation theory. *Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, 27(5), 523–532. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.27.5.523>
- Rosebrock, L. E., Hoxha, D., Norris, C., Cacioppo, J. T., & Gollan, J. K. (2017). Skin Conductance and Subjective Arousal in Anxiety, Depression, and Comorbidity: Implications for Affective Reactivity. *Journal of Psychophysiology*, 31(4), 145–157. <https://doi.org/10.1027/0269-8803/a000176>
- Rottenberg, J., Gross, J. J., & Gotlib, I. H. (2005). Emotion Context Insensitivity in Major Depressive Disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, 114(4), 627–639. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.114.4.627>
- Rottenberg, J., Kasch, K. L., Gross, J. J., & Gotlib, I. H. (2002). Sadness and amusement reactivity differentially predict concurrent and prospective functioning in major depressive disorder. *Emotion*, 2(2), 135–146. <https://doi.org/10.1037//1528-3542.2.2.135>
- Rottenberg, J., Salomon, K., Gross, J. J., & Gotlib, I. H. (2005). Vagal withdrawal to a sad film predicts subsequent recovery from depression. *Psychophysiology*, 42(3), 277–281. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2005.00289.x>
- Rush, A. J., & Siefert, S. E. (2009). Clinical issues in considering vagus nerve stimulation for treatment-resistant depression. *Experimental Neurology*, 219(1), 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2009.04.015>
- Salomon, K., Bylsma, L. M., White, K. E., Panaite, V., & Rottenberg, J. (2013). Is blunted cardiovascular reactivity in depression mood-state dependent? A comparison of major depressive disorder remitted depression

and healthy controls. *International Journal of Psychophysiology*, 90(1), 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.05.018>

Schneider, D., Regenbogen, C., Kellermann, T., Finkelmeyer, A., Kohn, N., Derntl, B., ... Habel, U. (2012). Empathic behavioral and physiological responses to dynamic stimuli in depression. *Psychiatry Research*, 200(2–3), 294–305. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2012.03.054>

Schumann, A., Andrack, C., & Bär, K.-J. (2017). Differences of sympathetic and parasympathetic modulation in major depression. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 79, 324–331. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2017.07.009>

Schwerdtfeger, A. (2006). Trait anxiety and autonomic indicators of the processing of threatening information: A cued S1–S2 paradigm. *Biological Psychology*, 72(1), 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.07.008>

Schwerdtfeger, A., & Rosenkaimer, A.-K. (2011). Depressive symptoms and attenuated physiological reactivity to laboratory stressors. *Biological Psychology*, 87(3), 430–438. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.05.009>

Selye, H. (1956). *The stress of life*. New York, Mc Gran-Hill Book Company.

Sequeira, H., Hot, P., Silvert, L., & Delplanque, S. (2009). Electrical autonomic correlates of emotion. *International Journal of Psychophysiology*, 71(1), 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.07.009>

Sloan, D. M., & Sandt, A. R. (2010). Depressed mood and emotional responding☆. *Biological Psychology*, 84(2), 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.04.004>

Smith, B. (1983). Extraversion and electrodermal activity: Arousability and the inverted-U. *Personality and Individual Differences*, 4, 411–419. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(83\)90007-7](https://doi.org/10.1016/0191-8869(83)90007-7)

Smith, R., Allen, J. J. B., Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2015). Altered functional connectivity between medial prefrontal cortex and the inferior brainstem in major depression during appraisal of subjective emotional responses: A preliminary study. *Biological Psychology*, 108, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.03.007>

Sterling, P., & Eyer, J. (1988). Allostasis: A new paradigm to explain arousal pathology. In 'Handbook of life stress, cognition and health' (Eds S Fisher, J Reason) pp. 629–649.

Stone, L. B., Amole, M. C., Cyranowski, J. M., & Swartz, H. A. (2018). History of childhood emotional abuse predicts lower resting-state high-frequency heart rate variability in depressed women. *Psychiatry Research*, 269, 681–687. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2018.08.106>

Sun, G., Shinba, T., Kirimoto, T., & Matsui, T. (2016). An Objective Screening Method for Major Depressive Disorder Using Logistic Regression Analysis of Heart Rate Variability Data Obtained in a Mental Task Paradigm. *Frontiers in Psychiatry*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2016.00180>

Tamura, A., Maruyama, Y., Ishitobi, Y., Kawano, A., Ando, T., Ikeda, R., ... Akiyoshi, J. (2013). Salivary alpha-Amylase and Cortisol Responsiveness Following Electrical Stimulation Stress in Patients with the Generalized Type of Social Anxiety Disorder. *Pharmacopsychiatry*, 46(07), 225–260. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1353157>

Thayer, J. F., Friedman, B. H., Borkovec, T. D., Johnsen, B. H., & Molina, S. (2000). Phasic heart period reactions to cued threat and nonthreat stimuli in generalized anxiety disorder. *Psychophysiology*, 37(3), 361–368. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3730361>

Wallin, B. G., & Fagius, J. (1988). Peripheral sympathetic neural activity in conscious humans. *Annual Review of Physiology*, 50, 565–576. <https://doi.org/10.1146/annurev.ph.50.030188.003025>

Weinberger, D. A., Schwartz, G. E., & 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(4), 369–380.

Wenzler, S., Hagen, M., Tarvainen, M. P., Hilke, M., Ghirmai, N., Huthmacher, A.-C., ... Oertel- Knöchel, V. (2017). Intensified emotion perception in depression: Differences in physiological arousal and subjective perceptions. *Psychiatry Research*, 253, 303–310. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.03.040>

Wilder, J. (1962). Basimetric approach (law of initial value) to biological rhythms. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 98, 1211–1220.

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(3), 233–242. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(00\)00082-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(00)00082-9)

Wilken, J., Smith, B. D., Tola, K., & Mann, M. (1999). Anxiety and arousal: Tests of a new six-system model. *International Journal of Psychophysiology*, 33(3), 197–207. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(99\)00061-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(99)00061-6)

World Health Organization. (2017). *Depression and Other Common Mental Disorder: Global Health Estimates*. Presented at the Geneva. Geneva.

Yaroslavsky, I., Rottenberg, J., & Kovacs, M. (2013). The utility of combining RSA indices in depression prediction. *Journal of Abnormal Psychology*, 122(2), 314–321. <https://doi.org/10.1037/a0032385>

Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18(5), 459–482. <https://doi.org/10.1002/cne.920180503>

Zakowski, J. J., & Bruns, D. E. (1985). Biochemistry of Human Alpha Amylase Isoenzymes. *CRC Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 21(4), 283–322. <https://doi.org/10.3109/10408368509165786>

Zbozinek, T. D., Rose, R. D., Wolitzky-Taylor, K. B., Sherbourne, C., Sullivan, G., Stein, M. B., ... Craske, M. G. (2012). Diagnostic overlap of generalized anxiety disorder and major depressive disorder in a primary care sample. *Depression and Anxiety*, 29(12), 1065–1071. <https://doi.org/10.1002/da.22026>

Chapitre IV. Synthèse et Objectifs

1. Résumé du cadre théorique

Au cours de cette première partie, nous avons mis en avant les liens que peuvent entretenir l'attention et l'émotion dans l'espace visuel ainsi que leur implication dans la symptomatologie anxieuse et dépressive.

Dans ce cadre, le champ visuel peut se diviser en deux parties : centrale, dotée d'une grande acuité ; périphérique, possédant une acuité moindre, mais davantage sensible aux aspects dynamiques des stimuli. Les informations visuelles, qu'elles apparaissent en vision centrale ou périphérique, ont la capacité de capter l'attention de manière implicite, en l'absence de mouvements oculaires ou de manière explicite, accompagnée de mouvements oculaires. De plus, en raison des capacités limitées à traiter la quantité et la diversité des informations fournies par l'environnement, il apparaît indispensable d'y repérer les plus pertinentes pour l'adaptation de l'individu. Un tel repérage est possible grâce à l'attention sélective qui filtre les informations prioritaires en orientant ou en maintenant l'attention sur ces informations. Ce filtrage s'effectue sur la base de caractéristiques extrinsèques, c'est-à-dire relatives aux caractéristiques individuelles ou de manière intrinsèque en raison de caractéristiques propres aux stimuli. Parmi les informations dotées d'une saillance intrinsèque, les émotions ont la capacité de capter l'attention, notamment en raison de leur valeur adaptative.

En effet, ces dernières permettent l'adaptation de l'individu à une large gamme de situations. Une fois l'information émotionnelle détectée, son traitement entraîne une cascade de réaction sur les plans comportementaux, cognitifs et neurovégétatifs. Les informations dotées d'une valence émotionnelle sont donc capables de capter les ressources attentionnelles dans le but de favoriser leur traitement. Ce traitement privilégié des informations émotionnelles au détriment d'autres constitue un biais d'attention sélective ou biais attentionnel qui peut se traduire par une facilitation dans l'orientation ou le maintien de l'attention. Les informations émotionnelles sont aussi à l'origine de modifications sur le plan neurovégétatif permettant la réaction de l'individu, que cela soit dans le cadre d'un comportement d'approche, de fuite ou de combat. Par ailleurs, la littérature sur la réactivité aux émotions a permis de mettre en lumière un certain nombre d'indicateurs pertinents sur le plan neurovégétatif pour quantifier l'impact de stimulations émotionnelles.

Cependant, le traitement de l'information émotionnel est susceptible d'être altéré dans certains troubles. C'est notamment le cas, des troubles de l'humeur et plus particulièrement l'anxiété et la dépression. En effet, ces deux pathologies sont caractérisées par un traitement biaisé des informations émotionnelles sur les plans comportementaux et neurovégétatifs. Sur

le plan attentionnel, l'anxiété est associée à une hypervigilance attentionnelle dans l'espace visuel et à un biais en faveur des informations émotionnelles, principalement celles négatives et menaçantes. Ce biais se caractérise par une facilitation de l'orientation, mais peut également entraîner un maintien des ressources attentionnelles sur ces informations. La dépression est davantage associée à une réduction des ressources attentionnelles et de l'exploration visuelle. Aussi, un maintien de l'attention sur les informations négatives et une moindre orientation vers les informations plaisantes sont observés. Sur le plan neurovégétatif, l'anxiété et la dépression sont associées à des atypies lorsque la réactivité est comparée à des individus contrôles. Cependant, l'hétérogénéité des résultats nécessite de poursuivre les recherches sur la réactivité neurovégétative dans ces symptomatologies tout en mettant en lumière les processus pouvant l'expliquer.

2. Limites actuelles

Parmi les pistes explicatives, la **prise en compte de l'espace visuel**, qui s'articule autour de la vision centrale et de la vision périphérique, permettrait d'améliorer la caractérisation des symptomatologies anxieuses et dépressives. En effet, les ressources attentionnelles dans l'anxiété sont accrues et une hypervigilance aux informations environnementales est rapportée alors que la dépression est davantage associée à une réduction des ressources attentionnelles et à une moindre orientation, en particulier pour les informations plaisantes. L'utilisation de paradigmes permettant de tester à la fois la réactivité comportementale et neurovégétative, en fonction de l'espace visuel, pourrait donc favoriser la distinction entre ces deux symptomatologies fortement imbriquées. Aussi, la **prise en compte simultanée des composantes cognitives et physiologiques** de ces troubles paraît indispensable du fait que des processus cognitifs peuvent moduler certaines réponses physiologiques. C'est le cas des comportements d'orientation pour l'activité électrodermale (Boucsein, 2012) ou de l'attention pour l'activité cardiaque (Bradley et al., 2001). Ainsi, plusieurs théories formulent un lien entre le déploiement de l'attention vers l'émotion et les indicateurs neurovégétatifs (Thayer & Lane, 2000, 2009, Porges, 2007). De même, les réafférences physiologiques, en particulier intéroceptives, sont susceptibles d'influencer des processus cognitifs tels que la perception, l'attention, la prise de décision ou la mémorisation, mais aussi des processus émotionnels (Critchley & Harrison, 2013 ; Tsakiris & Critchley, 2016). Des altérations de la perception de ces réafférences sont d'ailleurs observées dans un nombre important de pathologies neurologiques et psychiatriques, dont l'anxiété et la dépression (Paulus & Stein, 2010). En bref, les processus cognitifs se manifestent au niveau physiologique et, inversement, l'activité physiologique est susceptible de les influencer. L'étude conjointe du déploiement attentionnel et de la réactivité neurovégétative pourrait ainsi

servir à l'amélioration de la compréhension des mécanismes sous-jacents aux symptomatologies anxieuse et dépressive.

Jusqu'à présent, plusieurs stratégies ont été adoptées pour tenter d'atténuer la symptomatologie dans l'anxiété et la dépression. Des procédures visant à diminuer les biais attentionnels ont été développées récemment. Par exemple, les "*Attention Bias Modification Treatments*" (ABMT) entraînent l'individu à cesser de déployer son attention préférentiellement en direction des stimuli négatifs. Un bénéfice en termes de réduction des biais attentionnels a été rapporté, même pour une session d'entraînement unique (Amir et al., 2008). Toutefois, ce type d'approches ne prend pas en compte les troubles neurovégétatifs présents dans ces pathologies. Or, **la prise en compte des modifications physiologiques à la suite d'une intervention attentionnelle** permettrait d'établir en lien direct entre les composantes attentionnelles et neurovégétatives. Ainsi, les expérimentations conduites dans le cadre de cette thèse se sont intéressées à analyser l'impact attentionnel et neurovégétatif de stimulations émotionnelles en lien avec ces symptomatologies.

3. Hypothèse générale

Sur la base des données passées en revue, le traitement des informations émotionnelles au niveau attentionnel est suivi de modifications sur le plan neurovégétatif. Par ailleurs, l'anxiété et la dépression se caractérisent respectivement par une hypervigilance et une réduction de l'exploration visuelle ainsi que par des biais attentionnels et des atypies neurovégétatives, dont les liens restent méconnus.

Nous proposons donc l'hypothèse générale selon laquelle l'étude conjointe de la réactivité comportementale et neurovégétative à des stimulations émotionnelles, présentées dans l'espace visuel, permet de préciser et différencier davantage les symptomatologies anxieuse et dépressive. De plus, en raison des liens qu'entretiennent processus attentionnels, émotionnels et neurovégétatifs, la modification du déploiement attentionnel vers l'émotion devrait se solder par des modifications sur le versant neurovégétatif.

4. Objectifs

Ce projet vise à : **(1)** déterminer l'impact de stimulations émotionnelles dans l'espace visuel sur la réactivité comportementale et neurovégétative en lien avec la symptomatologie anxieuse et dépressive ; **(2)** établir le lien entre biais attentionnels et réactivité neurovégétative dans l'anxiété et la dépression ; **(3)** quantifier les effets d'une modification des biais attentionnels sur la réactivité neurovégétative.

5. Mise en œuvre expérimentale

Dans deux premières études, nous nous sommes intéressés au traitement de **l'information émotionnelle** dans **l'espace visuel** grâce à l'utilisation de mesures **comportementales (TR, précision)** et **neurovégétatives**. Le paradigme expérimental consiste en la présentation d'informations visuelles émotionnelles, en **vision centrale** et en **vision périphérique**, dans le cadre d'un déploiement **attentionnel de type implicite**.

Dans une troisième étude, nous nous sommes intéressés au traitement de **l'information émotionnelle** dans **l'espace visuel** grâce à l'utilisation de mesures **comportementales (mouvements oculaires)** et **neurovégétatives**. Le paradigme expérimental consiste en la présentation de paires d'images permettant la mesure de paramètres attentionnels (**orientation et maintien de l'attention**) dans le cadre d'un déploiement **attentionnel de type explicite**.

Dans une quatrième étude, nous avons proposé à un groupe de participants une procédure de **modification de déploiement attentionnel** afin d'étudier dans quelle mesure des modifications sur le plan attentionnel peuvent entraîner des répercussions sur le plan neurovégétatif. L'efficacité de cette procédure, sur le plan attentionnel, mais aussi neurovégétatif, a été évaluée grâce à l'utilisation de mesures **comportementales (mouvements oculaires)** et **neurovégétatives**.

Partie II. Expérimentations

Dans cette partie, nous présenterons les résultats obtenus durant les quatre expérimentations menées au cours de cette thèse. Le chapitre I regroupe les études 1 et 2, puis les chapitres II et III, correspondent respectivement aux études 3 et 4.

*Ces études expérimentales ont donné lieu à des publications dans des revues scientifiques internationales à comité de lecture (Étude 1 ; **Psychophysiology**), (Étude 3 ; **Cognition and Emotion**) et deux articles en cours de soumission (Étude 2 et 4) ainsi qu'à 5 communications (4 orales et 3 affichées), dont 2 ont fait l'objet d'un résumé publié dans l'**International J. of Psychophysiology**.*

Chapitre I.

Exploration de la réactivité comportementale et neurovégétative dans l'espace visuel : implications pour la symptomatologie anxieuse et dépressive

[Étude 1 et 2]

➤ Cadre global des Études

En accord avec l'hypothèse générale développée dans la première partie de cette thèse, nous avons d'abord cherché à **explorer la réactivité comportementale et neurovégétative pour les informations émotionnelles dans l'anxiété et la dépression**. L'objectif des deux premières études est de **mettre en lumière des spécificités de réactivité** sur les versants comportemental et neurovégétatif selon la symptomatologie. Par ailleurs, nous avons intégré la **prise en compte du déploiement de l'attention dans l'ensemble du champ visuel** (VC et VP) comme facteur pouvant expliquer l'hétérogénéité des résultats de la littérature sur la réactivité neurovégétative. Nous avons ainsi proposé une **tâche de localisation et une tâche de catégorisation de stimuli émotionnels dans l'espace visuel** chez une population d'individus pour laquelle nous avons mesuré les **niveaux d'anxiété et de dépression**. La tâche de localisation nous a permis d'observer les effets implicites du traitement de l'émotion alors que la tâche de catégorisation a permis de mettre l'accent sur le traitement explicite, susceptible de davantage faire ressortir des effets émotionnels. Au niveau comportemental, les mesures concernent **les temps de réaction** lesquels nous permettent d'attester du **déploiement de l'attention** vers les informations présentées en VC et en VP. Par ailleurs, la mesure des **activités électrodermale et cardiaque, des variations de diamètre pupillaire et de la température cutanée** nous a permis d'observer **l'impact neurovégétatif** de ces stimulations selon leur localisation dans l'espace visuel

➤ Objectifs

Comme constaté dans la revue présentée précédemment, l'anxiété et la dépression sont caractérisées par une réactivité neurovégétative atypique comparativement à celle observée chez des sujets contrôles, et marquée par une hétérogénéité de résultats avec une hypo ou une hyper-réactivité selon les protocoles expérimentaux. En plus de ces aspects neurovégétatifs, l'anxiété se caractérise par une hypervigilance et un accroissement de l'espace visuel surveillé alors que, au contraire, la dépression est davantage associée à une réduction des ressources attentionnelles et de l'exploration de scènes visuelles. Or, la majorité

des expérimentations se sont focalisées sur la réactivité neurovégétative aux informations présentées en vision centrale (VC) alors même que des études ont montré une persistance de la saillance émotionnelle en vision périphérique (VP) ; de plus, des différences dans le déploiement de l'attention dans le champ visuel sont attestées selon la symptomatologie. Par conséquent, nous avons étudié la réactivité comportementale et neurovégétative à des stimuli émotionnels selon leur localisation dans l'espace visuel (VC et VP) et selon la symptomatologie anxieuse et dépressive. L'objectif est ainsi d'établir dans quelle mesure le déploiement de l'attention dans le champ visuel module la réactivité neurovégétative selon la symptomatologie anxieuse ou dépressive.

➤ **Méthodologie**

Nous avons proposé une tâche de localisation et une tâche de catégorisation de stimuli en VC et VP chez des participants pour lesquels nous avons également mesuré le niveau d'anxiété et de dépression.

Pour la première étude, nous avons recruté 58 participants présentant une symptomatologie fortement anxieuse (HA) ou faiblement anxieuse (LA) et fortement dépressive (HD) ou faiblement dépressive (LD), sur la base des scores à la *Trait Anxiety Inventory* (STAI-B ; Spielberger & Gorsuch, 1983) et à la Beck Depressive Inventory (BDI-II ; Beck, Steer, & Brown, 1996) respectivement. Des images déplaisantes (U), plaisantes (P) et neutres (N) de l'International Affective Picture System (IAPS) ont été présentées à trois excentricités (0° : CV ; -12 et 12° : PV) alors que les participants devaient garder leur regard dirigé au centre de l'écran, en VC. Les temps de réaction et le taux de bonnes réponses pour localiser les images ont été enregistrés ainsi que la conductance cutanée (SC), la température cutanée, le diamètre pupillaire, et la fréquence cardiaque (FC).

Pour la deuxième étude, des images déplaisantes (U), plaisantes (P) et neutres (N) de l'IAPS ont été présentées à 40 participants à trois excentricités (CV : 0° ; PV : -12 et 12°) alors qu'ils devaient garder leur regard dirigé au centre de l'écran, en VC. La symptomatologie anxieuse et dépressive a été évaluée sur la base des scores à la STAI-B et à la BDI, respectivement. Les participants devaient classer les images en fonction de leur contenu émotionnel tandis que la conductance cutanée, la fréquence cardiaque et le diamètre pupillaire étaient enregistrés.

➤ **Principaux résultats**

Étude 1. *Premièrement*, les participants HA ont montré une plus grande dilatation de la pupille aux stimuli émotionnels qu'aux stimuli neutres et aux stimuli en VP qu'en VC ainsi que de meilleures performances de localisation sur l'ensemble du champ visuel. *Deuxièmement*,

contrairement aux HD, la SC a permis d'observer un effet de valence et la température de la peau un l'effet d'activation émotionnelle pour les LD. *Troisièmement*, les individus avec hauts niveaux d'anxiété et de dépression présentent un effet de valence mesuré par le réflexe pupillaire à la lumière et la fréquence cardiaque.

Étude 2. *Au niveau comportemental*, les images émotionnelles étaient mieux classées que les images neutres, à la fois en VC et en VP. Les participants ont montré de meilleures performances dans la catégorisation des images déplaisantes en VC, alors qu'il n'y avait pas de différence entre les images déplaisantes et plaisantes en VP. *Au niveau physiologique*, un schéma opposé d'activation neurovégétative (réponses SC, FC et pupille) a été observé entre la VC et la VP. De plus, en VC, un biais de réponse vers des images déplaisantes était associé à une activation neurovégétative plus élevée pour les mêmes images, alors que cette association était inversée en VP. Enfin, les scores de dépression étaient associés à une meilleure catégorisation des images émotionnelles en VC uniquement, tandis que les scores d'anxiété-trait étaient associés à un biais de réponse aux images déplaisantes en VP. De plus, plus le score d'anxiété-état était élevé, plus la performance de catégorisation des images plaisantes était faible.

➤ **Conclusions**

Nos résultats montrent que la réactivité neurovégétative à l'émotion peut être modulée par l'emplacement de la présentation des stimuli dans le champ visuel (VC ou VP), chez des participants avec des niveaux pré-cliniques d'anxiété et de dépression.

Ainsi, une hypervigilance en VP et une hyperréactivité à l'émotion sont observées dans l'anxiété. De plus, lorsque l'accent est mis sur le traitement explicite de l'émotion pendant une tâche de catégorisation, l'anxiété mène à un biais de réponse accru pour les informations déplaisantes en VP. La dépression est associée à une atténuation de l'effet positif et à une réactivité neurovégétative globale émoussée à l'émotion ainsi qu'à une focalisation centrale pour la catégorisation des images. De plus, l'anxiété module principalement les processus précoces de réactivité neurovégétative alors que la dépression affecte principalement les processus ultérieurs. Enfin, des patterns de réponse comportementale sont associés à une réactivité neurovégétative spécifique selon la localisation des images, en VC et en VP.

1.

Autonomic reactivity to emotion: A marker of sub-clinical anxiety and depression symptoms?

Published

(Annexe 1)

Lucas De Zorzi ^{1*}, **Stéphane Ranfaing** ^{1*}, Jacques Honoré ¹, Henrique Sequeira¹

¹ Univ. Lille, CNRS, UMR 9193 - SCALab - Sciences Cognitives et Sciences Affectives,

F-59000 Lille, France.

***These authors contributed equally to this work.**

1.1. Abstract

Anxiety and depression are both characterized by dysregulated autonomic reactivity to emotion. However, most experiments until now have focused on autonomic reactivity to stimuli presented in central vision (CV) even if affective saliency is also observed in peripheral vision (PV).

We compared autonomic reactivity to CV and PV emotional stimulation in 58 participants with high anxious (HA) or low anxious (LA) and high depressive (HD) or low depressive (LD) symptomatology, based on STAI-B and BDI scores, respectively. Unpleasant (U), pleasant (P) and neutral (N) pictures from IAPS were presented at three eccentricities (0°: CV; -12 and 12°: PV). Skin conductance (SC), skin temperature, pupillary diameter, and heart rate (HR) were recorded.

First, HA participants showed greater pupil dilation to emotional than to neutral stimuli in PV than in CV. Second, contrary to HD, valence effect indexed by SC and emotional arousal effect indexed by skin temperature were observed in LD. Third, both anxiety and depression lead to a valence effect indexed by pupillary light reflex and heart rate.

These results suggest a hyperreactivity to emotion and hypervigilance to PV in anxiety. Depression is associated with an attenuation of positive affect and a global blunted autonomic reactivity to emotion. Moreover, anxiety mostly modulates the early processes of autonomic reactivity whereas depression mainly affects the later processes. The differential impact of emotional information over the visual field suggests the use of new stimulation strategies in order to attenuate anxious and depressive symptoms.

Keywords: Emotion, IAPS, Depression, Anxiety, Autonomic, Skin Conductance, Heart Rate, Pupil, Skin Temperature.

1.2. Introduction

Emotional behaviors are classically indexed by a range of physiological variations, especially those depending on the autonomic nervous system (ANS). Autonomic changes are known to provide information about the main emotional dimension, i.e. arousal, reflecting physiological and psychological levels of activation, and valence, reflecting the appetitive and the aversive value of pleasant and unpleasant emotional stimuli, respectively (Lang et al., 1993). Among the autonomic expressions, electrodermal activity, skin temperature and variations in pupil size have proved to be robust indices for revealing the arousal dimension of an emotional stimulus, whereas heart rate variations are indicative of the valence and arousal dimensions of the same stimulus.

Electrodermal activity, usually recorded as skin conductance responses (SCRs), increases in response to sympathetic discharges related to emotional induction, initial attentional capture and the preparation for action (Bradley, 2009; Critchley, 2002; Sequeira, Hot, Silvert, & Delplanque, 2009). In particular, the amplitude of SCRs increases with the emotional arousal of stimulus regardless of the valence (Lang, Greenwald, Bradley, & Hamm, 1993; Bradley, Codisoti, Cuthbert, & Lang, 2001). Another index of emotional arousal, also under the sympathetic control, is the thermal variations that occur in glabrous skin (e.g. the tip of the nose, palms of the hands or soles of the feet) (Ioannou, Gallese, & Merla, 2014). In a recent study, Kosonogov et al. (2017) showed that the temperature of the tip of the nose decreases with emotional arousal, regardless of the valence, and is correlated with the subjective evaluation of emotional stimulation. Variations in pupil size have also been widely used to assess the impact of emotional stimulation, although their control depends on both the sympathetic and parasympathetic divisions of the ANS. In the context of visual stimulation, light reflex can be modulated by emotional content of stimuli (Henderson, Bradley & Lang, 2014) as well as pupil dilation which increases with emotional arousal, regardless of the valence (Bradley, Miccoli, Escrig, & Lang, 2008).

Cardiac activity is also modulated by emotion through the two branches of the ANS (Berntson et al., 1997). The parasympathetic-mediated initial deceleration occurs in the context of environmental detection, leading to a sensory intake and an enhanced orienting response (Bradley, 2009), while the subsequent sympathetic-mediated acceleration is a response to the preparation for action, indicating sensory rejection and defensive arousal (Bradley et al., 2001; Bradley, 2009; Jennings & van der Molen, 2005). The heart rate slows further in response to unpleasant cues while it increases with emotional arousal and pleasant stimuli (Lang et al., 1993; Bradley, 2009).

These autonomic indicators are widely used to investigate the reactivity to emotional visual stimuli not only in healthy individuals but also in persons with difficulties in processing affective stimuli, especially those with anxious and depressive symptoms. Anxiety is characterized by a state of alertness and increased vigilance, with a feeling of fear and worry about a potential threat or danger (Chua & Dolan, 2000). Anxious individuals monitor their visual environment more than normal participants and devote more attentional resources to detecting emotionally related stimuli, particularly threatening ones (Bar-Haim et al., 2007). Indeed, the reactivity of individuals with trait anxiety is associated with significantly high SCRs to emotional pictures (Najström & Jansson, 2006), indicating a sustained sympathetic mobilization when they are exposed to emotional stimuli. On the other hand, depression is characterized by psychomotor retardation which disturbs visual exploration, leading to an increase in reaction time especially in prosaccade and anti-saccade tasks (Mahlberg, Steinacher, Mackert, & Flechtner, 2001; Carvalho et al., 2015). In terms of affective saliency in depression, attentional orientation is reduced with pleasant stimuli and increased with unpleasant ones (Peckham, McHugh, & Otto, 2010; Armstrong & Olatunji, 2012). Furthermore, this attentional pattern is accompanied by a reduced autonomic reactivity to unpleasant stimuli (Bylsma, Morris, & Rottenberg, 2008). Interestingly, these behavioral and autonomic manifestations observed at the clinical level are also present at the subclinical level (Gotlib & Joormann, 2010; Mogg & Bradley, 2016), so sub-clinical symptoms could be early signs of anxiety and depression symptomatology. Therefore, the autonomic reactivity to emotional stimuli in sub-clinical populations could be a useful indicator to distinguish anxiety and depression symptoms.

Despite the wealth of literature on anxiety and depression, there is no consensus about how they modulate autonomic reactivity to the arousal and valence dimensions of emotional stimulation. In anxiety, there is evidence of both autonomic hyperreactivity (Schwerdtfeger, 2006) and hyporeactivity (Naveteur & Freixa I Baque, 1987) to emotion, while depression has been either associated with a greater reactivity to unpleasant stimuli (Wenzler et al., 2017), a lower reactivity to pleasant ones (Bylsma et al., 2008) or with a blunt reactivity to emotional content (Rottenberg, Gross, & Gotlib, 2005). Hence, the modulation of autonomic responses to emotional dimensions by sub-clinical and clinical anxiety and depression symptomatology remains to be characterized. Furthermore, most experiments until now involved stimulation in central vision (CV), thus tending to underestimate the fact that these disorders also modulate the degree of vigilance given to the exploration of peripheral parts of the visual field. Indeed, the behavioral impact of affective saliency of stimuli is observed not only in CV but also in peripheral vision (PV) (Rigoulot et al., 2008, 2011; Rigoulot, D'Hondt, Honoré, & Sequeira, 2012; D'Hondt, Szaffarczyk, Sequeira, & Boucart, 2016). Despite the decrease in acuity with the increase in visual eccentricity, relevant visual events occurring in PV cause saccades which

displace targets of interest into CV where detailed visual analysis can be performed (Liversedge & Findlay, 2000). The salient effect of information appearing in PV was evidenced for emotional stimulation over neutral ones through a set of behavioral and cerebral responses (Calvo, Avero, & Nummenmaa, 2011; Calvo, Nummenmaa, & Hyönä, 2008; Rigoulot et al., 2008). In view of these data, autonomic indicators seem to be reliable candidates for identifying specific patterns of reactivity in anxiety and depression to emotional information presented in CV and PV.

Hence the aim of this study was to compare autonomic reactivity to emotional stimulation occurring in CV and PV in participants with high and low sub-clinical anxiety and depression symptoms. Standardized emotional and neutral scenes were presented in CV and PV eccentricities to participants who had to locate them while they underwent behavioral and autonomic recordings. We hypothesized the following: 1) emotional stimulation would elicit greater autonomic responses than neutral ones; 2) greater anxious symptomatology would lead to an exacerbated emotional reactivity over the entire stimulated visual field; 3) greater depressive symptomatology would lead to greater behavioral efficiency and distinct autonomic reactivity to unpleasant pictures in the central part of the visual field.

1.3. Material and method

Participants

Sixty-two healthy unmedicated participants were recruited through an online questionnaire. All were French speakers, right-handed (Edinburgh Handedness Inventory, EHI; Oldfield, 1971) and had normal or corrected-to-normal vision (Snellen, 1862). Individuals with a history of neurological disorders or drug consumption were not included. Four participants were excluded due to recording problems, giving a sample of 58 participants (mean age 21.36 ± 2.28 ; 30 females and 28 males). Each participant provided written informed consent and received 20 € compensation for his or her participation. This study was approved by the Ethics Committee of Université de Lille [Reference: 2018-1-S54] and conducted in accordance with the Declaration of Helsinki at Faculté de Medecine, Pôle Recherche, Université de Lille, France.

Participants were grouped as high or low anxious (HA, LA), based on the Trait Anxiety Inventory (STAI-B; Spielberger & Gorsuch, 1983), and as high or low depressed (HD, LD), based on the Beck Depression Inventory (BDI-II; Beck, Steer, & Brown, 1996), by means of the median split (STAI-B median = 43.5 and BDI median = 10) as used in previous studies (Mialet et al., 1996 ; Gold et al., 2004). Individuals in the HA group ($n=29$, 15 females and 14 males) had a mean STAI-B of $53.69 (\pm 6.77)$ while those in the LA group ($n=29$, 15 females and 14 males) had a mean STAI-B of $36.48 (\pm 4.12)$. Individuals in the HD group ($n=28$, 14

females and 14 males) had a mean BDI of 14.68 (\pm 3.69) while those in the LD group (n=30, 16 females and 14 males) had a mean BDI of 6 (\pm 3.05). Individuals in the HA and LA groups differed significantly on STAI-B scores ($F_{1,54} = 93.58$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.634$), whereas HD and LD individuals differed significantly on BDI scores ($F_{1,54} = 58.155$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.519$).

Stimuli and Apparatus

Three sets of 16 pictures, unpleasant (U), neutral (N) and pleasant (P), were selected from the International Affective Picture System (IAPS; Lang, Bradley, & Cuthbert, 2008), which provides standardized *a priori* values for each picture on the valence and arousal dimensions. To control for semantic content, each set contained 8 pictures depicting human beings and 8 pictures depicting objects. In addition, given the recognized differences in emotional assessment by gender (Bradley, Codispoti, Sabatinelli & Lang, 2001; Collignon et al., 2010), we selected three sets for each gender, resulting in equivalent *a priori* valence and arousal values. Both selections included 37 gender-specific pictures and 11 common pictures.

The three sets of selected pictures differed significantly on their valence level (*women*: $U = 2.53$, $N = 4.82$, $P = 7.10$, $F_{1,15} = 457.30$; $p < 0.001$; *men*: $U = 2.71$, $N = 4.84$, $P = 7.06$, $F_{1,15} = 445.00$; $p < 0.001$). In terms of arousal, unpleasant and pleasant sets did not differ but were higher than neutral sets (*women*: $U = 5.73$, $N = 3.18$, $P = 5.52$, $F_{1,15} = 182.81$; $p < 0.001$; *men*: $U = 5.56$, $N = 2.90$, $P = 5.51$, $F_{1,15} = 210.24$; $p < 0.001$). For each picture, the angular size ($12^\circ \times 8^\circ$), the spatial frequencies (Delplanque, N'diaye, Scherer, & Grandjean, 2007) and the main physical properties were extracted (*ImageJ v1.50 software*), including the luminance and contrasts for the greyscale version and the RGB (red, green and blue) layers. The complexity of digitized pictures was estimated in terms of the number of bytes of the compressed image file size in JPEG format (Calvo & Lang, 2005). All these picture properties were homogenized. No significant difference was observed between the three sets of pictures for both genders (**Table S1**). Thus, the pictures differed only in terms of their emotional dimensions.

Participants were seated at a fixed viewing distance of 60 cm from the projection screen (30 inches, 256 x 160 ppi, DELL 3007WFP HC) which was connected to a computer (DELL Optiplex 9020, Windows 7 Professional) that managed the presentation of pictures and recorded behavioral responses thanks to an in-house customized program (*MATLAB software*). The pictures were displayed on a black background and each picture was presented pseudo-randomly based on a Latin squares design in central (0°), left (-12°), or right ($+12^\circ$) peripheral visual positions. To avoid the accumulation of fatigue in participants, the 144 trials were presented in four 36-trial blocks.

Recordings

Skin conductance (SC), thermal variations and an electrocardiogram (ECG) were recorded at baseline and during the task and recovery periods, using a BIOPAC MP35 system connected to a third computer running on *ad hoc software (BIOPAC Student Pro 3.7)* that allowed signal acquisition at 200 Hz. SC was recorded through bipolar Ag/AgCl surface electrodes (BIOPAC EL507) pre-gelled with an isotonic electrolyte (0.05 molar NaCl) and attached to the palmar side of the middle phalanges of the index and middle fingers of the participant's non-dominant hand. SC was measured with a gain of 5 $\mu\text{S}/\text{V}$, low-pass-filtered at 10 Hz. Temperature variations were recorded continuously via a fast-response thermistor (BIOPAC SS6L) fixed on the palmar surface of the middle finger of the participant's non-dominant hand. Temperature variations were measured at a gain of 2.5 $^{\circ}\text{V}$ with a 0.05 Hz high-pass filter. Eye movements and pupil diameter were recorded using an eye tracker (SMI RED-m Eye Tracking System) connected to the projection computer with *SMI iView RED-m 2.11* software for an acquisition at 120 Hz to detect saccades. The ECG was recorded using a DI modified bypass placing the Ag/AgCl pre-gelled (BIOPAC EL503, 7% NaCl) surface electrodes on the participant's left and right wrists and with a band-pass filter set between 0.5 and 66.5 Hz. At the end of the experiment, the participant was asked to look again at all the pictures and to rate the valence and arousal values using the two nine-point SAM scales (Self-Assessment Manikin; Bradley & Lang, 1994), ranging from 1, very unpleasant, to 9, very pleasant, and from 1, very calm, to 9, very arousing. Ratings were recorded with *OpenSesame* (Mathôt et al., 2012).

Procedure

The experimental procedure was divided into three steps. First, the electrodes were installed and the participant was acclimatized to the environment; At the same time, they also underwent psychometric tests to assess anxiety state (State-Trait Anxiety Inventory, STAI-A; Spielberger et al., 1993). Then the task was explained orally to the participants, who were advised to ask for breaks during the experiment whenever necessary.

Next, recording began with autonomic indices during a task-free 2-minute baseline period. The participants were seated in front of the black screen and the light in the room was kept dark. It was explained to the participants that there would be a recording period of two minutes during which the physiological activity at rest would be measured and that they therefore had to remain calm. This period was followed by recording of behavioral and autonomic responses during the presentation of the 48 pictures one by one in a pseudo-random order at the three eccentricities. Each trial contained the following sequence: a fixation cross projected at the center of the screen for a random duration between 1 to 2 seconds, the picture projection for

300 ms, followed by a black screen for a random duration between 9 to 13 s. The inter-stimulus interval therefore varied from 10 to 15 s, an ideal interval to avoid the phenomenon of habituation often observed with autonomic signals, particularly with electrodermal activity. The participant used a response box to indicate the location of the picture (left, center or right). They were instructed to keep their gaze on the central cross, a required behavior for triggering stimulation, throughout the course of the experiment without moving their eyes at any time. Trials containing saccades, detected online, were automatically replayed, only once, at the end of the task, during a fifth presentation block. After the task, autonomic activity continued to be recorded for a 2-minute recovery period.

Finally, to validate our selection of pictures, the participant was asked to evaluate the valence and arousal dimensions using the two 9-point SAM scales. These subjective ratings correspond to *a posteriori* values of pictures.

Data Analyses

All trials containing eye movements were rejected to exclude possible saccades. Across all participants and conditions, 13.2% of the trials were rejected. The percentage of remaining trials did not differ between conditions in total (X^2 Yates = 2.2, $df = 8$, $p = 0.973$), nor in each group (LA: X^2 Yates = 1.5, $df = 8$, $p = 0.993$; HA: X^2 Yates = 0.9, $df = 8$, $p = 0.999$; LD: X^2 Yates = 1.4, $df = 8$, $p = 0.994$; HD: X^2 Yates = 0.8, $df = 8$, $p = 0.999$). Each condition was therefore represented by an equivalent number of trials in each group.

Behavioral Data

The speed and accuracy to locate pictures, measured by reaction times (RT) and rates of correct responses (CR), were used to compute a Speed-Accuracy Composite Score (SACS; Collignon et al., 2010). The SACS is a general index of performance that discounts a possible speed/accuracy trade-off effect and, in this context, measures the efficiency of the location of the pictures on the screen. To attribute the same weight to RT and correct responses across participants, the SACS was calculated by subtracting the normalized RT from the normalized correct responses: $SACS = z(CR) - z(RT)$. When the RT decreased and/or the correct responses increased, the efficiency increased. The *a posteriori* values of valence and arousal were given by each participant for each presented picture using two 9-point scales varying from 1 to 9 (Self-Assessment Manikin, Bradley & Lang, 1994).

Autonomic Data

SC, thermal and ECG variations, initially sampled at 200 Hz, were down-sampled at 10 Hz using *LabChart7*. For the SC variations to pictures, phasic waveforms were derived from the tonic signals with an offline 0.05 Hz high-pass filter using *AcqKnowledge 4.1* software. For the ECG, the instantaneous heart rate (HR) in beats per minute (BPM) was calculated from the R

wave intervals and smoothed using the triangular Bartlett window with a 1 s width using *LabChart7*. Due to recording issues, pupil diameter data were missing for 6 of the 58 participants, giving a sample of 52 participants for whom pupil diameter variations could be analyzed (mean age 21.42 ± 2.19 ; 27 females and 26 males). To facilitate data processing, the pupil diameter, initially sampled at 120 Hz, was down-sampled at 10 Hz using *LabChart7*. Eye blinks, which expressed themselves in the signal as sudden drops in pupil diameter, were eliminated and missing data were linear-extrapolated. Pupil diameter, thermal and HR variations in response to stimulation were obtained by subtracting the average over a 3 s pre-stimulus period from the 10 s post-stimulus period data. For each condition and participant, after the baseline correction (-3 to 0 s), we averaged the epochs (-3 to 10 s), time-locked to the stimulus onset.

Since principal component analysis (PCA) techniques have already demonstrated their relevance to explore other electrophysiological responses (e.g., Event-related potentials: Barry, De Blasio, Fogarty, & Karamacoska, 2016; Pourtois, Delplanque, Michel, & Vuilleumier, 2008; Rigoulot et al., 2008, 2012, 2011; Pupil diameter: Bradley, Sapigao, & Lang, 2017) to emotional stimuli, we applied a temporal PCA in order to determine the dynamic of autonomic changes in response to stimulation without *a priori* hypotheses. We conducted a temporal PCA on each autonomic averaged epoch, using a covariance matrix with unrestricted varimax rotation (SPSS V.25) and with 130 variables (130 time series: from -3 to 10 s at 10 Hz) and 468 observations for pupil variations (52 participants x 9 conditions) and 522 observations for SC, thermal and HR variations (58 participants x 9 conditions). This resulted in an observations-to-variables ratio of 4:1 (Mundfrom, Shaw, & Ke, 2005). This PCA identifies correlated time series and reduces them to principal temporal factors (TF; Pourtois et al., 2008). Factor loading corresponds to the contribution of each time point to the TF. Factors were selected according to the Karlis et al. (2003) rule and to the broken stick test (Frontier, 1976; Legendre & Legendre, 2012).

Statistical Analysis

The Spearman coefficient was calculated between *a priori* and *a posteriori* ratings. A repeated measures analysis of variance (ANOVA) was applied to *a posteriori* ratings with emotion as within-subject factor and gender as between-subject factor. *Post hoc* tests were done by pairwise comparisons of means with Bonferroni correction for multiple comparisons ($p < 0.05$, two-tailed).

Regarding emotion and according to the dimensional theory of it (Lang et al., 1993), we expected two emotional effects: 1) a valence effect (Unpleasant vs. Pleasant), being modeled by a first degree polynomial contrast (*Linear Contrast*, LC = Unpleasant – Pleasant); and 2) an

arousal effect (Emotion vs. Neutral) being modeled by a second degree polynomial contrast (*Quadratic Contrast*, $QC = [Unpleasant + Pleasant]/2 - Neutral$). Moreover, the use of linear and quadratic contrasts allows for the totality of the variability caused by emotional factors to be considered. Regarding visual position, the effects of laterality were not considered here so the analyses focused on the effects of eccentricity (Centre vs. Periphery) being modeled by a second degree polynomial contrast (*Quadratic Contrast*, $QC = [Left + Right]/2 - Centre$).

These contrasts were assessed with two repeated measures ANOVA, applied to the individual reaction time, correct responses, SACS and the principal factors yielded by the PCA for each autonomic measure with emotional (unpleasant, neutral, pleasant) and position conditions (-12 °; 0 °; + 12 °) as within-subject factors. One analysis on the participants grouped according to anxiety (2 x 3 x 3) and a second according to depression (2 x 3 x 3). A sensitivity analysis performed by *G*Power 3.1.9.2* (Erdfelder et al., 1996) indicated that for a 2 x 3 x 3 analysis of variance position and emotion as repeated measures, given a sample size $N = 58$, $\alpha = 0.05$ and $\beta = 0.2$, we could detect an effect of minimum size of $f = 0.137$ (i.e. $\eta^2 = 0.018$). The threshold of significance was set at $p < 0.05$ (bilateral).

1.4. Results

First, we validated the emotional and neutral selected pictures by comparing *a priori* subjective ratings of arousal and valence and *a posteriori* subjective rating of the same pictures. Secondly, the selected principal factors from the PCA analysis applied to autonomic signals are described according to their putative physiological significance, based on their latency and effects of emotion or visual position. Finally, the effects of anxiety and depression on behavioral and autonomic responses are presented.

Subjective Assessment of Pictures

A posteriori and *a priori* ratings were correlated for both genders on valence (*women*: $\rho_{28} = 0.92$, $p = 4.81E^{-20}$, *men*: $\rho_{26} = 0.93$, $p = 3.14E^{-21}$, Figure 1A-B) and arousal (*women*: $\rho_{28} = 0.76$, $p = 3.93E^{-10}$, *men*: $\rho_{26} = 0.70$, $p = 2.92E^{-09}$, Figure 1C-D). As expected, the valence assessment by the participants differed according to the emotional category ($U = 2.46$, $N = 5.15$, $P = 6.71$; LC: $F_{1,56} = 639.28$; $p = 2.58E^{-032}$; $\eta^2 = 0.919$). Thus, participants rated unpleasant pictures with a lower valence than pleasant ones, although the valence gap with neutral pictures was greater for unpleasant pictures (QC: $F_{1,56} = 83.04$; $p = 3.59E^{-013}$; $\eta^2 = 0.614$). The arousal assessment by the participants also differed according to the emotional category ($U = 5.37$, $N = 2.43$, $P = 4.26$; QC: $F_{1,56} = 387.92$; $p = 7.61E^{-027}$; $\eta^2 = 0.874$). While unpleasant and pleasant pictures were evaluated as more arousing than neutral ones, the participants evaluated unpleasant pictures as more arousing than pleasant ones (LC: $F_{1,56} = 42.48$; $p = 2.20E^{-008}$; $\eta^2 = 0.431$; Figure 1C-D).

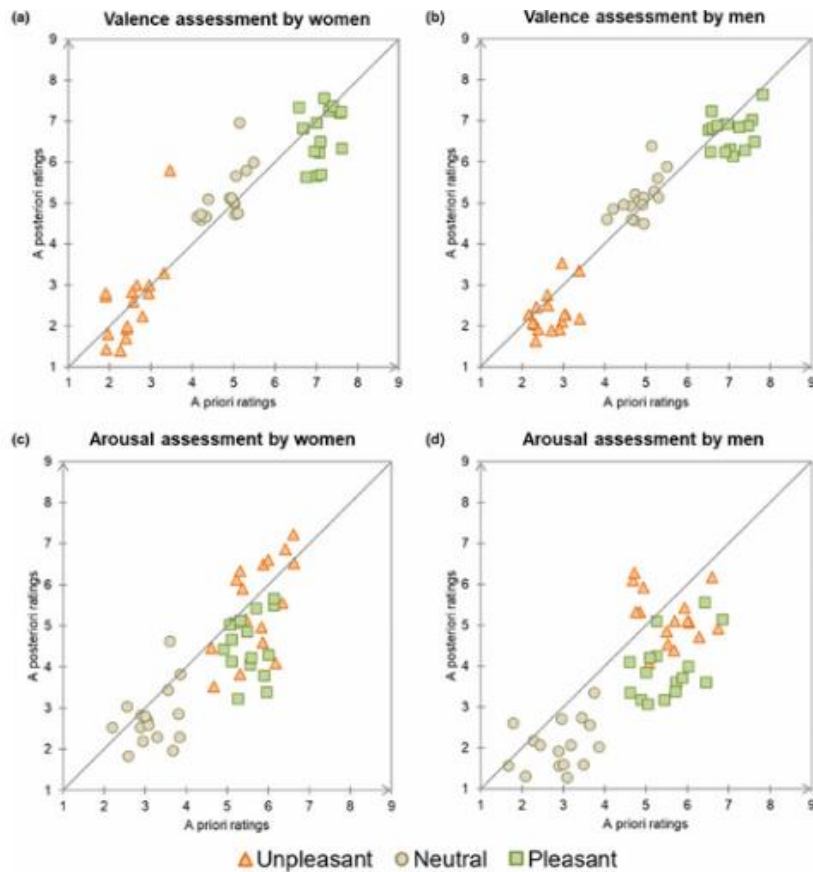


Figure 1. Validation of picture selection using correlations between standardized (a priori) ratings by International Affective Picture System (IAPS) and mean subjective (a posteriori) ratings of unpleasant, pleasant, and neutral pictures. Ratings for unpleasant, neutral, and pleasant. (a) valence ratings for women; (b) valence ratings for men; (c) arousal ratings for women; (d) arousal ratings for men.

Finally, the valence (*women*: $U = 2.59$, $N = 5.19$, $P = 6.68$; *men*: $U = 2.33$, $N = 5.11$, $P = 6.74$; LC: $F_{1,56} = 0.852$; $p = 0.360$; $\eta^2 = 0.015$ and QC: $F_{1,56} = 0.022$; $p = 0.88$; $\eta^2 = 0.0004$) and the arousal assessment of pictures (*women*: $U = 5.52$, $N = 2.78$, $P = 4.56$, $F_{1,15} = 182.81$; $p < 0.001$; *men*: $U = 5.21$, $N = 2.08$, $P = 3.96$; LC: $F_{1,56} = 0.729$; $p = 0.397$; $\eta^2 = 0.013$ and QC: $F_{1,56} = 0.989$; $p = 0.324$; $\eta^2 = 0.017$) were not modulated by gender.

Dynamic of autonomic changes

For each autonomic measure, temporal factors are numbered according to the percentage of the signal variance they explain and are described in the chronological order of their appearance.

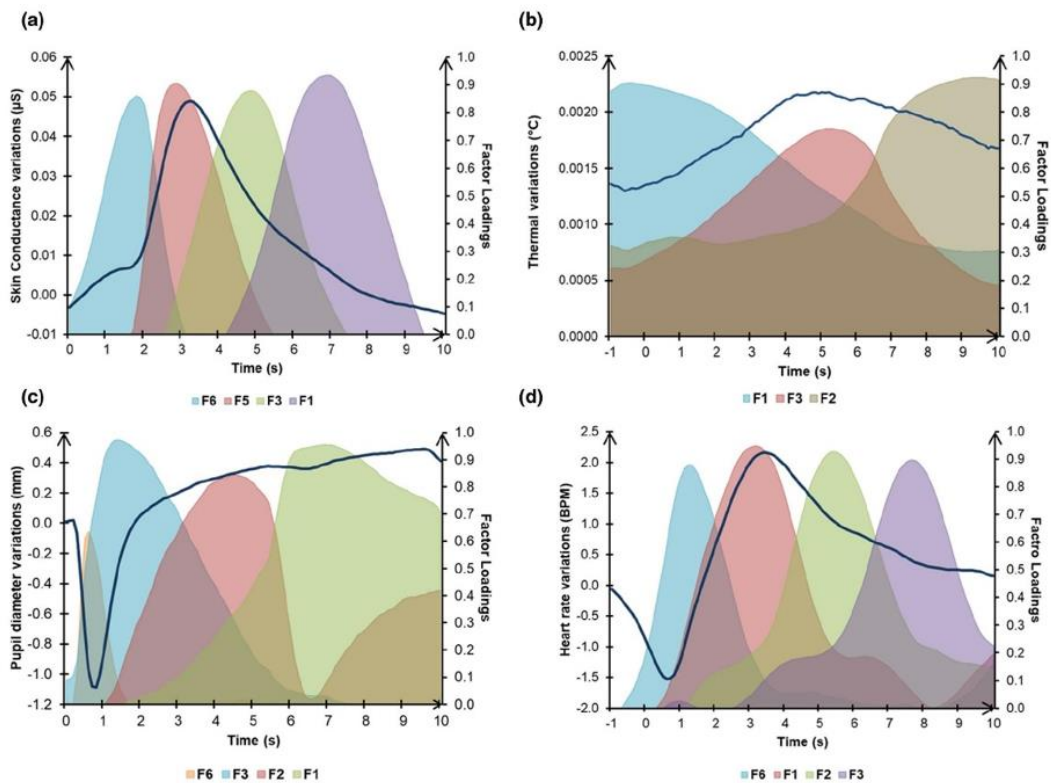


Figure 2. Grand average (black line) of skin conductance (a), skin temperature (b), pupil diameter (c), and heart rate (d) variations with factor loadings of selected principal components as a function of time. For each autonomic signal, temporal factors (f) are numbered according to their percentage to explain the variance of signal responses and are presented in the chronological order of their appearance.

Skin Conductance

PCA applied to SC variations yielded four factors that described 59.9% of the variance (Fig 2A). The first factor (F6) described 9.5% of the SCR variance, peaks at 1.8 s and a rise of SC in response to pictures, which corresponds to the classical value of SCR latency (Dawson et al., 2001). The second factor (F5) described 14.3% of the SCR variance, peaks at 2.8 s when the response reached its maximum amplitude. The third factor (F3) described 16.5% of the SCR variance, peaks at 4.8 s leading to the SC half recovery (Dawson et al., 2001). The fourth factor (F1) described 19.6% of the SCR variance peaks at 6.9 s, during the slow decrease of SC signals to baseline.

Skin temperature

PCA applied to the skin thermal variations yielded three factors that described 97.9% of the variance. Chronologically, the first factor (F1) described 39.8% of the variance of the thermal response and identified the positive inflection of temperature corresponding to the rise in thermal response. The second factor (F3) described 24.0% of the variance, peaks at 5.2 s when temperature was maximal. The third factor (F2) described 34.1% of the variance of thermal responses, peaks at 9.5 s and identified the period when temperature decreased to baseline.

Pupil Diameter

PCA applied to pupil diameter variations yielded four factors that described 79.2% of the variance of pupil responses. Chronologically, the first factor (F6) described 2.1% of the variance and peaks at 0.6 s. This factor appeared at a rapid negative point of inflection of the curve starting after the onset of the picture, which identified a rapid decrease in pupil diameter (myosis). Thus, this factor is consistent with the early-occurring parasympathetic-mediated pupillary light reflex (Henderson et al., 2014). The second (F3) and the third (F2) factors described 20.8% and 21.1 % of the variance in pupil responses and with peaks at 1.4 s and 4.5 s, respectively, during the positive inflexion of the pupil diameter variation, corresponding to an iris dilation (mydriasis) following the light reflex. Such factors are consistent with the sympathetically mediated action on the iris dilation described in the literature as the consequence of aroused stimuli (Bradley et al., 2008). As expected, an arousal effect was observed on scores of these factors with greater pupil dilation in response to emotional pictures than to neutral ones (QC: $F_{1,47} = 4.20$, $p = 0.046$, $\eta^2 = 0.082$). The last factor (F1) described 35.1% of the variance and peaks at 6.9 s, during a slight inflection of the curve which prolonged the persistence of the arousal effect.

Heart Rate

PCA applied to HR variations yielded four factors that described 65.5% of the variance. Chronologically, the first factor (F6) described 10.9% of the variance of the HR response and peaks at 1.3 s. This factor appeared at a rapid negative point of inflection of the curve starting after the onset of the picture, which identified a rapid decrease in HR reported elsewhere as the initial moment of cardiac deceleration (Bradley et al., 2001). The second factor (F1) described 19.7% of the variance, peaks at 3.1 s during a rapid positive inflection of the HR variation, corresponding to the classical pattern of cardiac acceleration (Bradley et al., 2001). The third factor (F2) described 18.5% of the variance of HR responses, peaks at 5.4 s during a rapid decrease in HR following the cardiac acceleration. This seemed to correspond to the period when the HR reaches half recovery. The last factor (F3) described 16.5% of the variance, peaks at 7.7 s and corresponds to the return of HR to baseline after the classical bimodal HR response.

Anxiety and depression effects

Effect of Anxiety

Behaviorally, no emotional or positional effect depending on the anxiety group was observed on the SACS scores (all Fs < 1.21 and ps > 0.277). However, a principal effect of

the group was observed ($F_{1,56} = 7.56$, $p = 0.008$; $\eta^2 = 0.119$) with a greater efficiency to locate pictures in HA participants (0.083 ± 0.016) than in LA ones (0.026 ± 0.017).

Concerning autonomic responses, an eccentricity effect depending on anxiety was observed on mydriasis following the light reflex as identified by the F3 factor ($F_{1,49} = 5.22$, $p = 0.027$, $\eta^2 = 0.096$, Figure 3). As expected, pupil diameter was greater with peripheral than with central stimulation and this effect was significantly greater for HA ($F_{1,25} = 168.72$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.871$) than for LA participants ($F_{1,24} = 125.87$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.840$).

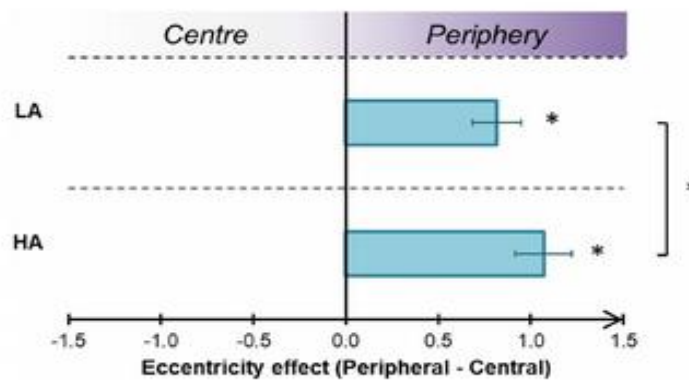


Figure 3. Effect of eccentricity on post-light reflex dilation according to anxiety. Effect of arousal (Quadratic Contrast, QC = Emotion – Neutral) in Low (LA, top) and High Anxious (HA, bottom) individuals. Positive values indicate greater pupil diameter during post-light reflex dilation for peripheral than for central presentation (* $p < .05$). Error bars represent the 95% confidence interval.

An emotional arousal effect depending on anxiety was observed on the same factor ($F_{1,49} = 5.61$, $p = 0.022$, $\eta^2 = 0.103$, Figure 4A), and on cardiac deceleration as identified by the F6 factor ($F_{1,56} = 4.75$, $p = 0.034$, $\eta^2 = 0.078$, Figure 4B).

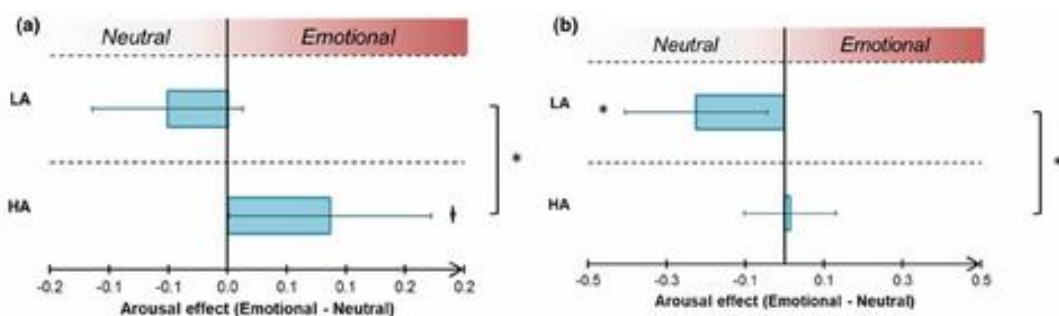


Figure 4. Effect of arousal on post-light reflex dilation (a) and cardiac deceleration (b) factors according to anxiety. Effect of arousal (Quadratic Contrast, QC = Emotion – Neutral) in Low (LA, top) and High Anxious (HA, bottom) individuals. Positive values indicate greater pupil diameter during post-light reflex and greater HR during cardiac deceleration for emotional than for neutral pictures and negative values indicate greater pupil diameter during post-light reflex and greater HR during cardiac deceleration for neutral than for emotional pictures (* $p < .05$; † $p > .10$). Error bars represent the 95% confidence interval.

HA participants showed a trend towards a greater pupil diameter for emotional stimuli than neutral ones ($F_{1,25} = 3.55$; $p = 0.071$; $\eta^2 = 0.124$), while in LA participants, the mydriasis was not modulated by picture arousal ($F_{1,24} = 2.13$; $p = 0.157$; $\eta^2 = 0.081$). LA participants showed greater HR during cardiac deceleration, i.e. an attenuated cardiac deceleration in response to neutral pictures ($F_{1,28} = 5.98$; $p = 0.021$; $\eta^2 = 0.176$), while cardiac deceleration in HA participants was not modulated by picture arousal ($F_{1,28} = 0.054$; $p = 0.818$; $\eta^2 = 0.002$). The effects of eccentricity and emotion described above as dependent on anxiety were not observed when participants were grouped according to depression (all F s < 2.98 and p s > 0.09).

In sum, anxiety is associated with a better capacity to locate pictures and a greater pupil dilation in response to PV presentation. Emotional pictures induce a greater cardiac deceleration in LA but not in HA participants, whereas the pupillary reactivity to emotion increased with the level of anxiety.

Effect of Depression

Concerning behavioral responses, no emotional or positional effect depending on depression was observed on the SACS scores (all F s < 2.83 and p s > 0.098).

In terms of autonomic reactivity, a valence effect depending on depression was observed on the SC half recovery as identified by the F3 factor ($F_{1,56} = 5.71$, $p = 0.020$; $\eta^2 = 0.092$; Figure 5A). LD participants showed greater SC half recovery to pleasant than to unpleasant pictures ($F_{1,29} = 5.92$, $p = 0.021$; $\eta^2 = 0.170$), while this effect was not observed in HD participants ($F_{1,27} = 0.32$, $p = 0.574$; $\eta^2 = 0.012$). A valence effect depending on eccentricity and depression was also observed on the skin temperature peak amplitude as identified by the F3 factor ($F_{1,55} = 5.75$, $p = 0.020$; $\eta^2 = 0.095$; Figure 5B). While LD participants showed a trend towards a greater skin temperature for pleasant in CV and for unpleasant in PV, HD participants showed an opposite pattern.

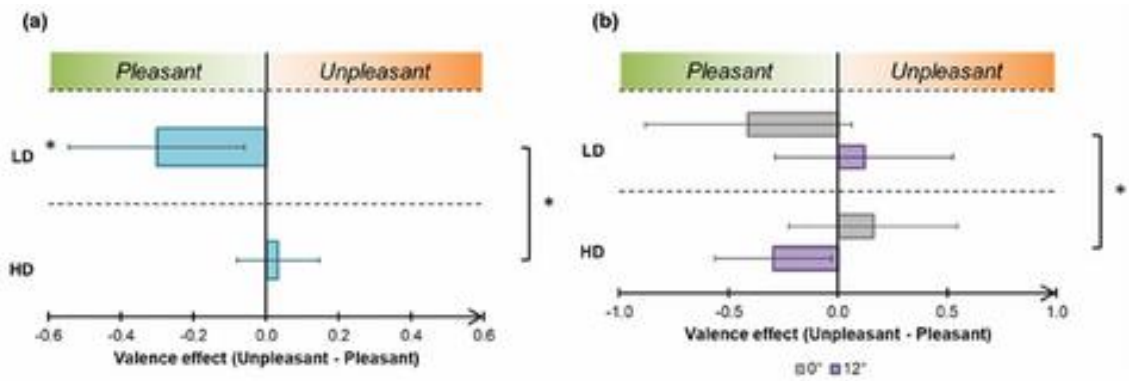


Figure 5. Effect of valence on skin conductance half recovery (a) and skin temperature peak amplitude factors (b) according to depression. Effect of valence (Linear Contrast, QC = Unpleasant – pleasant) in Low (LD, top) and High Depressed (HD, bottom) individuals. Positive values indicate greater skin conductance during the half recovery and skin temperature peak amplitude for unpleasant than for pleasant pictures and negative values indicate greater skin conductance during the half recovery and skin temperature peak amplitude for pleasant than for unpleasant pictures (* $p < .05$). Error bars represent the 95% confidence interval.

Beside the effects of valence, an arousal effect depending on depression was observed on the temperature decreased to baseline as identified by the F2 factor ($F_{1,55} = 7.19$, $p = 0.010$; $\eta^2 = 0.116$; Figure 6). While LD participants showed higher skin temperature in response to neutral than to emotional pictures ($F_{1,29} = 4.24$, $p = 0.049$; $\eta^2 = 0.127$), HD participants showed the opposite trend ($F_{1,26} = 3.06$, $p = 0.092$; $\eta^2 = 0.105$). The effects of eccentricity and emotion described above as dependent on depression were not observed when participants were grouped according to anxiety (all F s < 1.608 and p s > 0.211).

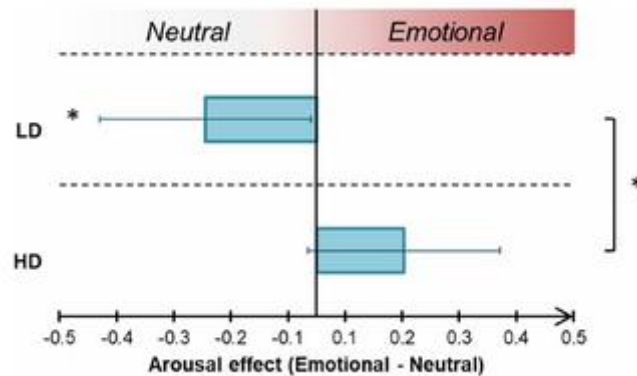


Figure 6. Effect of arousal on a decrease in thermal response amplitude factor. Effects of arousal (Quadratic Contrast, QC = Emotion – Neutral) in Low (LD, top) and High Depressed (HD, bottom) individuals on the thermal decrease to baseline. Positive values indicate greater thermal response amplitude for emotional than for neutral pictures (* $p < .05$). Error bars represent the 95% confidence interval.

In sum, depression modulated the autonomic reactivity to emotion: first, LD was associated with greater response to pleasant pictures; second, depression modulated the recovery of thermal responses to emotion in HD participants.

Common effects of anxiety and depression

An eccentricity x valence x anxiety interaction ($F_{1,49} = 4.03$, $p = 0.050$; $\eta^2 = 0.076$; Figure 7A) and an eccentricity x valence x depression interaction ($F_{1,49} = 4.56$, $p = 0.038$; $\eta^2 = 0.085$; Figure 7B) were observed on the pupillary light reflex as identified by the F6 factor.

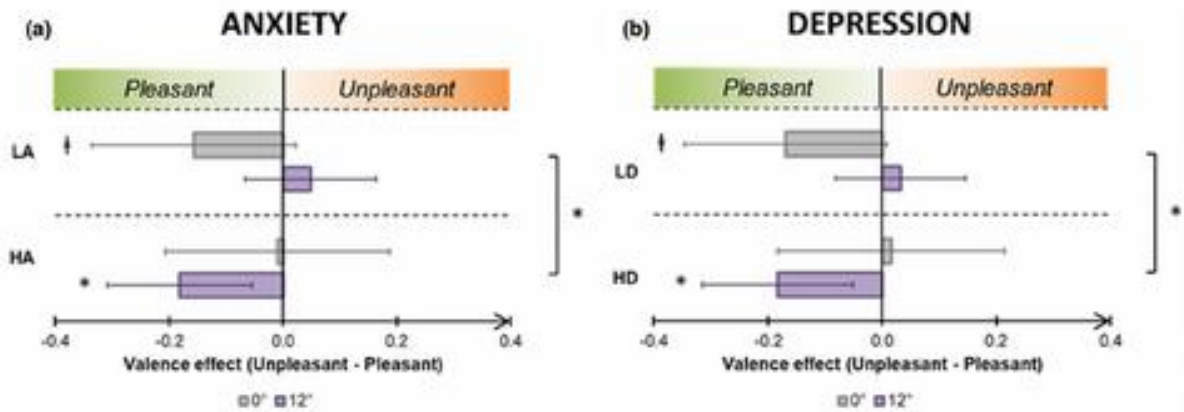


Figure 7. Effect of valence on pupillary light reflex factors according to anxiety (a) and depression (b). Effect of valence (Linear Contrast, QC = Unpleasant – pleasant) in Low (LA, top) and High Anxious (HA, bottom) individuals (a) and in Low (LD, top) and High Depressed (HD, bottom) individuals (b). Positive values indicate greater pupil diameter during the pupillary light reflex for unpleasant than for pleasant pictures (* $p < .05$; † $p > .10$). Error bars represent the 95% confidence interval.

The anxiety-dependent effect of valence was observed in PV ($F_{1,49} = 6.07$, $p = 0.017$; $\eta^2 = 0.110$) but not in CV ($F_{1,49} = 1.03$, $p = 0.316$; $\eta^2 = 0.021$). For PV presentation, while HA participants showed greater pupil diameter, i.e. an attenuated pupillary light reflex in response to pleasant pictures ($F_{1,25} = 7.03$, $p = 0.014$; $\eta^2 = 0.219$), this effect was not observed in LA participants ($F_{1,24} = 0.59$, $p = 0.451$; $\eta^2 = 0.024$). In the same way, the depression-dependent effect of valence was observed in PV ($F_{1,49} = 5.18$, $p = 0.027$; $\eta^2 = 0.096$) but not in CV ($F_{1,49} = 1.65$, $p = 0.206$; $\eta^2 = 0.033$). For PV presentation, while HD participants showed lower pupillary light reflex in response to pleasant pictures ($F_{1,23} = 6.29$, $p = 0.020$; $\eta^2 = 0.215$), this effect was not observed in LD participants ($F_{1,26} = 0.28$, $p = 0.603$; $\eta^2 = 0.011$).

An arousal and valence effects depending on anxiety (valence: $F_{1,56} = 4.63$, $p = 0.036$; $\eta^2 = 0.076$; arousal: $F_{1,56} = 11.94$, $p = 0.001$; $\eta^2 = 0.176$; Figure 8A & 8C) and depending on depression (valence: $F_{1,56} = 8.76$, $p = 0.005$; $\eta^2 = 0.135$; arousal: $F_{1,56} = 5.74$, $p = 0.020$; $\eta^2 = 0.093$; Figure 8B & 8D) were observed on the return to HR baseline as identified by the F3 factor. During return to HR baseline, HA participants showed greater HR to unpleasant than to pleasant pictures ($F_{1,28} = 5.38$, $p = 0.028$; $\eta^2 = 0.161$) without arousal effect ($F_{1,28} = 1.59$, $p = 0.218$; $\eta^2 = 0.054$), while LA participants showed lower HR to emotional than to neutral pictures ($F_{1,28} = 14.64$, $p = 0.001$; $\eta^2 = 0.343$) without valence effect ($F_{1,28} = 0.25$, $p = 0.624$; $\eta^2 = 0.009$). In the same way, HD participants showed greater HR to unpleasant than to pleasant pictures

($F_{1,27} = 8.24, p = 0.008; \eta^2 = 0.234$) without arousal effect ($F_{1,27} = 0.39, p = 0.539; \eta^2 = 0.014$), while LD participants showed lower HR to emotional than to neutral pictures ($F_{1,29} = 9.79, p = 0.004; \eta^2 = 0.252$) without valence effect ($F_{1,29} = 1.09, p = 0.304; \eta^2 = 0.036$).

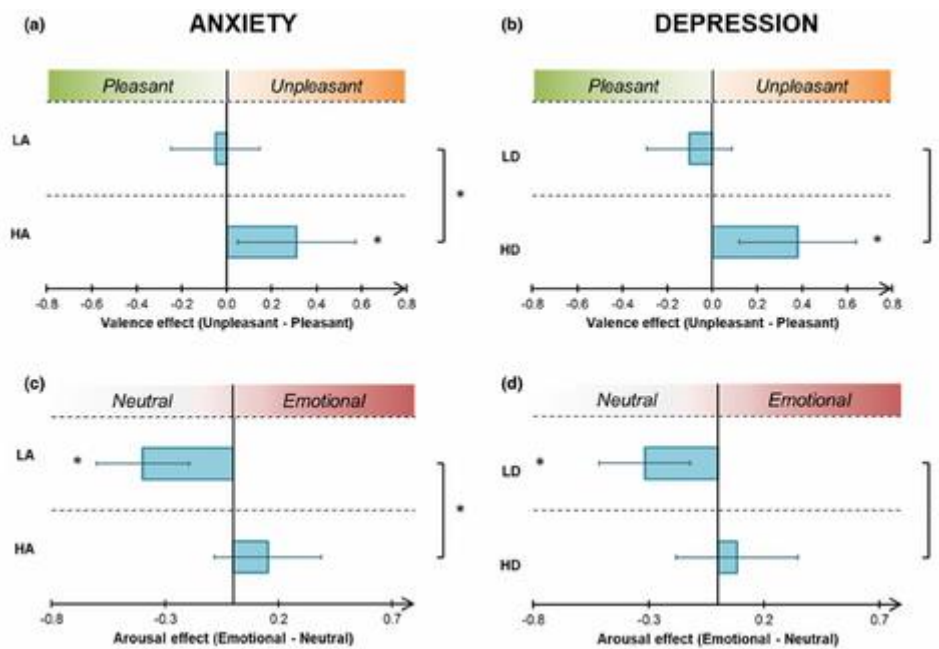


Figure 8. Effect of valence and arousal on the return of heart rate to baseline according to anxiety and depression. Effect of valence (Linear Contrast, QC = Unpleasant – pleasant) in Low (LA, top) and High Anxious (HA, bottom) individuals (a) and in Low (LD, top) and High Depressed (HD, bottom) individuals (b). Positive values indicate a quicker return of heart rate to baseline for unpleasant than for pleasant pictures. Effect of arousal (Quadratic Contrast, QC = Emotion – Neutral) in Low (LA, top) and High Anxious (HA, bottom) individuals (c) and in Low (LD, top) and High Depressed (HD, bottom) individuals (d). Positive values indicate a greater heart rate during the return of heart rate to baseline for emotional than for neutral pictures (* $p < .05$). Error bars represent the 95% confidence interval.

In sum, based on HR variations, anxiety and depression are associated with greater reactivity to unpleasant, and on the basis of pupillary reaction, both anxiety and depression attenuated the effect of pleasant pictures in PV.

1.5. Discussion

The aim of this study was to compare autonomic reactivity to emotional stimulation occurring in CV and PV between participants with high and low anxious or depressive symptoms. In support of our hypotheses, we found the following: first, anxiety was associated with a global hyperreactivity to emotions and to PV; second, depression is associated with an attenuated reactivity to pleasant and a global blunted autonomic reactivity to emotion; third, anxiety and depression modulated differentially the dynamics of autonomic responses.

Anxiety and Autonomic Reactivity

Anxiety was associated with greater sympathetic pupil dilation to emotion, consistent with a greater pupillary response to emotional faces in HA individuals (Hepsomali, Hadwin, Liversedge, & Garner, 2017). This high level of autonomic arousal has also been observed in anxiety (Pruneti et al., 2010; Pruneti et al., 2016), even when threatening pictures are presented subliminally (Najström & Jansson, 2006).

Moreover, anxiety induced a greater pupillary sympathetic activation with PV stimulation regardless of emotion, allowing more visual information to reach the retina. As anxiety is characterized by hypervigilance and a state of alert (Heller, Nitschke, Etienne, & Miller, 1997; MacLeod & Mathews, 2012), present results could reflect an extension of such hypervigilance to PV. This process could lead to a reinforced monitoring of peripheral parts of the visual field which is coherent with a better capacity to locate pictures, as observed in HA individuals. Furthermore, the fact that anxiety leads to exacerbated reactivity over the entire visual field, is also consistent with the increase in attentional capture observed in anxiety on tasks with irrelevant threats and non-threatening stimuli (Gerdes, Alpers, & Pauli, 2008; Wieser, Pauli, & Mühlberger, 2009) or with peripheral information that is not obviously threatening (Shapiro & Lim, 1989; Mathews, 1990). In the same vein, Beck and Emery (1985) proposed that anxious individuals are constantly scanning the environment for signs of danger, and may misinterpret ambiguous situations and exaggerate minor threats, all of which would further increase anxiety (Beck, Emery, & Greenberg, 2005).

In brief, anxiety is associated with a greater sympathetic activation in response to emotion and favors hypervigilance levels able to sustain increased resources to be allocated to PV. By this way, and as argued by Shapiro & Lim (1989), anxiety gives to individuals an adaptive gain by improving their PV to locate and react to a source of stimulation.

Depression and Autonomic Reactivity

Regardless of picture positions, HD participants did not show the greater SC to pleasant pictures observed in LD. Depression was therefore associated with less sympathetic arousal to pleasant cues. This is consistent with results from Mardaga and Hansenne (2009) who observed that, unlike controls, depressed individual did not show greater SCRs to pleasant pictures compared to unpleasant ones. These electrodermal-based evidences support the positive attenuation hypothesis, which explains that depression is characterized by a decreased reactivity to positive affect (Clark & Watson, 1991). Otherwise, LD was associated with lower skin temperature to emotion, implying greater sympathetic vasoconstriction, whereas such an effect of arousal was not observed in HD. This supports the idea that

depression blunts emotional reactivity, which is consistent with the emotional context insensitivity hypothesis (Rottenberg et al., 2005).

Considering visual position, depression was associated with a greater reactivity to unpleasant pictures presented in CV. This greater reactivity to unpleasant information supports the negative potentiation hypothesis (Wenzler et al., 2017) by showing its relevance in CV but not in PV. These results confirm what has been observed in patients with major depressive disorder who showed a negativity bias and enhanced autonomic responses for CV but not PV (De Zorzi et al., 2020). Thus, depressive symptomatology leads to increased processing of negative information associated with a CV focus, consistent with the fewer saccades and longer fixation observed in depressed patients (Li et al., 2016), which in turn suggests that depressed individuals make less visual exploration.

In brief, present results and those from literature showing an attenuated electrodermal and vasomotor reactivity to emotional information in HD, is in favor of a global blunted emotional reactivity in depression.

Anxiety, Depression and Autonomic Dynamics

In addition to specific results for anxiety or depression, our results show that anxious or depressive symptomatology leads to common effects. Indeed, both anxiety and depression are associated with lower pupillary light reflex in response to pleasant pictures presented in PV. Besides, both anxiety and depression are associated with higher HR to unpleasant during the return of HR to baseline. These results can be enlightened by evidence from the literature suggesting that anxiety and depression are associated with an exaggeration of attention paid to negative stimuli over neutral stimuli (MacLeod, Mathews and Tata, 1986; Eizenman et al., 2003) Indeed, in anxious individuals, the threshold for activating the threat assessment system would be lower and this would result in a direct increase in the attentional resources allocated to stimuli considered threatening by this system (Coussement and Heeren, 2015).

Exploratory results in Supplementary Data comparing controls, anxious, depressed, and mixed anxiety and depression, showed that effects of anxiety and depression on return to HR baseline seem to differ when both emotion and the visual position are taken into account. Indeed, depression without anxiety was associated with a greater reactivity to unpleasant pictures presented in CV, depression with anxiety was associated with a hyperreactivity to unpleasant only in PV. This probably means that depression guides hypervigilance towards aversive cues in PV and thus increases the state of alert in anxious participants. These exploratory results open perspectives on the study of visuospatial and emotional modulations of autonomic reactivity by anxiety and depression.

In the frame of potential factors likely to distinguish anxiety and depression, the dynamics of autonomic variables also emerge from the present research. Indeed, anxiety is mostly associated with the early stages of autonomic responses to emotion while depression rather modulates their late stages. This echoes the hypothesis proposed by Williams et al. (1997) that anxiety and depression differ in terms of the dynamics of cognitive biases. Anxiety might be associated with an orientation bias towards threatening information in the early stages of information processing (Bar-Haim, Lamy, Pergamin, Bakermans-Kranenburg, & Van Ijzendoorn, 2007), followed by an avoidance bias (Pflugshaupt et al., 2005; Rohner, 2002) or difficulty in disengaging attention from threat (Fox, Russo, Bowles, & Dutton, 2001; Yiend & Mathews, 2001) in the later stages. Depression, on the other hand, is related to sustained attention to unpleasantness rather than rapid orientation (Hallion & Ruscio, 2011) and to a global negative bias in the later processes (Mogg & Bradley, 2016).

These dynamics are also observed at the neurophysiological level where anxious individuals elicit earlier P1/N1 complex in response to faces (Bar-Haim, Lamy, & Glickman, 2005), consistent with a rapid orientation, a shorter latency and a larger amplitude of the P200 associated with preferential attention (Hanatani et al., 2005; Pauli, Amrhein, Mühlberger, Dengler, & Wiedemann, 2005; Yee & Miller, 1988), and a reduced N300 amplitude (Rossignol, Philippot, Douilliez, Crommelinck, & Campanella, 2005). Anxiety might thus manifest itself through a combination of early and late components to process emotional stimuli (Li, Zinbarg, & Paller, 2007). Depressed individuals showed a greater latency and a diminished amplitude of the P3b component when detecting happy faces among neutral ones, reflecting a deficit in the attribution of cognitive resources to evaluate these stimuli (Cavanagh & Geisler, 2006). Nevertheless, it has been shown that bias in emotional processing in depression may concern both the early and late stages of stimuli processing (Maurage et al., 2008; A. Sumich et al., 2006; A. L. Sumich, Kumari, Heasman, Gordon, & Brammer, 2006), which would only manifest themselves in the late stages of autonomic responses.

In brief, taking both the position and the emotional content of the pictures into account could lead to the autonomic distinction of anxiety and depression. This differentiation process could also be enriched by the analysis of autonomic dynamics. In fact, anxiety mostly modulates the early processes of autonomic reactivity whereas depression mainly affects the later processes.

1.6. Conclusions

This study has several methodological strengths. First, considering that physical saliency influences visual search and attention (Lucas & Vuilleumier, 2008) and gender differences in emotional assessment and reactivity (Bradley et al., 2001), we carried out a rigorous selection

of stimuli. Second, considering the predominant view that the ANS is not a unitary system (Berntson, Sarter, & Cacioppo, 1998), the recording of both autonomic branches provided a reliable and comprehensive overview of autonomic functioning. Third, the use of temporal principal component analysis allowed us to study the dynamic of autonomic responses without *a priori* assumptions, and guided us towards their late components, which are often associated with pathophysiological consequences (McEwen & Stellar, 1993). Nevertheless, the study also has some limitations. In particular, the choice of subclinical populations limits the scope of our results to moderate levels of depression and anxiety. Indeed, the HD group had a mean BDI-II score of 14.68, which corresponds to mild depression, while the HA group had a mean STAI-B score of 53.69, which corresponds to moderate anxiety. Nonetheless, salient effects were observed even at these subclinical levels.

In conclusion, the present findings provide new insights to consider autonomic reactivity in affective disorders. First, anxiety and depression appear to modulate autonomic output reactivity in specific ways. Second, considering the biases in favor of PV for anxiety and of CV for depression, autonomic reactivity could be used to differentiate between anxious and depressive individuals. Indeed, the differential impact of emotional information over the visual field indicates the value of using new stimulation strategies in order to attenuate anxiety and depressive dysfunctions. In this regard, attentional training procedures could be developed to modify the deployment of attention towards emotional cues, which play a critical role in the maintenance and etiology of these disorders (Gotlib & Joormann, 2010; Mogg & Bradley, 2016). Finally, the study underlines the value of biofeedback and the individualization of training that focuses on autonomic reactivity to improve anxiety and depression.

References

- Armstrong, T., & Olatunji, B. O. (2012). Eye tracking of attention in the affective disorders : A meta-analytic review and synthesis. *Clinical psychology review*, 32(8), 704-723.
- Bar-Haim, Y., Lamy, D., & Glickman, S. (2005). Attentional bias in anxiety : A behavioral and ERP study. *Brain and cognition*, 59(1), 11-22.
- Bar-Haim, Y., Lamy, D., Pergamin, L., Bakermans-Kranenburg, M. J., & Van Ijzendoorn, M. H. (2007). Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals : A meta-analytic study. *Psychological bulletin*, 133(1), 1.
- Barry, R. J., De Blasio, F. M., Fogarty, J. S., & Karamacoska, D. (2016). ERP Go/NoGo condition effects are better detected with separate PCAs. *International Journal of Psychophysiology*, 106, 50-64. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.06.003>
- Beck, A. T., & Emery, G. (1985). *Anxiety disorders and phobias. A cognitive perspective*. New York: Basic.
- Beck, A. T., Emery, G., & Greenberg, R. L. (2005). *Anxiety disorders and phobias : A cognitive perspective*. Basic Books.
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Brown, G. K. (1996). Beck depression inventory-II. *San Antonio*, 78(2), 490-498.
- Berntson, G. G., Bigger, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., ... Stone, P. H. (1997). Heart rate variability : Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34(6), 623-648. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x>
- Berntson, G. G., Sarter, M., & Cacioppo, J. T. (1998). Anxiety and cardiovascular reactivity : The basal forebrain cholinergic link. *Behavioural Brain Research*, 94(2), 225-248.
- Bradley, M. M. (2009). Natural selective attention : Orienting and emotion. *Psychophysiology*, 46(1), 1-11. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00702.x>
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation I: defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion*, 1(3), 276.
- Bradley, M. M., Miccoli, L., Escrig, M. A., & Lang, P. J. (2008). The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. *Psychophysiology*, 45(4), 602-607. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00654.x>
- Bradley, M. M., Sapigao, R. G., & Lang, P. J. (2017). Sympathetic ANS modulation of pupil diameter in emotional scene perception : Effects of hedonic content, brightness, and contrast. *Psychophysiology*, 54(10), 1419-1435. <https://doi.org/10.1111/psyp.12890>
- Bylsma, L. M., Morris, B. H., & Rottenberg, J. (2008). A meta-analysis of emotional reactivity in major depressive disorder. *Clinical Psychology Review*, 28(4), 676-691. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2007.10.001>
- Calvo, M. G., Avero, P., & Nummenmaa, L. (2011). Primacy of emotional vs. Semantic scene recognition in peripheral vision. *Cognition & Emotion*, 25(8), 1358-1375. <https://doi.org/10.1080/02699931.2010.544448>
- Calvo, M. G., & Lang, P. J. (2005). Parafoveal semantic processing of emotional visual scenes. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 31(3), 502-519. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.31.3.502>
- Calvo, M. G., Nummenmaa, L., & Hyönä, J. (2008). Emotional scenes in peripheral vision : Selective orienting and gist processing, but not content identification. *Emotion (Washington, D.C.)*, 8(1), 68-80. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.8.1.68>
- Carvalho, N., Laurent, E., Noiret, N., Chopard, G., Haffen, E., Bennabi, D., & Vandel, P. (2015). Eye movement in unipolar and bipolar depression : A systematic review of the literature. *Frontiers in psychology*, 6, 1809.
- Cavanagh, J., & Geisler, M. W. (2006). Mood effects on the ERP processing of emotional intensity in faces : A P3 investigation with depressed students. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 60(1), 27-33. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2005.04.005>
- Chua, P., & Dolan, R. (2000). *The neurobiology of anxiety and anxiety-related disorders : A functional neuroimaging perspective*. Academic Press.

Critchley, H. D. (2002). Electrodermal Responses : What Happens in the Brain. *The Neuroscientist*, 8(2), 11. <https://doi.org/10.1177/107385840200800209>

Delplanque, S., N'diaye, K., Scherer, K., & Grandjean, D. (2007). Spatial frequencies or emotional effects? : A systematic measure of spatial frequencies for IAPS pictures by a discrete wavelet analysis. *Journal of neuroscience methods*, 165(1), 144-150. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.05.030>

D'Hondt, F., Szaffarczyk, S., Sequeira, H., & Boucart, M. (2016). Explicit and implicit emotional processing in peripheral vision : A saccadic choice paradigm. *Biological Psychology*, 119, 91-100. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.07.014>

Fox, E., Russo, R., Bowles, R., & Dutton, K. (2001). Do threatening stimuli draw or hold visual attention in subclinical anxiety? *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 681.

Frontier, S. (1976). Étude de la décroissance des valeurs propres dans une analyse en composantes principales : Comparaison avec le modèle du bâton brisé. *Journal of experimental marine Biology and Ecology*, 25(1), 67-75.

Gerdes, A. B., Alpers, G. W., & Pauli, P. (2008). When spiders appear suddenly : Spider-phobic patients are distracted by task-irrelevant spiders. *Behaviour Research and Therapy*, 46(2), 174-187.

Gotlib, I. H., & Joormann, J. (2010). Cognition and depression : Current status and future directions. *Annual Review of Clinical Psychology*, 6, 285-312. <https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.121208.131305>

Hallion, L. S., & Ruscio, A. M. (2011). A meta-analysis of the effect of cognitive bias modification on anxiety and depression. *Psychological Bulletin*, 137(6), 940-958. <https://doi.org/10.1037/a0024355>

Hanatani, T., Sumi, N., Taguchi, S., Fujimoto, O., NAN-NO, H., & Takeda, M. (2005). Event-related potentials in panic disorder and generalized anxiety disorder. *Psychiatry and clinical neurosciences*, 59(1), 83-88.

Heller, W., Nitschke, J. B., Etienne, M. A., & Miller, G. A. (1997). Patterns of regional brain activity differentiate types of anxiety. *Journal of abnormal psychology*, 106(3), 376.

Hepsomali, P., Hadwin, J. A., Liversedge, S. P., & Garner, M. (2017). Pupillometric and saccadic measures of affective and executive processing in anxiety. *Biological Psychology*, 127, 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.05.013>

Ioannou, S., Gallese, V., & Merla, A. (2014). Thermal infrared imaging in psychophysiology : Potentialities and limits: Thermal infrared imaging in psychophysiology. *Psychophysiology*, 51(10), 951-963. <https://doi.org/10.1111/psyp.12243>

Jennings, J. R., & van der Molen, M. W. (2005). Preparation for speeded action as a psychophysiological concept. *Psychological bulletin*, 131(3), 434.

Kosonogov, V., De Zorzi, L., Honoré, J., Martínez-Velázquez, E. S., Nandrino, J.-L., Martínez-Selva, J. M., & Sequeira, H. (2017). Facial thermal variations : A new marker of emotional arousal. *PLoS ONE*, 12(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183592>

Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M., & Hamm, A. O. (1993). Looking at pictures : Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, 30(3), 261-273. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1993.tb03352.x>

Legendre, P., & Legendre, L. F. (2012). *Numerical ecology* (Vol. 24). Elsevier.

Li, W., Zinbarg, R. E., & Paller, K. A. (2007). Trait anxiety modulates supraliminal and subliminal threat : Brain potential evidence for early and late processing influences. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 7(1), 25-36.

Liversedge, S. P., & Findlay, J. M. (2000). Saccadic eye movements and cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(1), 6-14. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01418-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01418-7)

Lucas, N., & Vuilleumier, P. (2008). Effects of emotional and non-emotional cues on visual search in neglect patients : Evidence for distinct sources of attentional guidance. *Neuropsychologia*, 46(5), 1401-1414. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.12.027>

MacLeod, C., & Mathews, A. (2012). Cognitive bias modification approaches to anxiety. *Annual Review of Clinical Psychology*, 8, 189-217. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032511-143052>

Mahlberg, R., Steinacher, B., Mackert, A., & Flechtner, K.-M. (2001). Basic parameters of saccadic eye movements—differences between unmedicated schizophrenia and affective disorder patients. *European archives of psychiatry and clinical neuroscience*, 251(5), 205-210.

Maurage, P., Campanella, S., Philippot, P., de Timary, P., Constant, E., Gauthier, S., ... Noël, X. (2008). Alcoholism leads to early perceptive alterations, independently of comorbid depressed state: An ERP study. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38(2), 83-97.

McEwen, B. S., & Stellar, E. (1993). Stress and the individual: Mechanisms leading to disease. *Archives of internal medicine*, 153(18), 2093-2101.

Mogg, K., & Bradley, B. P. (2016). Anxiety and attention to threat: Cognitive mechanisms and treatment with attention bias modification. *Behaviour Research and Therapy*, 87, 76-108.

Mundfrom, D. J., Shaw, D. G., & Ke, T. L. (2005). Minimum sample size recommendations for conducting factor analyses. *International Journal of Testing*, 5(2), 159-168.

Naveteur, J., & Freixa I Baque, E. (1987). Individual differences in electrodermal activity as a function of subjects' anxiety. *Personality and Individual Differences*, 8(5), 615-626. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(87\)90059-6](https://doi.org/10.1016/0191-8869(87)90059-6)

Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)

Pauli, P., Amrhein, C., Mühlberger, A., Dengler, W., & Wiedemann, G. (2005). Electrocortical evidence for an early abnormal processing of panic-related words in panic disorder patients. *International Journal of Psychophysiology*, 57(1), 33-41.

Peckham, A. D., McHugh, R. K., & Otto, M. W. (2010). A meta-analysis of the magnitude of biased attention in depression. *Depression and anxiety*, 27(12), 1135-1142.

Pflugshaupt, T., Mosimann, U. P., von Wartburg, R., Schmitt, W., Nyffeler, T., & Müri, R. M. (2005). Hypervigilance—avoidance pattern in spider phobia. *Journal of anxiety disorders*, 19(1), 105-116.

Pourtois, G., Delplanque, S., Michel, C., & Vuilleumier, P. (2008). Beyond conventional event-related brain potential (ERP): Exploring the time-course of visual emotion processing using topographic and principal component analyses. *Brain Topography*, 20(4), 265-277. <https://doi.org/10.1007/s10548-008-0053-6>

Rigoulot, S., Delplanque, S., Desprez, P., Defoort-Dhellemmes, S., Honoré, J., & Sequeira, H. (2008). Peripherally presented emotional scenes: A spatiotemporal analysis of early ERP responses. *Brain Topography*, 20(4), 216-223. <https://doi.org/10.1007/s10548-008-0050-9>

Rigoulot, S., D'Hondt, F., Defoort-Dhellemmes, S., Desprez, P., Honoré, J., & Sequeira, H. (2011). Fearful faces impact in peripheral vision: Behavioral and neural evidence. *Neuropsychologia*, 49(7), 2013-2021. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.03.031>

Rigoulot, S., D'Hondt, F., Honoré, J., & Sequeira, H. (2012). Implicit emotional processing in peripheral vision: Behavioral and neural evidence. *Neuropsychologia*, 50(12), 2887-2896. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.08.015>

Rohner, J.-C. (2002). The time-course of visual threat processing: High trait anxious individuals eventually avert their gaze from angry faces. *Cognition & Emotion*, 16(6), 837-844.

Rosignol, M., Philippot, P., Douilliez, C., Crommelinck, M., & Campanella, S. (2005). The perception of fearful and happy facial expression is modulated by anxiety: An event-related potential study. *Neuroscience letters*, 377, 115-120. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2004.11.091>

Rottenberg, J., Gross, J. J., & Gotlib, I. H. (2005). Emotion Context Insensitivity in Major Depressive Disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, 114(4), 627-639. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.114.4.627>

Schwerdtfeger, A. (2006). Trait anxiety and autonomic indicators of the processing of threatening information: A cued S1–S2 paradigm. *Biological Psychology*, 72(1), 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.07.008>

Sequeira, H., Hot, P., Silvert, L., & Delplanque, S. (2009). Electrical autonomic correlates of emotion. *International Journal of Psychophysiology*, 71(1), 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.07.009>

Shapiro, K. L., & Lim, A. (1989). The impact of anxiety on visual attention to central and peripheral events. *Behaviour research and therapy*, 27(4), 345-351.

Spielberger, C. D., & Gorsuch, R. L. (1983). State-trait anxiety inventory for adults : Sampler set : Manual, test, scoring key. Mind Garden.

Sumich, A., Harris, A., Flynn, G., Whitford, T., Tunstall, N., Kumari, V., ... Williams, L. M. (2006). Event-related potential correlates of depression, insight and negative symptoms in males with recent-onset psychosis. *Clinical neurophysiology*, 117(8), 1715-1727.

Sumich, A. L., Kumari, V., Heasman, B. C., Gordon, E., & Brammer, M. (2006). Abnormal asymmetry of N200 and P300 event-related potentials in subclinical depression. *Journal of affective disorders*, 92(2-3), 171-183.

Wenzler, S., Hagen, M., Tarvainen, M. P., Hilke, M., Ghirmai, N., Huthmacher, A.-C., ... Oertel-Knöchel, V. (2017). Intensified emotion perception in depression: Differences in physiological arousal and subjective perceptions. *Psychiatry Research*, 253, 303-310. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.03.040>

Wieser, M. J., Pauli, P., & Mühlberger, A. (2009). Probing the attentional control theory in social anxiety: An emotional saccade task. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 9(3), 314-322.

Yee, C. M., & Miller, G. A. (1988). Emotional information processing: Modulation of fear in normal and dysthymic subjects. *Journal of Abnormal Psychology*, 97(1), 54.

Yiend, J., & Mathews, A. (2001). Anxiety and attention to threatening pictures. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 54(3), 665-681.

Supplementary Data

Stimuli

In the picture selection, the valence and activation values are as disjoint as possible (except the activation values of the pleasant and unpleasant categories, which are, on the contrary, as similar as possible, Figure S1), which minimizes the probability of category changes in the experimental population.

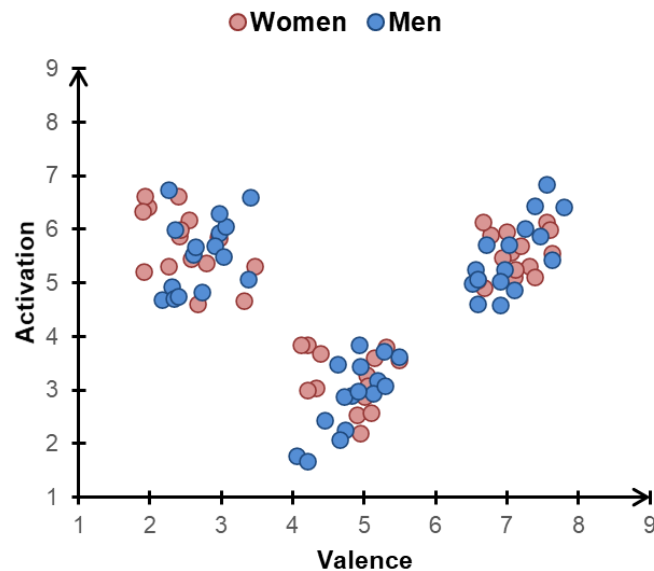


Figure S1. A priori valence and activation values, for women and men, of the pictures selected from the International Affective Picture System (IAPS, Lang, Bradley, & Cuthbert, 2008).

List of IAPS identification numbers for selected pictures by gender (N = 48): For **women**, unpleasant: 2375.1, 2683, 2753, 3220, 3550.1, 4770, 6834, 9520, 6243, 6410, 6610, 9320, 9390, 9611, 9621, 9630, neutral: 2191, 2206, 2221, 2271, 2357, 2393, 2840, 2890, 6150, 7002, 7006, 7020, 7160, 7186, 7207, 7700; pleasant: 2208, 2346, 2389, 4532, 4535, 4601, 4608, 4650, 5450, 7220, 7260, 7481, 8162, 8210, 8503, 8531. For **men**, unpleasant: 2095, 2730, 2800, 3301, 6821, 9050, 9810, 9910, 7359, 7380, 9300, 9301, 9340, 9611, 9630, 9920; neutral: 2005, 2190, 2191, 2383, 2385, 2393, 2440, 4510, 5390, 5534, 5535, 7002, 7006, 7031, 7100, 7184; pleasant: 2303, 2345, 4150, 4598, 4601, 4608, 5470, 8380, 5450, 7260, 7280, 7289, 7460, 8210, 8500, 8510.

Table S1. Physical properties from the pictures selected. Mean value and standard deviation of pictures physical properties for women and men and for unpleasant (U), neutral (N) and pleasant (P) conditions. R = red, B = blue, G = green, KB = kilobytes.

	Women			Men		
	U	N	P	U	N	P
Valence	2.53 (0.49)	4.82 (0.43)	7.1 (0.33)	2.71 (0.4)	4.84 (0.4)	7.06 (0.42)
Activation	5.73 (0.63)	3.18 (0.51)	5.52 (0.41)	5.56 (0.68)	2.9 (0.68)	5.51 (0.67)
Luminance	85.47 (41.4)	81.2 (38.16)	70.04 (35.04)	87.59 (37.25)	83.32 (41.1)	81.99 (32.49)
Contrast	65.35 (11.69)	64.58 (21.25)	65.6 (16.7)	65.53 (15.31)	62.05 (16.13)	61.5 (15.13)
Luminance (R)	98.38 (41.31)	95.28 (39.53)	81.72 (38.5)	104.1 (39.66)	100.56 (43.11)	98.27 (31.53)
Contrast (R)	74.05 (12.03)	73.54 (22.1)	77.2 (16.08)	71.57 (14.8)	72.32 (14.65)	73.47 (13.3)
Luminance (G)	84.93 (45.62)	78.47 (39.55)	69.28 (35.77)	85.78 (38.07)	80.57 (40.98)	79.64 (34.44)
Contrast (G)	65.99 (12.19)	67.9 (22.49)	66.67 (18.61)	67.27 (16.3)	63.83 (18.24)	64.41 (16.47)
Luminance (B)	73.14 (42.97)	69.87 (41.49)	59.11 (37.65)	72.9 (39.17)	68.82 (43.43)	68.05 (40.88)
Contrast (B)	61.05 (19.76)	63.96 (22.94)	63.12 (19.12)	64.35 (21.28)	58.79 (23.46)	58.72 (23.13)
Low frequencies (Grey)	-0.83 (4.11)	-0.24 (6.01)	-0.43 (4.17)	0.54 (6.23)	-1.28 (4.29)	-0.61 (4.05)
High frequencies (Grey)	-0.25 (0.64)	0.27 (1.42)	-0.08 (0.86)	-0.08 (0.81)	0.03 (0.91)	-0.12 (0.43)
Low frequencies (R)	-0.65 (3.06)	-0.47 (4.98)	0.36 (4.22)	-0.12 (4.69)	-0.91 (3.39)	0.19 (3.96)
High frequencies (R)	-0.21 (0.67)	0.15 (1.07)	-0.09 (0.75)	-0.09 (0.74)	0.01 (0.78)	-0.13 (0.4)
Low frequencies (G)	-0.71 (3.9)	-0.49 (4.95)	-0.49 (3.93)	0.41 (5.61)	-1.46 (4.16)	-0.81 (3.95)
High frequencies (G)	-0.26 (0.61)	0.17 (1.16)	-0.1 (0.77)	-0.11 (0.73)	0 (0.85)	-0.15 (0.39)
Low frequencies (B)	-0.3 (4.22)	-0.38 (5.06)	-0.32 (3.59)	1.14 (6.25)	-1.23 (4.33)	-1.05 (5.02)
High frequencies (B)	-0.19 (0.76)	0.12 (1.16)	-0.07 (0.83)	-0.07 (0.84)	0.04 (0.99)	-0.17 (0.45)
Size (KB)	43814.44 (8131.23)	44243.81 (10327.95)	40923.75 (9282.14)	45259.75 (8454.32)	45131.44 (7703.33)	43910.44 (7776.95)

Exploratory Results: Opposite Effects Between Anxiety and Depression

Introduction

Anxiety and depression share the highest frequency of comorbidities (Zbozinek et al., 2012) even in the subclinical population, notably when measured through self-reported scales (Haaga, McDermut, & Ahrens, 1993; Karagözoğlu, Masten, & Baloğlu, 2005). Results showed

that anxiety and depression, separately modulate autonomic responses according to the visual position and the emotional content of the stimuli. This association between anxiety and depression makes it difficult to disentangle the influence of each symptomatology on the emotional processing and reactivity. Otherwise, the hypervigilance and state of alertness observed in anxiety (Chua & Dolan, 2000; Bar-Haim et al., 2007) result in an increase of attentional resources dedicated to the PV in order to detect potentially relevant stimuli (MacLeod and Mathews, 2012). On the contrary, depression is characterized by psychomotor retardation and deficits in visual orienting and in sustained and executive attention (Paelecke-Habermann et al., 2005) which disturb visual exploration leading to an increase in reaction time, especially in prosaccade and anti-saccade tasks (Mahlberg, Steinacher, Mackert, & Flechtner, 2001; Carvalho et al., 2015), fewer saccades and longer mean fixation than controls (Li et al., 2016). Overall, contrary to what is observed in anxiety, a decrease in attentional resources dedicated to the PV, with a less visual exploration, can be hypothesized in depression. Hence taking both the position and the emotional content of the pictures into account could allow the distinction of anxiety and depression.

Material and methods

Participants

In order to analyse, in an exploratory manner, the interaction between anxiety and depression, participants were split in four groups according to anxiety, based on the trait Anxiety Inventory (STAI-B; Spielberger & Gorsuch, 1983) and to depression based on the Beck Depression Inventory (BDI-II; Beck, Steer, & Brown, 1996), by means of the median split (STAI-B median = 43.5 and BDI median = 10) as used in previous studies (Mialet et al., 1996 ; Gold et al., 2004). The control group was composed of participants with low anxiety and low depression (CT N = 22, 12 females and 10 males); the anxious group was composed of participants with high anxiety and low depression (AN N = 8, 4 females and 4 males); the depressed group was composed of participants with low anxiety and high depression (DE N = 7, 3 females and 4 males); and the mixed anxiety and depression group was composed of participants with high anxiety and high depression (AD N = 21, 11 females and 10 males).

Statistical Analysis

Regarding emotion and according to its dimensional theory (Lang et al., 1993), we expected two emotional effects: 1) a valence effect (Unpleasant vs. Pleasant), being modeled by a first degree polynomial contrast (*Linear Contrast*, LC = Unpleasant – Pleasant); and 2) an arousal effect (Emotion vs. Neutral) being modeled by a second degree polynomial contrast (*Quadratic Contrast*, QC = [Unpleasant + Pleasant]/2 – Neutral). Moreover, the use of linear and quadratic contrast allows for the totality of the variability caused by emotional factors to be

considered. Regarding position, the effects of laterality were not considered here, thus the analyses focused on the effects of eccentricity (Centre vs. Periphery) being modeled by a second-degree polynomial contrast (*Quadratic Contrast*, $QC = [Left + Right]/2 - Centre$).

The effect of the group on these contrasts were assessed by Kruskal-wallis (KW) tests applied to the principal factors yielded by the PCA for each autonomic variable. Dunn's test for multiple comparisons between groups was also performed.

Results

The interaction effect between anxiety and depression was observed on the eccentricity effect observed on mydriasis as identified by the F3 factor ($KW_3 = 10.35$; $p = 0.016$). Pairwise comparisons indicate a different eccentricity effect between CT and AN (Dunn-Bonferroni post hoc, $p = 0.011$) with greater pupil diameter to PV stimulation for AN than for CT.

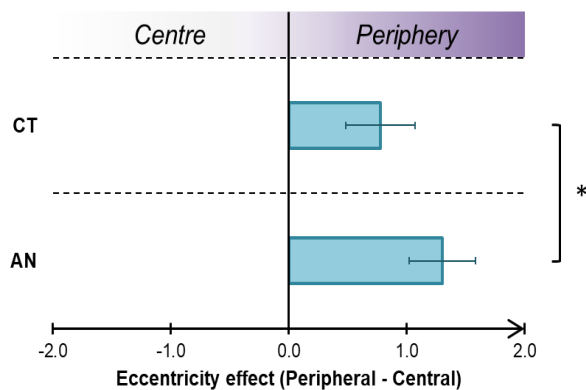


Figure S2. Effect of eccentricity on post-light reflex dilation according to anxiety without depression. Effect of arousal (*Quadratic Contrast*, $QC = Emotion - Neutral$) in CT (top) and AN (bottom) participants. Positive values indicate greater pupil diameter during post-light reflex for stimuli presented in PV than for stimuli presented in CV (* $p < 0.05$). Histograms represent the median and error bars represent the interquartile intervals.

The interaction effect between anxiety and depression was also observed on the arousal effect on the HR return to baseline ($KW_3 = 19.23$; $p < 0.001$). Pairwise comparisons indicate a different arousal effect between AD and DE (Dunn-Bonferroni post hoc, $p = 0.001$) and AD and CT (Dunn-Bonferroni post hoc, $p = 0.015$). While CT and DE showed greater HR in response to neutral pictures, AD showed greater HR to emotional ones during the HR return to baseline.

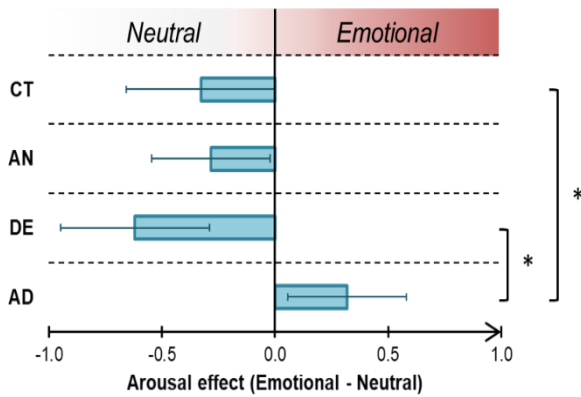


Figure S3. Effect of arousal on return of heart rate to baseline according to anxiety and depression. Effect of arousal (Quadratic Contrast, QC = Emotion – Neutral) in CT, AN, DE, and AD participants. Positive values indicate a quicker return of heart rate to baseline for emotional than for neutral pictures (* $p < 0.05$). Histograms represent the median and error bars represent the interquartile intervals.

The interaction effect between anxiety and depression was also observed on the valence effect depending on eccentricity on the return of HR to baseline ($KW_3 = 10.66$; $p = 0.014$). Pairwise comparisons indicate a different eccentricity effect depending on the valence between DE and AD (Dunn-Bonferroni post hoc, $p = 0.009$). DE showed a greater HR in response to unpleasant pictures presented in CV and greater HR to pleasant pictures in PV, while AD showed greater HR to unpleasant pictures presented in PV and no valence effect in CV.

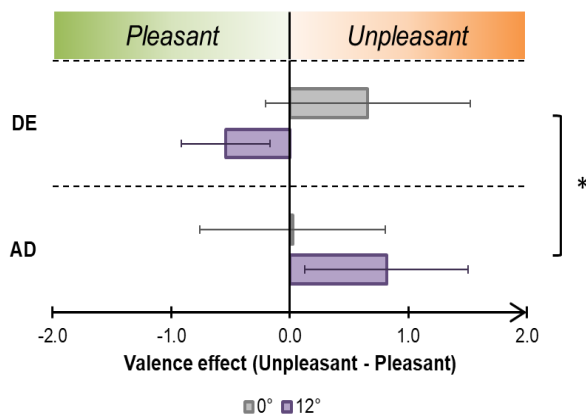


Figure S4. Effect of valence on return of heart rate to baseline according to anxiety and depression. Effect of valence (Linear Contrast, QC = Unpleasant – pleasant) in DE and AD participants. Positive values indicate a quicker return of heart rate to baseline for unpleasant than for pleasant pictures (* $p < 0.05$). Histograms represent the median and error bars represent the interquartile intervals.

Discussion

While low anxious symptomatology and low depressive symptomatology led to a greater HR in response to neutral pictures compared to emotional ones, such arousal effect was not observed in high anxious and high depressive individuals separately. The exploratory results showed that anxiety without depression and depression without anxiety led to greater HR in response to neutral pictures while mixed anxiety/depressive symptoms lead to a high HR to emotion. The hyperreactivity observed on return of HR to baseline would result from the association between anxiety and depression only.

The effects of anxiety and depression seem to differ when both emotion and the visual position are taken into account. Indeed, anxiety and depression lead to a greater HR to

unpleasant pictures whatever the visual position. The exploratory results showed that depression without anxiety is associated with a greater reactivity to unpleasant pictures presented in CV, while when anxiety is associated with depressive symptomatology, this hyperreactivity to unpleasant is only observed in PV. The greater reactivity to unpleasant information observed in depression without anxiety supports the negative potentiation hypothesis (Wenzler et al., 2017) by showing its relevance in CV but not in PV. Thus, non-comorbid depressive symptomatology leads to increased processing of negative information associated with a CV focus, consistent with fewer saccades and longer fixation observed in depressed patients (Li et al., 2016), which in turn suggests that depressed individuals make less visual exploration. These results confirm what has been observed in patients with major depressive disorder who showed a negativity bias and enhanced autonomic responses for CV but not PV (De Zorzi et al., 2020).

Otherwise, while anxiety is associated with a greater pupil dilation in response to PV presentation and a greater HR in response to unpleasant pictures, mixed anxio-depressive symptomatology is associated with a hyperreactivity to unpleasant pictures presented in PV. This probably means that depression guides hypervigilance towards aversive cues in PV and thus increases the state of alert in anxious participants. Hence, when anxious comorbidity is involved, the negative potentiation hypothesis (Wenzler et al., 2017) seems relevant in PV, which is consistent with the increase in resources allocated to the PV by anxious participants.

This visuospatial modulation of reactivity to unpleasant information is of significant relevance in light of cognitive theories which propose that negative biases, or a tendency to process unpleasant information preferentially, play a central role in the onset and maintenance of anxiety and depression (Beck & Clark, 1997; Eysenck, 1992; Hallion & Ruscio, 2011; Mathews & MacLeod, 1994; Williams & Andersen, 1997).

References

- Bar-Haim, Y., Lamy, D., Pergamin, L., Bakermans-Kranenburg, M. J., & Van Ijzendoorn, M. H. (2007). Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals: A meta-analytic study. *Psychological bulletin*, 133(1), 1.
- Beck, A. T., & Clark, D. A. (1997). An information processing model of anxiety: Automatic and strategic processes. *Behaviour Research and Therapy*, 35(1), 49-58. [https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(96\)00069-1](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(96)00069-1)
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Brown, G. K. (1996). Beck depression inventory-II. *San Antonio*, 78(2), 490-498.
- Carvalho, N., Laurent, E., Noiret, N., Chopard, G., Haffen, E., Bennabi, D., & Vandel, P. (2015). Eye movement in unipolar and bipolar depression: A systematic review of the literature. *Frontiers in psychology*, 6, 1809.
- Chua, P., & Dolan, R. (2000). *The neurobiology of anxiety and anxiety-related disorders: A functional neuroimaging perspective*. Academic Press.
- De Zorzi, L., Robin, M. S., Honoré, J., Bubrovsky, M., Vaiva, G., & Sequeira, H. (2020). Depression restricts visual capture and promotes the perception of negative information. *Biological Psychology*, 154, 107923. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2020.107923>

Eysenck, M. W. (1992). *Anxiety: The cognitive perspective*. Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Gold, S. M., Zakowski, S. G., Valdimarsdottir, H. B., & Bovbjerg, D. H. (2004). Higher Beck depression scores predict delayed epinephrine recovery after acute psychological stress independent of baseline levels of stress and mood. *Biological Psychology*, 67(3), 261-273. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2003.12.001>

Haaga, D. A., McDermut, W., & Ahrens, A. H. (1993). Discriminant validity of the Inventory to Diagnose Depression. *Journal of Personality Assessment*, 60(2), 285-289.

Hallion, L. S., & Ruscio, A. M. (2011). A meta-analysis of the effect of cognitive bias modification on anxiety and depression. *Psychological Bulletin*, 137(6), 940-958. <https://doi.org/10.1037/a0024355>

Karagözoğlu, C., Masten, W. G., & Baloğlu, M. (2005). Evidence for differentiating between anxiety and depression in Turkish college students. *Social Behavior and Personality: an international journal*, 33(6), 579-586.

Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (2008). *International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual*. University of Florida, Gainesville, FL, Technical Report A-8.

Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M., & Hamm, A. O. (1993). Looking at pictures : Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, 30(3), 261-273. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1993.tb03352.x>

Li, Y., Xu, Y., Xia, M., Zhang, T., Wang, J., Liu, X., ... Wang, J. (2016). Eye movement indices in the study of depressive disorder. *Shanghai archives of psychiatry*, 28(6), 326.

MacLeod, C., & Mathews, A. (2012). Cognitive bias modification approaches to anxiety. *Annual Review of Clinical Psychology*, 8, 189-217. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032511-143052>

Mahlberg, R., Steinacher, B., Mackert, A., & Flechtner, K.-M. (2001). Basic parameters of saccadic eye movements—differences between unmedicated schizophrenia and affective disorder patients. *European archives of psychiatry and clinical neuroscience*, 251(5), 205-210.

Mathews, A., & MacLeod, C. (1994). Cognitive approaches to emotion and emotional disorders. *Annual Review of Psychology*, 45, 25-50. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.45.020194.000325>

Mialet, J., Bisserbe, J., Jacobs, A., & Pope, H. (1996). Two-dimensional anxiety: A confirmation using a computerized neuropsychological testing of attentional performance. *European Psychiatry*, 11(7), 344-352. [https://doi.org/10.1016/S0924-9338\(97\)81057-7](https://doi.org/10.1016/S0924-9338(97)81057-7)

Paelecke-Habermann, Y., Pohl, J., & Leplow, B. (2005). Attention and executive functions in remitted major depression patients. *Journal of Affective Disorders*, 89(1-3), 125-135. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2005.09.006>

Peckham, A. D., McHugh, R. K., & Otto, M. W. (2010). A meta-analysis of the magnitude of biased attention in depression. *Depression and anxiety*, 27(12), 1135-1142.

Spielberger, C. D., Bruchon-Schweitzer, M., & Paulhan, I. (1993). *STAI-Y : Inventaire d'anxiété état-trait forme Y*. Éditions du centre de psychologie appliquée, DL 1993.

Wenzler, S., Hagen, M., Tarvainen, M. P., Hilke, M., Ghirmai, N., Huthmacher, A.-C., ... Oertel-Knöchel, V. (2017). Intensified emotion perception in depression: Differences in physiological arousal and subjective perceptions. *Psychiatry Research*, 253, 303-310. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.03.040>

Williams, J. M., & Andersen, M. B. (1997). Psychosocial Influences on Central and Peripheral Vision and Reaction Time During Demanding Tasks. *Behavioral Medicine*, 22(4), 160-167. <https://doi.org/10.1080/08964289.1997.10543549>

Zbozinek, T. D., Rose, R. D., Wolitzky-Taylor, K. B., Sherbourne, C., Sullivan, G., Stein, M. B., ... Craske, M. G. (2012). Diagnostic overlap of generalized anxiety disorder and major depressive disorder in a primary care sample. *Depression and anxiety*, 29(12), 1065-1071. <https://doi.org/10.1002/da.22026>

2.

Differential impact of visual eccentricity on emotional reactivity: implications for anxious and depressive symptomatology

To be submitted

Lucas De Zorzi¹, **Stéphane Ranfaing**¹, Charlotte Roux¹, Jacques Honoré¹, Henrique Sequeira¹

¹UMR 9193 - SCALab - Sciences Cognitives et Sciences Affectives, CNRS, University of Lille, Lille, France.

2.1. Abstract

Background: Behavioural and autonomic dysregulation of emotion is reported in anxiety and depression. However, most experiments have focused on emotional stimuli presented in central vision (CV), although affective saliency has been observed in peripheral vision (PV).

Methods: Unpleasant (U), pleasant (P) and neutral (N) pictures from the International Affective Picture System were presented to 40 participants at three eccentricities (CV: 0°; PV: -12 and 12°). Anxious and depressive symptomatology was evaluated with STAI and BDI scores respectively. Participants had to categorise pictures on their emotional content while skin conductance (SC), heart rate (HR), and pupillary responses (PR) were recorded.

Results: Emotional pictures were better categorised than neutral ones in both CV and PV. Unpleasant pictures were better categorised than pleasant ones in CV but not in PV. An opposite pattern of autonomic arousal (SC, HR, PR) was observed between CV and PV. In CV, a response bias was associated with higher SC to unpleasant pictures, whereas this association was the opposite in PV. Finally, depression scores were associated with better categorisation of emotional pictures in CV, whereas trait-anxiety was associated with a response bias to unpleasant pictures in PV.

Limitations: The choice of subclinical populations limits the scope of our results to moderate levels of depression and anxiety.

Conclusions: Results suggest that the capacity of visual eccentricity to induce emotion reactivity is modulated by anxious and depressive symptomatology. These findings strengthen the usefulness of a central-peripheral visual model of behavioural stimulation to differentiate emotional reactivity dysfunctions in both affective disorders.

Keywords: Emotion, Peripheral vision, Autonomic, Skin Conductance, Depression, Anxiety.

2.2. Introduction

The perceptual and attentional selection of emotional information allows individuals to ensure their preservation and well-being (Vuilleumier, 2015). This selectivity has been observed in central vision (CV) and in peripheral vision (PV), despite its low acuity (D'Hondt et al., 2016). At behavioural level, a better categorisation performance of emotional relative to neutral pictures was observed with presentations in PV (Calvo and Lang, 2005; Fernández-Martín and Calvo, 2016; Nummenmaa et al., 2006), as well as a different decision criterion between emotional and neutral pictures during a recognition test (Calvo and Lang, 2005). Greater attentional selection has been reported in the literature for both pleasant relative to unpleasant (Calvo et al., 2015, 2014) and for unpleasant relative to pleasant (Simola et al., 2013). In addition, emotional stimuli occurring in PV interfere with the processing of information appearing in CV (Calvo and Nummenmaa, 2007; Calvo and Averó, 2008; D'Hondt et al., 2014, 2013). Hence, PV appears to be an alert system able to detect relevant information and summon sufficient attentional resources to challenge the priority of a CV task.

This privileged processing of emotional information also translates into a set of physiological responses, especially those depending on the autonomic nervous system (ANS). Autonomic changes are known to be related to the two main emotional dimensions, i.e. arousal, reflecting physiological and psychological levels of activation, and valence, reflecting the appetitive and aversive value of stimuli (Lang et al., 1993). Among autonomic expressions, electrodermal activity (EDA), often analysed as skin conductance responses (SCRs; Critchley, 2002; Sequeira et al., 2009), and pupil dilation (Bradley et al., 2008) have proved to be robust indices for revealing the arousal dimension of an emotional stimulus. Heart rate (HR) variations are indicative of the valence and arousal dimensions of the same stimulus: HR slows down in response to unpleasant cues while it increases with emotional arousal and pleasant stimuli (Bradley, 2009; Bradley et al., 2001; Lang et al., 1993). However, to our knowledge, autonomic responsiveness to emotional cues presented in PV has received little attention, in spite of the fact that emotional faces induce higher cortical activation than neutral ones when presented to up to 30° eccentricity (Rigoulot et al., 2012, 2011). In view of the above, the modulation of autonomic activities by the detection of emotional information in PV remains to be determined, and the link with the ability to categorise emotional from neutral information needs to be clarified.

Difficulties in the processing of emotional stimuli have repercussions on behaviour and autonomic activities, particularly in people with anxiety and depression. Anxious individuals tend to have a greater initial orientation towards threat followed by avoidance (Pflugshaupt et al., 2005; Rohner, 2002) or a difficulty in disengaging their attention from what they perceive

as threatening information (Fox et al., 2001; Yiend and Mathews, 2001). In addition, the threat detection threshold seems to be lower in people with anxiety, leading to misinterpretation of ambiguous situations and exaggeration of minor threats (Beck et al., 2005; Coussement and Heeren, 2015). At the autonomic level, the reactivity of individuals with trait-anxiety is associated with significantly high SCRs to emotional pictures (Najström and Jansson, 2006), indicating a sustained sympathetic mobilisation when they are exposed to emotional stimuli. In depression, an attentional bias towards unpleasant stimuli has also been well documented (e.g., Gotlib and Cane, 1987; Gotlib and McCann, 1984; Mathews et al., 1996; Rinck and Becker, 2005). Indeed, depression is associated with an increased perception of unpleasant stimuli (Wenzler et al., 2017) and with the attribution of unpleasant affects to neutral (Gollan et al., 2008) and pleasant stimuli (Falkenberg et al., 2012). Despite this behavioural consistency, the impact of depressive states on autonomic responses to emotion remains to be clarified. Depression has been associated with either a decreased autonomic reactivity to unpleasant stimuli (Bylsma et al., 2008) or an increased autonomic reactivity to emotional narratives (Schneider et al., 2012), sad films (Panaite et al., 2016) and unpleasant pictures (Wenzler et al., 2017). Importantly, depressive and anxiety disorders share the highest frequency of comorbidities (Zbozinek et al., 2012). The association between anxiety and depression has also been established in subclinical populations, particularly when it is assessed through self-reported scales (Haaga et al., 1993; Karagozoglu et al., 2005). This link between anxiety and depression makes it difficult to disentangle their mutual influence on emotional processing and autonomic reactivity.

Anxiety is characterised by a state of alertness and increased vigilance (Chua and Dolan, 2000). It is associated with an excessive propensity to control external stimuli (Pruneti et al., 2016) and manifests itself as greater monitoring of the visual environment (Bar-Haim et al., 2007). These expressions of hypervigilance may result in increased attentional resources, which could be extended to PV in order to detect potentially relevant stimuli (MacLeod and Mathews, 2012). On the contrary, depression is characterised by psychomotor retardation disturbing visual exploration leading to increased reaction times, especially in prosaccade and anti-saccade tasks (Carvalho et al., 2015; Mahlberg et al., 2001). In addition, in free-view tasks, patients with a depressive disorder show fewer saccades and longer fixation than controls (Li et al., 2016). Lastly, depressed individuals show deficits in visual orienting and in sustained and executive attention (Paelecke-Habermann et al., 2005). Overall, contrary to what is observed in anxiety, a decrease in attentional resources dedicated to PV with less visual exploration can be hypothesised in depression. However, the impact of emotional pictures projected in CV and PV remains elusive and no data is available about anxiety and depression. In this context, the use of a design based on central vs. peripheral emotional stimulation could

contribute to a better differentiation of anxious and depressive individuals, thanks to behavioural and autonomic expressions.

The aim of this study was thus twofold: 1/ to estimate the association between behavioural and autonomic responses to emotional pictures presented in CV and PV; and 2/ to assess the link between these responses and anxious and depressive symptomatology. We hypothesised that: 1/ emotional pictures are better categorised than neutral ones, even in PV; 2/ this better categorisation is associated with autonomic activation; 3/ anxiety is associated with greater reactivity, especially in PV, while depression is associated with lower performance and reactivity in the same peripheral eccentricities. We thus compared the categorisation performance of emotional pictures and the autonomic reactivity to these pictures presented in CV and in PV, and we assessed the association of these emotional effects on behaviour and autonomic activity with anxious and depressive symptomatology.

2.3. Material and methods

Participants

Forty healthy unmedicated participants (mean age 21.18 ± 2.23 ; 20 females) were recruited through an online questionnaire. They were all French speakers, right-handed (Edinburgh Handedness Inventory, EHI; Oldfield, 1971) and had a normal or corrected to normal vision (Snellen, 1862). Individuals with a history of neurological disorders or drug consumption were not included. Each participant provided an informed consent statement and received a 20-€ compensation for his/her participation. This study was approved by the Ethics Committee of the Université de Lille [Reference: 2018-1-S54] and conducted in accordance with the Declaration of Helsinki at Faculté de Médecine, Université de Lille, France.

To obtain a homogeneous distribution of anxiety and depressive symptoms across our sample, participants were recruited according to their scores at the Trait Anxiety Inventory (STAI-B; Spielberger et al., 1983) and Beck Depression Inventory (BDI-II Beck et al., 1996), respectively. Considering low (STAI-B ≤ 46) and high anxiety (STAI-B > 46) and low (BDI-II < 11) and high depression (BDI-II ≥ 11), we included 5 women and 5 men presenting low anxiety and low depression, high anxiety and high depression, low anxiety and high depression and high anxiety and low depression.

Apparatus and Stimuli

Participants were seated at a fixed viewing distance of 60 cm from the projection screen (30 inches, 2560x1600 resolution, DELL 3007WFP HC), which was connected to a computer (DELL Optiplex 9020, Windows 7 Professional) that controlled the presentation of pictures and recorded behavioural responses thanks to a homemade program (*MATLAB* software). The

pictures were displayed on a black background and each picture was presented pseudo-randomly based on a Latin square design, either in central vision (0°), in the left (-12°) or in the right peripheral (+12°) visual positions.

The stimuli corresponded to three sets of 16 pictures, either unpleasant (U), neutral (N) or pleasant (P), selected from the International Affective Picture System (IAPS; Lang et al., 2008), which provides *a priori* standardised values for each picture on valence and activation dimensions. Given the recognised differences in emotional evaluation according to gender (Bradley et al., 2001; Collignon et al., 2010), we selected three sets of pictures for each gender resulting in equivalent *a priori* valence and activation values. Both selections included 37 gender-specific and 11 common images.

The three sets of selected pictures significantly differed on valence (*women*: $U = 2.53$, $N = 4.82$, $P = 7.10$, $F_{1,15} = 457.30$; $p < 0.001$; *men*: $U = 2.71$, $N = 4.84$, $P = 7.06$, $F_{1,15} = 445.00$; $p < 0.001$). In terms of arousal, the unpleasant and pleasant sets did not differ but they were higher than the neutral sets (*women*: $U = 5.73$, $N = 3.18$, $P = 5.52$, $F_{1,15} = 182.81$; $p < 0.001$; *men*: $U = 5.56$, $N = 2.90$, $P = 5.51$, $F_{1,15} = 210.24$; $p < 0.001$). For each picture, the angular size (12°x8°), the spatial frequencies (Delplanque et al., 2007) and main physical properties were extracted (*ImageJ v1.50 software*), among which luminance and contrast for the greyscale version and the RGB (red, green and blue) layers. Besides, the complexity of digitised pictures was estimated in terms of the number of bytes of the compressed image file size in JPEG format (Calvo and Lang, 2005). All these picture properties were homogenised: no significant difference was observed between the three sets of pictures for both genders (Table S1). Therefore, the selected pictures differed only in terms of emotional dimensions.

Recordings

Skin conductance (SC) and electrocardiogram (ECG) were recorded during a baseline period, the task and a recovery period, using a BIOPAC MP35 system connected to a second computer with an ad hoc software (*BIOPAC Student Pro 3.7*), for an acquisition at 200 Hz. SC was recorded through bipolar Ag/AgCl surface electrodes (BIOPAC EL507), pre-gelled with an isotonic electrolyte (0.05 molar NaCl) and attached to the palmar side of the middle phalanges of the index and middle fingers of the participant's non-dominant hand. SC was measured with a 5 $\mu\text{S/V}$ gain, low-pass filtered at 10 Hz. The ECG was recorded using a DI modified bypass, placing the Ag/AgCl pre-gelled (BIOPAC EL503, 7% NaCl) surface electrodes on the participant's left and right wrists and with a band-pass filter set between 0.5 and 66.5 Hz.

Eye movements and pupil diameter were recorded using an eye tracker (SMI RED-m Eye Tracking System) connected to the projection computer with *SMI iView RED-m 2.11* software, for an acquisition at 120 Hz.

At the end of the experiment, the participant was asked to rate the valence and arousal values of all the pictures using the two nine-point SAM scales (Self-Assessment Manikin; Bradley and Lang, 1994), ranging from 1 (very unpleasant) to 9 (very pleasant), and from 1 (very calm) to 9 (very arousing), respectively. Ratings were recorded with *OpenSesame* (Mathôt et al., 2012).

Procedure

The experimental procedure was divided into three steps. *The first step* was devoted to the installation of electrodes, the acclimatisation of the participant to the experimental environment and the assessment of participants' anxiety state (State-Trait Anxiety Inventory, STAI-A; Spielberger et al., 1993). The task was then explained orally to the participants.

The second step started with autonomic recordings during a task-free 2-minute baseline period. This period was followed by recordings of behavioural and autonomic responses during the presentation of the 48 pictures, one at a time, in a pseudo-random order at the three eccentricities. Pictures were shown in 144 trials divided into 4 blocks of 36 trials, between which participants were given the opportunity to rest. Each trial corresponded to the following sequence: a fixation cross projected at the centre of the screen for a random duration between 1 to 2 seconds, then the picture projection for 300 ms, followed by a black screen for a random duration between 9 to 13 s. The inter-stimulus interval (ISI) therefore varied from 10 to 15 s, which is an ideal interval to avoid the habituation phenomenon often observed with autonomic signals, particularly in electrodermal activity. Participants had to categorise the image as unpleasant, neutral or pleasant thanks to a response box. They were instructed to keep their gaze on the central cross throughout the course of the experiment, a required behaviour to trigger the stimulation. Trials containing saccades were automatically re-projected once at the end during a fifth presentation block. After the task, the autonomic activity was still recorded during a 2-min recovery period.

Finally, to validate our selection of pictures, participants were asked to evaluate the valence and arousal dimensions using the two nine-point SAM scales. These subjective ratings reflect the *a posteriori* values of pictures.

Data Analyses

All trials containing saccades were rejected. Across all participants and conditions, 15% of the trials were rejected. The percentage of remaining trials did not differ between conditions (X^2 Yates = 2.8, df = 8, p = 0.945). All conditions were therefore represented by an equivalent number of trials.

Behavioural Data

Firstly, *a posteriori* values of valence and activation were given by each participant for each image. Secondly, signal detection theory (Stanislaw and Todorov, 1999) was applied to the accuracy of categorisation, considering either the set of unpleasant, neutral or pleasant images as the signal and the images of the other two sets as the noise. Based on the proportion of correct detections and false alarms, a sensitivity index (d') was calculated, greater d' value indicating a better ability to distinguish signal from noise. The response bias index (β) was calculated, a $\beta < 0$ indicating a bias towards the signal, reflecting a more liberal decision criterion with more false alarms, minimising omissions. Conversely, a $\beta > 0$ corresponds to a response bias towards noise, corresponding to a more conservative decision criterion resulting in a minimisation of false alarms and an increase in omissions. Thirdly, speed and accuracy in categorising pictures, respectively measured by reaction time (RT) and sensitivity (d'), were used to compute a Speed-Accuracy Composite Score (SACS, Collignon et al., 2010). The SACS is a general index of performance that rules out a possible speed/accuracy trade-off effect and measures the efficiency of the categorisation. In order to attribute the same weight to RT and d' across participants, the SACS is calculated by subtracting the normalised RT from the normalised d' [SACS = $z(d') - z(RT)$]. When the RT decreases and/or the d' increases, the efficiency increases.

Autonomic Data

The SC, ECG and pupil variations, were down sampled at 10 Hz using *LabChart7*. For the SC variations to pictures, the phasic waveforms were derived from the tonic signals with an offline 0.05 Hz high-pass filter using *AcqKnowledge 4.1* software. For the ECG, the instantaneous heart rate (HR) was calculated in beats per minute (BPM) from the R waves intervals and smoothed with the triangular Bartlett window with a 1-s width, using *LabChart7*. For the pupil responses (PR), eye blinks, which expressed themselves in the signal as sudden drops in pupil diameter, were eliminated and the missing data was linearly extrapolated. Pupil and HR variations in response to stimulation were obtained by subtracting the average over a 3-s pre-stimulus period to the 10-s post-stimulus period data. After baseline correction (-3 to 0 s), epochs were averaged (0 to 10 s) and time-locked to the stimulus onset for each condition and each participant.

Skin conductance responses were calculated by computing the integrals of SC amplitude over each averaged post-stimulation period for each condition and participant. HR deceleration and acceleration were calculated by integrating decreases and increases in HR over the post-stimulation period, respectively. Finally, reflex pupillary constriction was estimated by the

maximum post-stimulation decrease in pupil diameter. Pupil dilation was estimated by the maximum post-stimulation increase in pupil diameter.

Statistical Analysis

Regarding the subjective evaluation of pictures, the Pearson coefficient was calculated between *a priori* and *a posteriori* ratings. A repeated measure analysis of variance (ANOVA) was applied to *a posteriori* ratings with emotion as within-subject factor and gender as between-subject factor. Regarding emotion and according to its dimensional theory (Lang et al., 1993), we expected two emotional effects: 1) a valence effect (Unpleasant vs. Pleasant), being modelled by a first-degree polynomial contrast (Unpleasant – Pleasant); and 2) an arousal effect (Emotion vs. Neutral) being modelled by a second-degree polynomial contrast ($[(\text{Unpleasant} + \text{Pleasant})/2 - \text{Neutral}]$). The use of contrasts allows for the totality of the variability caused by emotional factors to be considered. Regarding position, the effects of laterality were not considered here so the analyses focused on the effects of eccentricity (Centre vs. Periphery), being modelled by a second-degree polynomial contrast ($[(\text{Left} + \text{Right})/2 - \text{Centre}]$).

These contrasts were assessed with a repeated measure ANOVA, applied to the behavioural and autonomic measures with emotional (unpleasant, neutral, pleasant) and position conditions (-12 °; 0 °; + 12 °) as within-subject factors. Finally, we calculated the correlation coefficients between the psychometric, behavioural and autonomic measures (Pearson's *r*). The significance threshold was set at $p < 0.05$ (bilateral).

2.4. Results

Subjective assessment of stimuli

A posteriori and *a priori* ratings were correlated for both genders on valence (*women*: $r_{47} = 0.95$, $p < 0.001$, FigureA; *men*: $r_{47} = 0.95$, $p < 0.001$, FigureB) and arousal (*women*: $r_{47} = 0.87$, $p < 0.001$, FigureC; *men*: $r_{47} = 0.78$, $p < 0.001$, FigureD). As expected, the participants' valence assessment differed according to the emotional category ($U = 1.96$, $N = 5.18$, $P = 7.15$; $F_{1,36} = 771.21$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.955$). Participants thus rated unpleasant pictures with a lower valence than pleasant ones, although the valence gap with neutral pictures was greater for unpleasant pictures ($F_{1,36} = 49.14$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.577$). The participants' arousal assessment also differed according to the emotional category ($U = 6.33$, $N = 2.93$, $P = 5.18$; $F_{1,36} = 233.49$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.866$). While unpleasant and pleasant pictures were evaluated as more arousing than neutral ones, the participants evaluated unpleasant pictures as more arousing than pleasant ones ($F_{1,36} = 52.69$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.594$).

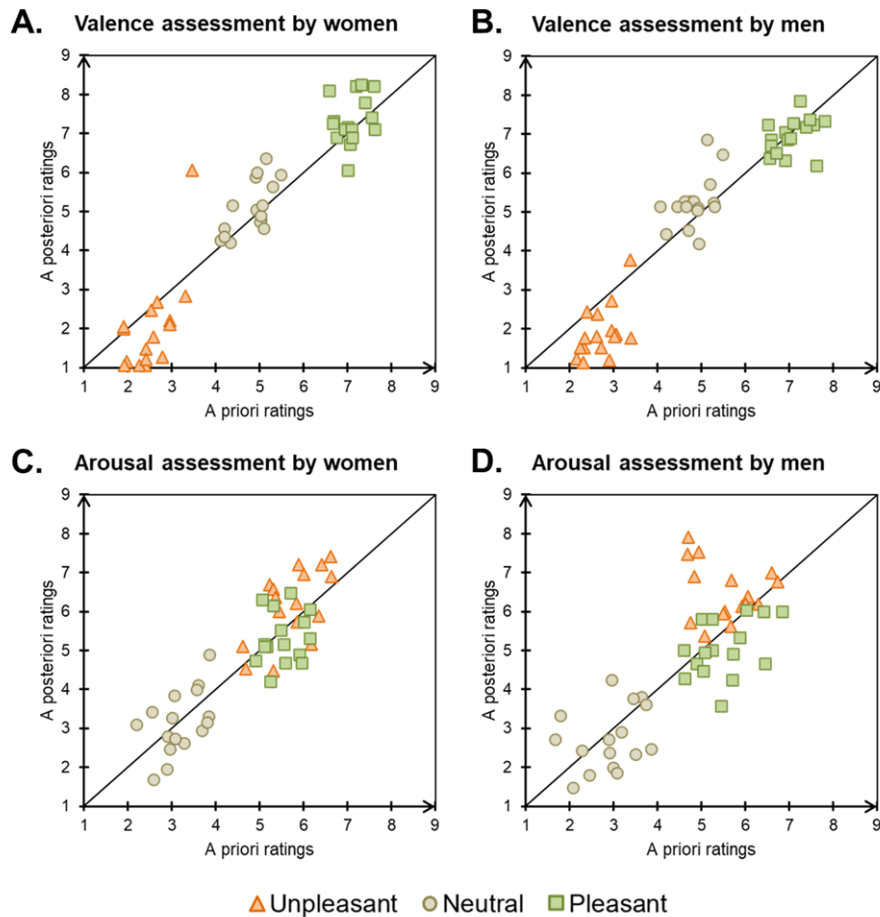


Figure 1. Validation of picture selection using correlations between standardised (a priori) ratings by International Affective Picture System (IAPS) and mean subjective (a posteriori) ratings of unpleasant and neutral pictures. Ratings for unpleasant, neutral and pleasant. (A) Valence ratings for women; (B) valence ratings for men; (C) arousal ratings for women; (D) arousal ratings for men.

Behavioural Data

Interactions between eccentricity and arousal ($F_{1,36} = 30.36$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.457$, Figure 2A) and between eccentricity and valence ($F_{1,36} = 13.76$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.277$, Figure 2B) were observed on the SACS. Participants showed greater performance in categorising emotional pictures than neutral ones, and in categorising unpleasant pictures than pleasant ones. The effect of arousal was greater in CV but still observed in PV (12° ; $p = 0.004$). The effect of valence was observed in CV (0° ; $p = 0.002$) but not in PV (12° ; $p = 0.681$).

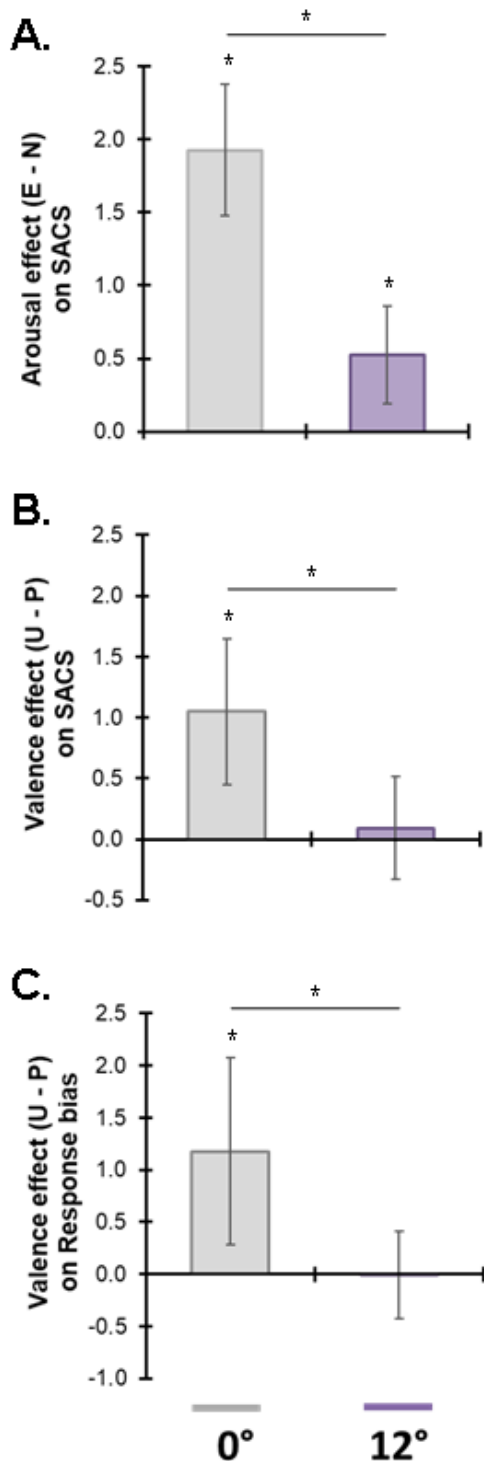


Figure 2. Effect of arousal and valence on the speed-accuracy composite scores and the response bias according to eccentricity of pictures. Effects of arousal (Emotion – Neutral) (A) and valence (Unpleasant – Pleasant) (B) on speed-accuracy composite scores (SACS), and effects of valence (Unpleasant – Pleasant) on response bias parameter from signal detection theory (C) for stimulation presented in central (0°) and peripheral (12°) vision. Positive values indicate greater performance in categorising emotional than neutral pictures and greater performance with unpleasant than with pleasant pictures (* $p < 0.05$). Error bars represent 95% confidence interval.

The interaction between eccentricity and valence also reached significance for the response bias ($F_{1,36} = 6.67$, $p = 0.016$, $\eta^2 = 0.211$, Figure 2C), as it was greater for unpleasant than for pleasant stimuli in CV (0°: $F_{1,36} = 7.94$, $p = 0.008$) but not in PV (12°: $F_{1,36} = 0.002$, $p = 0.965$). This corresponds to a more conservative decision criterion for unpleasant cues, with fewer false alarms in CV. The interaction between eccentricity and arousal did not reach significance ($F_{1,36} = 1.31$, $p = 0.263$, $\eta^2 = 0.050$).

Physiological Data

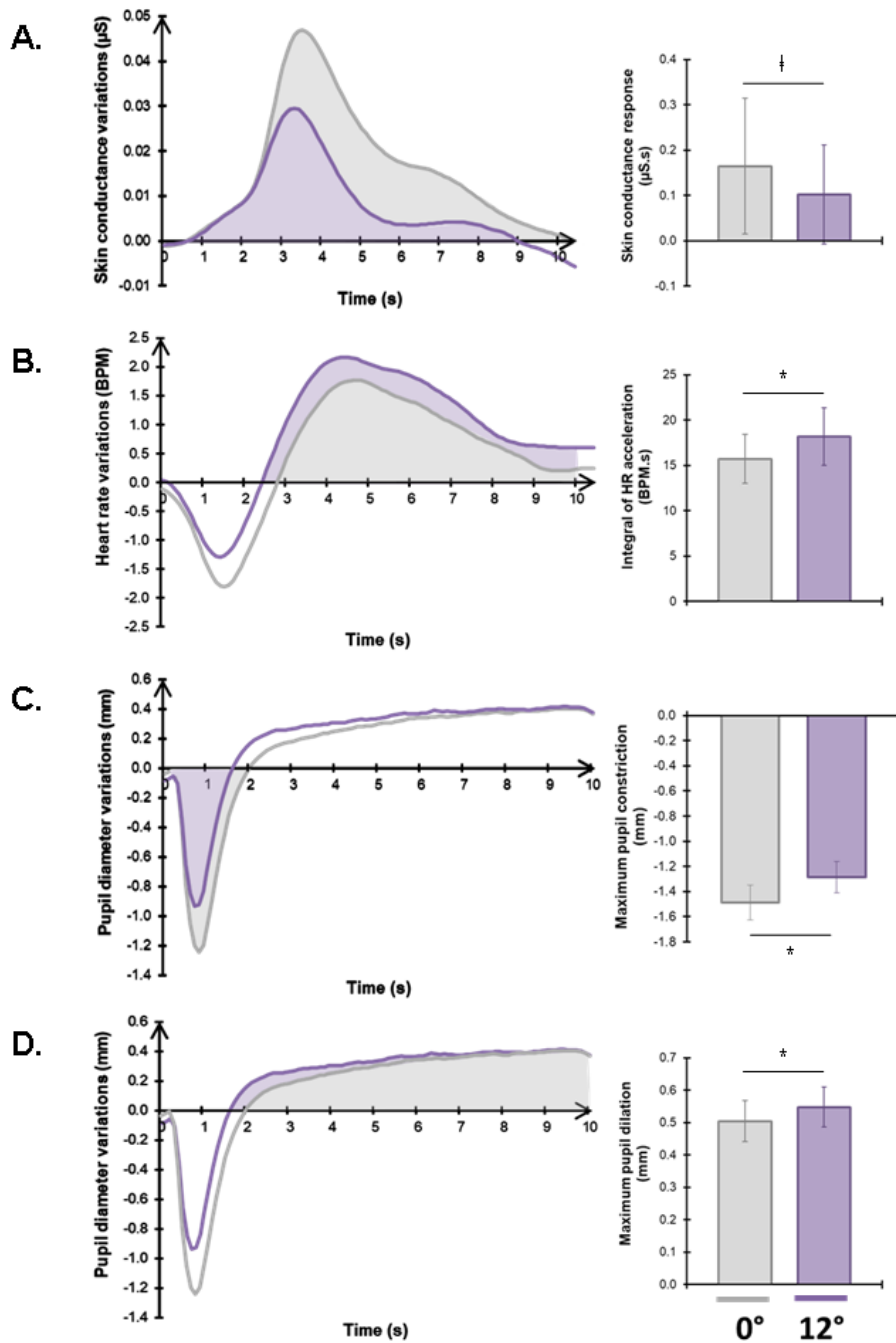


Figure 3. Effect of eccentricity of pictures on autonomic responses. Left panel presents skin conductance (μS) (A), heart rate (BPM) (B) and pupil diameter (mm) (C & D) variations as a function of time for central (0° , grey) and peripheral (12° , purple) stimulation. Right panel presents skin conductance responses ($\mu\text{S}\cdot\text{s}$) (A), heart rate acceleration (BPM.s) (B), pupil constriction (mm) (C) and pupil dilation (mm) (D) for central (grey) and peripheral (purple) presentation (* $p < 0.05$; † $p > 0.10$). Error bars represent 95% confidence interval.

Regarding the effects of eccentricity on autonomic responses, a trend towards greater (by 38%) SCRs for CV than for PV presentation was observed ($F_{1,36} = 3.89$, $p = 0.060$, $\eta^2 = 0.135$,

Figure 3A). Compared to PV presentation, stimulation in CV induced lower (by 13%) HR acceleration ($F_{1,36} = 5.39$, $p = 0.029$, $\eta^2 = 0.177$, Figure 3B), higher (by 14%) pupil constriction ($F_{1,36} = 102.64$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.804$, Figure 3C) and lower (by 8%) pupil dilation ($F_{1,36} = 12.72$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.337$, Figure 3D).

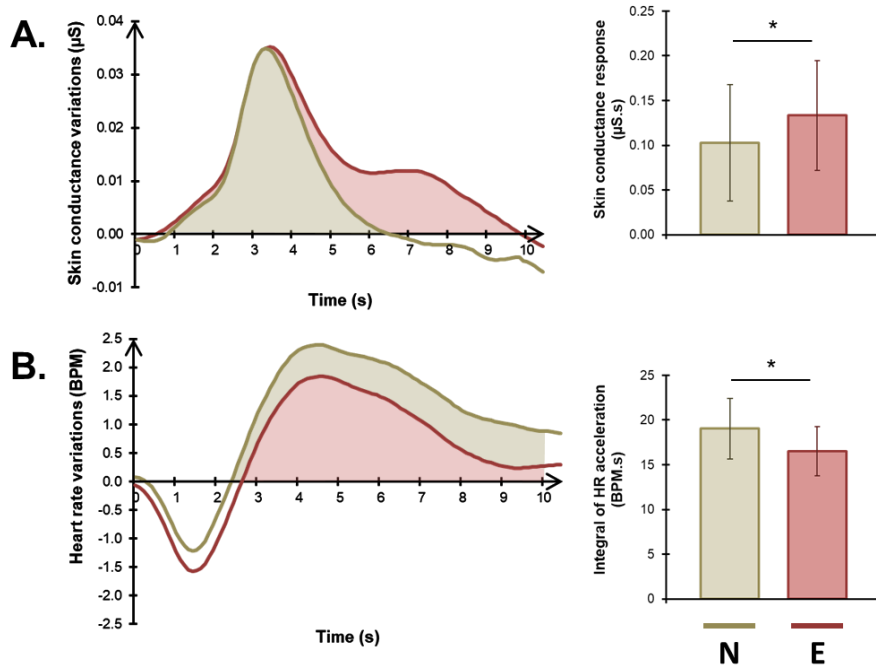


Figure 4. Effect of emotional arousal on autonomic responses. Left panel presents skin conductance (μS) (A) and heart rate (BPM) (B) variations as a function of time for emotional (red) and neutral (grey) stimulation. Right panel presents skin conductance responses ($\mu\text{S}\cdot\text{s}$) (A) and heart rate acceleration (BPM.s) (B) for emotional (red) and neutral (grey) pictures. Error bars represent 95% confidence interval (* $p < 0.05$).

Concerning effects of emotional content, a main effect of valence was observed on pupil reflex constriction ($F_{1,25} = 12.89$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.340$), with greater pupil constriction (by 2%) to unpleasant pictures than to pleasant ones. Furthermore, a main effect of arousal was observed at autonomic level with higher SCRs (by 23%) to emotional pictures than to neutral ones ($F_{1,25} = 5.65$, $p = 0.025$, $\eta^2 = 0.184$, Figure 4A) and higher HR acceleration (by 13%) to neutral pictures than to emotional ones ($F_{1,25} = 8.86$, $p = 0.006$, $\eta^2 = 0.262$, Figure 4B). The contrast analysis revealed a trend towards an interaction between eccentricity and arousal on SCRs ($F_{1,25} = 3.85$, $p = 0.061$, $\eta^2 = 0.133$), with higher SCRs in CV than in PV for emotional but not for neutral pictures.

Behavioural, Autonomic and Psychometric Correlates

For CV stimulation, the valence effect observed on the response bias parameter was correlated with the valence effect on the SCRs ($r_{38} = 0.330$, $p = 0.037$, Figure 5A). The participants exhibiting a bias in favour of unpleasant pictures also showed greater SCRs to

these unpleasant pictures, while the participants exhibiting a bias in favour of pleasant pictures showed greater SCRs to these pleasant pictures.

For PV stimulation, an opposite association was observed: the participants exhibiting a bias in favour of unpleasant pictures showed lower SCRs to these unpleasant pictures, while the participants exhibiting a bias in favour of pleasant pictures showed lower SCRs to these pleasant pictures ($r_{38} = -0.461$, $p = 0.003$, Figure 5B).

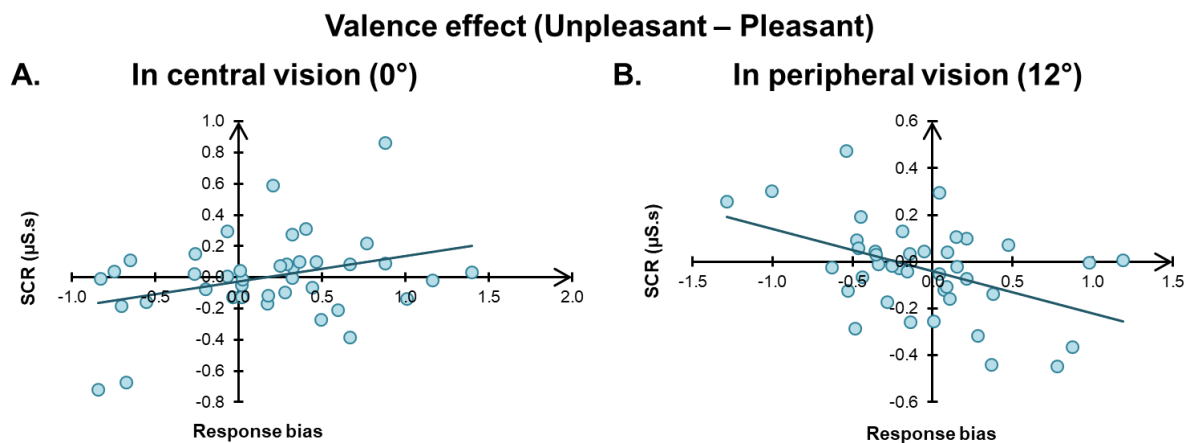


Figure 5. Autonomic responses according to response bias for valence effect according to eccentricity. Valence effect (Unpleasant – Pleasant) on skin conductance responses ($\mu S.s$) according to valence effect observed on response bias for presentation in central vision (0°) (A), and for presentation in peripheral vision (12°) (B). Positive values indicate greater autonomic responses on Y axis and greater response bias on X axis for unpleasant than for pleasant pictures. Negative values indicate greater autonomic responses on Y axis and greater response bias on X axis for pleasant than for unpleasant pictures.

Trait anxiety scores correlated with greater response bias to unpleasant pictures presented in PV ($r_{38} = 0.323$, $p = 0.042$; Figure 6A). The greater the trait anxiety, the greater the response bias towards unpleasant pictures presented in PV. High state anxiety was associated with lower performance in categorising pleasant pictures ($r_{38} = -0.366$, $p = 0.020$; Figure 6B). The greater the state anxiety, the lower the performance in categorising pleasant pictures.

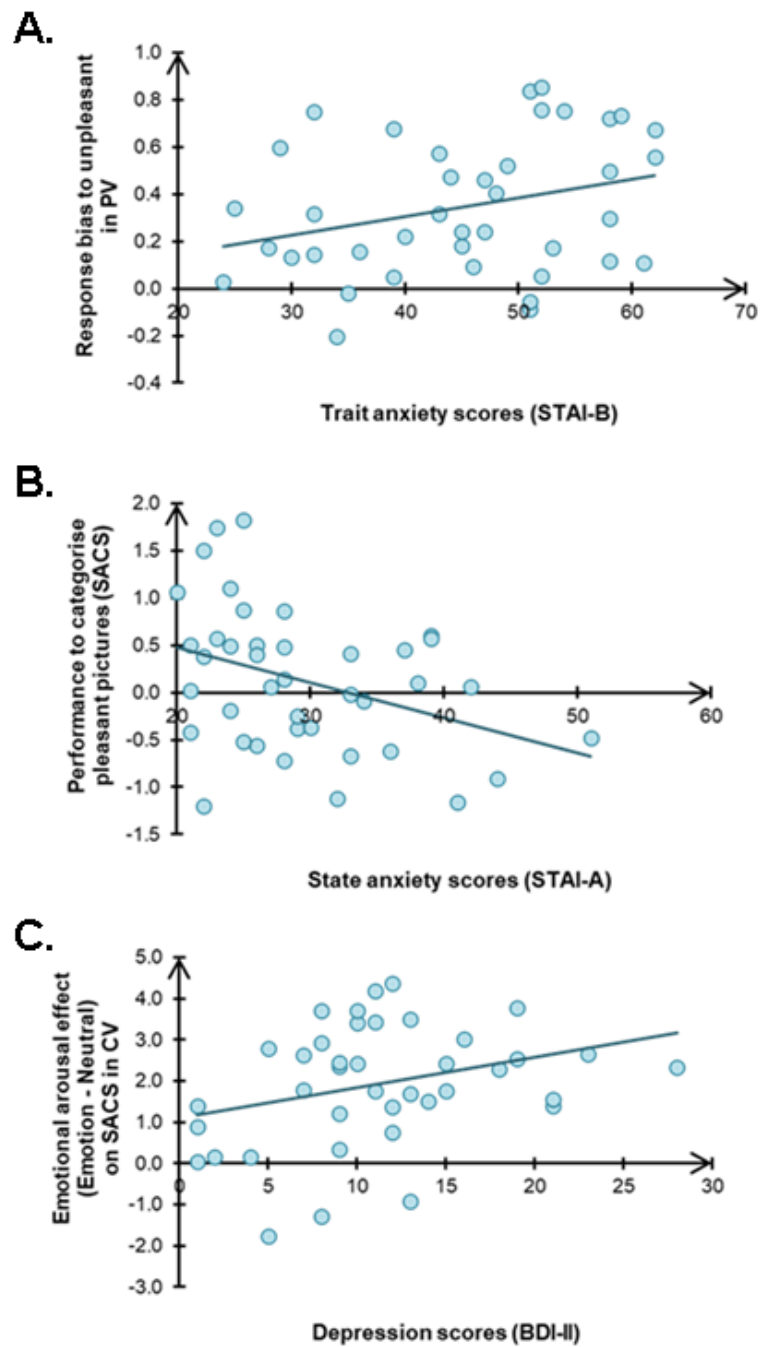


Figure 6. Behavioural response and response bias according to anxiety and depression. Response bias to unpleasant pictures in peripheral vision (PV, 12°) according to STAI-B scores (A), performance in categorising pleasant pictures indexed by speed-accuracy composite score (SACS) according to STAI-A scores (B) and arousal effect (Emotion – Neutral) observed in central vision (CV, 0°) on categorisation performance index by speed-accuracy composite scores (SACS) according to depression scores (BDI-II) (C).

For CV stimulation, the more the participants were depressed, the better was their performance in categorising emotional pictures relative to neutral ones ($r_{38} = 0.313$, $p = 0.050$; Figure 6C).

2.5. Discussion

The present study aimed at establishing the association between behavioural and autonomic responses to emotional pictures presented in CV and PV, and between those responses and the anxiety and depression symptomatology. In support of our hypotheses, we found: 1/ in CV and in PV, a better categorisation of emotional pictures when compared to neutral ones and an association of such categorisation with autonomic responses; 2/ in CV, participants exhibited greater performance in categorising unpleasant pictures while there was no difference between unpleasant and pleasant pictures in PV; 3/ in CV, a response bias to unpleasant pictures was associated with higher autonomic arousal to the same pictures, whereas this association was the opposite in PV; 4/ trait anxiety was associated with a response bias towards unpleasant pictures presented in PV, while state anxiety was associated with lower performance in categorising pleasant pictures; 5/ in CV, depression was associated with better performance in categorising emotional pictures.

Emotional Impact Persists in Peripheral Vision

At behavioural level in CV, participants exhibited lower performance in categorising neutral pictures than emotional ones, especially when unpleasant. Moreover, this arousal effect was significantly greater for pictures presented in CV than for those presented in PV, in which there were no differences between unpleasant and pleasant ones. These results confirm the preferential processing of emotion when it comes to categorising natural scenes. (Vuilleumier, 2015). According to the literature (Calvo and Lang, 2005; D'Hondt et al., 2016; Fernández-Martín and Calvo, 2016; Nummenmaa et al., 2006), this privileged processing of emotion also concerns the information projected in PV. However, better performance in categorising unpleasant pictures over pleasant ones was observed only in CV. In addition, participants adopted a more conservative decision criterion for unpleasant than for pleasant cues presented in CV, minimising false detections of the unpleasant ones. However, for PV, no difference was observed on the response bias between unpleasant and pleasant pictures. Therefore, participants did not seem to present different strategies for categorising unpleasant and pleasant images when presented in PV. Overall, this suggests that the privileged processing of emotional scenes presented in PV depends on their arousal dimension.

At the physiological level, CV stimulation induced a trend towards greater SCRs than PV stimulation, regardless of emotional content. SCRs are a robust indicator of physiological arousal (Critchley, 2002; Sequeira et al., 2009) and have been related to perceptual processing subsequent to initial attention capture. Furthermore, the amplitude of SCRs constitutes a reliable expression of reticular activation (Sequeira and Roy, 1993). Greater SCRs to CV than to PV presentation may therefore indicate a greater reticular activation, owing to greater

resources allocated to the high acuity process of central visual information. However, the fact that this eccentricity effect was not significant but observed in trends may indicate that such reticular activation persists despite the poor acuity of PV. Higher SCRs were also induced by emotional pictures without differences between unpleasant and pleasant ones, in accordance with previous findings (Bradley et al., 2001; Lang et al., 1993).

Interestingly, the response bias and associated SCRs were characterised by an opposite pattern between central and peripheral vision. When pictures were presented in CV, the greater the autonomic responses were, the fewer were the false alarms in categorising these pictures. As participants exhibited greater performance in categorising unpleasant pictures with fewer false alarms, it is possible that greater autonomic activation helped the participants categorise emotional pictures as such when processed in detail. However, when pictures were presented in PV, the greater the autonomic responses were, the more false alarms occurred in categorising these pictures. With PV serving as an alert system, greater autonomic responses could lead to the attribution of emotional value to pictures that do not necessarily have any, and therefore to more false alarms. Considering the poor acuity of PV, it would be in the organism's interest to demonstrate hyperactivity to unclearly identified stimuli. This would give a behavioural advantage to the individual to prepare for action.

PV presentation induced higher pupil dilation and HR acceleration. Pupil dilation lets more light reach the retina (Purves et al., 2012) and is considered a classic indicator of sympathetic reactivity to stimuli (Bradley et al., 2017). HR acceleration is considered as a response to the preparation for action, indicating a typical arousal of somato-cardiovascular integration (Sequeira et al., 2000). In the present study, participants showed higher autonomic arousal when categorising pictures, regardless of emotional content. The emotional categorisation of such information comes with a greater engagement of autonomic resources, possibly induced by the uncertainty caused by the limited PV processing of this information.

To summarise, despite its low visual acuity, PV appears to be able to detect emotional cues based on arousal. Moreover, autonomic activation is associated with differential behavioural strategies in CV and PV to categorise pictures. Higher sympathetic mobilisation could therefore optimise behavioural reactivity in low visual acuity conditions.

Effect of Anxiety and Depressive Symptomatology

In PV, the greater the trait-anxiety was, the greater was the response bias to unpleasant pictures. This result partly confirms our hypothesis according to which anxiety is associated with greater reactivity, especially in PV. It is also consistent with the excessive propensity of anxious individuals to control external stimuli (Pruneti et al., 2016) and reinforces the hypervigilance hypothesis in anxiety (MacLeod and Mathews, 2012). In this context, it seems

that unpleasant information prevails in people with anxiety. Indeed, it has been shown that the threshold for activating the threat assessment system in anxious individuals is quite low, resulting in higher attentional resources allocated to stimuli considered as threatening (Coussement and Heeren, 2015). The results of the present study show such a negativity bias in anxiety towards natural scenes presented in PV, despite the complexity of the stimuli and the low acuity of PV. In this context, hypervigilance puts the cognitive system on alert mode and ready to detect potentially threatening signals (Beck and Clark, 1997; Dolan and Vuilleumier, 2003). Such dominance of peripheral vision might be an evolutionary adaptation to optimise stimulus detection under specific conditions of anxiety conditions. Shapiro & Lim (1989) suggested that it would be in the organism's interest to employ its peripheral detection mechanisms to locate and be prepared to react to a source of relevant information. This suggestion was supported by Beck & Emery (1985), who argued that anxiety leads an individual to reach a state of hypervigilance thanks to which he/she mobilises specific attentional resources to constantly scan the environment in the search for signs of danger.

Otherwise, state-anxiety is associated with lower performance in categorising pleasant pictures. Indeed, anxiety has been reported to lead to difficulty in the processing of pleasant information (Carl et al., 2013; Eisner et al., 2009). The preferential orientation of the attention of anxious individuals on negative cues (Liu et al., 2019) and their increased responsiveness to ambiguous ones, considered rather negative, (Olatunji et al., 2011), may lead to difficulty in directing attention toward pleasant information. In this context, attentional training to encourage the processing of pleasant information seems to be beneficial to increase attention towards pleasant information and thus reduce anxious symptomatology (Sass et al., 2016; Waters et al., 2013).

Another original result is that depressive symptomatology was associated with better categorisation of emotional pictures in CV. This result partly confirmed our hypothesis according to which depression may be associated with greater reactivity in CV but not in PV. This observation is consistent with that of De Zorzi et al. (2020) in patients with major depressive disorders, who showed a negativity bias and enhanced autonomic responses in CV but not in PV. A greater autonomic reactivity to unpleasant pictures presented in CV was also observed with high BDI scores (De Zorzi et al., 2021). Depressive symptomatology thus leads to increased processing of emotional information associated with a CV focus, consistent with the fewer saccades and longer fixation observed in depressed patients (Li et al., 2016), which in turn suggests that depressed individuals undertake less visual exploration.

To summarise, trait-anxiety is associated with a higher response bias to unpleasant stimuli in PV, possibly reflecting the allocation of greater resources to react to negative information in

extended portions of the visual field. State-anxiety is associated with lower performance in categorising pleasant stimuli, which is consistent with the difficulty in dealing with pleasant information. Finally, higher depressive scores led to better performance in categorising emotional stimuli in CV but not in PV.

2.6. Strengths, Limitations and Conclusions

This study has several methodological strengths. First, considering that physical saliency influences visual search and attention (Lucas and Vuilleumier, 2008) and gender differences in emotional assessment and reactivity (Bradley et al., 2001), we carried out a rigorous selection of stimuli. Second, considering the predominant view that the autonomic nervous system is not a unitary system (Berntson et al., 1998), the recording of both autonomic branches provided a reliable and comprehensive overview of autonomic functioning. Third, in an innovative protocol, we considered both central and peripheral visual fields to present emotional information. This is particularly relevant because data from the literature and our own results show a differential behavioural and autonomic reactivity to emotional information according to the visual eccentricity it was presented in. Nevertheless, the study also has some limitations. In particular, the choice of subclinical populations limits the scope of our results to moderate levels of depression and anxiety. Nonetheless, salient effects were observed, thus justifying the exploration of similar research approaches in clinical syndromes. Finally, as the current study is based on the dimensional theory of emotion, conclusions must be drawn in terms of valence and arousal.

In conclusion, the present findings provide new evidence suggesting that visual eccentricity serves as a privileged dimension in combination with behavioural and autonomic reactivities to explore affective disorders. First, given that differences in behavioural and autonomic responses according to central or peripheral presentation were observed, it appears relevant to consider the spatial position of visual information during emotional tasks in order to optimise the characterisation of individual reactivity. Second, anxiety and depression appear to modulate behavioural reactivity to emotional information according to its presentation in more or less eccentric positions. Consequently, central and peripheral vision could serve as a paradigmatic model to distinguish anxiety and depression, which are strong mutually comorbid pathologies. Finally, the differential impact of emotional information over the visual field indicates the value of using new stimulation strategies to attenuate anxiety and depression, such as attentional training which helps to modify the deployment of attentional resources towards emotional information over the visual field.

References

- Bar-Haim, Y., Lamy, D., Pergamin, L., Bakermans-Kranenburg, M.J., Van Ijzendoorn, M.H., 2007. Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals: A meta-analytic study. *Psychol. Bull.* <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.1.1>
- Beck, A., Steer, R., Brown, G., 1996. *BDI-II: Beck Depression Inventory Manual*, 2nd ed. ed. San Antonio.
- Beck, A.T., Clark, D.A., 1997. An information processing model of anxiety: automatic and strategic processes. *Behav Res Ther* 35, 49–58. [https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(96\)00069-1](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(96)00069-1)
- Beck, A.T., Emery, G., 1985. *Anxiety disorders and phobias. {A} cognitive perspective*. New York Basic.
- Beck, A.T., Emery, G., Greenberg, R.L., 2005. *Anxiety disorders and phobias: A cognitive perspective*, *Anxiety disorders and phobias: A cognitive perspective*. Basic Books, New York, NY, US.
- Berntson, G.G., Sarter, M., Cacioppo, J.T., 1998. Anxiety and cardiovascular reactivity: the basal forebrain cholinergic link. *Behav. Brain Res.* 94, 225–248.
- Bradley, M.M., 2009. Natural selective attention: orienting and emotion. *Psychophysiology* 46, 1–11. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00702.x>
- Bradley, M.M., Codispoti, M., Cuthbert, B.N., Lang, P.J., 2001. Emotion and motivation I: defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion* 1, 276–298.
- Bradley, M.M., Lang, P.J., 1994. Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. *J. Behav. Ther. Exp. Psychiatry* 25, 49–59.
- Bradley, M.M., Miccoli, L., Escrig, M.A., Lang, P.J., 2008. The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. *Psychophysiology* 45, 602–607. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00654.x>
- Bradley, M.M., Sapigao, R.G., Lang, P.J., 2017. Sympathetic {ANS} modulation of pupil diameter in emotional scene perception: {Effects} of hedonic content, brightness, & contrast. *Psychophysiology* 54, 1419–1435. <https://doi.org/10.1111/psyp.12890>
- Bylsma, L.M., Morris, B.H., Rottenberg, J., 2008. A meta-analysis of emotional reactivity in major depressive disorder. *Clin Psychol Rev* 28, 676–691. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2007.10.001>
- Calvo, M., Lang, P.J., 2005. Parafoveal semantic processing of emotional visual scenes. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 31, 502–519. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.31.3.502>
- Calvo, M., Nummenmaa, L., 2007. Processing of Unattended Emotional Visual Scenes. *J. Exp. Psychol. Gen.* 136, 347–369. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.3.347>
- Calvo, M., Rodríguez-Chinea, S., Fernández-Martín, A., 2015. Lateralized discrimination of emotional scenes in peripheral vision. *Exp Brain Res* 233, 997–1006. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-4174-8>
- Calvo, M.G., Avero, P., 2008. Affective priming of emotional pictures in parafoveal vision: Left visual field advantage. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 8. <https://doi.org/10.3758/CABN.8.1.41>
- Calvo, M.G., Beltrán, D., Fernández-Martín, A., 2014. Processing of facial expressions in peripheral vision: Neurophysiological evidence. *Biol. Psychol.* 100. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.05.007>
- Carl, J.R., Soskin, D.P., Kerns, C., Barlow, D.H., 2013. Positive emotion regulation in emotional disorders: a theoretical review. *Clin Psychol Rev* 33, 343–360. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2013.01.003>
- Carvalho, N., Laurent, E., Noiret, N., Chopard, G., Haffen, E., Bennabi, D., Vandell, P., 2015. Eye Movement in Unipolar and Bipolar Depression: A Systematic Review of the Literature. *Front Psychol* 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01809>
- Chua, P., Dolan, R.J., 2000. The Neurobiology of Anxiety and Anxiety-Related Disorders: A Functional Neuroimaging Perspective, in: *Brain Mapping: The Disorders*. <https://doi.org/10.1016/b978-012481460-8/50023-8>
- Collignon, O., Girard, S., Gosselin, F., Saint-Amour, D., Lepore, F., Lassonde, M., 2010. Women process multisensory emotion expressions more efficiently than men. *Neuropsychologia* 48. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.09.007>
- Coussement, C., Heeren, A., 2015. Vers une architecture cognitive du maintien du biais attentionnel envers la menace dans l'anxiété: une approche par comparaison de modèles. *L'Année Psychol.* 115. <https://doi.org/10.4074/s0003503315000202>

- Critchley, H.D., 2002. Electrodermal responses: what happens in the brain. *Neuroscientist* 8, 132–142. <https://doi.org/10.1177/107385840200800209>
- D'Hondt, F., Honoré, J., Williot, A., Sequeira, H., 2014. State anxiety modulates the impact of peripherally presented affective stimuli on foveal processing. *J Affect Disord* 152–154, 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2013.05.051>
- D'Hondt, F., Lassonde, M., Collignon, O., Lepore, F., Honoré, J., Sequeira, H., 2013. "Emotions guide us": behavioral and MEG correlates. *Cortex* 49, 2473–2483. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.12.013>
- D'Hondt, F., Szaffarczyk, S., Sequeira, H., Boucart, M., 2016. Explicit and implicit emotional processing in peripheral vision: A saccadic choice paradigm. *Biol. Psychol.* 119, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.07.014>
- De Zorzi, L., Ranfaing, S., Honoré, J., Sequeira, H., 2021. Autonomic reactivity to emotion: A marker of sub-clinical anxiety and depression symptoms? *Psychophysiology* 58, e13774. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/psyp.13774>
- De Zorzi, L., Robin, M.-S., Honoré, J., Bubrowszky, M., Vaiva, G., Sequeira, H., 2020. Depression restricts visual capture and promotes the perception of negative information. *Biol. Psychol.* 154, 107923. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2020.107923>
- Delplanque, S., N'diaye, K., Scherer, K., Grandjean, D., 2007. Spatial frequencies or emotional effects?. A systematic measure of spatial frequencies for IAPS pictures by a discrete wavelet analysis. *J. Neurosci. Methods* 165. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.05.030>
- Dolan, R.J., Vuilleumier, P., 2003. Amygdala automaticity in emotional processing. *Ann N Y Acad Sci* 985, 348–355. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2003.tb07093.x>
- Eisner, L.R., Johnson, S.L., Carver, C.S., 2009. Positive affect regulation in anxiety disorders. *J Anxiety Disord* 23, 645–649. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2009.02.001>
- Falkenberg, I., Kohn, N., Schoepker, R., Habel, U., 2012. Mood induction in depressive patients: A comparative multidimensional approach. *PLoS One* 7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030016>
- Fernández-Martín, A., Calvo, M., 2016. Selective orienting to pleasant versus unpleasant visual scenes. *Cognition* 155, 108–112. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.06.010>
- Fox, E., Russo, R., Bowles, R., Dutton, K., 2001. Do Threatening Stimuli Draw or Hold Visual Attention in Subclinical Anxiety? *J Exp Psychol Gen* 130, 681–700.
- Gollan, J.K., Pane, H.T., McCloskey, M.S., Coccaro, E.F., 2008. Identifying differences in biased affective information processing in major depression. *Psychiatry Res.* 159. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2007.06.011>
- Gotlib, I.H., Cane, D.B., 1987. Construct accessibility and clinical depression: A longitudinal investigation. *J. Abnorm. Psychol.* 96, 199–204. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.96.3.199>
- Gotlib, I.H., McCann, C.D., 1984. Construct accessibility and depression: An examination of cognitive and affective factors. *J. Pers. Soc. Psychol.* 47, 427–439. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.47.2.427>
- Haaga, D.A.F., McDermut, W., Ahrens, A.H., 1993. Discriminant Validity of the Inventory to Diagnose Depression. *J. Pers. Assess.* 60. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa6002_6
- Karagozoglu, C., Masten, W., Baloglu, M., 2005. Evidence for differentiating between anxiety and depression in Turkish college students. *Soc. Behav. Pers.* 33, 579–586. <https://doi.org/10.2224/sbp.2005.33.6.579>
- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (2008). International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. University of Florida, Gainesville. FL, Technical Report A-8.
- Lang, P.J., Greenwald, M.K., Bradley, M.M., Hamm, A.O., 1993. Looking at pictures: affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology* 30, 261–273.
- Li, Y., Xu, Y., Xia, M., Zhang, T., Wang, J., Liu, X., He, Y., Wang, J., 2016. Eye Movement Indices in the Study of Depressive Disorder. *Shanghai Arch Psychiatry* 28, 326–334. <https://doi.org/10.11919/j.issn.1002-0829.216078>
- Liu, J., Shen, K., Li, H., 2019. How state anxiety and attentional bias interact with each other: {The} moderating effect of cognitive appraisal. *Atten Percept Psychophys* 81, 694–706. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-01650-y>
- Lucas, N., Vuilleumier, P., 2008. Effects of emotional and non-emotional cues on visual search in neglect patients: Evidence for distinct sources of attentional guidance. *Neuropsychologia* 46, 1401–1414. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.12.027>

- MacLeod, C., Mathews, A., 2012. Cognitive bias modification approaches to anxiety. *Annu. Rev. Clin. Psychol.* <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032511-143052>
- Mahlberg, R., Steinacher, B., Mackert, A., Flechtner, K.M., 2001. Basic parameters of saccadic eye movements—differences between unmedicated schizophrenia and affective disorder patients. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci* 251, 205–210. <https://doi.org/10.1007/s004060170028>
- Mathews, A., Ridgeway, V., Williamson, D.A., 1996. Evidence for attention to threatening stimuli in depression. *Behav Res Ther* 34, 695–705. [https://doi.org/10.1016/0005-7967\(96\)00046-0](https://doi.org/10.1016/0005-7967(96)00046-0)
- Mathôt, S., Schreij, D., Theeuwes, J., 2012. {OpenSesame}: {An} open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behav Res* 44, 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- Najström, M., Jansson, B., 2006. Unconscious Responses to Threatening Pictures: Interactive Effect of Trait Anxiety and Social Desirability on Skin Conductance Responses. *Cogn. Behav. Ther.* 35, 11–18. <https://doi.org/10.1080/16506070510011566>
- Nummenmaa, L., Hyönä, J., Calvo, M., 2006. Eye movement assessment of selective attentional capture by emotional pictures. *Emotion* 6, 257–268. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.6.2.257>
- Olatunji, B.O., Ciesielski, B.G., Armstrong, T., Zald, D.H., 2011. Making Something out of Nothing: Neutral Content Modulates Attention in Generalized Anxiety Disorder. *Depress Anxiety* 28, 427–434. <https://doi.org/10.1002/da.20806>
- Oldfield, R.C., 1971. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9, 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Paelecke-Habermann, Y., Pohl, J., Leplow, B., 2005. Attention and executive functions in remitted major depression patients. *J Affect Disord* 89, 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2005.09.006>
- Panaite, V., Hindash, A.C., Bylsma, L.M., Small, B.J., Salomon, K., Rottenberg, J., 2016. Respiratory sinus arrhythmia reactivity to a sad film predicts depression symptom improvement and symptomatic trajectory. *Int. J. Psychophysiol.* 99, 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.12.002>
- Pflugshaupt, T., Mosimann, U.P., von Wartburg, R., Schmitt, W., Nyffeler, T., Müri, R.M., 2005. Hypervigilance-avoidance pattern in spider phobia. *J Anxiety Disord* 19, 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2003.12.002>
- Pruneti, C., Saccò, M., Cosentino, C., Sgromo, D., 2016. Relevance of Autonomic Arousal in the Stress Response in Psychopathology. *J. Basic Appl. Sci.* 12, 176–184.
- Purves, D., Augustine, G.J., Fitzpatrick, D., Hall, W.C., LaMantia, A.-S., White, L., 2012. *Neuroscience*, {Fifth} {Edition}, 5th ed. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts U.S.A.
- Rigoulot, S., D'Hondt, F., Defoort-Dhellemmes, S., Desprez, P., Honoré, J., Sequeira, H., 2011. Fearful faces impact in peripheral vision: Behavioral and neural evidence. *Neuropsychologia* 49. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.03.031>
- Rigoulot, S., D'Hondt, F., Honoré, J., Sequeira, H., 2012. Implicit emotional processing in peripheral vision: Behavioral and neural evidence. *Neuropsychologia* 50. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.08.015>
- Rinck, M., Becker, E.S., 2005. A Comparison of Attentional Biases and Memory Biases in Women With Social Phobia and Major Depression. *J. Abnorm. Psychol.* 114, 62–74. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.114.1.62>
- Rohner, J.C., 2002. The time-course of visual threat processing: High trait anxious individuals eventually avert their gaze from angry faces. *Cogn. Emot.* 16. <https://doi.org/10.1080/02699930143000572>
- Sass, S., Evans, T., Xiong, K., Mirghassemi, F., Tran, H., 2016. Attention training to pleasant stimuli in anxiety. *Biol. Psychol.* 122. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.03.003>
- Schneider, D., Regenbogen, C., Kellermann, T., Finkelmeyer, A., Kohn, N., Derntl, B., Schneider, F., Habel, U., 2012. Empathic behavioral and physiological responses to dynamic stimuli in depression. *Psychiatry Res* 200, 294–305. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2012.03.054>
- Sequeira, H., Hot, P., Silvert, L., Delplanque, S., 2009. Electrical autonomic correlates of emotion. *Int. J. Psychophysiol., Electrophysiology of Affect and Cognition* 71, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.07.009>
- Sequeira, H., Roy, J.-C., 1993. Cortical and Hypothalamo-Limbic Control of Electrodermal Responses, in: Roy, J.-C., Boucsein, W., Fowles, D.C., Gruzelier, J.H. (Eds.), *Progress in Electrodermal Research*, NATO ASI Series. Springer US, Boston, MA, pp. 93–114. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2864-7_8

Sequeira, H., Viltart, O., Ba-M'Hamed, S., Poulain, P., 2000. Cortical control of somato-cardiovascular integration: neuroanatomical studies. *Brain Res. Bull.* 53, 87–93. [https://doi.org/10.1016/S0361-9230\(00\)00312-9](https://doi.org/10.1016/S0361-9230(00)00312-9)

Shapiro, K.L., Lim, A., 1989. The impact of anxiety on visual attention to central and peripheral events. *Behav. Res. Ther.* 27, 345–351. [https://doi.org/10.1016/0005-7967\(89\)90004-1](https://doi.org/10.1016/0005-7967(89)90004-1)

Simola, J., Torniaainen, J., Moisala, M., Kivikangas, M., Krause, C.M., 2013. Eye movement related brain responses to emotional scenes during free viewing. *Front Syst Neurosci* 7, 41. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2013.00041>

Spielberger, C.D., Gorsuch, R.L., Luschene, R.E., Vagg, P.R., Jacobs, G.A., 1983. Manual for the State-Trait Anxiety Inventory - STAI (Form Y), self-evaluation questionnaire. Palo Alto, California.

Stanislaw, H., Todorov, N., 1999. Calculation of signal detection theory measures. *Behav. Res. methods, instruments, & Comput.* 31, 137–149. <https://doi.org/10.3758/BF03207704>

Vuilleumier, P., 2015. Affective and motivational control of vision. *Curr. Opin. Neurol.* 28, 29–35. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000159>

Waters, A.M., Pittaway, M., Mogg, K., Bradley, B.P., Pine, D.S., 2013. Attention training towards positive stimuli in clinically anxious children. *Dev Cogn Neurosci* 4, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2012.09.004>

Wenzler, S., Hagen, M., Tarvainen, M.P., Hilke, M., Ghirmai, N., Huthmacher, A.-C., Trettin, M., van Dick, R., Reif, A., Oertel-Knöchel, V., 2017. Intensified emotion perception in depression: {Differences} in physiological arousal and subjective perceptions. *Psychiatry Res* 253, 303–310. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.03.040>

Yiend, J., Mathews, A., 2001. Anxiety and Attention to Threatening Pictures. *Q. J. Exp. Psychol. A.* 54, 665–681. <https://doi.org/10.1080/713755991>

Zbozinek, T.D., Rose, R.D., Wolitzky-Taylor, K.B., Sherbourne, C., Sullivan, G., Stein, M.B., Roy-Byrne, P.P., Craske, M.G., 2012. Diagnostic Overlap of Generalized Anxiety Disorder and Major Depressive Disorder in a Primary Care Sample. *Depress Anxiety* 29, 1065–1071. <https://doi.org/10.1002/da.22026>

Supplementary data

Pictures' selection is the same as in De Zorzi et al., (2021). In this selection, the valence and activation values are as disjoint as possible (except the activation values of the pleasant and unpleasant categories, which are, on the contrary, as similar as possible, Figure S1), which minimizes the probability of category changes in the experimental population.

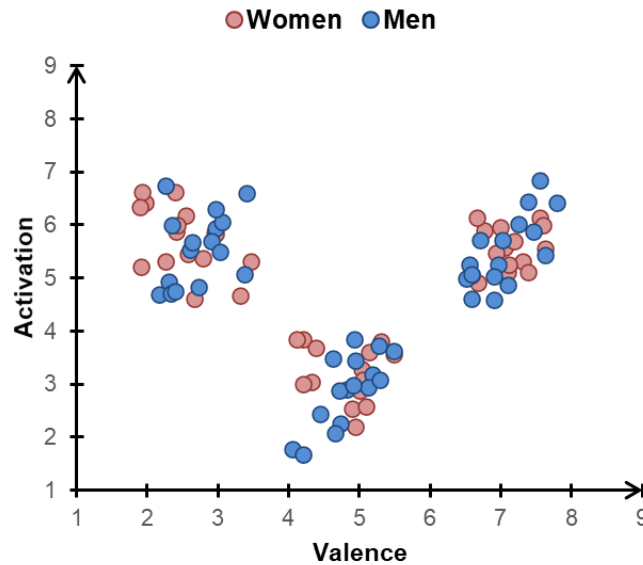


Figure S1. A priori valence and activation values, for women and men, of the pictures selected from the International Affective Picture System (IAPS, Lang, Bradley, & Cuthbert, 2008).

List of IAPS identification numbers for selected pictures by gender (N = 48): For **women**, unpleasant: 2375.1, 2683, 2753, 3220, 3550.1, 4770, 6834, 9520, 6243, 6410, 6610, 9320, 9390, 9611, 9621, 9630, neutral: 2191, 2206, 2221, 2271, 2357, 2393, 2840, 2890, 6150, 7002, 7006, 7020, 7160, 7186, 7207, 7700; pleasant: 2208, 2346, 2389, 4532, 4535, 4601, 4608, 4650, 5450, 7220, 7260, 7481, 8162, 8210, 8503, 8531. For **men**, unpleasant: 2095, 2730, 2800, 3301, 6821, 9050, 9810, 9910, 7359, 7380, 9300, 9301, 9340, 9611, 9630, 9920; neutral: 2005, 2190, 2191, 2383, 2385, 2393, 2440, 4510, 5390, 5534, 5535, 7002, 7006, 7031, 7100, 7184; pleasant: 2303, 2345, 4150, 4598, 4601, 4608, 5470, 8380, 5450, 7260, 7280, 7289, 7460, 8210, 8500, 8510.

Table S1. Physical properties from the pictures selected. Mean value and standard deviation of pictures physical properties for women and men and for unpleasant (U), neutral (N) and pleasant (P) conditions. R = red, B = blue, G = green, KB = kilobytes.

	Women			Men		
	U	N	P	U	N	P
Valence	2.53 (0.49)	4.82 (0.43)	7.1 (0.33)	2.71 (0.4)	4.84 (0.4)	7.06 (0.42)
Activation	5.73 (0.63)	3.18 (0.51)	5.52 (0.41)	5.56 (0.68)	2.9 (0.68)	5.51 (0.67)
Luminance	85.47 (41.4)	81.2 (38.16)	70.04 (35.04)	87.59 (37.25)	83.32 (41.1)	81.99 (32.49)
Contrast	65.35 (11.69)	64.58 (21.25)	65.6 (16.7)	65.53 (15.31)	62.05 (16.13)	61.5 (15.13)
Luminance (R)	98.38 (41.31)	95.28 (39.53)	81.72 (38.5)	104.1 (39.66)	100.56 (43.11)	98.27 (31.53)
Contrast (R)	74.05 (12.03)	73.54 (22.1)	77.2 (16.08)	71.57 (14.8)	72.32 (14.65)	73.47 (13.3)
Luminance (G)	84.93 (45.62)	78.47 (39.55)	69.28 (35.77)	85.78 (38.07)	80.57 (40.98)	79.64 (34.44)
Contrast (G)	65.99 (12.19)	67.9 (22.49)	66.67 (18.61)	67.27 (16.3)	63.83 (18.24)	64.41 (16.47)
Luminance (B)	73.14 (42.97)	69.87 (41.49)	59.11 (37.65)	72.9 (39.17)	68.82 (43.43)	68.05 (40.88)
Contrast (B)	61.05 (19.76)	63.96 (22.94)	63.12 (19.12)	64.35 (21.28)	58.79 (23.46)	58.72 (23.13)
Low frequencies (Grey)	-0.83 (4.11)	-0.24 (6.01)	-0.43 (4.17)	0.54 (6.23)	-1.28 (4.29)	-0.61 (4.05)
High frequencies (Grey)	-0.25 (0.64)	0.27 (1.42)	-0.08 (0.86)	-0.08 (0.81)	0.03 (0.91)	-0.12 (0.43)
Low frequencies (R)	-0.65 (3.06)	-0.47 (4.98)	0.36 (4.22)	-0.12 (4.69)	-0.91 (3.39)	0.19 (3.96)
High frequencies (R)	-0.21 (0.67)	0.15 (1.07)	-0.09 (0.75)	-0.09 (0.74)	0.01 (0.78)	-0.13 (0.4)
Low frequencies (G)	-0.71 (3.9)	-0.49 (4.95)	-0.49 (3.93)	0.41 (5.61)	-1.46 (4.16)	-0.81 (3.95)
High frequencies (G)	-0.26 (0.61)	0.17 (1.16)	-0.1 (0.77)	-0.11 (0.73)	0 (0.85)	-0.15 (0.39)
Low frequencies (B)	-0.3 (4.22)	-0.38 (5.06)	-0.32 (3.59)	1.14 (6.25)	-1.23 (4.33)	-1.05 (5.02)
High frequencies (B)	-0.19 (0.76)	0.12 (1.16)	-0.07 (0.83)	-0.07 (0.84)	0.04 (0.99)	-0.17 (0.45)
Size (KB)	43814.44 (8131.23)	44243.81 (10327.95)	40923.75 (9282.14)	45259.75 (8454.32)	45131.44 (7703.33)	43910.44 (7776.95)

References

De Zorzi, L., Ranfaing, S., Honoré, J., Sequeira, H., 2021. Autonomic reactivity to emotion: A marker of sub-clinical anxiety and depression symptoms? *Psychophysiology* 58.

Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (2008). *International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual*. University of Florida, Gainesville, FL, Technical Report A-8.

Chapitre II.

Exploration du lien entre déploiement de l'attention et (ré)activité neurovégétative dans l'anxiété et la dépression

[Étude 3]

➤ Cadre global de l'Étude

Compte tenu des résultats de nos premières expérimentations, la symptomatologie semble bien moduler la réactivité comportementale et neurovégétative à l'émotion dans l'espace visuel. Nos résultats montrent principalement une **modulation de la réactivité en VP dans l'anxiété**. Ces données plaident pour **une attention accrue aux informations survenant en VP**, même indépendamment de mouvements oculaires, dans le cadre d'un **déploiement attentionnel implicite**. Ainsi, **l'hypervigilance** dans l'anxiété pourrait permettre d'observer des effets de l'excentricité et d'activation même sans déplacement du regard. Concernant **la dépression**, les données exploratoires de la première étude et les résultats comportementaux de la seconde plaident pour une **focalisation sur les informations en VC** au détriment de la VP. Cependant, ces conclusions sont à considérer à la lumière de résultats expérimentaux plus mitigés. En effet, pour la dépression, la littérature rapporte au niveau comportemental principalement des effets de valence indiquant une moindre orientation vers le plaisant et une attention accrue vers le déplaisant. Nous pouvons donc supposer que les conditions de présentation des stimuli des deux premières expérimentations n'ont pas permis d'observer certains effets de la dépression dans la réactivité comportementale et neurovégétative. En effet, la faible acuité de la VP et l'impossibilité de réaliser des saccades vers l'information (condition de déploiement attentionnel implicite), conjuguées à la diminution de ressources attentionnelles dans la dépression pourraient ne pas faciliter la mise en évidence d'effets spécifiques du traitement de l'émotion dans cette symptomatologie.

Par conséquent, pour cette troisième expérimentation, nous avons proposé une **tâche de visualisation libre** d'images émotionnelles chez une population d'individus pour laquelle nous avons mesuré les **niveaux d'anxiété et de dépression**. Au niveau comportemental, nous avons enregistré **les mouvements oculaires**, nous permettant ainsi de suivre le **déploiement de l'attention** vers les informations présentées. L'utilisation de mouvements oculaires nous a également permis d'extraire plus précisément les composantes **d'orientation et de maintien**

de l'attention vers les informations présentées. Par ailleurs, la mesure des **activités électrodermale et cardiaque** nous a permis d'observer l'**impact neurovégétatif** des mêmes images selon le déploiement de l'attention.

➤ **Objectifs**

L'anxiété et la dépression sont caractérisées par des biais attentionnels vers l'information émotionnelle et une réactivité neurovégétative atypiques. Malgré sa pertinence pour comprendre les mécanismes impliqués dans ces symptomatologies, l'association entre biais attentionnels et réactivité neurovégétative à l'information émotionnelle reste mal caractérisée. Pourtant, la prise en compte simultanée des aspects attentionnels et neurovégétatifs de ces troubles paraît indispensable du fait que des processus attentionnels peuvent moduler certaines réponses physiologiques. C'est le cas des comportements d'orientation de l'attention pour l'activité électrodermale (Boucsein, 2012) ou l'activité cardiaque (Bradley et al., 2001). Aussi, plusieurs théories formulent un lien entre le déploiement de l'attention vers l'émotion et les indicateurs neurovégétatifs (Thayer & Lane, 2000, 2009, Porges, 2007). De même, les réafférences physiologiques, en particulier intéroceptives, sont susceptibles d'influencer des processus cognitifs tels que la perception, l'attention, mais aussi des processus émotionnels (Critchley & Harrison, 2013 ; Tsakiris & Critchley, 2016). Des altérations de la perception de ces réafférences sont d'ailleurs observées dans un nombre important de pathologies neurologiques et psychiatriques, dont l'anxiété et la dépression (Paulus & Stein, 2010). Ainsi, les processus attentionnels se manifestent au niveau physiologique et, inversement, l'activité physiologique est susceptible de les influencer. L'étude conjointe du déploiement attentionnel et de la réactivité neurovégétative pourrait ainsi servir à améliorer la compréhension des mécanismes sous-jacents aux symptomatologies anxieuse et dépressive. Par conséquent, nous avons étudié le déploiement attentionnel l'émotion et la réactivité neurovégétative associée selon la symptomatologie anxieuse et dépressive des participants. L'objectif était ainsi d'établir l'existence d'une association entre le déploiement de l'attention vers l'information émotionnelle et la réactivité neurovégétative selon le niveau d'anxiété et de dépression.

➤ **Méthodologie**

Nous avons proposé une tâche de visionnage libre au cours de laquelle nous avons présenté des paires d'images émotionnelles chez des participants pour lesquels nous avons également mesuré le niveau d'anxiété et de dépression. Au total, 32 participants ont été recrutés. Des paires d'images émotionnelles et neutres (déplaisante-neutre, UN ; plaisante-neutre, PN ; neutre-neutre, NN) ont ainsi été présentées tandis que les indices attentionnels (mouvements oculaires) et l'activité neurovégétative (réponses électrodermale, RED ; fréquence cardiaque, FC) étaient enregistrés.

➤ **Principaux résultats**

Les résultats ont montré que tous les paramètres oculaires indiquaient une orientation préférentielle et un maintien de l'attention sur les images émotionnelles. Les RED étaient associés à un effet de valence sur la latence de fixation : une latence de fixation plus rapide aux stimuli plaisants entraîne des RED plus faibles alors que l'inverse a été observé pour les stimuli déplaisants. Enfin, une analyse de régression linéaire par étapes a révélé que la latence de fixation pour des images plaisantes et les scores de dépression prédisaient les RED des participants.

➤ **Conclusions**

Les résultats montrent que la réactivité neurovégétative à l'émotion peut être modulée par le déploiement de l'attention vers l'émotion et par la symptomatologie dépressive. En effet, notre recherche révèle une association entre la réactivité neurovégétative et le biais attentionnel à l'information plaisante d'une part, et la symptomatologie dépressive d'autre part. Les résultats suggèrent donc que les individus dépressifs peuvent bénéficier d'un entraînement de l'attention vers des informations plaisantes en vue d'agir au niveau attentionnel et neurovégétatif.

Attention Orientation to Pleasantness and Depressive Symptomatology Predict Autonomic Reactivity

Published

(Annexe 2)

Stéphane Ranfaing^{a*}, Lucas De Zorzi^{a*}, Jacques Honoré^a, Hugo Critchley^{b, c} and Henrique Sequeira^a,

^a Univ. Lille, CNRS, UMR 9193 - SCALab - Sciences Cognitives et Sciences Affectives, F-59000 Lille, France

^b Clinical Imaging Sciences Centre, Brighton and Sussex Medical School, University of Sussex, United Kingdom

^c Sackler Centre for Consciousness Science, University of Sussex, United Kingdom; Psychiatry, Brighton and Sussex Medical School, Brighton, United Kingdom.

*These authors contributed equally to this work.

1.1. Abstract

Depression is characterised by attentional bias to emotional information and dysregulated autonomic reactivity. Despite its relevance to understanding depressive mechanisms, the association between attentional bias and autonomic reactivity to emotional information remains poorly characterised. This study compared behavioural and autonomic responses to emotional images in 32 participants in whom subclinical depressive symptomatology was quantified using the Beck Depression Inventory. Pairs of emotional and neutral images (unpleasant-neutral, U-N; pleasant-neutral, P-N; neutral-neutral, N-N) were presented while attentional indices (eye movements) and autonomic activity (skin conductance responses, SCRs; heart rate, HR) were recorded. Results showed that all recorded ocular parameters indicated a preferential orientation and maintenance of attention to emotional images. SCRs were associated with a valence effect on fixation latency: lower fixation latency to pleasant stimuli leads to lower SCRs whereas the opposite was observed for unpleasant stimuli. Finally, stepwise linear regression analysis revealed that latency of fixation to pleasant images and scores of depression predicted SCRs of participants. Thus, our research reveals an association between autonomic reactivity and attentional bias to pleasant information, on the one hand, and depressive symptomatology on the other. Present findings therefore suggest that depressive individuals

may benefit from attention training towards pleasant information in association with autonomic biofeedback procedures.

Keywords: Emotion, Depression, Attention bias, Eye movements, Autonomic responses, skin conductance.

1.2. Introduction

Healthy individuals mobilise privileged attentional resources toward emotional information (Vuilleumier, 2015) and express associated autonomic and behavioural responses (Damasio, 2000). However, abnormalities in the amount of attention dedicated to emotional information are implicated in the etiology and maintenance of depressive symptomatology (Gotlib and Joormann, 2010). For mood-congruent information, depressed individuals are characterised by biases at all stages of attentional processing (Ingram et al., 1998). Meta-analysis reveals that, in depression, attentional bias toward negative information is observed for verbal and non-verbal stimuli, in both clinical and subclinical populations (Peckham et al., 2010). It is also reported that, in depression, less attention is dedicated to pleasant information (Duque & Vázquez, 2015). This may reflect an absence of the 'protective bias' toward positive stimuli that is usually observed in healthy or non-dysphoric individuals (Shane & Peterson, 2007). Furthermore, attentional bias to pleasant information is found to correlate negatively with the onset of depressive symptomatology, and is associated with greater trait resilience. Hence, attentional bias to pleasant information can be considered as an index of adaptive emotion regulation (Thoern et al., 2016). Conversely, reduced attentional bias to pleasant material increases vulnerability to stress-related psychopathology (Fox et al., 2010). In brief, individuals with depressive symptomatology show greater orientation and maintenance of attention towards unpleasant stimuli and reduced orientation towards pleasant stimuli (Gotlib and Joormann, 2010).

The dot probe task is one established approach for measuring the time course of attentional processes in depression (MacLeod et al., 1986). Here, the participant views a pair of stimuli, usually one emotional and one neutral image, which are immediately followed by a stimulus ('probe'), which appears at the location of one of two images. The participant is instructed to make a reaction time response to the probe. Emotional attentional bias to it expresses faster responses on trials when the probe is presented in the location of the emotional compared to the neutral image. This task and variations of it has become a gold standard for investigating attentional bias and its time course. However, the use of reaction times does not allow direct measurement of the attention span and has recently been criticised regarding its psychometric properties (Chapman et al., 2019). As an alternative, measures of eye movements can provide a more direct index of attentional deployment. In depressed individuals, they showed an increased attention to negative stimuli and decreased attention to positive stimulation when compared to nondepressed individuals (Armstrong & Olatunji, 2012). Eye movements can reflect both orienting (e.g. initial orientation and latency to first fixation) and maintenance (e.g. number of fixations, or total duration of fixation; Duque & Vazquez, 2015) components of attention, as well as attentional reorientation to stimuli. Indeed, unlike

reaction times, eye movements allow the continuous measurement of attentional processes and can thus better characterise attention biases to emotional stimuli. A few studies in the literature have investigated the psychometric properties of eye movement indices and most of them used different stimuli, paradigm or sample characteristics (Waechter et al., 2014; Lazarov et al., 2016, Skinner et al., 2018, Sears et al., 2019). Although there are still mixed results for the early attention cues (Skinner et al., 2018), the results for indices of maintenance of attention such as total fixation time and number of fixations appear encouraging concerning psychometrics properties (Sears et al., 2019). Consequently, some authors suggest that eye-tracking measures of attentional bias may have better overall psychometric properties as compared than traditional RT measures of attentional bias for children and adults (Chong & Meyer, 2020).

Depressive symptoms are associated with altered patterns of autonomic activity, which has been related to a disengagement from emotional information (Bylsma et al., 2008). Increases in electrodermal activity (Branković, 2008), skin temperature and respiratory frequency (Wenzler et al., 2017) and decreases in heart rate variability (HRV; Kemp et al., 2010) are reported. However, across studies of depression, there is heterogeneity in autonomic reactivity to emotive stimuli, which remains to be clarified. We propose this heterogeneity may reflect individual differences in attentional focus (De Zorzi et al., 2021). For example, depressed individuals show heightened electrodermal reactivity only for stimuli in direct attentional focus (i.e., central vision) and not for stimulation presented in peripheral vision (De Zorzi et al. 2020). More generally, attentional processes are linked to the modulation of autonomic activity. Thus, electrodermal activity, notably the amplitude of sympathetic skin conductance responses (SCRs), is related to attention-orientation behaviours and reflects focused attention to new stimuli and their salience (Boucsein, 2012). Similarly, HRV, reflecting both parasympathetic and sympathetic influences on heart rate, is also considered as an objective indicator of attentional processes. In this context, superior selective or sustained attention is associated with increased HRV, particularly in the dominant high-frequency range (HF-HRV, indexing vagal parasympathetic autonomic activity) (Suess & Porges, 1994). Interoceptive feedback of autonomic bodily signals also influences emotional and attentional processes (Critchley & Harrison, 2013). Altered sensitivity to bodily arousal is observed in depression (Paulus & Stein, 2010). As depressive individuals suffer from attentional disturbance when emotional information is involved, the use of a task allowing to measure attentional processes appears relevant in the study of their autonomic reactivity to emotion.

The present study aimed to characterise the association of attentional bias and autonomic reactivity to emotional information in individuals expressing different levels of depression. To

this end, in an original paradigm, we presented pairs of emotional and neutral images, at near eccentricities within left (-12°) and right (+12°) visual fields. Eye movements were recorded to enable the tracking of attentional deployment toward one or other images, while we simultaneously measured autonomic variables (SCR and HR). Accordingly, we hypothesised that: 1) Attention will be preferentially directed to emotional images in all participants; 2) attentional bias to emotional information will be associated with autonomic reactivity (SCR and HR responses); 3) depressive symptoms will be associated with greater attention towards unpleasant stimuli and reduced orientation towards pleasant stimuli on the one hand, and with autonomic reactivity on the other hand.

1.3. Method

Participants

Thirty-four healthy unmedicated participants were recruited through an online questionnaire. All were French speakers, right-handed and had normal or corrected-to-normal vision. Individuals with a history of neurological disorders or regular and/or recent illicit drug consumption were not included. Two participants were excluded due to recording problems, giving a sample of 32 participants (24 females and 8 males; **Table 1**). Each participant provided an informed consent statement and received a 20 € compensation for his or her participation. This study was approved by the Ethics Committee of Université de Lille [Référence: 2019-352-S73], and conducted in accordance with the Declaration of Helsinki at Faculté de Medecine, Pôle Recherche, Université de Lille, France.

Sample (N = 32)			
	Mean	SD	(Min – Max)
Age	21	2	(18 – 24)
STAI-A	30.4	9.7	(20 – 58)
STAI-B	47.1	12.8	(25 – 71)
BDI-II	13.3	10.4	(1 – 41)

Table 1. Demographic and psychometric characteristics of participants.

Stimuli and Apparatus

The stimuli used were pairs of images of emotional or neutral scenes selected from the International Affective Pictures System (IAPS; Lang, Bradley, & Cuthbert, 2008), which provides standardised *a priori* values for each image on valence and arousal dimensions. One value is provided for men, and another for women. Given the recognised differences in gender-based emotional assessments (Bradley, Codispoti, Cuthbert, & Lang, 2001), we performed two image selections adapted to each gender, but resulting in equivalent valence and arousal values. Ninety-six images were selected and used to build three kinds of pairs: 16 unpleasant-neutral pairs (|UN|), 16 pleasant-neutral pairs (|PN|) and 16 neutral-neutral pairs (|NN|). In order to control the salience of the two images that made up each pair, the difference of valence and arousal between the two images constituting each pair were calculated. These within-pairs differences significantly differed between the three kinds of pairs on their *a priori* valence values (*women*: $|U - N| = 2.56$, $|P - N| = 2.47$, $|N - N| = 0.54$, $F_{1,15} = 290.196$; $p < 0.001$; *men*: $|U - N| = 2.65$, $|P - N| = 2.28$, $|N - N| = 0.40$, $F_{1,15} = 640.406$; $p < 0.001$), and on their arousal *a priori* values (*women*: $|U - N| = 2.74$, $|P - N| = 2.80$, $|N - N| = 0.50$, $F_{1,15} = 263.916$; $p < 0.001$; and *men*: $|U - N| = 2.48$, $|P - N| = 2.67$, $|N - N| = 0.54$, $F_{1,15} = 232.177$; $p < 0.001$) with higher within-pairs difference for |UN| and |PN| pairs than |NN| ones, but there were no differences between |UN| and |PN| pairs. For each pair of images, no within-pairs differences of valence or arousal was observed between the selections for men and women (all $F_s < 0.275$ and $p_s > 0.609$). For each image, the angular size ($12^\circ \times 8^\circ$), the energy across spatial frequencies (Delplanque, N'diaye, Scherer, & Grandjean, 2007) and the main physical properties were extracted (*ImageJ v1.50 software*), including the luminance and contrasts for the greyscale version and the RGB (red, green and blue) layers. No significant differences were observed between the three sets of images for both genders (all $p_s > .20$). Thus, the image pairs differed only in terms of their emotional dimensions (see table in **Appendix Table S1**).

Participants were seated at a fixed viewing distance of 60 cm from the projection screen (30 inches, 256 x 160 ppi, DELL 3007WFP HC), which was connected to a computer (DELL Optiplex 9020, Windows 7 Professional) that managed the presentation of the pairs of images. The images were displayed on a black background and each pair of images was presented pseudo-randomly, based on a Latin squares design, at near visual eccentricities (-12° , $+ 12^\circ$). The presentation of the 48 trials lasted approximately 15 minutes.

Recordings

Anxiety state, trait and depressive scores were measured using French language versions of the State-Trait Anxiety Inventory (STAI-A & B; Spielberger, 1983) and Beck Depressive Inventory (BDI-II; Beck, Steer, & Brown, 1996) respectively.

Regarding behavioural data, the eye movements were recorded using an eye tracker (SMI RED-m Eye Tracking System) connected to the projection computer with *SMI iView RED-m 2.11* software for an acquisition at 120 Hz. The skin conductance (SC) and electrocardiogram (ECG) were recorded during two minutes of baseline, during the task and over 2-minute recovery periods, using a BIOPAC MP35 system connected to a second computer (running *BIOPAC Student Pro 3.7* software) for an acquisition at 200 Hz. SC was recorded using bipolar Ag/AgCl surface electrodes (BIOPAC EL507) pre-gelled with an isotonic electrolyte (0.05 molar NaCl) and attached to the palmar side of the middle phalanges of the index and middle fingers of the participant's non-dominant hand. SC was measured with a gain of 5 $\mu\text{S/V}$ and a 10 Hz low-pass filter. The ECG was recorded using a DI modified bypass placing the Ag/AgCl pre-gelled (BIOPAC EL503, 7% NaCl) surface electrodes on the participant's left and right wrists and with a band-pass filter set between 0.5 and 66.5 Hz. At the end of the experiment, the participant was required to review each of the images and to rate them individually for valence and arousal values using two nine-point SAM scales (Self-Assessment Manikin; Bradley & Lang, 1994), ranging from 1, very unpleasant, to 9, very pleasant, and from 1, very calm, to 9, very arousing. Ratings were recorded with *OpenSesame* (Mathôt et al., 2012).

Procedure

The experimental procedure was divided into three steps. First, the SCR and ECG electrodes were attached and the participant was acclimatised to the experimental environment. The participant completed a psychometric measure of anxiety state (State Anxiety Inventory, STAI-A; Spielberger et al., 1993), then the task was again explained orally in full.

Next, autonomic responses were recorded over a task-free 2-minute baseline period. This period was then followed by the main task, with recording of behavioural (eye-tracking) and autonomic responses together. The participant saw 48 pairs of images; 16 pairs of unpleasant-neutral |UN| images, 16 pairs of pleasant-neutral |PN| images and 16 pairs of neutral-neutral |NN| images presented in a pseudo-random order. Each trial had the following sequence: First, a central fixation cross was projected for a duration of 0.5 s then this was replaced by the probe; a digit number (between 1 and 9) replacing the fixing cross for 1 s. The participant was instructed to say this number as quickly as possible. As shown by Duque and Vazquez (2015), this procedure ensured that the participant watched the centre of the screen before the

presentation of the stimuli. The procedure also helped maintain the participants' attention during the experimental phase. Following the presentation of the number, a pair of images was presented simultaneously, at -12° and $+12^\circ$ on the projection screen for 3.5 s, followed by a black screen for a random duration between 9 to 13 s. Participants were invited to view the images naturally without any further requirements. The inter-stimulus interval (ISI) varied from 10.5 to 14.5 s; an ideal interval to avoid habituation inherent to autonomic responses, particularly electrodermal activity. After the task, we recorded autonomic activity during a 2-minute recovery period.

Finally, to validate our selection of images, the participant was asked to rate the valence and arousal dimensions using the two 9-point SAM scales. These subjective ratings correspond to *a posteriori* values of images.

Data and Statistical Analyses

All trials containing eye movements before the onset of the image were rejected to exclude trials for which gaze is already directed to a image's side. Across all participants and conditions, 5.14% of the trials were rejected.

Eye Movements

Attentional deployment was assessed based on eye movements (*OpenGazeAndMouseAnalyzer*; Voßkühler et al., 2008). For initial fixation, the percentage of first fixation for each type of image (unpleasant, pleasant and neutral) in pairs (|UN| and |PN|) was calculated for each participant. In addition, total fixation duration, number and latency of fixations were recorded.

Conductance and Cardiac Activities

SC and ECG variations initially sampled at 200 Hz, were down-sampled at 10 Hz using *LabChart7*. For the SC variations to the presentation of pairs of images, phasic waveforms were derived from the tonic signals with an offline 0.05 Hz high-pass filter using *AcqKnowledge 4.1* software. SCRs were analysed by computing the integrals of SC amplitude variations over time for each condition and participant. One participant with no SCR was excluded from the analysis. For the ECG, the instantaneous heart rate in beats per minute (BPM) was calculated from the R wave intervals and smoothed using the triangular Bartlett window with a 1 s width using *LabChart7*. SC variations in response to stimulation were obtained by subtracting the average over a 3 s pre-stimulus period from the 10 s post-stimulus period data. For each condition and participant, after the baseline correction (-3 to 0 s), we averaged the epochs (-3 to 10 s), time-locked to the stimulus onset. Finally, we analysed the heart rate variability (HRV) during the 2 minutes of baseline and recovery periods. HRV quantification was computed with an in-house customised program *MATLAB* program referring to HRV guidelines (Berntson et

al., 1997). The R-R intervals were detrended with a smoothness-prior method in order to remove the slow (< 0.04 Hz) non-stationary trends from the HRV signal. For the frequency domain method, a power spectrum density analysis was performed for the RR interval series using fast Fourier transform method with the low frequency (LF) band set at 0.04-0.15 Hz and a high frequency (HF) band set at 0.15-0.4 Hz. The LF/HF ratio was also computed. For the time domain method, we computed the mean heart rate (HR), the standard deviation of HR (namely the variability of the HR) as well as the root mean square of successive RR intervals differences (RMSSD).

Statistical Analyses

Regarding emotion and in accordance with its dimensional theory (Lang et al., 1993), we tested for two emotional effects: 1) A valence effect (Unpleasant vs. Pleasant), being modelled by a first degree polynomial contrast (*Linear Contrast*, $LC = |PN| - |UN|$; and 2) an arousal effect (Emotion vs. Neutral) being modelled by a second degree polynomial contrast (*Quadratic Contrast*, $QC = (|UN| + |PN|) / 2 - |NN|$). These contrasts were assessed with a repeated measure analysis of variance (ANOVA), applied to the individual subjective image assessments, eye movements, electrodermal and cardiac measurements with emotion (type of pairs: $|UN|$, $|NN|$, $|PN|$) as intra-subject factors.

The analysis of the factors associated with the autonomic variables was performed by calculating the Pearson correlation coefficient given linear relationships were expected between variables and after inspection of scatterplots. Partial correlations were then assessed controlling for age and gender. The search for predictors of autonomic variables was performed with stepwise linear regression analyses. The multivariate model includes variables for which associations were observed between ocular and autonomic parameters. Thus, the model was constructed by including variables associated with SCRs, but also including covariates such as the age of participants, and their state and trait anxiety (STAI-A and STAI-B scores), regardless of their degree of significance in the univariate analyses. The model selection was based on considerations of the corrected Akaike information criterion (AICc). The validity of the multivariate model was established by a study of the residuals.

1.4. Results

Concerning psychometry, STAI-B (trait anxiety) scores correlated with BDI (depression) ($r_{33} = 0.810$; $p < 0.001$) and STAI-A (state anxiety) scores ($r_{33} = 0.631$; $p < 0.001$). BDI scores correlated with STAI-A scores ($r_{33} = 0.651$; $p < 0.001$).

Eye Movements and Emotional Arousal

Analysis of the contrasts revealed an emotional arousal effect on the initial fixation (QC: $F_{(1,31)} = 7.144$; $p = 0.012$ $\eta^2 = 0.187$), first fixation latency (QC: $F_{(1,31)} = 75.624$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.709$), fixation duration (QC: $F_{(1,31)} = 107.966$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.777$) and number of fixation (QC: $F_{(1,31)} = 125,181$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.802$; **Figure 1**). However, no differences were observed between unpleasant and pleasant for these parameters (initial fixation: LC: $F_{(1,31)} = 2.827$; $p = 0.103$ $\eta^2 = 0.084$; first fixation latency : LC: $F_{(1,31)} = 0.040$; $p = 0.843$; $\eta^2 = 0.001$; fixation duration : LC: $F_{(1,31)} = 0.92$; $p = 0.764$; $\eta^2 = 0.003$; number of fixation : LC: $F_{(1,31)} = 0.049$; $p = 0.826$ $\eta^2 = 0.002$). In sum, eye movements were initially oriented and engaged by emotional images.

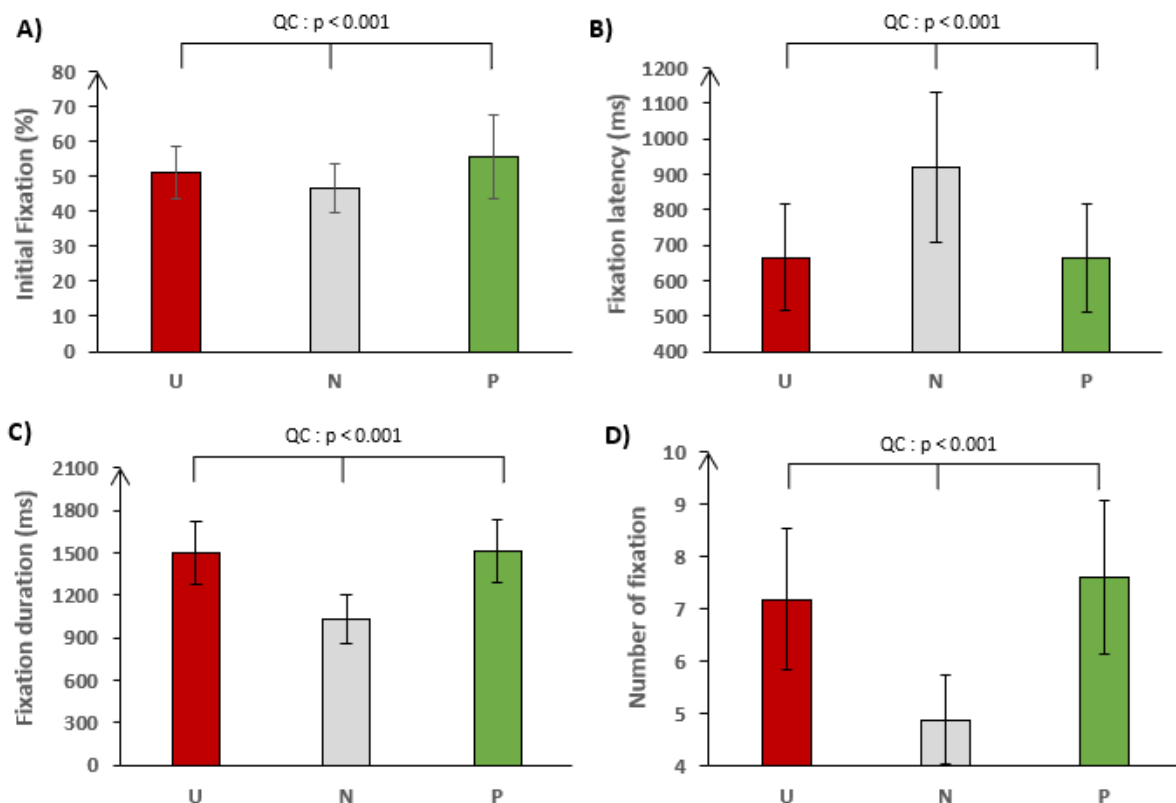


Figure 1. Initial fixation and fixation latency (A-B) and total fixation duration and number of fixations (C-D) to image emotion in |UN| and |PN| pairs. U: Unpleasant; N: Neutral; P: Pleasant; QC: Quadratic contrast.

Psychometry, Eye Movements and Autonomic Activity

Mean SCRs to pairs of images correlated with depression ($r_{32} = 0.475$; $p = 0.005$). Thus, higher SCRs to images were associated with higher depression scores even when age or sex were controlled (respectively $r_{30} = 0.476$; $p = 0.006$ and $r_{30} = 0.495$; $p = 0.004$). HF-HRV at baseline correlated with the duration of fixation on pleasant images. Thus, higher HF-HRV at baseline was associated with a longer duration of fixation on pleasant images during the task ($r_{31} = 0.374$; $p = 0.035$). This association was still observed when age was controlled ($r_{29} = 0.375$; $p = 0.037$) and was still marginally significant when controlled for sex ($r_{29} = 0.320$; $p =$

0.079). During the task, a correlation was observed between ocular parameters and autonomic reactivity: the difference of fixation latency between pleasant and unpleasant images (valence effect) correlated with mean SCRs ($r_{30} = -0.381$; $p = 0.034$) even when age or sex were controlled (respectively $r_{28} = -0.380$; $p = 0.038$ and $r_{28} = -0.438$; $p = 0.015$). No other associations were found between ocular and autonomic variables ($r_s > 0.281$; $p_s > 0.120$) nor between ocular variables and depression or anxiety ($r_s < 0.249$; $p_s > 0.170$).

Depression, Eye Movements and Autonomic Reactivity

As SCRs correlated with depression scores and with the valence effect on the fixation latency, the stepwise linear regression model was performed by including depression (BDI scores) and the latency of fixing pleasant and unpleasant images, the age of participants, and their state and trait anxiety (STAI-A and STAI-B scores).

On the basis of the corrected Akaike information criterion (AICc), the selected model for predicting SCRs was found to explain 21% of the variance in the integral of SCR ($F_{3,29} = 3.60$, $p = 0.027$) and include the depression scores (BDI), the latency to fix pleasant images and the trait-anxiety scores (STAI-B) as predictors. The measures found did not point to the existence of significant collinearity between the predictors, minimal tolerance = 0.429 and maximal variance inflation factor (VIF) = 2.33 (**Figure 2 A1**).

A1)

Predictors	Slope	β	t	Sig.	VIF
STAI-B	-0.842	-0.484	-1.922	0.066	2.329
BDI	1.302	0.559	2.220	0.035	2.332
Latency to fix pleasant	0.050	0.384	2.325	0.028	1.003

One participant was excluded (N = 30) due to a Cook's distance value greater than 0.2.

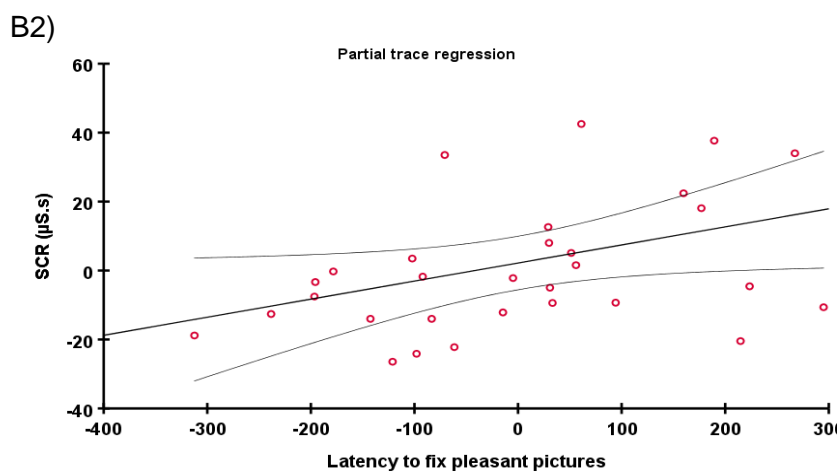
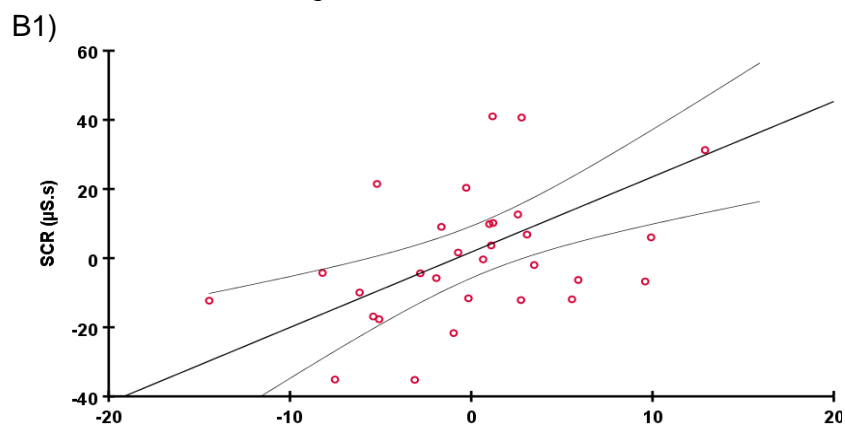
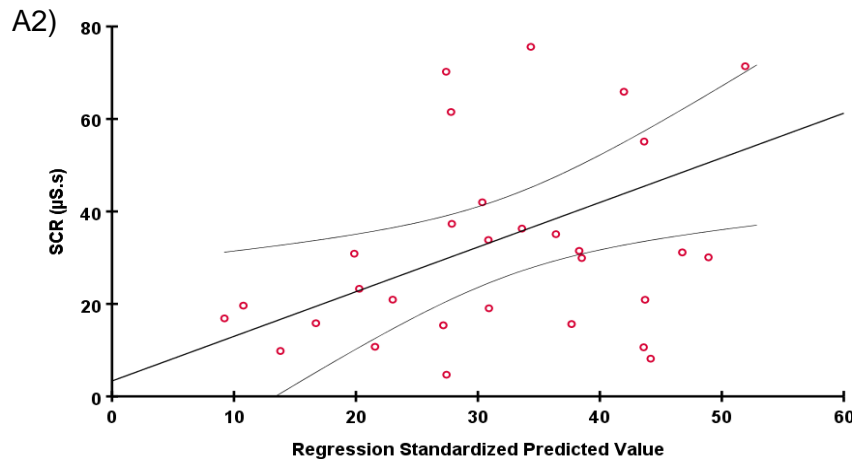


Figure 2. A. Multiple linear regression model to predict SCRs. VIF: maximal variance inflation factor, index allowing to verify the premise of multicollinearity (A1) and representation of the model (A2) B. Partial trace regression with intervals of confidence for BDI scores (B1) and for latency of fixation to pleasant images (B2).

In the model, depression scores ($t = 2.22$, $p = 0.035$) and the latency to fix pleasant images ($t = 2.33$, $p = 0.028$) significantly contributed to a better prediction of the SCRs while the trait-anxiety scores ($t = -1.92$, $p = 0.066$) did not significantly contribute to the predictive power of the model. Hence, greater SCRs were associated with higher depression, with a coefficient of 1.30, and higher latency to fix pleasant images, with a coefficient of 0.05. Interestingly, contrary to what has been observed for depression scores and the latency to fix pleasant images, the coefficient describing the direction of the relation between STAI-B scores and SCRs was negative.

In sum, the best model to predict SCRs integrate latency of fixation to pleasant images, depression and anxious scores such higher depression level and lower orientation to pleasant stimuli were expected to predict higher SCRs, after controlling for the other variables.

1.5. Discussion

The aim of this study was to investigate potential links between attentional bias and autonomic reactivity to emotional information and the implication of depressive symptomatology on these potential associations. Firstly, all recorded parameters of ocular behaviour indicated a preferential orientation of attention to emotional images. Secondly, higher orientation and maintenance of attention towards pleasant images were associated with lower values of autonomic arousal during baseline (HRV) and during the task (SC). Thirdly, the best model to predict SCRs of participants includes latency of fixation to pleasant images, and scores of depression and anxiety.

The first result, showing a preferential orientation and maintenance of attention toward emotional contents, reflected by the initial fixation and the shorter latency to fixate upon emotional images, extends data from previous eye-tracking studies demonstrating that emotional stimuli benefit from enhanced perceptual processing, with more fixations, especially during the first saccades (Niu et al., 2012). In terms of unpleasant and pleasant value of images, no attentional preference was observed for one over the other, suggesting that attentional bias depends only on the arousal dimension of emotion.

Depressive symptomatology was not correlated with any ocular parameter which is consistent with few studies that failed to report bias for emotion in people with depression or dysphoria (Koster et al., 2006; Elgersma et al., 2018). Moreover, data from the literature report an attentional bias in depression towards “mood-congruent” or “dysphoric” information, using discrete emotional stimuli, and mainly for attention maintenance indicators (Armstrong & Olatunji, 2012). The present study did not use mood-congruent stimuli but natural scene based on dimensional theory of emotion, which could explain that such correlation was not observed.

Besides, in the present study, the images' selection was carried out in order to ensure homogenised arousal differences between the two images constituting the pairs. Thereby, attention may have been captured by the emotional image regardless of symptomatology for all participants.

The second result supports specific links between attentional bias to pleasant information and the expression of autonomic arousal both at baseline and during the task. During the baseline, greater HF-HRV was associated with longer fixation on pleasant images. Hence, higher parasympathetic influence, and thus increased HF-HRV, appears linked to maintenance of attention toward pleasant information. The polyvagal theory (Porges, 2007) proposes that baseline cardiac measures of parasympathetic activity can index the capacity to adapt to the environment. More precisely, parasympathetic HRV activity at rest and reactivity are associated with adaptive expression of emotion and self-regulatory skills. Therefore, our observed association between baseline autonomic activity and preferential attention to pleasant information reveals a positive impact of a more parasympathetic psychophysiological state on an upcoming emotional task in the domain of emotional regulation (Beauchaine, 2001). Individuals with higher parasympathetic activation at baseline may be better able to employ the best strategies to respond to stressful emotional challenges by focusing on pleasant information. The present results also reinforce the neurovisceral integration model (Thayer and Lane, 2000), which postulates that cardiac activity, through HRV, is informative about the integrity of brain networks supporting interaction between emotion and cognition. However, this association became marginally significant when sex is controlled. Indeed, sex differences on HRV have been reported with higher HRV in women characterised by a relative dominance of vagal activity (Koenig and Thayer, 2016). Due to the sample size, it seems difficult to conclude on sex differences for HRV and it is therefore advisable to remain cautious about this result. Additional data on the association between attentional and autonomic measurement in relation to sex are necessary and may point out different associations for these parameters for men and women.

During the task, a valence effect on the fixation latency was associated with autonomic reactivity. Individuals who fixated upon pleasant stimuli more quickly showed lower SC to the pairs of images whereas the reverse was observed for fixation on unpleasant stimuli. This positivity bias, described in the attentional literature (Troller-Renfree et al., 2017) bears witness to a regulatory interaction between the capture of information and autonomic adaptation.

The third result showed that the best model to predict SCRs integrate latency of fixation to pleasant information with depression and trait-anxiety scores. At psychometric level, higher depression predicted greater SCRs in response to pair of images while trait anxiety did not

significantly contribute to the prediction of SCRs. At attentional level, measured by images' fixation latency, a lower attentional orientation towards the pleasant images was associated with greater SCRs. This association between pleasant orientation and autonomic reactivity is particularly interesting since depressed individuals appear to lack positive attentional bias (Duque & Vazquez, 2015) and are characterised by autonomic dysfunctions sometimes reported as increased autonomic activity (Branković, 2008; Wenzler et al., 2017). Consequently, attempts to reinforce such bias could help to attenuate autonomic activation and potentially serve as a protective homeostatic adaptation or a coping strategy. In the same vein, similar autonomic hyporeactivity to emotional challenges has already been reported, and interpreted as the expression of a coping strategy engaged to improve performance of a behavioural task (Naveteur et al., 2005). In this context, an intervention to attenuate autonomic reactivity could increase capacity to orient attention towards pleasant information which may be beneficial especially for depressed individuals. Therefore, these results suggest that the pleasantness bias could constitute a cognitive marker of behavioural and autonomic adaptations to emotion.

Finally, this study has several methodological strengths. First, we carefully considered influences of physical saliency of images on visual search and attention (Lucas & Vuilleumier, 2008) and gender differences in emotional assessment and reactivity (Bradley et al., 2001). Thus, we carried out a rigorous selection of stimuli for each type of pair of images (see **Appendix 1; Table S1**). Second, this study was enriched by taking into account both facets of the autonomic nervous system, sympathetic and parasympathetic, which potentially have distinct contributions to attentional and emotional processes. Third, the integration of behavioural and autonomic parameters, encompassing their reciprocal influences, allowed us to clarify the relationship between attentional bias and autonomic reactivity and the relation with depressive symptomatology. The study also had some limitations, notably the sex-ratio of participants. Indeed, even if images selection was homogenised between women and men, sex of participants seems to influence some of the association observed (e.g. HRV) and the sample size for men do not allow to examine potential sex differences properly on these associations. Therefore, additional researches are needed to determine potential implication of this variable on interaction between attention and autonomic expression. Moreover, the choice of a non-clinical population constrains the scope of our results to moderate levels of depression. Indeed, participants are not clinically depressed in our sample. Nonetheless, even when considering lower depression levels, prominent effects were observed. Moreover, findings remain relevant since attentional bias is considered to be implicated in the development of clinical depression (Gotlib and Joorman, 2010).

In conclusion, our characterisation of the association between attentional processes and specific patterns of autonomic reactivity extends a growing literature, and points in the direction of reciprocal influences of both systems that can lead to the personalisation of clinical remediation and rehabilitation procedures, including attentional training and/or biofeedback therapies. Furthermore, the data obtained in this work argue in favour of evidence-based interventions using attentional training towards pleasant information. Consequently, considering the lack of orientation to pleasant information and autonomic dysfunction in depression, two strategies can emerge from these results. On the one hand, in depressed individuals who lack strong attentional bias toward pleasantness, attentional training towards emotionally positive information may be beneficial in reducing autonomic hyperarousal and reactivity to emotional information. On the other hand, in depressed individuals who show autonomic hyperarousal, biofeedback procedures based on HRV may be therapeutically beneficial, in part by fostering enhanced attentional bias toward pleasant information. Finally, our research supports an approach integrating both cognition and physiology to better understand their interdependence in healthy and pathological expressions of emotion.

References

- Armstrong, T., & Olatunji, B. O. (2012). Eye tracking of attention in the affective disorders : A meta-analytic review and synthesis. *Clinical Psychology Review*, 32(8), 704-723. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2012.09.004>
- Beauchaine, T. (2001). Vagal tone, development, and Gray's motivational theory : Toward an integrated model of autonomic nervous system functioning in psychopathology. *Development and Psychopathology*, 13(2), 183-214. <https://doi.org/10.1017/s0954579401002012>
- Beck, A. T., Steer, R. A., Ball, R., & Ranieri, W. (1996). Comparison of Beck Depression Inventories -IA and -II in psychiatric outpatients. *Journal of Personality Assessment*, 67(3), 588-597. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa6703_13
- Berntson, G. G., Bigger, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., Nagaraja, H. N., Porges, S. W., Saul, J. P., Stone, P. H., & van der Molen, M. W. (1997). Heart rate variability : Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34(6), 623-648. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x>
- Boucsein, W. (2012). Principles of Electrodermal Phenomena. In *Electrodermal Activity* (p. 1-86). Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1126-0_1
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation I : Defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion* (Washington, D.C.), 1(3), 276-298.
- Bradley, Margaret M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion : The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49-59. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)
- Branković, S. B. (2008). System identification of skin conductance response in depression—An attempt to probe the neurochemistry of limbic system. *Psychiatria Danubina*, 20(3), 310-322.
- Bylsma, L. M., Morris, B. H., & Rottenberg, J. (2008). A meta-analysis of emotional reactivity in major depressive disorder. *Clinical Psychology Review*, 28(4), 676-691. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2007.10.001>
- Chapman, A., Devue, C., & Grimshaw, G. M. (2019). Fleeting reliability in the dot-probe task. *Psychological Research*, 83(2), 308-320. <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0947-6>
- Chong, L. J., & Meyer, A. (2020). Psychometric properties of threat-related attentional bias in young children using eye-tracking. *Developmental Psychobiology*. <https://doi.org/10.1002/dev.22053>
- Critchley, H. D., & Harrison, N. A. (2013). Visceral influences on brain and behavior. *Neuron*, 77(4), 624-638. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.02.008>
- Damasio, A. R. (2000). A Second Chance for Emotion. In R. D. R. Lane, L. Nadel, G. L. Ahern, J. Allen, & A. W. Kaszniak (Éds.), *Cognitive Neuroscience of Emotion* (p. 12-23). Oxford University Press.
- Delplanque, S., N'diaye, K., Scherer, K., & Grandjean, D. (2007). Spatial frequencies or emotional effects? A systematic measure of spatial frequencies for IAPS pictures by a discrete wavelet analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 165(1), 144-150. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.05.030>
- De Zorzi, L., Ranfaing, S., Honoré, J., & Sequeira, H. (2021). Autonomic reactivity to emotion : A marker of sub-clinical anxiety and depression symptoms? *Psychophysiology*, 58(4), e13774. <https://doi.org/10.1111/psyp.13774>
- De Zorzi, L., Robin, M.-S., Honoré, J., Bubrovsky, M., Vaiva, G., & Sequeira, H. (2020). Depression restricts visual capture and promotes the perception of negative information. *Biological Psychology*, 154, 107923. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2020.107923>
- Duque, A., & Vázquez, C. (2015). Double attention bias for positive and negative emotional faces in clinical depression : Evidence from an eye-tracking study. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 46, 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2014.09.005>
- Elgersma, H. J., Koster, E. H. W., Tuijl, L. A. van, Hoekzema, A., Penninx, B. W. J. H., Bockting, C. L. H., & Jong, P. J. de. (2018). Attentional bias for negative, positive, and threat words in current and remitted depression. *PLOS ONE*, 13(10), e0205154. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205154>
- Fox, E., Cahill, S., & Zougkou, K. (2010). Preconscious Processing Biases Predict Emotional Reactivity to Stress. *Biological Psychiatry*, 67(4), 371-377. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2009.11.018>

- Gottlib, I. H., & Joormann, J. (2010). Cognition and depression : Current status and future directions. *Annual Review of Clinical Psychology*, 6, 285-312. <https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.121208.131305>
- Ingram, R. E., Miranda, J., & Segal, Z. V. (1998). *Cognitive vulnerability to depression* (p. xiii, 330). Guilford Press.
- Kemp, A. H., Quintana, D. S., Gray, M. A., Felmingham, K. L., Brown, K., & Gatt, J. M. (2010). Impact of depression and antidepressant treatment on heart rate variability : A review and meta-analysis. *Biological Psychiatry*, 67(11), 1067-1074. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2009.12.012>
- Koenig, J., & Thayer, J. F. (2016). Sex differences in healthy human heart rate variability : A meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 64, 288-310. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.03.007>
- Koster, E. H. W., Leyman, L., Raedt, R. D., & Crombez, G. (2006). Cueing of visual attention by emotional facial expressions : The influence of individual differences in anxiety and depression. *Personality and Individual Differences*, 41(2), 329-339. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2005.12.022>
- Lang, P., Bradley, M., & Cuthbert, B. (2008). *International affective picture system (IAPS) : Affective ratings of pictures and instruction manual*. <http://csea.phhp.ufl.edu/Media.html>
- Lazarov, A., Abend, R., & Bar-Haim, Y. (2016). Social anxiety is related to increased dwell time on socially threatening faces. *Journal of Affective Disorders*, 193, 282-288. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.01.007>
- Lucas, N., & Vuilleumier, P. (2008). Effects of emotional and non-emotional cues on visual search in neglect patients : Evidence for distinct sources of attentional guidance. *Neuropsychologia*, 46(5), 1401-1414. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.12.027>
- MacLeod, C., Mathews, A., & Tata, P. (1986). Attentional bias in emotional disorders. *Journal of Abnormal Psychology*, 95(1), 15-20. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.95.1.15>
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame : An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314-324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- Naveteur, J., Buisine, S., & Gruzelier, J. H. (2005). The influence of anxiety on electrodermal responses to distractors. *International Journal of Psychophysiology*, 56(3), 261-269. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2004.12.006>
- Niu, Y., Todd, R. M., Kyan, M., & Anderson, A. K. (2012). Visual and emotional salience influence eye movements. *ACM Transactions on Applied Perception*, 9(3), 1-18. <https://doi.org/10.1145/2325722.2325726>
- Paulus, M. P., & Stein, M. B. (2010). Interoception in anxiety and depression. *Brain Structure & Function*, 214(5-6), 451-463. <https://doi.org/10.1007/s00429-010-0258-9>
- Peckham, A. D., McHugh, R. K., & Otto, M. W. (2010). A meta-analysis of the magnitude of biased attention in depression. *Depression and Anxiety*, 27(12), 1135-1142. <https://doi.org/10.1002/da.20755>
- Porges, Stephen W. (2007). The Polyvagal Perspective. *Biological psychology*, 74(2), 116-143. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.06.009>
- Sears, C., Quigley, L., Fernandez, A., Newman, K., & Dobson, K. (2019). The reliability of attentional biases for emotional images measured using a free-viewing eye-tracking paradigm. *Behavior Research Methods*, 51(6), 2748-2760. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1147-z>
- Shane, M. S., & Peterson, J. B. (2007). An evaluation of early and late stage attentional processing of positive and negative information in dysphoria. *Cognition and Emotion*, 21(4), 789-815. <https://doi.org/10.1080/02699930600843197>
- Skinner, I. W., Hübscher, M., Moseley, G. L., Lee, H., Wand, B. M., Traeger, A. C., Gustin, S. M., & McAuley, J. H. (2018). The reliability of eyetracking to assess attentional bias to threatening words in healthy individuals. *Behavior Research Methods*, 50(5), 1778-1792.
- Spielberger, C. D., Bruchon-Schweitzer, M., & Paulhan, I. (1993). *STAI-Y : Inventaire d'anxiété état-trait forme Y*. Éditions du centre de psychologie appliquée, DL 1993.
- Suess, P. E., Porges, S. W., & Plude, D. J. (1994). Cardiac vagal tone and sustained attention in school-age children. *Psychophysiology*, 31(1), 17-22. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1994.tb01020.x>

Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, 61(3), 201-216. [https://doi.org/10.1016/s0165-0327\(00\)00338-4](https://doi.org/10.1016/s0165-0327(00)00338-4)

Thoern, H. A., Grueschow, M., Ehlert, U., Ruff, C. C., & Kleim, B. (2016). Attentional Bias towards Positive Emotion Predicts Stress Resilience. *PLOS ONE*, 11(3), e0148368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148368>

Troller-Renfree, S., McLaughlin, K. A., Sheridan, M. A., Nelson, C. A., Zeanah, C. H., & Fox, N. A. (2017). The beneficial effects of a positive attention bias amongst children with a history of psychosocial deprivation. *Biological psychology*, 122, 110-120. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.04.008>

Voßkühler, A., Nordmeier, V., Kuchinke, L., & Jacobs, A. M. (2008). OGAMA (Open Gaze and Mouse Analyzer) : Open-source software designed to analyze eye and mouse movements in slideshow study designs. *Behavior Research Methods*, 40(4), 1150-1162. <https://doi.org/10.3758/BRM.40.4.1150>

Vuilleumier, P. (2015). Affective and motivational control of vision. *Current Opinion in Neurology*, 28(1), 29-35. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000159>

Waechter, S., Nelson, A. L., Wright, C., Hyatt, A., & Oakman, J. (2014). Measuring Attentional Bias to Threat : Reliability of Dot Probe and Eye Movement Indices. *Cognitive Therapy and Research*, 38(3), 313-333. <https://doi.org/10.1007/s10608-013-9588-2>

Wenzler, S., Hagen, M., Tarvainen, M. P., Hilke, M., Ghirmai, N., Huthmacher, A.-C., Trettin, M., van Dick, R., Reif, A., & Oertel-Knöchel, V. (2017). Intensified emotion perception in depression : Differences in physiological arousal and subjective perceptions. *Psychiatry Research*, 253, 303-310. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.03.040>

Appendices

Appendix 1: Images selection

	Women				Men				W/M
	U-N	N-N	P-N	p	U-N	N-N	P-N	p	p
Valence	2,563 (0,829)	0,548 (0,407)	2,473 (0,668)	> 0,001	2,652 (0,621)	0,401 (0,241)	2,281 (0,663)	> 0,001	0.502
Activation	2,746 (0,949)	0,501 (0,344)	2,805 (0,984)	> 0,001	2,485 (0,937)	0,547 (0,349)	2,678 (1,066)	> 0,001	0.502
Luminance	42,973 (37,520)	37,069 (25,382)	41,300 (34,078)	0,871	41,292 (24,261)	41,985 (30,566)	45,121 (27,293)	0,916	0.704
Contrast	19,411 (13,826)	21,620 (12,766)	18,570 (12,383)	0,792	15,798 (11,064)	17,726 (9,295)	16,286 (14,325)	0,890	0.200
Luminance (R)	42,846 (35,427)	36,542 (22,893)	46,769 (35,522)	0,659	45,321 (35,155)	45,965 (29,572)	48,051 (32,176)	0,969	0.504
Contrast (R)	19,717 (13,838)	22,692 (15,125)	18,869 (12,797)	0,720	20,565 (14,880)	16,888 (10,719)	17,884 (11,968)	0,698	0.468
Luminance (G)	41,892 (38,487)	39,115 (32,486)	43,611 (34,817)	0,936	44,000 (26,756)	44,386 (31,426)	47,708 (31,503)	0,929	0.569
Contrast (G)	18,969 (14,722)	21,646 (15,968)	19,000 (12,785)	0,837	16,549 (13,788)	16,536 (12,298)	16,997 (14,822)	0,994	0.273
Luminance (B)	54,553 (41,430)	44,421 (30,608)	53,355 (41,504)	0,716	47,938 (18,047)	52,475 (37,773)	48,761 (28,520)	0,897	0.880
Contrast (B)	23,999 (14,607)	27,288 (17,579)	23,142 (18,017)	0,763	17,734 (14,854)	21,057 (17,558)	26,196 (21,305)	0,419	0.380
Low frequencies (Grey)	6,775 (6,253)	9,781 (11,364)	6,164 (3,779)	0,381	6,148 (9,917)	8,0253 (7,804)	6,3499 (3,820)	0,747	0.643
High frequencies (Grey)	1,152 (1,387)	1,479 (2,568)	0,925 (0,812)	0,669	1,380 (2,560)	1,479 (1,762)	0,975 (0,804)	0,719	0.801
Low frequencies (R)	6,149 (4,876)	8,315 (9,291)	6,220 (3,798)	0,562	7,133 (8,703)	5,921 (6,927)	4,930 (3,348)	0,651	0.504
High frequencies (R)	0,999 (0,997)	1,698 (3,140)	0,9172 (0,764)	0,468	1,363 (2,586)	1,705 (2,357)	0,944 (0,727)	0,583	0.748
Low frequencies (G)	6,020 (5,721)	9,132 (11,022)	5,576 (3,305)	0,345	5,193 (8,357)	7,280 (8,227)	5,560 (3,812)	0,678	0.546
High frequencies (G)	1,048 (1,133)	1,583 (2,716)	0,929 (0,756)	0,537	1,319 (2,591)	1,579 (1,767)	0,861 (0,751)	0,548	0.858
Low frequencies (B)	7,178 (5,619)	10,506 (14,983)	4,958 (4,328)	0,267	6,911 (10,878)	7,728 (10,712)	6,085 (5,361)	0,884	0.741
High frequencies (B)	1,110 (1,309)	1,286 (1,790)	0,949 (0,935)	0,792	1,053 (1,653)	1,479 (1,523)	0,994 (1,037)	0,582	0.834

Table S1. Physical properties from the pairs of images selected. Mean value and standard deviation of differences between the two images composing each pair concerning valence, activation and physical properties for women and men and for unpleasant-neutral (U-N), neutral-neutral (N-N) and pleasant-neutral (P-N) conditions. R = red, B = blue, G = green, p = p value of multivariate analyses for each sex, W/M = comparisons between women and men.

Appendix 2: Subjective assessment of images

As expected, the valence assessment by the participants differed according to the emotional category ($F_{1,41,46.67} = 322.085$; $p < 0.01$; $\eta^2 = 0.907$; $U = 2.21$, $N = 4.98$, $P = 6.82$). Thus, participants rated unpleasant images with a lower valence than pleasant ones (LC: $F_{1,33}$

= 387.70; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.922$) but the valence gap with neutral images was more important for unpleasant images (QC: $F_{1,33} = 24.113$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.422$; **Figure S1.A**). The arousal assessment by the participants also differed according to the emotional category ($F_{1,67,55.34} = 109.110$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.768$; $U = 5.45$, $N = 2.07$, $P = 3.89$). Participants rated emotional images with a greater arousal than neutral ones (QC: $F_{1,33} = 217.006$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.868$) but they evaluated unpleasant images as more arousing than pleasant ones (LC: $F_{1,33} = 38.370$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.868$ **Figure S1.B**).

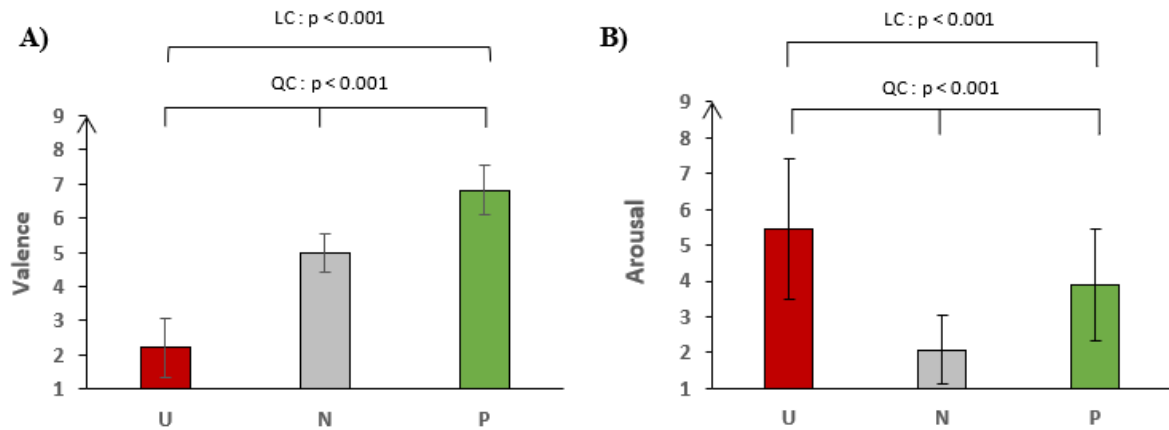


Figure S1. Subjective assessment of valence (A) and arousal (B). U: Unpleasant; N: Neutral; P: Pleasant; LC: Linear contrast; QC: Quadratic contrast.

Chapitre III.

Modulation du déploiement de l'attention et répercussions neurovégétatives

[Étude 4]

➤ Cadre global de l'Étude

Les résultats obtenus lors des travaux précédents nous indiquent que des spécificités dans le déploiement de l'attention peuvent s'observer dans la symptomatologie anxieuse et dépressive. En particulier, sur la base de données comportementales et neurovégétatives, **l'anxiété** se caractérise par un accroissement des informations surveillées dans l'espace visuel menant à une **meilleure détection des informations en VP, surtout déplaisantes**. Les données indiquent aussi que la **dépression** et la **moindre orientation vers l'information plaisante** sont **impliquées** dans la **réactivité neurovégétative**. De plus, indépendamment de la symptomatologie, des **associations** ont été constatées **entre biais attentionnels et réactivité neurovégétative**.

En plus des aspects attentionnels et comportementaux, l'anxiété et la dépression sont aussi toutes les deux caractérisées, comparativement aux sujets contrôles, par une réactivité neurovégétative atypique, encore peu caractérisée. Par conséquent, pour cette quatrième expérimentation, nous avons proposé une **tâche de modification de déploiement de l'attention** vers les images émotionnelles chez des individus pour lesquels nous avons également mesuré les niveaux d'anxiété et de dépression. Nous avons ensuite mesuré les **répercussions d'une tâche de visionnage libre sur le plan de l'attention et de la réactivité neurovégétative**. Les mesures inhérentes aux **mouvements oculaires** nous permettent d'attester du **déploiement de l'attention** vers les informations présentées. Les mêmes mesures nous ont également permis d'extraire plus précisément les composantes **d'orientation et de maintien** de l'attention vers les informations présentées. Par ailleurs, l'enregistrement des **activités électrodermale et cardiaque** nous a permis d'observer **l'impact neurovégétatif** de ces stimulations selon le déploiement de l'attention.

➤ Objectifs

La présence de biais attentionnels participe au développement et au maintien de pathologies telles que l'anxiété ou la dépression qui sont deux pathologies également associées à des atypies sur le plan neurovégétatif. Par ailleurs, les données de la littérature

rapportent des liens entre les processus attentionnels et neurovégétatifs. Dans ce cadre, le déploiement de l'attention pourrait moduler la réactivité neurovégétative et vice-versa. Par conséquent, cette étude vise à explorer les effets d'une modification du déploiement de l'attention sur la présence de biais attentionnels et de la réactivité neurovégétative potentiellement associée.

➤ **Méthodologie**

Nous avons retenu 62 participants adultes répartis en deux groupes : 31 participants ayant suivi une procédure d'entraînement (groupe TR) et 31 participants contrôles (groupe CT). Le groupe TR était entraîné, lors d'une tâche de *dot-probe*, à détecter rapidement une lettre (E ou F) toujours associée à des images plaisantes alors que la lettre apparaissait aléatoirement après des images plaisantes ou déplaisantes pour le groupe CT. Ensuite, lors d'une phase test, des paires d'images de valence émotionnelle positive, négative ou neutre étaient présentées simultanément au participant qui devait les explorer librement. Les mouvements oculaires, l'activité électrodermale et l'activité cardiaque étaient alors enregistrés.

➤ **Principaux résultats**

Au niveau comportemental, les résultats ont montré que tous les paramètres oculaires indiquaient une orientation préférentielle et un maintien de l'attention sur les images émotionnelles. Les participants entraînés présentaient un temps de maintien sur les images neutres plus important que le groupe contrôle. *Au niveau neurovégétatif*, un pourcentage plus faible de basses fréquences et plus élevé de hautes fréquences de la VFC s'observe pour le groupe entraîné. Le pourcentage de basses fréquences de la VFC était également associé à un temps de maintien plus important sur les images neutres. Enfin, l'activité électrodermale en réponse aux stimulations neutres et déplaisantes était plus importante pour les individus anxieux uniquement dans le groupe CT alors que la décélération cardiaque était plus élevée chez les anxieux uniquement dans le groupe TR.

➤ **Conclusions**

Nos résultats indiquent que la réactivité neurovégétative peut être modulée par une modification du déploiement de l'attention vers l'émotion. Le plus grand temps de maintien sur les images neutres, la proportion plus importante de basses fréquences de la VFC dans le groupe contrôle ainsi que la plus grande AED chez les anxieux dans le groupe contrôle peut renvoyer à de mauvaises capacités de régulation. À l'inverse, la plus grande proportion de hautes fréquences de la VFC ainsi que la plus grande décélération des individus anxieux du groupe entraîné pourraient traduire de meilleures capacités de régulation attentionnelle et

émotionnelle. Par conséquent, l'utilisation de procédures d'entraînement attentionnel pourrait s'avérer pertinent pour agir à la fois sur le volet attentionnel et neurovégétatif, tous deux impliqués dans la symptomatologie anxieuse et dépressive.

Autonomic repercussion of attentional modification procedure: implications for anxiety and depression

To be submitted

Stéphane Ranfaing^{a*}, Lucas De Zorzi^{a*}, Jacques Honoré^a, Remi Ruyffelaere^a, Hugo Critchley^{b, c}, Henrique Sequeira^a

^a Univ. Lille, CNRS, UMR 9193 - SCALab - Sciences Cognitives et Sciences Affectives,
F-59000 Lille, France

^b Clinical Imaging Sciences Centre, Brighton and Sussex Medical School, University of Sussex,
United Kingdom

^c Sackler Centre for Consciousness Science, University of Sussex, United Kingdom; Psychiatry,
Brighton and Sussex Medical School, Brighton, United Kingdom.

1.1. Abstract

Attentional biases are implicated in the etiology and maintenance of symptomatology such as anxiety or depression which are also associated with dysregulated autonomic activity. This study explores the effects of attentional modification procedure on these biases and on the associated autonomic activity. Sixty-two adult participants were divided into two groups: 31 participants who had followed a training procedure (TR group) and 31 control participants (CT group). During a dot-probe task, the TR group had to quickly detect a letter (E or F) always associated with pleasant images whereas the letter was randomly associated with pleasant and unpleasant pictures in the CT group. Then, during a test phase, pairs of images of positive, negative or neutral emotional valence were simultaneously presented to the participant who can freely explore them. Eye movements, skin conductance (SC) and heart rate (HR) were recorded and HR variability (HRV) parameters were computed. At behavioural level, all recorded ocular parameters indicated a preferential orientation and maintenance of attention to emotional images. Moreover, TR participants showed lower dwell time to neutral images compared to CT. At physiological level, lower low frequencies and higher high frequencies of HRV were observed during the first part of the test phase in the TR group. Correlation analyses revealed that anxious-trait were associated to higher SC responses in the CT group whereas it was associated to HR deceleration in the TR group. Thus, our results reveal that modifying attentional deployment leads to repercussions on the autonomic component. According to our results, it could be useful to implement this type of training to act on both the attentional and autonomic aspects, both involved in the symptoms of anxiety and depression.

Keywords: Emotion, Depression, Anxiety Attention bias, Eye movements, Autonomic responses, Skin conductance.

1.2. Introduction

Perceptive processes are determinant to identify the relevant sensory information to the individual's adaptation. In this context, emotional responses to relevant stimuli, allow adaptation at behavioral, cognitive and physiological levels. In fact, emotions are complex responses integrating subjective, behavioral and physiological components (Damasio, 2000). Because the subjective nature of emotions makes them difficult to objectify, and in order to better understand emotional complexity through physiological and behavioral components, the dimensional theory of emotions, developed by Lang et al. (1993), proposes to describe emotions in two dimensions: valence and arousal (or activation). The valence corresponds to the pleasant or unpleasant aspect of the feeling while the arousal refers to the level of intensity (from calm to activated) of a pleasant or unpleasant emotion (Bradley & Lang, 1994). In the sensory flow, information relevant to the individual benefits from attentional resources that make it possible to prioritize their cognitive management (Shechner et al., 2012). Attentional mobilization towards emotional stimuli can even occur unconsciously and involuntarily due to the adaptive value of these stimuli, whether pleasant or unpleasant (Vuilleumier, 2015). However, the attentional hold exerted by emotional stimuli can be excessive in many affective disorders. This corresponds to attentional biases, which are characterized by an exaggerated tendency to focus on emotional information. The presence of these biases would be associated with the appearance and maintenance of anxiety and depressive symptoms (Gotlib and Joormann, 2010; Mogg & Bradley, 2016). Anxious individuals are faster to detect threatening stimuli, a probable consequence of an anomaly at the level of the detection threshold, which would lead them to be hyper-vigilant (Bar-Haim et al., 2007; Mogg et al., 1997). Shifting attention to threatening information in the early stages of attention unfolding precedes avoidance of that information (Calvo & Avero, 2005; Koster et al., 2006). This early and heightened vigilance seems particularly to concern threatening stimuli, since anxious individuals do not show an attentional bias for pleasant information (Armstrong & Olatunji, 2012a). In depressed individuals, an attentional bias for unpleasant emotions is also reported, which results in longer visual fixation times for unpleasant stimuli (Peckham et al., 2010; Duque & Vázquez, 2015). In this context, attention maintenance is seen as a difficulty in disengaging attentional resources from unpleasant stimuli in the late stages of their capture (Armstrong & Olatunji, 2012; Mogg et al., 1997). In addition, an anhedonic bias resulting in a reduced orientation towards pleasant information is observed (Armstrong & Olatunji, 2012).

Several strategies have been adopted to reduce the manifestation of attentional bias, especially for symptoms such as anxiety and depression. For example, attentional training procedures, such as "Attention Bias Modification Training", aim to train the patient to no longer focus his attention preferentially towards negative stimuli, but more towards neutral or pleasant

information. This type of procedure is based on the dot-probe task (MacLeod & Mathews, 1988), an identification task during which two stimuli are presented and at least one of which has emotional value. The presentation of the two stimuli is followed by an emotionally neutral task, which involves the detection or discrimination of a probe that appears at the location of one of the two stimuli presented. For example, the probe appears, at equal frequency, at the location of a pleasant image (congruent condition) or replaces a neutral image (incongruent condition). Participants are instructed to press the button that corresponds to the probe that has appeared. The response times will make it possible to determine which stimulus had automatically and preferentially capture attention. By altering the congruence between the location of the probe and the stimuli, this task can thus be used to alter the focus of attention. In fact, in this type of procedure (Hakamata et al., 2010), the probe no longer appears at equal frequency after the different types of stimuli, but at a higher frequency after the neutral or pleasant stimulus, which leads to focus more attention on these stimuli and therefore to attenuate it implicitly towards unpleasant stimuli, more related to these disorders. Consistent with this training procedure, a benefit in terms of reducing attentional bias towards unpleasant information has been observed in anxious people (Amir et al., 2009; Eldar, 2012; Liang & Hsu, 2016), even for a single training session (Amir et al., 2008). Regarding depression, several authors have observed a reduction in bias towards unpleasant information (Woolridge et al., 2021) and an increase in the same type of bias towards pleasant information (Dai et al., 2019). These procedures have also shown beneficial effects in anxiety, reducing clinical symptoms (Amir et al., 2008, 2009; Eldar, 2012; Liang & Hsu, 2016), as well as a reduction in the level of depression (Dai et al., 2019; Jonassen, 2019), in clinical and sub-clinical populations (Hallion & Ruscio, 2011). However, despite the interest of this approach, it does not take into account the autonomic activity associated with these pathologies and the potential benefits of taking them into account. Anxious and depressive symptoms appear to affect both attentional processes and physiological responsiveness, although the combination of these two aspects has rarely been studied. Yet it has been shown that cognitive processes can modulate certain physiological responses, electrodermal responses (EDA) or heart rate (HR). The amplitude of EDA is notably modulated by the emotional content of visual stimuli (D'Hondt, 2010) and quite faithfully reflects the activity of eccrine sweat glands at the level of the palmar surfaces, under the control of the sympathetic nervous system (SNS). Thus, sympathetic activation leads to an increase in local sweating and a consequent increase in skin conductance, in the form of EDA (Sequeira et al., 2009). The latter constitute a privileged indicator of physiological activation linked to attentional processes (Critchley, 2002), regardless of the valence of the emotional content, unpleasant or pleasant (Lang et al., 1993). For example, focusing attention results in an increase in EDA (Boucsein, 2012). The heart rate is modulated by emotions via the two

branches of the autonomic system: it increases with the activation of the SNS and decreases with the activation of the parasympathetic nervous system (PNS). Cardiac deceleration occurs in the context of sensing information, indicating a specific orientation of the individual (Bradley et al., 1999) while the subsequent cardiac acceleration occurs during preparation for action and reflects information avoidance and defensive activation (Lang et al., 1993). The amplitude of cardiac deceleration increases in response to unpleasant and emotional stimuli. In addition, it is possible to extract from the heart rate variations parameters providing information on cardiac function, in particular those of heart rate variability (HRV). This is determined from the variations in duration between successive heart beats. An increase in sympathetic activity will reduce the inter-beat intervals and an increase in parasympathetic activity will induce longer inter-beat intervals. Concerning frequency analysis of HRV, we distinguish between low frequencies (LF) between 0.04 and 0.15 Hz and high frequencies (HF) between 0.15 and 0.4 Hz. HF are under the influence of respiration and the SNP of which they constitute a reliable indicator, the LF would be under sympathetic influence. Thus, the ratio between LF and HF (LF / HF) is used as an indicator of the prevalence between SNP and SNS. Elevated HRV has been found to be associated with better cardiac adaptive capacity at rest and also during the presentation of emotional stimuli (Thayer et al., 2012).

The existence of attentional biases has been demonstrated in clinical and sub-clinical populations (Bar-Haim et al., 2007) and is accompanied, in anxious individuals, by physiological disturbances particularly associated with unpleasant stimuli. Anxiety is notably marked by greater amplitude of EDA in response to emotional images (Jansson & Najström, 2009; Pruneti et al., 2010). In addition, the anxious symptomatology is associated with an increased heart rate in response to unpleasant stimuli when returning to baseline (De Zorzi et al., 2021) and during stressful tasks (Pruneti et al., 2016; Pruneti et al., 2010). Regarding depressive symptoms, depressed individuals show that the amplitude of EDA to pleasant stimuli is lower in depressed individuals compared to control individuals (De Zorzi et al., 2020; Mardaga & Hansenne, 2009). Depressed individuals have also greater EDA following the presentation of unpleasant images compared to neutral images (De Zorzi et al., 2020). In addition, depressed individuals without pharmacological treatment show a higher heart rate and electrodermal activity at rest (Schumann et al., 2017). Because attentional mechanisms (orientation, maintenance of attention) have already been associated with particular physiological activities, it is possible that attentional training procedures, by modifying the manifestation of attentional biases, also modulate changes in physiological responsiveness. This possibility is particularly interesting insofar as the anxious or depressive symptomatology is associated with a differentiated reactivity on the attentional and autonomic levels (Pruneti et al., 2016), compared to the control participants. Finally, just as attentional bias towards

negative information can cause vulnerability to certain psychological disorders, an attentional bias towards positive information could play an important role in mental health and stress resilience. Indeed, these stimuli seem to promote adaptive psychological and physiological responses to stressors (Thoern et al., 2016). More specifically, an attentional bias towards positive stimuli can facilitate the adaptive regulation of stress: the privileged processing of positive information could thus attenuate the triggering and maintenance of negative emotional reactivity, in particular of a physiological type, usually associated with stress factors (Dandeneau et al., 2007). Thus, the development, establishment or maintenance of a bias towards positive information could prove useful in particular in the context of anxiety or depression which is also characterized by an avoidance of pleasant information (Duque & Vázquez, 2015b). Therefore, the aim of this study is to determine the effects of an attentional training procedure on attentional deployment and on autonomic activity. We formed two groups of participants: one follows an attentional training procedure using a modified dot-probe task whose objective is to orient subjects towards pleasant information (trained group: TR); the other group followed a control procedure (control group: CT). We propose the hypothesis according to which a preferential attention towards the pleasant would settle in the trained group, as well as a reduced sympathetic and increased parasympathetic activity compared to the control group. Operationally, we used an attentional modification procedure followed by a paradigm of simultaneous presentation of emotional and neutral image pairs associated with concomitant oculometric recording. The latter should inform us about the attentional mechanisms involved in the processing of visual emotional information. Electrodermal activity and cardiac activity, two autonomic measures recognized for their association with emotional processes, have also been recorded.

1.3. Method

The experiment was approved by the Ethics Committee of the University of Lille (Reference: 2020-430-S84) and carried out in accordance with the Declaration of Helsinki. The participants signed a written and informed consent, they also received 20 € in compensation for their participation.

Participants

Sixty-two participants were included in the study and split into two groups: a group that received attention modification training (TR group) and a control group (CT group). The TR group has 31 participants (age 21.5 +/- 2.8) and the CT group has 31 participants (age 21.6 +/- 2.6). A questionnaire composed in particular of the STAI-B (State-Trait Anxiety Inventory, Spielberger et al., 1993) and CES-D (Center for Epidemiologic Studies - Depression Scale (Radloff, 1977)) scales was distributed online by the social media intermediary. To obtain a

homogeneous distribution of anxiety and depressive symptoms across our sample, participants were recruited based on their trait-anxiety scores, obtained from the STAI-B, and depression, obtained from the CES-D, considering low (STAI-B \leq 46) and high (STAI-B $>$ 46) anxiety and low (CES-D $<$ 16) and high (CES-D \geq 16) depression. The two groups are matched on gender, age, and levels of anxiety and depression. The inclusion criteria for the study were: (1) to be between 18 and 30 years old, (2) to be French speaker, (3) to have normal or corrected visual acuity (verified using Snellen's test). The non-inclusion criteria were: (1) not to have a neurological or psychiatric history, (2) not to be under medication belonging to class N05 (psycholeptics) and N06 (psychoanaleptics) of the ATC (Anatomical Therapeutic classification Chemical) of the WHO (WHO, 2017) or have consumed psychoactive substances the month before the test. These elements constitute non-inclusion criteria because they are likely to have an impact on cognitive and attentional functions.

Stimuli and Apparatus

The study was carried out at one of the experimental sites of the SCALab laboratory, at the University of Lille. The building that hosts the experiment meets adequate conditions in terms of security, recruitment and procurement, technical assistance and the constraints of the sound and visual environment. With all the recording techniques already available *in situ*, the experiment took place in a quiet room with moderate light. The visual stimulus projection device included a display (22-inch DELL P2213 1680 x 1050 resolution) connected to a computer (DELL Optiplex 7080; Windows 10 Professional) for attentional training and subjective assessment. This same projection device was subsequently connected to a DELL computer (latitude E6530; Windows 7) which allowed the broadcasting and recording of the responses of the participants. *Experiment Center* and *SMI Begaze* software were used to manage the presentation of stimuli as well as the recording of eye movements.

The stimuli, presented on a screen placed at a distance of 65 cm from the participant, are images of emotional or neutral scenes whose angular size is 12 ° on the horizontal axis and 8 ° on the vertical axis. A chin support made it possible to limit the movements of the head. The images, widely used in the field of Affective Neuroscience, are taken from the "International Affective Picture System" bank (IAPS, Lang & Cuthbert, 2008) . Each IAPS image is assigned values of valence (the scale of values ranging from 1, very unpleasant, to 9, very pleasant) and arousal (scale of 1, very calm, to 9, very excited). These values, inherent in the constitution of the image bank correspond to values, said *a priori*. Since the same image can be evaluated differently according to the sex (Bradley et al., 2001) we carried out, for both training and test phases, two selections of images adapted to each sex, but with equivalent valence and arousal values. The attentional training procedure consisted of 320 trials consisting of image pairs.

Pleasant-Neutral (P-N) pairs and Pleasant-Unpleasant (P-U) pairs were used. These pairs were randomly formed from a selection of 100 images, divided into three categories: 50 pleasant images (P), 25 unpleasant images (U) and 25 neutral images (N). The selections ensure that unpleasant category had a lower valence than the others and that the pleasant category had a greater valence than the others. (females: $U = 3.24$; $N = 5.21$; $P = 7.18$; males: $U = 3.25$; $N = 5.19$; $P = 7.24$, $p < 0.886$). The selections also ensure that unpleasant and pleasant categories had a greater arousal than the neutral one.” (females: $U = 5.21$; $N = 3.65$; $P = 5.21$; males: $U = 5.25$; $N = 3.51$; $P = 5.37$, $p < 0.703$).

During the test phase, the assessment of attentional bias included 48 trials for which two selections of 48 pairs of images, divided into 3 groups, were made: 16 unpleasant-neutral (U-N), 16 pleasant-neutral (P-N) and 16 neutral-neutral pairs (N-N). In order to control the emotional salience of images relative to that of the paired neutral image, we calculated the difference ($|U-N|$ and $|P-N|$) of valence and arousal between the two images constituting the pair. The valence difference is modulated by the type of pairs (for women: $|UN| = 2.5$; $|PN| = 2.4$; $|NN| = 0.5$; $F(2.90) = 120.39$; $p < 0.001$; and for men: $|UN| = 2.6$; $|PN| = 2.2$; $|NN| = 0.4$; $F(2.96) = 120.39$; $p < 0.001$). The valence difference between the Neutral-Neutral pairs differs from the Emotional-Neutral pairs ($p < 0.001$) without a difference in valence between the Unpleasant-Neutral and Pleasant-Neutral pairs ($p > 0.26$). The activation gap is also modulated by the type of pairs (for women: $|UN| = 2.7$; $|PN| = 2.8$; $|NN| = 0.5$; $F(2.96) = 72.12$; $p < 0.001$; and for men: $|UN| = 2.4$; $|PN| = 2.6$; $|NN| = 0.5$; $F(2.96) = 72.12$; $p < 0.001$). The arousal gap between the Neutral-Neutral pairs differs from the Emotional-Neutral pairs ($p < 0.001$) without this activation gap differing between the Unpleasant-Neutral and Pleasant-Neutral pairs ($p = 1.00$). For each of the pair of images, no difference was observed between the selections for males and females in terms of valence and arousal, (all $Fs(2.96) < 0.275$ and $ps > 0.609$).

So that the sets of images differ only in their emotional dimensions, the main physical characteristics of the images have been homogenized (Image J software): no significant difference was observed between emotional conditions and between genders with regard to mean luminance, contrast and color saturation (all $ps > 0.13$).

Recordings

Psychometrics

An online questionnaire was completed by the participants before they came to the laboratory. This questionnaire consisted of two self-reported tests to measure the degree of depression and trait-anxiety of each participant. The anxiety-trait was assessed during the online questionnaire while the anxiety-state was measured during the reception of the

participant, before the experiment. Trait anxiety and state anxiety were assessed by the STAI-Y-A and B (Spielberger et al., 1993), respectively. The anxiety-trait, assessed by the STAI-B, concerns a personality trait, that is to say the general propensity of the individual to experience anxiety on a daily basis, while the anxiety-state, evaluated by STAI-A, is rather reactive in nature, in response to a specific situation. The STAI A-B are two questionnaires each comprising 20 items, the responses being based on a four-point Likert scale ranging from "almost never" to "almost always". The level of depression was measured using the CES-D scale (Radloff, 1977) implemented in the online questionnaire. This is a 20-item questionnaire, each with four possible responses rated from "never, very rarely" to "frequently, all the time".

Behavioral data

The speed and accuracy to locate the probe, measured by reaction times (RT) and rates of correct responses (CR), were measured during the attentional training.

The main parameters of eye movements were acquired thanks to the oculometry system (*SMI RED 60/120*) connected to the projection computer with the *SMI iView X 2.8* software for an acquisition at 120 Hz, but also the reaction times and the rate of correct responses to attentional training (*OpenSesame* software (Mathôt et al., 2012)). Finally, to validate our selection of images, the participant was invited to assess, at the end of the experiment, the valence and arousal dimensions using the two 9-point scales of the Self-Assessment Manikin test. (Bradley & Lang, 1994) (SAM). These subjective scores correspond to values, called a *posteriori*.

Autonomic data

The physiological measurements relate to two autonomic indices: electrodermal activity (EDA), recorded in skin conductance, and heart rate, measured by an electrocardiogram (ECG). These signals were recorded at a sampling frequency of 200 Hz using the *Biopac MP35* connected to a computer equipped with *BIOPAC Student Pro 3.7* software. The EDA was collected with two Ag/AgCl electrodes (Biopac EL507) which are filled with an isotonic conductive paste (0.05M NaCl) and which are placed at the level of the second phalanx of the index and middle fingers of the non-dominant hand (D'Hondt et al., 2013). Electrodermal activity was measured with a gain of 5 μ S/V and a 10 Hz low-pass filter. The ECG was recorded with a modified DI lead, using three electrodes (Biopac EL503, 7% NaCl), two located at the wrists and the third placed on the upper right forearm with a bandpass filter of 0.5 and 66.5 Hz.

Procedure

Participants were recruited by internet advertisement through social media. A link redirected them to the trait-anxiety and depression questionnaires. Information relating to the

selection and inclusion criteria of participants (age, sex, psychometric data) was also collected via these questionnaires. The people who met the inclusion criteria were contacted to make an appointment for the experiment. After completing the consent form and answering the questionnaire on anxiety-state (STAI-A), the various sensors allowing physiological recordings (electrodermal and cardiac activities) were installed on the participant and the oculometer calibration. was carried out. The experiment then proceeded in three phases.

The first experimental phase consisted of the attentional training procedure. First, the presentation of 10 practice trials was offered to the subject in order to familiarize him with the procedure. Next, the participant performed attention training which consisted of a dot-probe task dedicated to changing the focus of attention. This dot-probe task consisted of 320 trials and each trial began with the presentation for 500ms of a fixation cross in the center of the screen, followed by the presentation of a pair of images (PN or UN) presented for 500ms. The images of a pair are shown simultaneously on the left (-12 °) and on the right (+ 12 °). Then, for 300ms, a probe (either the letter "E" or "F") was presented at the location of one of the two images constituting the previous pair. The participant was then asked to discriminate the letter presented as quickly as possible by pressing the keyboard key corresponding to the letter E or F. The participant had a maximum of 2 s to respond, during which a gray screen was presented. For the trained group (TR), the letter always appeared at the location of the previous pleasant images in order to train the participant to direct their attention to these types of images. The control group (CT) performed the same task, but the letter was presented randomly and equiprobably in place of the pleasant image or the image it was matched with.

The second phases involved the attentional bias assessment procedure. This phase began with a task-free autonomic recordings over a two-minute period as an index of the baseline autonomic activity. Then the bias assessment procedure consisted of presenting, in random order, 48 pairs of images: 16 unpleasant-neutral pairs (U-N), 16 pleasant-neutral pairs (P-N) and 16 neutral-neutral pairs (N-N). The images of a pair are shown simultaneously to the left (-12 °) and to the right (+ 12 °) of the center (0 °) of the projection screen located in front of the participant. The sequence of each trial during this assessment procedure was as follows: a central fixing cross is projected for 0.5 s then a number (between 1 and 9) replaces this cross for 1 s; the participant was instructed to say the number aloud. This task, already used in previous studies, ensures that the participant directs his gaze towards the center of the screen before the presentation of the stimuli (Calvo & Avero, 2005; Duque et al., 2014; Duque & Vázquez, 2015). It also helps to keep subjects attentive during the entire procedure, reduce the risk of error and even out the cognitive load that can have repercussions at the autonomic level. After the number is presented, the pair of images are presented for 3,5 s. Participants

had to freely explore the pair of images, with no further requirements. Finally, the screen remains gray for 10 to 15 s which corresponds to the inter-trial interval (ITI). This interval is adapted to avoid the onset of habituation phenomenon frequently associated with autonomic signals, in particular electrodermal activity.

The third and final phase concerns the subjective assessment of the valence and activation of each image presented above, on the two scales of the SAM test.

Data Analyses

Eye Movements

The eye movement data were preprocessed using the *SMI BeGaze 3.7.60* software. These data correspond to clues relating to the deployment of attention. Thus, the components of attentional orientation can be assessed via direction (Bradley et al., 1999) and the latency of first fixation, while the components of maintaining attention can be assessed using total fixation time (Calvo & Avero, 2005; Rohner, 2002). We retained the following oculometric parameters: initial fixation percentage, the latency of the first saccade, the dwell time (sum of all fixations and saccades) and the fixation count for each type of image: pleasant, neutral or unpleasant.

Conductance and Cardiac Activities

The EDA and ECG initially sampled at 200 Hz, were downsampled to 10 Hz via *LabChart7* to facilitate data retention and processing. For the electrodermal responses to the image pairs, the phasic component was derived from the tonic signal with a 0.05 Hz high pass filter using *AcqKnowledge 4.1* software. Electrodermal responses were analyzed by calculating the integrals of the amplitude changes over time for each condition and participant. Heart rate variability (HRV) parameters were computed over 4 two-minute periods: the baseline (BL), the start of the stimulation period (Period 1: P1), the end of the stimulation period (Period 2: P2) and after the stimulation period (Post-stimulation: PS). The R-R intervals were detected semi-automatically by the *Kubios HRV* software 2.2 software. Power spectral density analysis was applied to these RR intervals using the Fourier transform method with low frequencies (LF) set between 0.04 and 0.15 Hz and high frequencies (HF) set between 0, 15 and 0.4 Hz. The HRV parameters such as the LF/HF ratios were calculated and the LF-HRV and HF-HRV were transformed by calculating their natural logarithms. For the time domain, the mean HR was calculated as well as the standard deviation of the R-R intervals and the mean of the square roots of the differences between the successive R-R intervals (RMSSD). Furthermore, instantaneous HR variations, in beats per minute (BPM), was calculated from R-R intervals using an algorithm in *LabChart* and then smoothed by Bartlett's method using a window width of 1 s. The changes in HR in response to stimulation were obtained by subtracting the averaged HR over a 3-s pre-stimulus period from the post-stimulus period data set. We

extracted the minimum HR (deceleration) and the maximum HR (acceleration) after the presentation of the stimulus, as well as the latency of these values for each participant and each trial.

Statistical Analyses

Gaussian distributions were verified using Shapiro–Wilk tests and homogeneity of the variance using Levene test ($p > 0.10$). As variables violating the assumptions of normality, we used Friedman and Wilcoxon signed-rank test to assess the effect of emotion. Mann–Whitney U test was also used to compare variables between trained and control group. The Spearman coefficient was calculated between a priori and a posteriori rating and for association between psychometrics, behavioral and autonomic parameters. The threshold of significance was set at $p < 0.05$ (bilateral).

1.4. Results

Concerning psychometry, STAI-B (trait-anxiety) scores correlated with CES-D (depression) ($\rho_{61} = 0.490$; $p < 0.001$) and STAI-A state anxiety) scores ($\rho_{61} = 0.544$; $p < 0.001$). CES-D scores correlated with STAI-A scores ($\rho_{61} = 0.432$; $p < 0.001$).

Subjective Assessment of Pictures

A posteriori and *a priori* ratings were correlated for both genders on valence (*women*: $\rho_{94} = 0.875$, $p < 0.001$, *men*: $\rho_{94} = 0.885$, $p < 0.001$, **Figure 1A-C**) and arousal (*women*: $\rho_{94} = 0.820$, $p < 0.001$, *men*: $\rho_{94} = 0.814$, $p < 0.001$, **Figure 1B-D**).

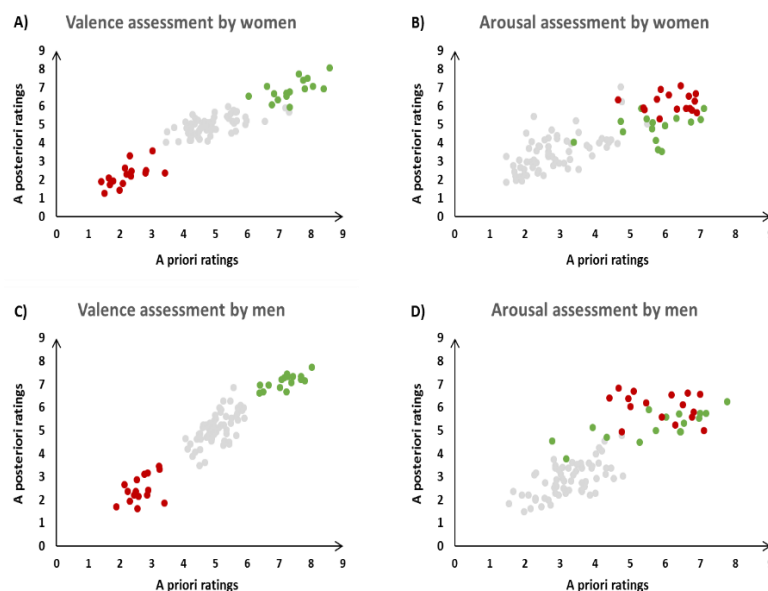


Figure 1. Validation of picture selection using correlations between standardized (*a priori*) ratings by International Affective Picture System (IAPS) and mean subjective (*a posteriori*) ratings of unpleasant, pleasant and neutral pictures. Ratings for unpleasant, neutral and pleasant. (A) Valence ratings for women; (B) valence ratings for men; (C) arousal ratings for women; (D) arousal ratings for men.

As expected, the valence assessment by the participants differed according to the emotional category ($U = 2.34$, $N = 4.97$, $P = 6.97$, $X^2(2) = 122,032$, $p < 0.001$). Participants rated unpleasant pictures with a lower valence than neutral ($W = 0$; $p < 0.001$) and pleasant ones ($W = 1953$; $p < 0.001$), and pleasant pictures with a higher valence than ones ($W = 2$; $p < 0.001$).

The arousal assessment by the participants also differed according to the emotional category ($U = 6.11$, $N = 2.87$, $P = 5.00$; $X^2(2) = 95.53$, $p < 0.001$). Participants evaluated unpleasant ($W = 1946$; $p < 0.001$) and pleasant ($W = 0.00$; $p < 0.001$) pictures as more arousing than neutral ones, and unpleasant pictures as more arousing than pleasant ones ($W = 241$; $p < 0.001$). No differences were observed between trained and control participants on subjective assessment of valence or arousal value for each emotional condition (all $X^2 < 550$ and $ps = 0.328$).

Eye Movements and Emotional Arousal

Initial fixation ($X^2(2) = 27,466$, $p < 0.001$, **Figure 2A**) and time to first saccade ($X^2(2) = 75,516$, $p < 0.001$, **Figure 2B**) differed according to the emotional category. Participants were more oriented towards pleasant images than neutral (Initial fixation: $W = 311$; $p < 0.001$ and time to first saccade: $W = 1924$; $p < 0.001$) and towards unpleasant images than neutral (initial fixation: $W = 1609.5$; $p < 0.001$; time to first saccade: $W = 24$; $p < 0.001$).

Dwell time ($X^2(2) = 77,032$, $p < 0.001$, **Figure 2C**) and number of fixation ($X^2(2) = 79,774$, $p < 0.001$, **Figure 2D**) also differed according to the emotional category. Participants maintained their attention more on pleasant images (dwell time: $W = 3.00$; $p < 0.001$; number of fixations: $W = 8.00$; $p < 0.001$) and unpleasant images (dwell time: $W = 1899.00$; $p < 0.001$; number of fixations: $W = 1928$; $p < 0.001$) than neutral. No difference was observed between pleasant and unpleasant images (initial fixation: $W = 625.00$; $p = 0.110$; time to first saccade: $W = 1241.00$; $p = 0.064$; dwell time: $W = 1220.00$; $p = 0.088$ and number of fixations: $W = 1200.00$; $p = 0.117$).

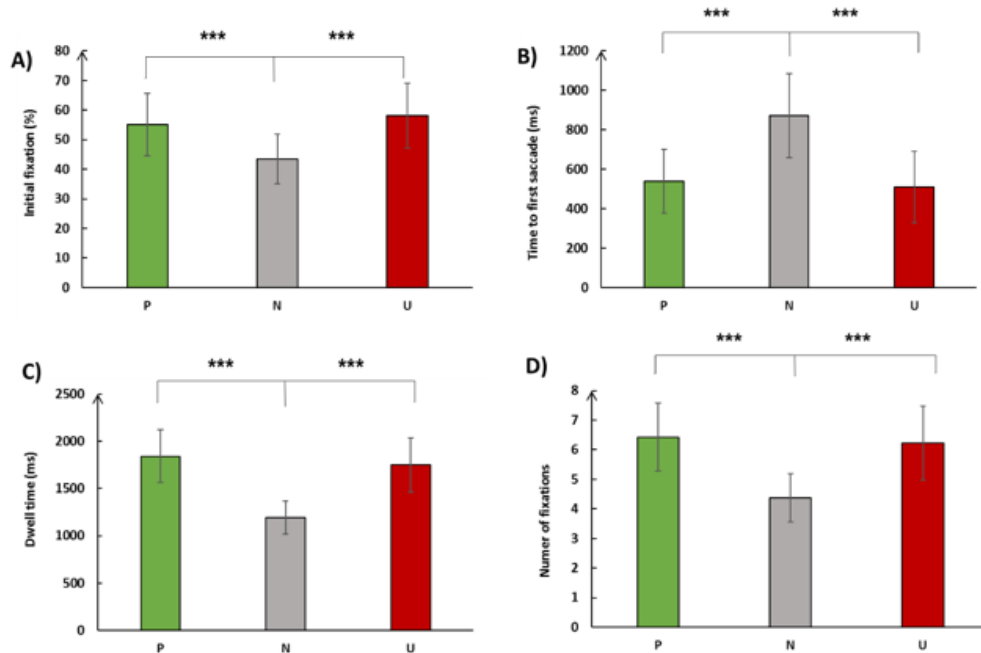


Figure 2. Initial fixation and time to first saccade (A-B) and dwell time and number of fixations (C-D) to image emotion in |UN| and |PN| pairs. U: Unpleasant; N: Neutral; P: Pleasant; ***: $p < 0.01$.

Effect of attentional procedure on behavioural indicators

Exploring the orientation and maintaining attention between group, no difference was observed between group on orientation and maintaining attention for unpleasant and pleasant pictures (all $U_s < 408.00$, all $p_s > 0.307$). However, Mann-Whitney test revealed differences between trained and control groups on dwell time to neutral images ($U = 339$; $p = 0.046$; **Figure 3**). Trained participants spent less time on neutral images compared to control ones. No other differences were observed for indices of orientation or maintenance to images between groups (all $t_s < 1.053$ and $p_s > 0.297$).

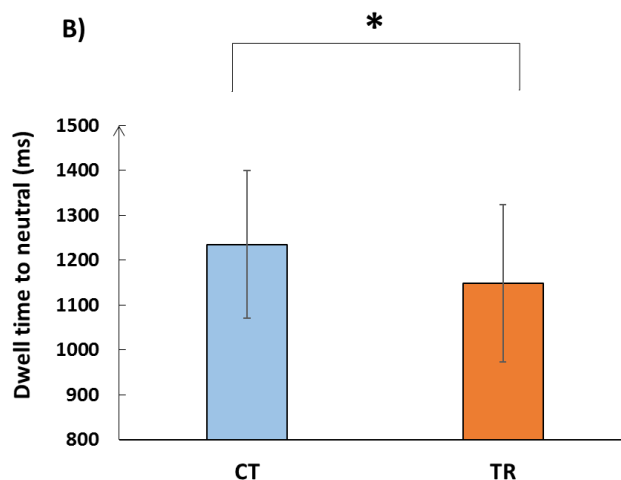


Figure 3. Dwell time to neutral images (B) for Control (CT) and Trained (TR) participants. *: $p < 0.05$.

To summarize, participants were more oriented towards and engaged by emotional pictures relative to neutral ones. Besides, participants who received the attention modification training spent less exploration time on neutral pictures.

Effect of attentional procedure on autonomic activity

Effects of groups were observed on LF-HRV and on HF-HRV (n.u) during the 2-first minutes of the task ($U = 305$; $p = 0.049$; **Figure 4-A**). Trained group had lower LF-HRV during this period compared to control. The opposite was observed for the HF-HRV, trained participants had higher HF-HRV compared to control participants during the 2-first minutes ($MW = 567$; $p = 0.045$; **Figure 4-B**).

An effect on LF/HF ratio was observed during the 2-first minutes of the task ($U = 304$; $p = 0.047$). No additional effect on autonomic parameters were observed (all $ps > 0.186$).

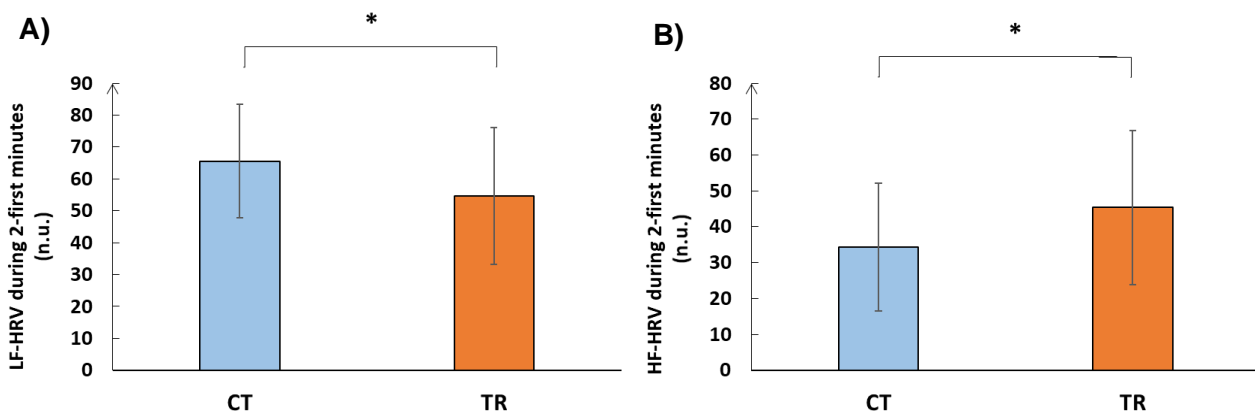


Figure 4. Low frequencies (A) and high frequencies (B) on HRV during the 2-first min of experiment for Control (CT) and Trained (TR) participants. *: $p < 0.05$.

To summarize, trained participants showed lower LF-HRV and greater HF-HRV, so a lower sympathetic and greater parasympathetic involvement, than controls during the test phase.

Psychometry, Eye movements and Autonomic reactivity

When considering association in each of the groups, we observed an association between STAI-B scores and SCRs for unpleasant and neutral information for control group. In the control group, higher trait-anxiety was associated with and greater SCRs to unpleasant ($\rho_{02} = 0.522$; $p = 0.010$) and neutral images ($r_{23} = 0.544$; $p = 0.004$). These associations were not observed for the trained group ($\rho_{25} = -0.002$; $p = 0.924$ and $\rho_{26} = -0.015$; $p = 0.457$).

On the contrary, associations between STAI-B scores and cardiac deceleration were observed only for trained group for pleasant and neutral pairs ($\rho_{27} = -0.393$; $p = 0.034$; $\rho_{27} = -0.424$; $p = 0.022$) and not for control group ($\rho_{27} = -0.147$; $p = 0.443$; $\rho_{27} = -0.149$; $p =$

0.438). For trained participants, the higher was the trait-anxiety, the greater was the cardiac deceleration.

1.5. Discussion

The aim of this study was to investigate the potential repercussions of attentional training on autonomic reactivity to emotional information. Firstly, all ocular parameters indicated a preferential orientation and maintenance of attention to emotional images for both groups. Secondly, group differences were observed, on behavioural and autonomic variables. Behaviourally, dwell time to neutral information was lower for trained participants compared to controls. For autonomic activity, the attentional training also seems to have an effect: trained participants had lower LF-HRV and higher HF-HRV during the first part of the task. Finally, some associations were group specific. Anxiety-trait was accompanied by greater electrodermal activity in the control group whereas it was accompanied by greater cardiac deceleration in the trained group.

Effect on the behavioral level

At the behavioral level, the results for all the participants indicate a bias for emotional stimuli: there is a preferential orientation of attention towards emotion. This is characterized by initial fixation and latency of the first saccade faster for emotional rather than neutral images. In addition, we observed a maintenance of attention on emotional stimuli, reflected by a longer dwell time and number of fixations on emotional images compared to neutral images. These results are supported by the data in the literature. In fact, individuals are faster to fix emotional images than neutral images (Calvo & Lang, 2004), they have a greater number of fixations for these images (Niu et al., 2012) and, once the emotional image has been identified, fixation times are longer than for neutral image (Calvo & Avero, 2005; Veerapa et al., 2020). This is probably due to the adaptive value of the emotions which therefore have an attractive power in terms of selective attention. Indeed, attentional mobilization towards emotional stimuli can occur even unconsciously and involuntarily, whether the stimulus is pleasant or unpleasant (Vuilleumier, 2015).

Nonetheless, contrary to our initial hypothesis, there is no preferential orientation for pleasant stimuli; rather, there is less attraction for neutral images compared to control participants. The training procedure therefore reveals that the modification of attention would be more sensitive to an arousing effect than to a valence effect given that both pleasant and unpleasant stimuli are arousing stimuli whereas neutral are not. Therefore, attentional training would lead participants to spend less time to low arousing information and allow more time to explore other information, especially arousing ones such pleasant and unpleasant. This could be explained by the preponderance of the arousal dimension over the valence in term of

selective attention. Studies indicate that the allocation of attentional resources in favor of emotional stimuli depends on the dimension of arousal and not on the emotional valence (eg Buodo, Sarlo & Palomba, 2002; Sarlo, Buodo, & Palomba, 2010; Schimmack & Derryberry, 2005; Vogt et al., 2008). By controlling the arousal levels of the pleasant and unpleasant stimuli used in our training, we confirmed that training towards emotional stimuli of pleasing valence and high arousal level results in a change in perceptual selection primarily dependent on the arousal. This finding can be particularly interesting, because most of the attentional training that is offered to date is based on an orientation in terms of valence, either by an orientation towards the neutral, or towards the pleasant (avoidance of the unpleasant) (Amir et al., 2009; Dai et al., 2019; Eldar, 2012; Jonassen, 2019; Liang & Hsu, 2016). A possible explanation of the absence of results for pleasant could be the images selection for the attentional training. Indeed, the IAPS images are heterogeneous in terms of content and the positive valence can be induced by a landscape, an object, or even a person. In this setting, it may be more difficult for participants to extract the valence value from the image as opposed to the much more prominent arousal dimension. Thus, the use of more homogeneous images such as emotional faces could help highlight and establish the valence effect of this type of training.

Another explanation could be that control participants avoid emotional information and therefore spend more time on neutral information. Attentional avoidance bias refers to the empirical phenomenon in which attention is preferentially allocated towards locations opposite the location of the threat cue, thus indicating avoidance of the threat cue (e.g., Koster et al., 2005; Mogg et al., 2004). This avoidance has mainly been studied in the context of threat information in anxious individuals with paradigm of simultaneous presentation. It is common to consider that the attentional avoidance biases are valence-driven and prioritize threatening information (Larsen, 2009; Pratto & John, 1991). Nevertheless, this category of negative stimulation is usually associated with high levels of arousal (Lang, Bradley, & Cuthbert, 1997; Russell, 1980), consistent with the need to mobilize our resources in case of danger. Therefore, the attentional avoidance may be more dependent of arousing value than the valence one or it is possible that arousing stimulation constitute a form of threat for the participants. In particular, attentional avoidance for emotional information has already been observed with eye movement fixations away from the stimulus after an initial fixation (Pflugshaupt et al., 2005). In our study all participants demonstrated faster saccades to emotional information but only the control group showed longer time spend to neutral images. As a result, these participants might adopt an attentional avoidance strategy of emotional information whereas this strategy would not be observed for the trained group.

Effect on the autonomic level

At the physiological level, we also note that the group that received attentional training has less LF-HRV but higher HF-HRV compared to control participants which is a result congruent with our hypothesis. The LF-HRV are mostly reported reflecting a sympathetic influence (Billman, 2011; Malliani et al., 1991; Reyes del Paso et al., 2013). The sympathetic influence is known to be increase in a context of stress (Boutcher & Boutcher, 2006; Carroll et al., 2009) or following the presentation of emotional images (Bernat et al., 2006). It has also been shown that increase SNS activity occur concomitantly with increase of anxiety during stressful task (Renaud & Blondin, 1997). It is therefore conceivable that the greater sympathetic activity observed for control participants is linked to a greater stress load and more difficulty in coping with the task. We also observed association between electrodermal activity, a marker of sympathetic activity, for neutral and negative pair of images and anxiety-trait which have been observed in control group but not in the trained group. Anxious individuals are known to have higher sympathetic activity in various task compared to control (Weinberger et al., 1979; Najström & Jansson, 2006; Pruneti et al., 2016), thus, this association is not surprising for our task. Moreover, increase EDA activity specific to neutral and unpleasant stimuli could be interpreted in the context of intolerance ambiguity hypothesis which posit that ambiguous information can be perceived as sources of threat (Kirschner et al., 2016). For example, it has already been shown that anxious individuals could respond to neutral information as it was negative ones (Olatunji et al. 2011). Therefore, anxious participants in the control groups express higher sympathetic activity to this type of information whereas, trained anxious do not demonstrated such association. The absence of such association in the trained group is interesting and would be a positive effect of attentional training in trained group.

On the contrary, the HF-HRV, which are higher for the trained participants, are under the influence of respiration and the parasympathetic activity of which they constitute a reliable indicator. HF-HRV is also considered a marker of the parasympathetic nervous system, generally associated with good cardiac regulation in response to emotion (Beauchaine, 2001; Thayer et al., 2000, 2012). In particular, the regulation of the parasympathetic nervous system, assessed by cardiac variability, is for a number of authors linked to attentional regulation and affect (Porges, 1991, Porges, 1992; Richards and Casey, 1992; Thayer et al., 2000). For example, heart rate slows and variability decreases during tasks requiring sustained attention (Porges & Raskin, 1969; Cole, 1972; Richards & Casey, 1991). Moreover, individuals with lower resting HRV often fail to recognize safety cues or get used to new neutral stimuli (Friedman, 2007; Park et al., 2012) and respond to neutral stimuli with a startle response and neural responses similar to negative stimuli (Ruiz-Padial et al., 2003; Park et al., 2012). Therefore, HRV measures can be used to assess self-regulatory capacity, that is, the ability to

regulate thoughts, emotions and behaviors, thus enabling people to choose appropriate responses to different situational demands (Park & Thayer, 2014). It is likely that the trained participants, which have higher HF-HRV, apprehend experimentation with a better predisposition to emotional and attentional regulation. In consequences, attentional training would have positive repercussion on the autonomic component. In addition, cardiac deceleration which is also mediated by parasympathetic activity is reported in association with anxiety for the trained group whereas it is not in the control group. This result pleads for positive impact of the training for most anxious individuals as parasympathetic activity is considered as marker of emotion regulation. However, the effects are only observed during the beginning of the experiment. As most the attentional training used multiple sessions, it is possible that only one training session wouldn't be enough to induce long-term effect. It will be necessary to assess potential autonomic repercussion after multiple sessions.

Conclusions

Presented data argue for an impact of attentional training on attentional and autonomic responsiveness. Firstly, it seems effective to reduce the attention deployment towards neutral information reported as attentional avoidance of emotion in literature. It could be particularly useful in anxiety and depression. On one hand, on anxiety which is associated with avoidance of threatening or negative information, considered as maladaptive coping strategies increasing stress reaction and reducing well-being (Dijkstra & Homan, 2016). On the other, on depression which is characterized by emotional context insensitivity (Rottenberg, Gross, et al., 2005a) which describe a reduced response to both unpleasant and pleasant at behavioural level associated with reduced autonomic reactivity (Bylsma et al., 2008). Secondly, this type of procedure seems useful to reduces sympathetic activity, generally higher for anxious individuals or increased in the context of the stress. It is also effective to increase parasympathetic activity which is well known to be a marker of attentional, emotional and autonomic regulation. Thirdly, the autonomic repercussions of the procedure reinforce the data in the literature indicating reciprocal influences between these two components. Consequently, these data argue for the use of attentional training to act on both the attentional side and the physiological side. In addition, this type of training can be useful in anxiety and depression, both characterized by atypia on attentional deployment and autonomic reactivity to emotion. It is possible to consider a step of assessment of attentional biases and physiological reactivity to emotion insofar as these dysfunctions are not found for all individuals. Nevertheless, studies on the links between attentional and physiological benefits should be continued, especially when using several training sessions to assess the longer-term repercussions. This study, however, provides empirical data on the effectiveness of attentional training on autonomic

responsiveness to emotion and argues for a joint study of the attentional and autonomic components in emotional responsiveness.

References

- Amir, N., Beard, C., Taylor, C. T., Klumpp, H., Elias, J., Burns, M., & Chen, X. (2009). Attention Training in Individuals with Generalized Social Phobia: A Randomized Controlled Trial. *Journal of consulting and clinical psychology, 77*(5), 961-973. <https://doi.org/10.1037/a0016685>
- Amir, N., Weber, G., Beard, C., Bomyea, J., & Taylor, C. T. (2008). The effect of a single-session attention modification program on response to a public-speaking challenge in socially anxious individuals. *Journal of Abnormal Psychology, 117*(4), 860-868. <https://doi.org/10.1037/a0013445>
- Armstrong, T., & Olatunji, B. O. (2012). Eye tracking of attention in the affective disorders: A meta-analytic review and synthesis. *Clinical Psychology Review, 32*(8), 704-723. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2012.09.004>
- Bar-Haim, Y., Lamy, D., Pergamin, L., Bakermans-Kranenburg, M. J., & van IJzendoorn, M. H. (2007). Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals: A meta-analytic study. *Psychological Bulletin, 133*(1), 1-24. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.1.1>
- Beauchaine, T. (2001). Vagal tone, development, and Gray's motivational theory: Toward an integrated model of autonomic nervous system functioning in psychopathology. *Development and Psychopathology, 13*(2), 183-214. <https://doi.org/10.1017/s0954579401002012>
- BERNAT, E., PATRICK, C. J., BENNING, S. D., & TELLEGEN, A. (2006). Effects of picture content and intensity on affective physiological response. *Psychophysiology, 43*(1), 93-103. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00380.x>
- Billman, G. E. (2011). Heart rate variability—A historical perspective. *Frontiers in Physiology, 2*, 86. <https://doi.org/10.3389/fphys.2011.00086>
- Boucsein, W. (2012). Principles of Electrodermal Phenomena. In *Electrodermal Activity* (p. 1-86). Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1126-0_1
- Boutcher, Y. N., & Boutcher, S. H. (2006). Cardiovascular response to Stroop: Effect of verbal response and task difficulty. *Biological Psychology, 73*(3), 235-241. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.04.005>
- Bradley, B., Mogg, K., White, J., Groom, C., & de Bono, J. (1999). Attentional bias for emotional faces in generalized anxiety disorder. - PubMed—NCBI. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10532148>
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Sabatinelli, D., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation II: Sex differences in picture processing. *Emotion (Washington, D.C.), 1*(3), 300-319.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 25*(1), 49-59. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)
- Buodo, G., Sarlo, M., & Palomba, D. (2002). Attentional Resources Measured by Reaction Times Highlight Differences Within Pleasant and Unpleasant, High Arousing Stimuli. *Motivation and Emotion, 26*(2), 123-138. <https://doi.org/10.1023/A:1019886501965>
- Calvo, M. G., & Avero, P. (2005). Time course of attentional bias to emotional scenes in anxiety: Gaze direction and duration. *Cognition & Emotion, 19*(3), 433-451. <https://doi.org/10.1080/02699930441000157>
- Calvo, M. G., & Lang, P. J. (2004). Gaze Patterns When Looking at Emotional Pictures: Motivationally Biased Attention. *Motivation and Emotion, 28*(3), 221-243. <https://doi.org/10.1023/B:MOEM.0000040153.26156.ed>
- Carroll, D., Phillips, A. C., & Balanos, G. M. (2009). Metabolically exaggerated cardiac reactions to acute psychological stress revisited. *Psychophysiology, 46*(2), 270-275. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00762.x>
- Critchley, H. D. (2002). Electrodermal responses: What happens in the brain. *The Neuroscientist: A Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry, 8*(2), 132-142. <https://doi.org/10.1177/107385840200800209>

Dai, Q., Hu, L., & Feng, Z. (2019). Attentional bias modification reduces clinical depression and enhances attention toward happiness. *Journal of Psychiatric Research*, 109, 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2018.11.024>

Damasio, A. R. (2000). A Second Chance for Emotion. In R. D. Lane, L. Nadel, G. L. Ahern, J. Allen, & A. W. Kaszniak (Éds.), *Cognitive Neuroscience of Emotion* (p. 12-23). Oxford University Press.

Dandeneau, S. D., Baldwin, M. W., Baccus, J. R., Sakellaropoulou, M., & Pruessner, J. C. (2007). Cutting stress off at the pass : Reducing vigilance and responsiveness to social threat by manipulating attention. *Journal of Personality and Social Psychology*, 93(4), 651-666. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.93.4.651>

De Zorzi, L., Robin, M.-S., Honoré, J., Bubrovsky, M., Vaiva, G., & Sequeira, H. (2020). Depression restricts visual capture and promotes the perception of negative information. *Biological Psychology*, 154, 107923. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2020.107923>

D'Hondt, F., Lassonde, M., Collignon, O., Dubarry, A.-S., Robert, M., Rigoulot, S., Honoré, J., Lepore, F., & Sequeira, H. (2010). Early Brain-Body Impact of Emotional Arousal. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00033>

D'Hondt, F., Lassonde, M., Collignon, O., Lepore, F., Honoré, J., & Sequeira, H. (2013). « Emotions guide us » : Behavioral and MEG correlates. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 49(9), 2473-2483. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.12.013>

Dodo, N., & Hashimoto, R. (2019). Autonomic Nervous System Activity During a Speech Task. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 406. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00406>

Duque, A., Sanchez, A., & Vázquez, C. (2014). Gaze-fixation and pupil dilation in the processing of emotional faces : The role of rumination. *Cognition and Emotion*, 28(8), 1347-1366.

Duque, A., & Vázquez, C. (2015). Double attention bias for positive and negative emotional faces in clinical depression : Evidence from an eye-tracking study. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 46, 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2014.09.005>

Eldar, S., Apter, A., Lotan, D., Edgar, K. P., Naim, R., Fox, N. A., Pine, D. S., & Bar-Haim, Y. (2012). Attention Bias Modification Treatment for Pediatric Anxiety Disorders : A Randomized Controlled Trial. *The American journal of psychiatry*, 169(2), 213-220.

Friedman, B. H. (2007). An autonomic flexibility-neurovisceral integration model of anxiety and cardiac vagal tone. *Biological Psychology*, 74(2), 185-199. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.08.009>

Gotlib, I. H., & Joormann, J. (2010). Cognition and depression : Current status and future directions. *Annual Review of Clinical Psychology*, 6, 285-312. <https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.121208.131305>

Hakamata, Y., Lissek, S., Bar-Haim, Y., Britton, J. C., Fox, N., Leibenluft, E., Ernst, M., & Pine, D. S. (2010). Attention Bias Modification Treatment : A meta-analysis towards the establishment of novel treatment for anxiety. *Biological Psychiatry*, 68(11), 982-990. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.07.021>

Hallion, L. S., & Ruscio, A. M. (2011). A meta-analysis of the effect of cognitive bias modification on anxiety and depression. *Psychological Bulletin*, 137(6), 940-958. <https://doi.org/10.1037/a0024355>

Jansson, B., & Najström, M. (2009). Is preattentive bias predictive of autonomic reactivity in response to a stressor? *Journal of Anxiety Disorders*, 23(3), 374-380. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2008.12.001>

Jonassen, R., Harmer, C. J., Hilland, E., Maglanoc, L. A., Kraft, B., Browning, M., Stiles, T. C., Haaland, V. Ø., Berge, T., & Landrø, N. I. (2019). Effects of Attentional Bias Modification on residual symptoms in depression : A randomized controlled trial. *BMC Psychiatry*, 19(1), 141. <https://doi.org/10.1186/s12888-019-2105-8>

Kirschner, H., Hilbert, K., Hoyer, J., Lueken, U., & Beesdo-Baum, K. (2016). Psychophysiological reactivity during uncertainty and ambiguity processing in high and low worriers. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 50, 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2015.06.001>

Koster, E. H. W., Crombez, G., Verschuere, B., Van Damme, S., & Wiersema, J. R. (2006). Components of attentional bias to threat in high trait anxiety : Facilitated engagement, impaired disengagement, and attentional avoidance. *Behaviour Research and Therapy*, 44(12), 1757-1771. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2005.12.011>

Koster, E. H. W., Verschuere, B., Crombez, G., & Van Damme, S. (2005). Time-course of attention for threatening pictures in high and low trait anxiety. *Behaviour Research and Therapy*, 43(8), 1087-1098. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2004.08.004>

Lang, P., Bradley, M., & Cuthbert, B. (2008). International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. <http://csea.php.ufl.edu/Media.html>

Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1997). Motivated attention: Affect, activation, and action. In *Attention and orienting: Sensory and motivational processes* (p. 97-135). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M., & Hamm, A. O. (1993). Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, 30(3), 261-273.

Liang, C.-W., & Hsu, W.-Y. (2016). Effects of attention bias modification with short and long stimulus-duration: A randomized experiment with individuals with subclinical social anxiety. *Psychiatry Research*, 240, 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2016.04.019>

MacLeod, C., & Mathews, A. (1988). Anxiety and the allocation of attention to threat. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 40(4), 653-670. <https://doi.org/10.1080/14640748808402292>

Malliani, A., Pagani, M., Lombardi, F., Furlan, R., Guzzetti, S., & Cerutti, S. (1991). Spectral analysis to assess increased sympathetic tone in arterial hypertension. *Hypertension (Dallas, Tex.: 1979)*, 17(4 Suppl), III36-42. https://doi.org/10.1161/01.hyp.17.4_suppl.iii36

Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314-324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>

Mogg, K., & Bradley, B. P. (2016). Anxiety and attention to threat: Cognitive mechanisms and treatment with attention bias modification. *Behaviour Research and Therapy*, 87, 76-108. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2016.08.001>

Mogg, K., Bradley, B. P., de Bono, J., & Painter, M. (1997). Time course of attentional bias for threat information in non-clinical anxiety. *Behaviour Research and Therapy*, 35(4), 297-303. [https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(96\)00109-x](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(96)00109-x)

Mogg, K., Bradley, B. P., Miles, F., & Dixon, R. (2004). Time course of attentional bias for threat scenes: Testing the vigilance-avoidance hypothesis. *Cognition and Emotion*, 18(5), 689-700. <https://doi.org/10.1080/02699930341000158>

Niu, Y., Todd, R., & Anderson, A. K. (2012). Affective salience can reverse the effects of stimulus-driven salience on eye movements in complex scenes. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00336>

Obrist, P. A. (1981). *Cardiovascular Psychophysiology: A Perspective*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8491-5>

Olatunji, B. O., Ciesielski, B. G., Armstrong, T., & Zald, D. H. (2011). Making Something out of Nothing: Neutral Content Modulates Attention in Generalized Anxiety Disorder. *Depression and anxiety*, 28(5), 427-434. <https://doi.org/10.1002/da.20806>

Park, G., Moon, E., Kim, D.-W., & Lee, S.-H. (2012). Individual differences in cardiac vagal tone are associated with differential neural responses to facial expressions at different spatial frequencies: An ERP and sLORETA study. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 12(4), 777-793. <https://doi.org/10.3758/s13415-012-0111-0>

Park, G., & Thayer, J. F. (2014). From the heart to the mind: Cardiac vagal tone modulates top-down and bottom-up visual perception and attention to emotional stimuli. *Frontiers in Psychology*, 5, 278. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00278>

Peckham, A. D., McHugh, R. K., & Otto, M. W. (2010). A meta-analysis of the magnitude of biased attention in depression. *Depression and Anxiety*, 27(12), 1135-1142. <https://doi.org/10.1002/da.20755>

Pflugshaupt, T., Mosimann, U. P., von Wartburg, R., Schmitt, W., Nyffeler, T., & Müri, R. M. (2005). Hypervigilance-avoidance pattern in spider phobia. *Journal of Anxiety Disorders*, 19(1), 105-116. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2003.12.002>

Porges, S. W. (1992). Vagal Tone: A Physiologic Marker of Stress Vulnerability. *Pediatrics*, 90(3), 498-504.

Porges, S. W. (1991). Vagal tone: An autonomic mediator of affect. In *The development of emotion regulation and dysregulation* (p. 111-128). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511663963.007>

Porges, S. W., & Raskin, D. C. (1969). Respiratory and heart rate components of attention. *Journal of Experimental Psychology*, 81(3), 497-503.

Pratto, F., & John, O. (1991). Automatic Vigilance: The Attention-Grabbing Power of Negative Social Information. *Journal of personality and social psychology*, 61, 380-391. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.61.3.380>

Pruneti, C. A., Lento, R. M., Fante, C., Carrozzo, E., & Fontana, F. (2010). Autonomic arousal and differential diagnosis in clinical psychology and psychopathology. *Giornale Italiano di Psicopatologia / Italian Journal of Psychopathology*, 16(1), 43-52.

Pruneti, C., Saccò, M., Cosentino, C., & Sgromo, D. (2016). Relevance of Autonomic Arousal in the Stress Response in Psychopathology. *Journal of Basic and Applied Sciences*, 12(0), 176-184.

Radloff, L. S. (1977). The CES-D Scale: A Self-Report Depression Scale for Research in the General Population. *Applied Psychological Measurement*, 1(3), 385-401. <https://doi.org/10.1177/014662167700100306>

Renaud, P., & 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: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 27(2), 87-97. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(97\)00049-4](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(97)00049-4)

Reyes del Paso, G. A., Langewitz, W., Mulder, L. J. M., van Roon, A., & Duschek, S. (2013). The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: A review with emphasis on a reanalysis of previous studies. *Psychophysiology*, 50(5), 477-487. <https://doi.org/10.1111/psyp.12027>

Richards, J. E., & Casey, B. J. (1991). Heart rate variability during attention phases in young infants. *Psychophysiology*, 28(1), 43-53. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1991.tb03385.x>

Richards, J. E., & Casey, B. J. (1992). Development of sustained visual attention in the human infant. In *Attention and information processing in infants and adults: Perspectives from human and animal research* (p. 30-60). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Rohner, J.-C. (2002). The time-course of visual threat processing: High trait anxious individuals eventually avert their gaze from angry faces. *Cognition and Emotion*, 16(6), 837-844. <https://doi.org/10.1080/02699930143000572>

Ruiz-Padial, E., Sollers, J., Vila, J., & Thayer, J. (2003). The rhythm of the heart in the blink of an eye: Emotion-modulated startle magnitude covaries with heart rate variability. *Psychophysiology*, 40, 306-313. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.00032>

Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161-1178. <https://doi.org/10.1037/h0077714>

Sarlo, M., Buodo, G., & Palomba, D. (2010). Lack of startle blink potentiation to mutilation pictures irrespective of fearfulness. *Biological Psychology*, 85(2), 338-343. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.08.004>

Schimmack, U., & Derryberry, D. (2005). Attentional interference effects of emotional pictures: Threat, negativity, or arousal? *Emotion (Washington, D.C.)*, 5(1), 55-66. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.5.1.55>

Schumann, A., Andrack, C., & Bär, K.-J. (2017). Differences of sympathetic and parasympathetic modulation in major depression. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 79(Pt B), 324-331. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2017.07.009>

Sequeira, H., Hot, P., Silvert, L., & Delplanque, S. (2009). Electrical autonomic correlates of emotion. *International Journal of Psychophysiology*, 71(1), 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.07.009>

Shechner, T., Britton, J. C., Pérez-Edgar, K., Bar-Haim, Y., Ernst, M., Fox, N. A., Leibenluft, E., & Pine, D. S. (2012). Attention biases, anxiety, and development: Toward or away from threats or rewards? *Depression and anxiety*, 29(4), 282-294. <https://doi.org/10.1002/da.20914>

Spielberger, C. D., Bruchon-Schweitzer, M., & Paulhan, I. (1993). *STAI-Y: Inventaire d'anxiété état-trait forme Y*. Éditions du centre de psychologie appliquée, DL 1993.

Thayer, J. F., Ahs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747-756. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>

Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, 61(3), 201-216. [https://doi.org/10.1016/s0165-0327\(00\)00338-4](https://doi.org/10.1016/s0165-0327(00)00338-4)

Thoern, H. A., Grueschow, M., Ehlert, U., Ruff, C. C., & Kleim, B. (2016). Attentional Bias towards Positive Emotion Predicts Stress Resilience. *PLOS ONE*, 11(3), e0148368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148368>

Veerapa, E., Grandgenevre, P., El Fayoumi, M., Vinnac, B., Haelewyn, O., Szaffarczyk, S., Vaiva, G., & D'Hondt, F. (2020). Attentional bias towards negative stimuli in healthy individuals and the effects of trait anxiety. *Scientific Reports*, 10(1), 11826. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68490-5>

Vogt, J., De Houwer, J., Koster, E. H. W., Van Damme, S., & Crombez, G. (2008). Allocation of spatial attention to emotional stimuli depends upon arousal and not valence. *Emotion (Washington, D.C.)*, 8(6), 880-885. <https://doi.org/10.1037/a0013981>

Vuilleumier, P. (2015). Affective and motivational control of vision. *Current Opinion in Neurology*, 28(1), 29-35. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000159>

Weinberger, D. A., Schwartz, G. E., & 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(4), 369-380.

Woolridge, S. M., Harrison, G. W., Best, M. W., & Bowie, C. R. (2021). Attention bias modification in depression : A randomized trial using a novel, reward-based, eye-tracking approach. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 71, 101621. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2020.101621>

Zorzi, L. D., Ranfaing, S., Honoré, J., & Sequeira, H. (2021). Autonomic reactivity to emotion : A marker of sub-clinical anxiety and depression symptoms? *Psychophysiology*, 58(4), e13774. <https://doi.org/10.1111/psyp.13774>

Partie III. Discussion Générale, Perspectives et Conclusion

Dans cette dernière partie, les résultats obtenus lors des quatre études présentées dans la partie expérimentale, ainsi que les limites et les apports méthodologiques et théoriques sont résumés et discutés. Des perspectives seront également proposées afin, d'une part, d'élargir les connaissances fondamentales dans le domaine des neurosciences affectives, notamment appliquées aux troubles affectifs, et, d'autre part, de proposer des applications cliniques concernant la prise en charge des déficits attentionnels et neurovégétatifs retrouvés dans l'anxiété et la dépression.

Chapitre I. Résumé des travaux et principaux résultats

L'objectif principal de la thèse était de : **(1)** déterminer l'impact de stimulations émotionnelles dans l'espace visuel sur la réactivité comportementale et neurovégétative en lien avec la symptomatologie anxieuse et dépressive ; **(2)** établir le lien entre biais attentionnels et réactivité neurovégétative dans l'anxiété et la dépression ; **(3)** quantifier les effets d'une modification des biais attentionnels sur la réactivité neurovégétative.

Dans les deux premières expérimentations, nous avons développé une approche intégrant la prise en compte de l'espace visuel, notamment la vision centrale et périphérique, lors de la présentation de stimulations émotionnelles. Pour la première étude, les données comportementales plaident pour une modulation du déploiement des ressources attentionnelles dans l'espace visuel en fonction de la symptomatologie anxieuse avec une meilleure détection des stimulations émotionnelles sur l'ensemble du champ visuel. Les résultats confirment aussi une modulation de la réactivité neurovégétative à l'émotion par la symptomatologie anxieuse et dépressive. Les résultats font apparaître une hyperréactivité neurovégétative à l'émotion dans l'anxiété avec une dilatation pupillaire plus marquée alors que la dépression se caractérise davantage par une hyporéactivité à l'émotion sur la température cutanée et de moindre RED en réponse aux stimuli plaisants. Enfin, d'après les données supplémentaires, la prise en compte de la localisation (VC vs VP) de la stimulation suggère des différences de réactivité neurovégétative dépendante de l'espace visuel. Ces données plaident notamment pour une hypervigilance en VP pour les informations émotionnelles dans l'anxiété avec une réactivité comportementale et neurovégétative accrue.

Pour la deuxième étude, les résultats suggèrent que la saillance émotionnelle persiste en VP avec une meilleure catégorisation des stimulations émotionnelles. La position dans l'espace visuel des stimuli impacte également les stratégies de catégorisation et la réactivité neurovégétative associée. En VC, des RED plus importantes sont associées à un biais de réponse plus élevé tandis que cet effet est inversé en VP. Ainsi, des différences de stratégie associées à une réactivité neurovégétative spécifique sont observables entre des présentations en vision centrale et périphérique. De plus, les symptomatologies anxieuse et dépressive modulent la réactivité comportementale aux stimuli émotionnels selon la présentation centrale ou périphérique. Notamment, l'association entre trait-anxieux et biais de réponse au déplaisant en VP soutient l'idée d'une augmentation des ressources attentionnelles dédiées au traitement des informations négatives présentées en VP. Aussi, les

meilleures capacités de catégorisation de l'émotion, uniquement observées en VC dans la dépression, suggèrent une focalisation centrale des ressources attentionnelles.

Ainsi, les résultats de ces deux premières études renforcent la pertinence de l'utilisation d'un modèle expérimental intégrant la VC et la VP pour mettre en lumière les spécificités de réactivité comportementale et neurovégétative dans l'anxiété et la dépression. Par ailleurs, l'attention, qu'elle soit focalisée sur le traitement d'information en VC ou en VP, semble associée à une réactivité neurovégétative particulière dans le cadre d'un déploiement de l'attention implicite.

Lors de la troisième expérimentation, nous avons développé une approche intégrant la prise en compte d'indicateurs comportementaux, notamment l'orientation et le maintien du regard sur les stimuli émotionnels, et neurovégétatifs lors de la présentation de scènes émotionnelles. Les résultats ont montré que l'ensemble des paramètres oculaires indiquent une orientation préférentielle et un maintien de l'attention sur les images émotionnelles. Du point de vue neurovégétatif, l'activité est plutôt associée à un déploiement attentionnel particulier. En effet, le maintien de l'attention vers les informations plaisantes est associé à une activité parasympathique accrue au repos alors que l'orientation vers l'information plaisante est associée à une moindre activité sympathique pendant la tâche. Aussi, la symptomatologie dépressive et le déploiement attentionnel permettent de prédire la réactivité neurovégétative suggérant que l'étude conjointe des processus attentionnels et neurovégétatifs pourrait permettre d'approfondir la compréhension de la réactivité aux émotions dans la dépression.

Lors de la quatrième expérimentation, nous avons comparé un groupe de participants contrôles avec un groupe de participants ayant suivi une procédure de modification de déploiement attentionnel vers l'information plaisante ; cette démarche visait à établir dans quelle mesure des modifications sur le plan attentionnel peuvent entraîner des répercussions sur le plan neurovégétatif. Les résultats indiquent une orientation préférentielle et un maintien de l'attention sur les images émotionnelles. Bien que la comparaison des deux groupes de participants ne fasse pas émerger de différences sur le déploiement de l'attention vers les informations plaisantes, des différences existent pour les informations neutres : le maintien de l'attention envers ces informations est plus important pour les sujets contrôles que chez les participants entraînés. De plus, au niveau neurovégétatif, les participants entraînés présentent moins de basses fréquences et plus de hautes fréquences de la variabilité cardiaque. Par ailleurs, une plus grande activité électrodermale était associée à l'anxiété dans le groupe contrôle alors que la décélération cardiaque était associée à l'anxiété dans le groupe entraîné. Ces données suggèrent que la modification du déploiement de l'attention peut se solder par

des modifications neurovégétatives. Ces résultats semblent mettre en avant de meilleures capacités de régulation émotionnelle suite à la procédure notamment par l'accroissement des hautes fréquences de la VFC suggérant une pertinence dans l'utilisation de ces techniques. Dans l'ensemble, les résultats de cette étude s'avèrent pertinents pour considérer cette procédure comme un moyen de moduler les versants attentionnel et neurovégétatif, tous les deux impliqués dans la symptomatologie anxieuse et dépressive.

Chapitre II. Discussion générale

1. Réactivité comportementale et neurovégétative dans l'espace visuel

1.1. Déploiement de l'attention vers l'émotion

Les résultats de l'Étude 2 montrent qu'au niveau comportemental, en vision centrale, les participants obtiennent de meilleures performances pour catégoriser les images émotionnelles comparativement aux images neutres. Ce résultat caractérise un effet d'activation émotionnelle qui s'observe également en VP alors que la consigne ne permet pas les mouvements oculaires. Cela suggère donc que malgré les restrictions d'ordre oculaire, le système attentionnel est capable de détecter les informations pertinentes de l'environnement, notamment en VP, sans effectuer de saccades oculaires, et donc de manière implicite. Les résultats de l'Étude 3 viennent confirmer l'importance de l'effet d'activation dans le déploiement de l'attention en montrant une orientation préférentielle et le maintien de l'attention envers les scènes émotionnelles. Ce déploiement privilégié est reflété dans la fixation initiale et la plus courte latence pour fixer les images émotionnelles ; ceci suggère que la supériorité attentionnelle dont bénéficie l'attention s'exprime également dans le cadre d'un déploiement explicite de l'attention. Ce résultat confirme les données d'études antérieures de suivi oculaire démontrant que les stimuli émotionnels bénéficient d'un traitement perceptif amélioré, avec plus de fixations, en particulier lors des premières saccades (Niu et al., 2012). En termes de valence des images, aucune préférence attentionnelle n'a été observée, suggérant que le déploiement attentionnel dépend principalement de la dimension d'activation émotionnelle. Ces résultats confirment le traitement préférentiel de l'émotion lorsqu'il s'agit de scènes naturelles. Ils sont également cohérents avec la sélection perceptive et attentionnelle des informations émotionnelles, qui aident l'individu à s'adapter pour faire face aux menaces et préserver ou favoriser son bien-être (Vuilleumier, 2015). Selon la littérature (Calvo et Lang, 2005 ; D'Hondt et al., 2016 ; Fernández-Martín et Calvo, 2016 ; Nummenmaa et al., 2006), ce traitement privilégié de l'émotion concerne également l'information projetée en VP même en l'absence de mouvements oculaires vers l'information. Il est possible qu'au cours de l'évolution, le système attentionnel ait été modulé pour s'orienter vers l'information qui a une signification biologique, comme des informations menaçantes (par exemple un prédateur) ou des informations qui apportent une récompense (par exemple de la nourriture). Les processus attentionnels favorisent donc une détection plus rapide des émotions ce qui procure un avantage pour l'adaptation comportementale (Frewen et al, 2008).

Cependant, une meilleure performance dans la catégorisation des images déplaisantes par rapport aux images plaisantes n'a été observée qu'en VC, suggérant que le traitement privilégié des scènes émotionnelles présentées en VP se limite à la dimension d'activation. De plus, les participants ont adopté un critère de décision plus conservateur pour les indices déplaisants que pour les indices plaisants présentés en VC, minimisant les fausses détections des indices déplaisants. Pour la VP, aucune différence n'a été observée sur le biais de réponse entre les images déplaisantes et plaisantes. Par conséquent, les participants ne semblaient pas présenter de stratégies différentes pour catégoriser les images selon la valence lorsqu'elles sont présentées en VP. Ceci est probablement dû à la faible acuité en PV qui ne permet pas toujours de distinguer la dimension de valence émotionnelle, contrairement aux bonnes performances de catégorisation déplaisante observées en VC. Ces résultats vont dans le sens d'une sensibilité particulière aux niveaux d'activation plutôt qu'à la valence en VP. Ce résultat peut probablement être mis en rapport avec l'activation de l'amygdale (Bonnet et al., 2015), déjà associée à l'orientation attentionnelle, notamment dans certains troubles anxieux (Khoury-Malhame et al., 2011) ; cela pourrait relever d'un mécanisme neuronal permettant d'expliquer la vigilance automatique pour les informations émotionnelles (Anderson & Phelps, 2001 ; Davis et Whalen, 2001). Aussi, compte tenu du fait que nous avons contrôlé pour chacune des expériences les niveaux d'activation et de valence, il semble que les scènes émotionnelles de valence différente, mais avec un haut niveau d'activation bénéficient d'une sélection perceptive prioritaire et captent les ressources attentionnelles notamment lorsqu'elles surviennent en VP.

De plus, les résultats de l'Étude 4 suggèrent qu'un entraînement au déploiement de l'attention en fonction de la valence, vers l'information plaisante, ne se solde pas nécessairement par une plus grande orientation vers ce type d'information. En effet, nous retrouvons une préférence attentionnelle pour les informations hautement activatrices par rapport aux informations neutres, identique à ce qui a été observé dans l'Étude 3. La différence entre les groupes entraîné et contrôle ne s'observe que sur les images neutres, lesquels sont moins fixés par les participants entraînés. La procédure d'entraînement révèle donc que la modification de l'attention pourrait être plus sensible à un effet d'activation qu'à un effet de valence dans la mesure où les stimuli plaisants et déplaisants sont des stimuli activateurs alors que les neutres ne le sont pas. Par conséquent, la procédure attentionnelle conduirait les participants à dépenser moins de temps à des informations peu activatrices et en laisserait davantage pour explorer d'autres informations. Ceci pourrait une nouvelle fois s'expliquer par la prépondérance de la dimension d'activation sur la valence en termes d'attention sélective. Par exemple, des études indiquent que l'allocation des ressources attentionnelles en faveur des stimuli émotionnels dépend principalement de la dimension d'activation plutôt que de la

valence (Buodo, Sarlo & Palomba, 2002 ; Sarlo, Buodo, & Palomba, 2010 ; Schimmack & Derryberry, 2005 ; Vogt et al., 2008). En contrôlant les niveaux d'activation des stimuli plaisants et déplaisants utilisés dans notre entraînement, nous avons confirmé que l'entraînement vers des stimuli émotionnels de valence plaisante et de niveau d'activation élevé peut entraîner un changement de sélection perceptive principalement en lien avec l'activation, avec moins de fixation vers les images peu activatrices. Ce constat peut être particulièrement intéressant, car la plupart des entraînements attentionnels proposés à ce jour reposent sur une orientation en termes de valence, soit par une orientation vers le neutre, soit vers le plaisant (évitement du déplaisant) (Amir et al., 2009 ; Dai et al., 2019 ; Eldar, 2012 ; Jonassen, 2019 ; Liang & Hsu, 2016). Une telle procédure pourrait donc ne pas toujours être des plus adaptées, notamment pour les individus ayant déjà un attrait plus marqué pour les stimuli activateurs, comme cela peut être le cas pour certains individus anxieux pour qui il est observé des biais envers les informations hautement activatrices (Fox et al., 2001 ; Koster et al., 2004). A l'inverse, ces informations pourraient se montrer plus pertinentes pour les individus ayant une perte de sensibilité envers les informations émotionnelles de manière générale, comme cela peut être le cas dans la dépression, parfois caractérisée par une insensibilité au contexte émotionnel, ce qui est cohérent avec le modèle « Emotional Contexte Insensitivity » proposé par Rottenberg et al. (2005) ; ce modèle prévoit effectivement une réduction des réponses comportementales à la fois aux stimulations déplaisantes et plaisantes.

Aussi, une explication possible de l'absence de résultats significatifs vers le plaisant pourrait être la sélection d'images pour l'entraînement attentionnel. En effet, les images IAPS sont hétérogènes en termes de contenu et la valence positive peut être induite par un paysage, un objet, voire une personne. Dans ce contexte, il peut être plus difficile pour les participants d'extraire la valeur de valence de l'image par opposition à la dimension d'activation beaucoup plus apparente. Ainsi, l'utilisation d'images plus homogènes, telles que des visages émotionnels, pourrait aider à mettre en évidence et à établir l'effet de valence pour ce type de protocole. Cette remarque peut également concerner la sélection des images lors de la tâche d'évaluation du déploiement de l'attention. En effet, étant donné les hauts niveaux d'activation pour les images utilisées, il est possible qu'elles aient entraîné une orientation et un maintien de l'attention pour l'ensemble des individus indépendamment de la procédure d'entraînement. Par conséquent, il pourrait être pertinent de reproduire l'entraînement avec des images émotionnelles moins activatrices afin d'observer si des différences seraient plus susceptibles d'émerger.

Dans l'ensemble, les résultats suggèrent que, indépendamment de la symptomatologie, l'attention est préférentiellement dirigée et maintenue vers les informations émotionnelles à la

fois en VC et en VP. De plus, que cela soit dans le cadre d'un déploiement explicite ou implicite de l'attention, l'activation semble être la dimension émotionnelle prédominante en termes de déploiement attentionnel. Par ailleurs, l'utilisation d'une procédure visant à déployer préférentiellement l'attention vers le plaisant se solde par une moindre orientation vers les informations neutres suggérant là encore une prépondérance de la dimension d'activation sur celle de la valence. Cet attrait du système attentionnel pour l'activation émotionnelle pourrait être considéré dans le cadre général des hauts niveaux de vigilance auxquels sont associés les ressources attentionnelles et l'engagement émotionnel.

1.2. Réactivité neurovégétative à l'émotion

Au niveau physiologique, les résultats de l'Étude 2 montrent que la présentation de stimulations en VC induit une tendance à des RED plus amples que la stimulation en VP, quel que soit le contenu émotionnel. Les RED sont un indicateur robuste de l'éveil physiologique (Critchley, 2002 ; Sequeira et al., 2009) et ont été associées au traitement perceptif suivant l'orientation initiale de l'attention. Par ailleurs, comme le montrent de nombreuses études neurophysiologiques menées chez le chat et le singe, l'amplitude des RED constitue une expression fiable de l'activation réticulaire (Sequeira et Roy, 1993). Des RED plus importantes pour la présentation en VC que pour la présentation en VP reflètent certainement une activation réticulaire plus soutenue, en raison des ressources nerveuses nécessaires au traitement de haute acuité de l'information visuelle centrale. Cependant, le fait que cet effet d'excentricité ne soit pas significatif, mais observé en tendance, peut indiquer qu'une telle activation réticulaire persiste malgré la faible acuité de la VP. Ce résultat serait en accord avec les données comportementales indiquant une persistance de la valeur émotionnelle même en VP. De plus, des RED plus amples ont également été induites par des images émotionnelles sans que pour autant il y ait une différence entre les images déplaisantes et plaisantes. Ce résultat est cohérent avec les études précédentes, pour lesquelles l'amplitude des RED augmente avec l'activation émotionnelle, quelle que soit la valence (Bradley et al., 2001 ; Lang et al., 1993).

La présentation en VP a également induit une dilatation plus élevée de la pupille et une accélération de la FC. La dilatation de la pupille permet à plus de lumière d'atteindre la rétine (Purves et al., 2011) et elle est considérée comme un indicateur classique de la réactivité sympathique aux stimuli (Bradley et al., 2017) ; d'ailleurs, elle augmente avec l'activation émotionnelle, quelle que soit la valence (Bradley et al., 2008). En ce qui concerne l'accélération de la FC, elle peut être considérée comme une réponse de préparation à l'action et reflète une activation liée à une charge cognitive plus importante (Bradley, 2009 ; Bradley et al., 2001). Par exemple, cette phase d'accélération est augmentée lorsqu'il est

demandé aux sujets de compter silencieusement des stimuli auditifs, comparativement à la situation sans comptage (Kaiser et al., 1999). La présente étude montre que, lorsque les participants doivent catégoriser les images, une activation neurovégétative plus élevée est observée en réponse à l'information présentée en VP, quel que soit le contenu émotionnel. La catégorisation émotionnelle de ces informations, qui s'accompagne d'un plus grand engagement des ressources neurovégétatives, peut s'expliquer par l'incertitude causée par le traitement limité de ces informations en VP et la mobilisation de davantage de ressources cognitives afin de réaliser la tâche.

En bref, les résultats suggèrent donc qu'il est possible d'utiliser des mesures neurovégétatives comme des indicateurs de l'impact de stimulations émotionnelles lors de leur présentation en vision centrale et périphérique. Aussi, bien que consigne ait été donnée pour ne pas utiliser les mouvements oculaires, un effet de l'émotion sur la réactivité neurovégétative est observé lors des présentations périphériques ce qui peut suggérer une mobilisation accrue des ressources cognitives. Ceci conforte l'hypothèse selon laquelle, l'attention peut toujours se déployer en VP, notamment dans la détection d'informations émotionnelles laquelle s'accompagne des manifestations sur le plan neurovégétatif.

2. Réactivité comportementale et symptomatologie

2.1. Dans l'anxiété

Dans nos études, un effet de l'anxiété s'observe sur les capacités de localisation des images. Les images sont mieux localisées dans l'ensemble du champ visuel (VC et VP) par les individus les plus anxieux. De plus, en VP spécifiquement, et lorsque l'accent est mis sur le traitement explicite de l'émotion, plus le trait-anxiété était élevé, plus le biais de réponse aux images déplaisant était grand. Ce résultat confirme en partie notre hypothèse selon laquelle l'anxiété est associée à une plus grande réactivité dans le champ visuel et notamment en VP. Elle est également cohérente avec la propension excessive des individus anxieux à contrôler les stimuli externes (Pruneti et al., 2016). De plus, ce résultat renforce l'hypothèse d'hypervigilance dans l'anxiété (MacLeod et Mathews, 2012), qui postule une augmentation des ressources attentionnelles dédiées à l'environnement afin de détecter des stimuli potentiellement pertinents. Cette hypothèse semble particulièrement adaptée lorsqu'elle est appliquée à la VP, qui couvre un environnement visuel étendu pour détecter les informations pertinentes.

Dans ce contexte, il semble que les informations déplaisantes prévalent chez les personnes anxieuses. En effet, il a été montré que le seuil de détection de la menace chez les individus anxieux est assez bas, entraînant un accroissement des ressources attentionnelles

allouées aux stimuli considérés comme menaçants (Coussement et Heeren, 2015). Au niveau comportemental, ce biais de négativité chez les personnes anxieuses se traduit par une orientation préférentielle du regard vers des signaux menaçants et par des interférences comportementales exagérées, exprimées par exemple par des temps de réaction plus longs dans une tâche de type *dot-probe* (Lichtenstein-Vidne et al., 2017). Des paradigmes tels que la tâche émotionnelle de Stroop, les tâches *dot-probe*, des paradigmes de recherche visuelle appliqués à des mots, à des scènes émotionnelles, ou encore à des expressions faciales émotionnelles, ont mis en évidence un biais de négativité chez les individus anxieux (Heeren et al., 2012). Les résultats de nos études montrent également un tel biais de négativité dans l'anxiété envers les scènes émotionnelles présentées en VP, malgré la complexité des stimuli et la faible acuité de la VP. Dans ce contexte, l'hypervigilance met le système cognitif en alerte et facilite ainsi la détection des signaux potentiellement menaçants (Beck et Clark, 1997 ; Dolan et Vuilleumier, 2003). Une telle dominance de la vision périphérique pourrait constituer une adaptation évolutive pour optimiser la détection des stimuli dans des conditions spécifiques d'anxiété. Shapiro & Lim (1989) ont suggéré qu'il serait dans l'intérêt de l'organisme d'utiliser ces mécanismes de détection périphériques pour localiser et être prêt à réagir à une source d'information pertinente. Cette suggestion est soutenue par Beck et al. (1985) qui proposent que l'anxiété conduirait l'individu à atteindre un état d'hypervigilance grâce auquel il mobilise des ressources attentionnelles spécifiques pour scruter constamment l'environnement à la recherche de signes potentiels de danger.

En ce qui concerne l'anxiété-état, un effet inverse a été observé, avec des performances inférieures dans la catégorisation des images plaisantes. En effet, l'anxiété a été rapportée comme étant associée à des difficultés dans le traitement des informations plaisantes, avec une inhibition ou une régulation négative des émotions positives (Carl et al., 2013 ; Eisner et al., 2009). La moindre performance dans la catégorisation des images plaisantes peut également être due à une plus grande difficulté à diriger l'attention vers des informations plaisantes, ce qui entraîne des temps de réaction accrus. En effet, la littérature rapporte un biais vers les informations négatives chez les personnes anxieuses (Liu et al., 2019), ainsi qu'une réactivité accrue aux stimuli ambigus ou neutres comme s'ils étaient négatifs (Olatunji et al., 2011). Une telle priorité donnée aux stimuli déplaisants et neutres se ferait alors au détriment des stimuli plaisants. Dans ce contexte, un entraînement attentionnel pour favoriser le traitement des informations plaisantes pourrait être bénéfique pour augmenter l'attention vers les informations plaisantes et ainsi réduire la symptomatologie anxieuse (Sass et al., 2016 ; Waters et al., 2013).

Ces résultats concernant l'anxiété-trait et état suggèrent également que le traitement explicite de l'émotion, comme dans une tâche de catégorisation, permet faire davantage ressortir des effets de valence émotionnelle. En effet, compte tenu de ces résultats et du fait que la discrimination visuelle est susceptible de devenir de plus en plus coûteuse en termes de ressources attentionnelles avec des excentricités croissantes, il est cohérent de supposer que le traitement émotionnel implicite est plus altéré que le traitement émotionnel explicite en périphérie (D'Hondt et al., 2016). En d'autres termes, le traitement de la valence émotionnelle implicite pourrait ne plus être possible ou fortement diminué en VP par rapport au traitement émotionnel explicite. C'est ce qu'il semble ressortir de nos résultats, du moins pour le traitement des informations émotionnelles en VP dans l'anxiété.

Les résultats suggèrent aussi que l'hypervigilance dans l'anxiété mène à une détection accrue des informations en VP, notamment les informations déplaisantes lorsque la tâche met l'accent sur le traitement explicite de l'émotion (catégorisation). De plus, cette plus grande sensibilité pour les informations de l'espace visuel périphérique est confirmée même en l'absence de mouvements oculaires. Aussi, l'état anxieux mène à de moins bonnes performances pour la catégorisation des images plaisantes ce qui peut renvoyer à des difficultés dans le traitement et la réaction à ce type d'informations. Enfin, le traitement explicite de l'émotion semble permettre à des effets de valence de persister, même en VP, dans l'anxiété.

2.2. Dans la dépression

Un autre résultat original de nos études correspond au fait que la symptomatologie dépressive était associée à une meilleure catégorisation des images émotionnelles, en VC uniquement. Ce résultat a en partie confirmé notre hypothèse selon laquelle la dépression pourrait être associée à une plus grande réactivité en VC, comparativement à la VP. Aussi, cette observation est cohérente avec celle de De Zorzi et al. (2020) chez des patients atteints de troubles dépressifs majeurs, qui ont montré un biais de négativité et des réponses neurovégétatives améliorées en VC mais pas en VP. Par ailleurs, la dépression a déjà été associée à une sensibilité accrue aux émotions, en particulier aux émotions négatives. Par exemple, Wenzler et al. (2017) ont rapporté que les personnes déprimées percevaient les stimuli émotionnels comme plus négatifs et activateurs. Cette sensibilité accrue à l'émotion peut être bénéfique dans le cadre d'une tâche de catégorisation émotionnelle, car la perception de l'émotion est augmentée. De plus, une plus grande réactivité neurovégétative aux images déplaisantes présentées en VC a déjà été observée avec des scores BDI élevés dans les données supplémentaires de notre première étude (De Zorzi et al., 2021). La symptomatologie dépressive conduit ainsi à un traitement accru des informations émotionnelles associées à une

focalisation en VC, cohérente avec des saccades moins nombreuses et un temps de fixation plus long observé chez les patients dépressifs (Li et al., 2016), ce qui suggère à son tour que les individus dépressifs entreprennent moins d'exploration visuelle.

En résumé, ces résultats suggèrent que la dépression est associée à une modulation de la réactivité comportementale à l'émotion mais principalement en VC. Ces données vont dans le sens de la focalisation attentionnelle en VC, en cohérence avec de moindres ressources attentionnelles rapportées dans la dépression, et aussi avec la diminution des comportements d'exploration des scènes visuelles.

3. Réactivité neurovégétative et symptomatologie

3.1. Dans l'anxiété

Dans l'Étude 1 l'anxiété était associée à une plus grande dilatation sympathique de la pupille en réponse aux émotions, ce qui correspond aux plus grandes réponses pupillaires en réponse aux visages émotionnels déjà observées chez les haut-anxieux (Hepsomali et al., 2017). Ceci est également retrouvé dans l'Étude 4, dans laquelle nous observons une association entre l'anxiété-trait et l'activité électrodermale. En particulier, l'anxiété est associée à de plus grandes réponses électrodermales lors de la présentation d'images déplaisantes et neutres pour le groupe contrôle. Ce niveau élevé d'activation neurovégétative a déjà été observé dans l'anxiété (Pruneti et al., 2010, 2016), même lorsque des images étaient présentées de manière subliminale (Najström & Jansson, 2006). Ceci suggère que le système de détection des informations pertinentes chez les anxieux surréagit à toute information potentiellement activatrice, probablement dans un objectif de détection de la menace. De plus, l'anxiété a induit une plus grande activation sympathique pupillaire en réponse aux stimulations en VP, indépendamment de l'émotion, permettant à plus d'informations visuelles d'atteindre la rétine. L'anxiété étant caractérisée par une hypervigilance et un état d'alerte (Heller et al., 1997 ; MacLeod & Mathews, 2012), nos résultats pourraient refléter une extension de cette hypervigilance à la PV avec des manifestations neurovégétatives. Ce processus pourrait conduire à un contrôle renforcé des parties périphériques du champ visuel, processus qui semble cohérent avec la meilleure capacité à localiser les images, comme observé chez les individus les plus anxieux. De plus, le fait que l'anxiété entraîne une réactivité exacerbée sur l'ensemble du champ visuel est également cohérent avec l'augmentation de la capture attentionnelle observée dans l'anxiété sur des tâches comprenant des menaces non pertinentes pour la tâche et des stimuli non menaçants (Gerdes et al., 2008 ; Wieser et al., 2009) ou avec des informations périphériques qui ne sont pas menaçantes (Mathews, 1990 ; Shapiro & Lim, 1989). Dans la même veine, Beck et al. (1985) ont proposé que les individus anxieux scrutent constamment l'environnement à la recherche de signes de danger, et peuvent

mal interpréter des situations ambiguës et exagérer des menaces mineures, ce qui augmenterait encore l'anxiété et potentiellement la réactivité neurovégétative. L'hypervigilance observée dans l'anxiété conduirait ainsi à une augmentation des ressources allouées à la VP et à une expansion du champ visuel contrôlé. Comme déjà évoqué plus haut, Shapiro & Lim (1989) ont fait valoir que, pendant un état d'anxiété, il y a un intérêt adaptatif pour les individus à utiliser la VP pour localiser et se préparer à réagir à une source de stimulation, ce qui pourrait être favorisé par une activation physiologique plus importante.

Nos résultats confortent les données de la littérature qui rapportent une hyperréactivité aux informations émotionnelles dans l'anxiété. Ils viennent aussi confirmer les données comportementales indiquant un accroissement de la sensibilité aux informations en VP dans l'anxiété. En effet, on observe une plus grande réactivité neurovégétative à l'émotion et aux informations en VP. Ainsi, l'anxiété serait associée à un accroissement des ressources allouées à la VP ; l'hypervigilance caractéristique de l'anxiété se manifesterait également au niveau physiologique dans l'objectif de favoriser la réponse à toute stimulation environnementale.

3.2. Dans la dépression

Dans notre première étude, indépendamment de la position des images, les participants les plus dépressifs n'ont pas montré de plus grandes RED aux images plaisantes comme observées chez les moins dépressifs. La dépression était donc associée à une moindre réactivité sympathique aux stimulations plaisantes. Ceci est cohérent avec les résultats de Mardaga et Hansenne (2009) qui ont observé que, contrairement aux participants contrôles, les individus déprimés ne présentaient pas de plus grandes RED aux images plaisantes par rapport aux images déplaisantes. Ces données soutiennent l'hypothèse d'atténuation positive, qui postule que la dépression est caractérisée par une réactivité réduite à l'affect positif (Clark & Watson, 1991). Aussi, les individus les moins dépressifs ont obtenu une température cutanée inférieure en réponse à l'émotion, impliquant une plus grande vasoconstriction sympathique, alors qu'un tel effet d'activation n'était pas observé pour les plus hauts niveaux de dépression. Cela soutient l'idée que la dépression émousse la réactivité émotionnelle, ce qui est cohérent avec l'hypothèse d'insensibilité au contexte émotionnel (Rottenberg et al., 2005). Les données supplémentaires de notre première étude rapportent que, compte tenu de la position visuelle, la dépression était aussi associée à une plus grande réactivité aux images déplaisantes présentées en VC. Cette plus grande réactivité aux informations déplaisantes soutient l'hypothèse de potentialisation négative (Wenzler et al., 2017) en montrant sa pertinence en VC mais pas en VP. Ces résultats confirment ce qui a été observé chez les patients atteints de trouble dépressif majeur qui ont montré un biais de négativité et des

réponses neurovégétatives accrues en VC mais pas en VP (De Zorzi et al., 2020). Ainsi, la symptomatologie dépressive conduit à une réactivité accrue aux informations négatives associées à une focalisation en VC.

En bref, nos résultats et ceux de la littérature convergent pour montrer une réactivité électrodermale et vasomotrice atténuée à l'information émotionnelle dans la dépression et sont en faveur d'une réactivité émotionnelle globale émoussée dans cette symptomatologie. Lorsque nous mettons en relation ces résultats avec la troisième étude, nous constatons que la réactivité neurovégétative à l'émotion dans la dépression pourrait être modulée par le déploiement attentionnel. En effet, nos données indiquent que la moindre réactivité sympathique est liée à l'orientation attentionnelle vers l'émotion. Ainsi, le modèle permettant de prédire l'ampleur des RED intègre à la fois le score de dépression et la latence de fixation vers le plaisant. Dans ce sens, une orientation rapide vers le plaisant mène à des RED moins importantes. Ces données fournissent donc une piste explicative à l'hétérogénéité des résultats concernant la réactivité neurovégétative à l'émotion dans la symptomatologie dépressive en suggérant que les aspects du déploiement de l'attention vers l'émotion pourraient expliquer les variations de réactivité. Cela plaide également pour la prise en compte des aspects attentionnels vers l'émotion dans les études impliquant des mesures neurovégétatives.

De manière générale, ces résultats montrent que la dépression module bien la réactivité neurovégétative à l'émotion. Selon l'indicateur neurovégétatif, nous observons une moindre réactivité aux informations plaisantes ou aux informations émotionnelles plus globalement. Par ailleurs, la symptomatologie dépressive potentialise la réactivité aux informations déplaisantes, particulièrement en VC, ce qui est en accord avec la réduction d'attention allouée à la VP et les données obtenues sur le plan comportemental. Enfin, le déploiement de l'attention vers l'émotion semble moduler cette réactivité neurovégétative et nécessite d'être pris en compte pour les études intégrant ce type de mesures.

4. Anxiété, dépression et dynamique temporelle neurovégétative

En plus des résultats spécifiques pour l'anxiété ou la dépression, nos résultats montrent que ces symptomatologies conduisent à des effets communs. En effet, lors de la première expérimentation, l'anxiété et la dépression sont toutes deux associées à un réflexe pupillaire à la lumière, inférieur lors de la réponse à des images plaisantes présentées dans VP. En outre, l'anxiété et la dépression sont toutes deux associées à une FC plus élevée aux images déplaisantes lors du retour de la FC à la valeur initiale. Ces résultats confirment des données

de la littérature suggérant que l'anxiété et la dépression sont associées à une exagération de l'attention portée aux stimuli négatifs par rapport aux autres stimuli (Eizenman et al., 2003 ; MacLeod et al., 1986) ; le seuil d'activation du système d'évaluation de la menace serait plus bas et cela se traduirait par une augmentation directe des ressources attentionnelles allouées aux stimuli considérés comme menaçants par ce système (Coussement & Heeren, 2015). Ils confirment aussi des données montrant que les individus dépressifs répondent moins aux stimulations plaisantes lorsqu'on compare leur réponse aux individus contrôles (Mardaga & Hansenne, 2009). Ces données confirment donc que les symptomatologies anxieuse et dépressive présentent des similitudes dans la réponse aux informations émotionnelles. Ceci peut s'expliquer, car ces deux symptomatologies sont celles présentant le plus grand taux de comorbidité dans les troubles psychiatriques (Zbozinek et al., 2012). Ainsi, la distinction entre les spécificités de chacune peut s'avérer complexe. Néanmoins, les résultats exploratoires des données supplémentaires du premier article comparant des participants contrôles, anxieux, dépressifs et mixtes anxio-dépressifs, ont montré que les effets de l'anxiété et de la dépression semblent différer sur le retour au niveau de base de la FC lorsque l'émotion et la position visuelle sont prises en compte. En effet, la dépression sans anxiété était associée à une plus grande réactivité aux images déplaisantes présentées en VC alors que la dépression avec anxiété était associée à une hyperréactivité au déplaisant uniquement en VP. Cela signifie probablement que la dépression guide l'hypervigilance vers des signaux aversifs dans la VP et augmente ainsi l'état d'alerte chez les participants anxieux. Ces résultats exploratoires ouvrent des perspectives sur l'étude des modulations visuospatiales et émotionnelles de la réactivité neurovégétative dans l'anxiété et la dépression. Ils permettent aussi de poser l'hypothèse qu'il est possible de distinguer la réactivité neurovégétative des deux symptomatologies en prenant en compte la position spatiale, VC vs VP, des informations émotionnelles.

Dans le cadre des facteurs potentiels, susceptibles de distinguer l'anxiété et la dépression, la dynamique des variables neurovégétatives est sûrement à considérer étant donné les résultats qui ressortent de la présente recherche. En effet, l'anxiété est principalement associée aux stades précoces de la réactivité neurovégétative aux émotions, tandis que la dépression module plutôt les stades tardifs. Cela fait écho à l'hypothèse proposée par Williams et al. (1997) qui postule que l'anxiété et la dépression diffèrent en termes de dynamique des biais cognitifs. L'anxiété semble être associée à un biais d'orientation vers des informations menaçantes dans les premières étapes du traitement de l'information (Bar-Haim et al., 2007), suivi d'un biais d'évitement (Pflugshaupt et al., 2005 ; Rohner, 2002) ou d'une difficulté à se désengager l'attention de la menace (Fox et al., 2001; Yiend & Mathews, 2001) dans ce cas plus tardivement. La dépression est davantage liée à une attention soutenue au déplaisant

plutôt qu'à une orientation rapide (Hallion & Ruscio, 2011) et à un biais négatif global dans les processus ultérieurs (Mogg & Bradley, 2016). Ces dynamiques sont également observées au niveau neurophysiologique, repérable chez les individus anxieux grâce au complexe P1/N1 plus précoce en réponse aux visages (Bar-Haim et al., 2005). Cette dynamique correspond à une orientation rapide, à une latence plus courte, à une plus grande amplitude de la P200 associée à un comportement d'attention préférentiel (Hanatani et al., 2005 ; Yee & Miller, 1988), et à une amplitude N300 réduite (Rossignol et al., 2005). L'anxiété pourrait ainsi se manifester par une combinaison de composants précoces et tardives pour traiter les stimuli émotionnels (Li et al., 2007).

Pour la dépression, la modulation des composantes tardives de réponses neurovégétatives a déjà été rapportée dans la littérature, notamment sur le plan de l'activité électrodermale (Mardaga & Hansenne, 2009). De plus, les individus déprimés ont montré une plus grande latence et une amplitude diminuée de la composante P3b lors de la détection de visages heureux parmi des visages neutres, reflétant un déficit dans l'attribution des ressources cognitives pour évaluer ces stimuli (Cavanagh & Geisler, 2006). Néanmoins, il a été montré que les biais dans le traitement émotionnel dans la dépression peuvent concerner à la fois les stades précoces et tardifs du traitement des stimuli (Maurage et al., 2008 ; Sumich, Harris, et al., 2006 ; Sumich, Kumari, et al., 2006), qui ne se manifesteraient que dans les derniers stades des réponses neurovégétatives.

En bref, la prise en compte, à la fois de la position et du contenu émotionnel des images, pourrait conduire à la distinction neurovégétative de l'anxiété et de la dépression. Ce processus de différenciation pourrait également être enrichi par l'analyse des dynamiques neurovégétatives. Dans ce cadre, l'anxiété module principalement les processus précoces de la réactivité neurovégétative alors que la dépression affecte principalement les processus ultérieurs. En outre, ces résultats semblent indiquer que, bien que l'anxiété et la dépression soient deux symptomatologies caractérisées par une forte comorbidité et des similitudes dans la réactivité aux émotions, la prise en compte de l'espace visuel et de la dynamique temporelle des manifestations neurovégétatives pourrait aider à distinguer les deux troubles. En effet, l'hyperréactivité aux stimuli déplaisants s'observent en VC pour les individus haut-dépressifs seuls alors que cette hyperréactivité se déporte en VP pour les individus haut-anxieux et haut-dépressifs ce qui rejoint nos hypothèses concernant l'opposition entre focalisation centrale dans la dépression et expansion de l'espace visuel surveillé dans l'anxiété. De plus, la dynamique des signaux neurovégétatifs semble modulée par l'anxiété et la dépression, tout comme les manifestations comportementales et neurophysiologiques observées dans la littérature. Les composantes plus précoces des réponses neurovégétatives sont

principalement impactées dans l'anxiété alors que ce sont celles tardives qui semblent davantage impliquées dans la dépression. Ceci renforce donc l'intérêt d'étudier la réactivité neurovégétative à l'émotion dans ces troubles dans l'objectif de mettre en lumière des spécificités temporelles des réponses neurovégétatives.

5. Quel lien entre les composantes comportementale, attentionnelle et physiologique ?

Lors de notre deuxième étude, le biais de réponse et les RED associées étaient caractérisés par une configuration physiologique opposée entre la vision centrale et la vision périphérique. En VC, le biais de réponse lors de la catégorisation (vers le déplaisant ou le plaisant) était associé à une augmentation de l'activation neurovégétative, tandis qu'en VP, ce biais de réponse était associé à une diminution de l'activation neurovégétative. Dans ce sens, lorsque les images étaient présentées en VC, plus les réponses neurovégétatives étaient importantes, moins les fausses alarmes étaient nombreuses lors de la catégorisation de ces images. Comme les participants ont montré de meilleures performances dans la catégorisation des images déplaisantes avec moins de fausses alarmes, il est possible qu'une plus grande activation neurovégétative puisse aider les participants à catégoriser les images émotionnelles en tant que telles lorsqu'elles sont traitées en détail. Cependant, lorsque des images étaient présentées en VP, plus les réponses neurovégétatives étaient importantes, plus les fausses alarmes se produisaient lors de la catégorisation de ces images. Considérant que la VP peut servir de système d'alerte, des réponses neurovégétatives plus importantes pourraient conduire à attribuer une valeur émotionnelle à des images qui n'en ont pas nécessairement, et donc à plus de fausses alarmes. Aussi, compte tenu de la faible acuité de la VP, il serait dans l'intérêt de l'organisme de manifester une hyperactivité à des stimuli mal identifiés. Cela donnerait un avantage comportemental à l'individu pour se préparer à l'action.

Ce premier résultat suggère donc un lien en termes de stratégie comportementale et de réactivité neurovégétative. Bien qu'il ne soit pas possible d'établir si la stratégie module la réactivité neurovégétative ou si c'est l'inverse qui se produit, ces résultats nous fournissent un premier argument pour mettre en lumière une influence réciproque de processus comportementaux et neurovégétatifs dans le cadre de stimulations émotionnelles visuelles. De plus, ce lien semble dépendant du champ visuel avec des configurations physiologiques inverses selon que l'information soit présentée en VC ou en VP.

Les résultats de notre troisième étude supportent cette fois-ci des liens spécifiques entre biais attentionnel vers des informations plaisantes et l'activation neurovégétative, à la fois en période de ligne de base et pendant la tâche. Au cours de la ligne de base, une plus grande

HF-VFC a été associée à une fixation plus longue sur les images plaisantes. Par conséquent, une influence parasympathique plus élevée, et donc une augmentation de la HF-VFC, semble liée au maintien de l'attention vers une information plaisante. La théorie polyvagale (Porges, 2007) propose que les mesures cardiaques de base de l'activité parasympathique peuvent indexer la capacité d'adaptation à l'environnement. Plus précisément, l'activité parasympathique au repos, mais aussi en période de réactivité, est associée à l'expression adaptative d'émotions et de capacités d'autorégulation. Par conséquent, notre association observée entre l'activité parasympathique en ligne de base et l'attention préférentielle aux informations plaisantes révèle un impact positif de cette activité sur un état psychophysiologique durant une tâche émotionnelle (Beauchaine, 2001). Par exemple, les personnes ayant une activation parasympathique plus élevée au départ peuvent être mieux en mesure d'employer les meilleures stratégies pour répondre au stress émotionnel en se concentrant sur des informations plaisantes. Ils peuvent aussi moins réagir aux stimuli neutres ou déplaisants. Dans ce sens, les personnes dont la VFC au repos est plus faible ne parviennent souvent pas à reconnaître les signaux de sécurité ou à s'habituer à de nouveaux stimuli neutres (Friedman, 2007 ; Park et al., 2012) ; aussi, ils répondent aux stimuli neutres avec une réponse de sursaut accrue et des réponses neurales similaires à celles des stimuli négatifs (Ruiz-Padial et al., 2003; Park et al., 2012). Nos résultats renforcent également le modèle d'intégration neuroviscérale (Thayer & Lane, 2000), qui postule que l'activité cardiaque, à travers la VFC, est informative sur l'intégrité des réseaux cérébraux soutenant l'interaction entre l'émotion et la cognition. Cependant, cette association est devenue marginalement significative lorsque le sexe est contrôlé. En effet, les différences entre les sexes sur la VFC ont été signalées avec une VFC plus élevée chez femmes, caractérisées par une relative dominance d'activité vagale (Koenig & Thayer, 2016). En raison de la taille de notre échantillon, il semble difficile de conclure sur les différences de sexe pour la VFC et il convient donc de rester prudent sur ce résultat. Des données supplémentaires sur l'association entre déploiement de l'attention et réactivité neurovégétative en lien avec le sexe sont nécessaires et pourront mettre en lumière des spécificités homme/femme.

De plus, au cours de la tâche, un effet de valence sur la latence de fixation était aussi associé à la réactivité neurovégétative. Les personnes qui ont rapidement orienté leur attention sur des stimuli plaisants présentaient des réponses électrodermales inférieures aux paires d'images alors que l'inverse a été observé pour une fixation plus rapide sur les stimuli déplaisants. Ce biais de positivité, décrit dans la littérature attentionnelle (Troller-Renfree et al., 2017) témoigne donc d'une interaction entre la capture d'informations émotionnelles et la réactivité neurovégétative. Ces résultats suggèrent donc une association entre déploiement de l'attention et réactivité neurovégétative. Plus spécifiquement, l'activité neurovégétative à

l'état de base est susceptible de servir d'indicateur dans la manière dont l'attention s'orientera vers l'émotion durant une tâche. Aussi, l'orientation rapide de l'attention semble être associée à un pattern de réactivité neurovégétative, possiblement dans un contexte de préparation à l'action. Ces résultats plaident donc pour une influence réciproque entre processus attentionnels et neurovégétatifs.

Les données de la quatrième étude rapportent un plus grand temps passé pour les images neutres pour le groupe contrôle, comparativement au groupe entraîné. Au vu de la littérature, la préférence pour les images neutres par rapport à d'autres types d'images peut consister en un biais d'évitement. Le biais d'évitement attentionnel fait référence au phénomène empirique dans lequel l'attention est préférentiellement allouée aux emplacements opposés à l'emplacement de la menace, indiquant ainsi l'évitement de celle-ci (par exemple, Koster et al., 2005 ; Mogg et al., 2004). Cet évitement a été principalement étudié dans le contexte de l'information de menace chez les individus anxieux avec un paradigme de présentation simultanée. Il est courant de considérer que les biais d'évitement attentionnel sont axés sur la valence et donnent la priorité aux informations menaçantes (Larsen, 2009 ; Pratto & John, 1991). Néanmoins, cette catégorie de stimulation négative est généralement associée à des niveaux élevés d'activation (Lang, Bradley, & Cuthbert, 1997 ; Russell, 1980), cohérents avec la nécessité de mobiliser nos ressources en cas de danger. Par conséquent, l'évitement attentionnel pourrait être plus dépendant de la valeur d'activation que de la valence. En particulier, l'évitement attentionnel des informations émotionnelles a déjà été observé avec des fixations de mouvements oculaires loin du stimulus après une fixation initiale (Pflugshaupt et al., 2005). Dans notre étude, tous les participants ont démontré des saccades plus rapides aux informations émotionnelles, mais seul le groupe contrôle a passé plus de temps sur les images neutres. En conséquence, ces participants pourraient adopter une stratégie d'évitement attentionnel de l'information émotionnelle alors que cette stratégie ne serait pas observée pour le groupe entraîné. Ceci pourrait aussi s'expliquer par les fortes valeurs d'activation des images émotionnelles qui auraient ainsi davantage d'entraîner des répercussions sur le volet neurovégétatif. Ces données sont notamment soutenues par le résultat sur les basses fréquences de la VFC, également plus importantes pour ce groupe de participants, ce qui suggère une plus grande réactivité sympathique.

A l'inverse, la procédure attentionnelle semble avoir eu des répercussions plus positives sur le groupe entraîné avec une augmentation du pourcentage de hautes fréquences de la variabilité cardiaque. Les hautes fréquences de la variabilité cardiaque sont également considérées comme un marqueur du système nerveux parasympathique, généralement associé à une bonne régulation cardiaque en réponse à l'émotion (Beauchaine, 2001 ; Thayer

et al., 2000, 2012). En particulier, la régulation du système nerveux parasympathique, évaluée par la variabilité cardiaque, est pour nombre d'auteurs liée à la régulation attentionnelle et à l'affect (Porges, 1991, Porges, 1992 ; Richards et Casey, 1992 ; Thayer et al., 2000). Par exemple, la fréquence cardiaque ralentit et la variabilité diminue pendant les tâches nécessitant une attention soutenue (Porges & Raskin, 1969 ; Richards & Casey, 1991). De plus, les personnes dont la VFC au repos est plus faible présentent des difficultés dans la détection des signaux de sécurité et l'habituation aux stimuli neutres (Friedman, 2007 ; Park et al., 2012) avec une réactivité similaire à celle des stimuli négatifs (Ruiz -Padial et al., 2003 ; Park et al., 2012). Par conséquent, les mesures de la VFC peuvent être utilisées pour évaluer la capacité d'autorégulation, c'est-à-dire la capacité de réguler les pensées, les émotions et les comportements, permettant ainsi aux individus de choisir des réponses appropriées aux différentes demandes situationnelles (Park et Thayer, 2014). Il est probable que les participants entraînés, qui ont davantage de hautes fréquences, abordent l'expérimentation avec une meilleure prédisposition à la régulation émotionnelle et attentionnelle. En conséquence, l'entraînement attentionnel aurait une répercussion positive sur la composante neurovégétative.

En conclusion, les données de notre quatrième étude précisent les liens que peuvent entretenir attention et physiologie. En particulier, il semble possible que l'association entre les patterns attentionnels et physiologiques soit liée à des mécanismes d'évitement attentionnel. De plus, l'action sur le versant attentionnel peut entraîner des répercussions au niveau neurovégétatif. Ainsi, l'entraînement au déploiement de l'attention vers les informations plaisantes mène à une plus grande proportion de hautes fréquences et moins de basses fréquences de variabilité cardiaque ce qui constitue un pattern de réponse encourageant dans le cadre de la régulation émotionnelle.

6. Liens entre attention et physiologie : implication pour la symptomatologie anxieuse et dépressive ?

Les résultats de notre troisième étude ont montré qu'il était possible de prédire la réactivité neurovégétative sur la base du déploiement attentionnel vers l'émotion et de la symptomatologie. Plus précisément, le meilleur modèle pour prédire les RED intègre la latence de fixation vers les informations plaisantes avec les scores de dépression et d'anxiété-trait. Au niveau psychométrique, une dépression plus élevée prédit de plus grandes RED en réponse à une paire d'images alors que l'anxiété-trait n'a pas contribué de manière significative à la prédiction des RED. Au niveau attentionnel, mesuré par la latence de fixation des images, une orientation attentionnelle plus faible vers les images plaisantes a été associée avec des RED

plus importantes. Cette association entre l'orientation vers le plaisant et la réactivité neurovégétative est particulièrement intéressante, car les personnes dépressives ont une orientation vers les informations plaisantes moindres (Duque & Vázquez, 2015) et présentent des atypies neurovégétatives, notamment une augmentation de l'activité neurovégétative (Branković, 2008 ; Wenzler et al., 2017). Par conséquent, les tentatives visant à renforcer un tel biais pourraient aider à atténuer l'activation neurovégétative et potentiellement servir comme une stratégie d'adaptation homéostatique protectrice ou une stratégie de *coping*. Dans la même veine, une hyporéactivité neurovégétative similaire à la présentation de stimuli émotionnels a déjà été rapportée et interprétée comme l'expression d'une stratégie d'adaptation pour améliorer les performances lors d'une tâche comportementale (Naveteur et al., 2005). Dans ce contexte, une intervention visant à atténuer la réactivité neurovégétative pourrait augmenter la capacité à orienter l'attention vers des informations plaisantes, ce qui pourrait s'avérer bénéfique, en particulier pour les personnes dépressives. Par conséquent, ces résultats suggèrent que le biais vers le plaisant pourrait constituer un marqueur cognitif du comportement et des adaptations neurovégétatives à l'émotion. Enfin, ce résultat semble donc confirmer nos hypothèses concernant le lien entre déploiement de l'attention vers l'émotion et réactivité neurovégétative. Par ailleurs, la symptomatologie dépressive, qui impacte à la fois les versants attentionnels et neurovégétatifs, module le lien entre ces deux composantes. Toutefois, des investigations complémentaires sont donc nécessaires afin de mieux caractériser l'association entre déploiement de l'attention et système neurovégétatif. Cela justifie notamment l'évaluation des répercussions neurovégétatives, lors d'une procédure de modification de l'attention, mise en place dans notre quatrième expérimentation.

Asini, dans la quatrième étude, l'utilisation d'un entraînement attentionnel semble avoir un impact sur le versant attentionnel et neurovégétatif. Par ailleurs, nous retrouvons une association entre activité électrodermale et anxiété dans le groupe contrôle. Les individus anxieux sont connus pour présenter une activité sympathique plus élevée dans diverses tâches par rapport aux individus contrôles (Weinberger et al., 1979 ; Najström & Jansson, 2006 ; Pruneti et al., 2016), cette association n'étant donc pas surprenante pour notre tâche. De plus, l'augmentation de l'activité électrodermale spécifique aux stimuli neutres et désagréables pourrait être interprétée dans le contexte de l'hypothèse d'ambiguïté de l'intolérance qui postule que des informations ambiguës peuvent être perçues comme des sources de menace (Kirschner et al., 2016). Par exemple, il a déjà été montré que des individus anxieux pouvaient répondre à des informations neutres comme si elles étaient négatives (Olatunji et al. 2011). Par conséquent, les participants anxieux non entraînés expriment une activité sympathique plus élevée à ce type d'information alors que les anxieux entraînés n'ont pas démontré une telle association. L'absence d'une telle association dans le groupe entraîné est intéressante et

serait un effet positif de l'entraînement attentionnel dans le groupe entraîné. A l'inverse, les participants anxieux du groupe entraîné démontrent une activité parasympathique plus importante, comme observé sur la décélération cardiaque. Ce résultat plaide en faveur d'un impact positif de l'entraînement pour des individus anxieux car l'activité parasympathique est considérée comme un marqueur de la régulation des émotions. Cependant, les effets ne sont observés qu'au début de l'expérience. Comme la plupart des entraînements attentionnels utilisaient plusieurs séances, il est possible qu'une seule séance d'entraînement ne soit pas suffisante pour induire un effet à long terme. Il sera donc nécessaire d'évaluer la répercussion neurovégétative potentielle après plusieurs séances.

Les associations entre l'anxiété et l'activité électrodermale ou la décélération cardiaque semblent spécifiques aux groupes (entraînés ou contrôles). Dans ce sens, l'anxiété est associée à une augmentation de l'activité sympathique dans le groupe contrôle alors qu'elle est associée à une augmentation de l'activité parasympathique dans le groupe entraîné. Compte tenu qu'une plus grande réactivité sympathique est généralement rapportée dans l'anxiété avec des effets délétères sur le long terme et que l'activité parasympathique semble bénéfique en termes de régulation émotionnelle, l'utilisation d'un tel entraînement peut s'avérer pertinente pour améliorer la symptomatologie anxieuse.

Chapitre III. Perspectives expérimentales et cliniques

1. Utilisation de la réalité virtuelle

Les paradigmes utilisés lors de cette thèse se basent sur la présentation d'images émotionnelles issues de l'IAPS sur écran d'ordinateur à des excentricités variables. Ce type de paradigme expérimental se retrouve largement dans la littérature portant sur l'exploration de l'attention vers l'émotion en raison du niveau de contrôle qu'il est possible d'apporter sur le plan de la localisation des stimulations et du contrôle de la valeur affective des images. Néanmoins, deux limites peuvent être avancées. La première concerne l'espace visuel occupé par les stimulations : en raison des limites d'affichages de l'écran, les stimulations périphériques sont présentées en périphérie relativement proche (12° d'excentricité) bien que des études précédentes utilisant le même paradigme aient permis de montrer des effets spécifiques pour une présentation en périphérie plus lointaine (Rigoulot et al., 2008 ; D'Hondt et al., 2016 ; De Zorzi et al., 2020). L'utilisation de l'ensemble du champ visuel permettrait certainement de mettre en lumière des effets spécifiques dans la réactivité à l'émotion. La seconde limite concerne le fait que les stimulations visuelles présentées soient statiques, or, comme nous l'avons souligné plus haut, il est admis que la vision périphérique est davantage sensible aux aspects dynamiques. Ainsi, l'utilisation de stimulations ou d'un environnement dynamique permettrait d'investiguer plus spécifiquement la réactivité de la VP. Dans ce cadre, l'utilisation de technologie de réalité virtuelle (RV) pourrait apporter des éléments méthodologiques permettant l'utilisation de l'ensemble de l'espace visuel ainsi que d'un environnement dynamique.

Les systèmes d'immersion de réalité virtuelle permettent à l'utilisateur d'interagir avec l'environnement informatique qu'il voit, à la manière d'un jeu vidéo, mais avec une sensation de présence dans cet environnement. Des études en RV ont déjà pu être réalisées dans le cadre de l'anxiété, notamment via des thérapies par exposition virtuelle. Les résultats de méta-analyses montrent une efficacité dans l'utilisation de ce type de thérapies (Parsons & Rizzo, 2008; Powers & Emmelkamp, 2008). Aussi, l'utilisation de cette technologie dans la dépression semble moins répandue, mais pourrait bénéficier également à cette symptomatologie. Par exemple, pour Lindner et al. (2019), certains exercices d'imagerie sont particulièrement adaptés à la RV, notamment l'imagerie positive et « l'Imagery Rescripting ». Ces deux techniques impliquent que le patient utilise l'imagerie mentale pour recréer un souvenir (rescripting) ou développer un exemple de scénario dans une direction suggérée (entraînement à l'imagerie positive). De plus, l'utilisation de la RV a déjà montré des effets positifs dans le cadre d'une diminution des symptômes dépressifs suite à l'exposition à des scénarios d'interactions avec des avatars virtuels (Falconer et al., 2016). Les données sur

l'utilisation de la RV dans l'anxiété et la dépression laissent donc penser qu'elle est bien tolérée par les participants d'études expérimentales et constitue donc une piste intéressante dans l'étude de la réactivité à l'émotion dans l'espace visuel. En effet, la RV permet également la mesure de mouvements oculaires pendant l'expérience et des dispositifs de mesure des variables neurovégétatives portatives sont aussi possibles avec ce type de protocole (Dechant, Trimpl, Wolff, Mühlberger, & Shibata, 2017). Il est donc envisageable de transposer nos questionnements sur les liens entre déploiement de l'attention dans l'espace visuel et réactivité neurovégétative en RV, ce qui aurait l'avantage de fournir un cadre plus direct à la réalité du quotidien, en exploitant l'ensemble de l'espace visuel. Bien que cette technique ne soit pas exempte de défauts, en particulier pour le contrôle de la valeur émotionnelle de l'environnement virtuel et du sentiment de réalisme de la scène, des environnements virtuels standardisés commencent à être développés et la mesure du sentiment de présence est possible grâce à l'utilisation d'échelles spécifiques (par ex : Witmer & Singer, 1998). Ainsi, l'utilisation de la RV pour poursuivre nos questionnements sur la réactivité à l'émotion dans l'espace visuel semble une piste prometteuse sur le plan expérimental.

2. Utilisation d'autres techniques de modulation de l'attention et de la physiologie

2.1. Modulation de l'attention

Certaines techniques permettant des modulations sur le plan attentionnel pourraient être investiguées notamment dans le cadre de la réactivité neurovégétative. En particulier, la méditation « pleine conscience » est une technique ayant montré des bénéfices à plusieurs niveaux. La pleine conscience peut être utilisée pour décrire une variété de pratiques et de processus (par exemple, van Dam et al., 2018) mais elle comprend deux composantes centrales : (1) une attention à l'expérience du moment présent, qui peut être focalisée sur des sensations internes (ex : respiration) ou externes (ex : signal lumineux ou sonore) couplée à (2) une attitude ouverte, non réactive et acceptant les choses telles qu'elles sont (Bishop et al., 2004 ; Ludwig et Kabat-Zinn, 2008 ; Kabat-Zinn, 2017). Au cours des dernières décennies, de nombreuses recherches ont démontré des avantages de la méditation de pleine conscience pour l'attention (Sedlmeier et al., 2012), l'humeur négative (Goyal et al., 2014) ou encore la santé mentale (Hofmann et al., 2010) avec des conséquences positives sur la symptomatologie anxieuse (Hoge et al., 2013) ou dépressive (Takahashi et al., 2019). Pour l'attention, des études indiquent qu'un entraînement à la méditation améliore les performances de discrimination perceptive et d'attention visuelle soutenue (MacLean et al., 2010). Aussi, plusieurs études ont démontré que la méditation peut aider à moduler les réponses

émotionnelles aux stimuli négatifs (Erismann et Roemer, 2011). Étant donné que des bénéfices sont observés sur le plan de l'attention, de la réactivité à l'émotion, et de la symptomatologie anxieuse et dépressive, il est possible de penser que des répercussions sur la réactivité neurovégétative puissent aussi être observées suite à l'utilisation de la même technique. Ceci ouvre ainsi la voie à l'étude des répercussions de la méditation sur la réactivité neurovégétative à l'émotion ainsi que l'étude des liens que ces potentiels bénéfiques pourraient entretenir avec les améliorations déjà identifiées au niveau de l'attention et de la symptomatologie.

2.2. Modulation de l'activité physiologique

D'autres techniques visent à agir directement sur le volet neurovégétatif et pourraient avoir des conséquences au niveau attentionnel ou émotionnel. Par exemple, le biofeedback est une technique d'autorégulation par laquelle les individus apprennent à contrôler volontairement des signaux biologiques *a priori* involontaires et automatiques. C'est une technique de traitement psychophysiologique non invasive avec un système de biosurveillance et des capteurs pour mesurer, amplifier et renvoyer des informations habituellement inconscientes mais qui permettent à un individu d'apprendre comment modifier une activité physiologique particulière (respiration, variabilité de la fréquence cardiaque, flux sanguin périphérique, pression artérielle, etc.) et ainsi améliorer la santé et les performances (Banerjee & Argáez, 2017). Cette intervention nécessite un équipement spécialisé pour convertir les signaux physiologiques en signaux visuels et/ou auditifs perceptibles. Par exemple, à l'aide d'un écran tel qu'un moniteur d'ordinateur, les individus obtiennent des indications qui les aident à développer le contrôle de leurs signaux physiologiques (Frank et al., 2010). Le biofeedback a déjà pu prouver une efficacité dans la symptomatologie anxieuse ou dépressive en complément de techniques psychothérapeutiques (Banerjee & Argáez, 2017). Dans ce type d'intervention, l'apprentissage repose sur la capacité à devenir attentif à un état interne ou à une fonction physiologique, telle que la respiration. Le développement de cette capacité est supposé affiner des capacités particulières telle que l'attention focalisée. Aussi, il est admis que le biofeedback a des conséquences positives à long terme sur la conscience corporelle et la régulation des émotions. En effet, les réafférences physiologiques, en particulier intéroceptives, sont susceptibles d'influencer des processus cognitifs tels que la perception, l'attention, la prise de décision ou la mémorisation, mais aussi des processus émotionnels (Critchley & Harrison, 2013 ; Tsakiris & Critchley, 2016). Des altérations de la perception de ces réafférences sont d'ailleurs observées dans un nombre important de pathologies neurologiques et psychiatriques, dont l'anxiété et la dépression (Paulus & Stein, 2010). Par conséquent, en raison de la réciprocity des phénomènes attentionnels et physiologiques, il semble intéressant d'étudier l'impact sur le déploiement de l'attention vers l'émotion, suite à une période d'entraînement en suivant les principes de du biofeedback.

Parmi les techniques de biofeedback, certaines se focalisent sur l'activité physiologique cérébrale. Ainsi, le neurofeedback se concentre sur le système nerveux central et le cerveau pour améliorer la régulation cérébrale des individus en mesurant les ondes cérébrales et en fournissant un retour principalement visuel ou auditif sur cette activité. Cette modulation de l'activité cérébrale peut affecter les changements de comportement (Micoulaud-Franchi et al., 2015). Cela concerne, par exemple, des entraînements de type neurofeedback agissant sur les biais attentionnels. Ce type d'entraînement a pu être utilisé avec succès dans la réduction du biais attentionnel dans l'anxiété (Wang et al., 2013). L'entraînement portait alors sur la capacité des participants à amplifier la production d'ondes alpha associées à une inhibition sélective des informations non pertinentes (Klimesch et al., 2007). Cette approche semble ainsi bénéfique dans la prise en charge des biais attentionnels ; cependant, elle ne prend pas en compte la composante neurovégétative qui se retrouve dans ces pathologies alors que l'étude des répercussions à ce niveau pourrait s'avérer pertinente. En effet, des modifications au niveau de l'activité cérébrale ont pu être observées à la suite d'un entraînement de biofeedback de la VFC (Prinsloo et al., 2013), notamment au niveau des ondes alpha (Dessy et al., 2020), déjà impliquées dans la réduction des biais attentionnels (Wang et al., 2013). Ces résultats suggèrent une attention et une relaxation internes accrues à l'issue d'un entraînement biofeedback et peuvent expliquer les modifications obtenues sur le plan cérébral. À l'inverse, il est probable que des modifications de l'activité cérébrale à l'aide de neurofeedback puissent impacter le versant attentionnel et neurovégétatif.

3. Implications cliniques pour la symptomatologie anxieuse et dépressive

Enfin, les données récoltées durant cette thèse suggèrent que les symptomatologies anxieuse et dépressive comprennent des altérations dans le déploiement de l'attention et dans la réactivité comportementale et neurovégétative à l'émotion. De plus, ces altérations entretiennent des relations dans la mesure où une activité physiologique peut influencer le déploiement de l'attention ou peut accompagner une orientation attentionnelle. Par conséquent, il semble important de prendre en compte, simultanément, ces différents volets dans l'étude clinique des troubles anxieux et dépressifs. Par ailleurs, en termes de personnalisation dans la prise en charge, l'évaluation des biais attentionnels et de la réactivité neurovégétative pourrait permettre de cibler les individus les plus sensibles aux modifications des biais attentionnels. En effet, certaines données suggèrent que les biais attentionnels ne sont pas systématiquement retrouvés dans la symptomatologie (par ex : Elgersma et al., 2018 ; Koster et al., 2006), de même que les altérations dans la réactivité neurovégétative à l'émotion (Sloan and Sandt, 2010 ; Rosebrock et al., 2017). De ce fait, l'évaluation au préalable

des difficultés sur le plan attentionnel ou neurovégétatif à l'aide d'une procédure standardisée pourrait s'avérer bénéfique pour orienter les individus les plus sensibles ou les plus réceptifs vers ces entraînements ou prises en charge. Aussi, l'utilisation d'entraînements attentionnels peut avoir un impact positif sur le biais attentionnel ainsi que sur la réactivité neurovégétative. Les données indiquent aussi que la réactivité à l'émotion et la répartition de l'attention dans l'espace visuel diffèrent entre individus anxieux et dépressifs. Ainsi, les individus pourraient bénéficier d'une personnalisation de l'entraînement en fonction de la valence émotionnelle ou de la localisation spatiale visuelle. Il est envisageable de constituer des entraînements dans lesquels les stimulations visuelles seraient présentées à des excentricités plus importantes dans la dépression, pour pallier à la focalisation centrale qui a pu être rapportée mais aussi vers les informations plaisantes pour pallier à la moindre orientation vers ces informations. De plus, les stimuli pourraient être diffusés en position plus centrale chez les individus anxieux dans l'optique de diminuer l'hypervigilance excessive envers les informations environnementales périphériques, typique de l'anxiété. Enfin, les répercussions de notre entraînement sur la réactivité neurovégétative suggèrent que cette technique pourrait avoir une incidence positive sur les volets attentionnel et physiologique, tous deux impliqués dans la symptomatologie anxieuse et dépressive. Bien que cela nécessite encore davantage d'expérimentation, il est envisageable que l'utilisation de cette procédure, en complément de techniques psychothérapeutiques ou médicamenteuses, puisse potentialiser les bénéfices sur la symptomatologie.

Chapitre IV. Conclusion générale

À travers les quatre études présentées dans cette thèse, nous avons exploré les spécificités de la réactivité comportementale et neurovégétative à des stimulations émotionnelles visuelles en lien avec la symptomatologie anxieuse et dépressive. Nous avons aussi cherché, d'une part à déterminer les relations entre le déploiement de l'attention et la réactivité neurovégétative et, d'une part, la manière dont les modifications sur le plan attentionnel modulent les réponses neurovégétatives.

Les deux premières études ont permis de montrer que l'attention vers les informations émotionnelles persiste en vision périphérique et que les stratégies comportementales pour catégoriser l'émotion sont associées à des patterns spécifiques de réactivité neurovégétative. Ces associations entre stratégies de catégorisation et réactivité neurovégétative sont aussi dépendantes de la localisation de l'information, qu'elle soit en vision centrale ou périphérique. Aussi, les données comportementales rapportent une meilleure catégorisation des informations émotionnelles uniquement en VC dans la dépression et une meilleure localisation des informations sur l'ensemble du champ visuel dans l'anxiété ainsi qu'une hyperréactivité neurovégétative en VP, particulièrement pour les informations négatives. La troisième étude a permis de mettre en lumière des associations entre orientation et maintien de l'attention vers l'émotion et (ré)activité neurovégétative. Dans ce sens, une plus grande activité parasympathique au repos semble associée à un maintien de l'attention vers les informations plaisantes et l'orientation vers celles-ci s'accompagne d'une moindre activité sympathique. De plus, la symptomatologie dépressive module ce lien entre attention et physiologie. Enfin, la modification du déploiement attentionnel s'accompagne de répercussions sur le plan neurovégétatif, notamment caractérisées par une diminution de l'activité sympathique et une augmentation de l'activité parasympathique.

Ces résultats indiquent que l'attention, qu'elle soit déployée de manière implicite ou explicite, s'oriente préférentiellement vers l'émotion et qu'elle s'accompagne d'une réactivité neurovégétative spécifique. Aussi, le déploiement des ressources attentionnelles est modulé par la symptomatologie anxieuse ou dépressive dans le champ visuel. Par conséquent, cela renforce l'intérêt de l'étude conjointe de la réactivité comportementale et neurovégétative dans ces troubles et ceci avec un l'objectif majeur : établir des distinctions entre deux symptomatologies qui présentent une forte comorbidité. L'ensemble des résultats apporte également des arguments en faveur de la personnalisation des techniques comportementales utilisées dans l'anxiété et la dépression, notamment en ce qui concerne les techniques de déploiement attentionnel dans l'espace visuel. En effet, ces dernières peuvent s'avérer

pertinentes pour agir sur le volet attentionnel mais aussi neurovégétatif, tous les deux clairement impliqués dans la symptomatologie anxieuse et dépressive.

Partie IV. Références bibliographiques

Publications associées à ce travail de thèse

➤ Articles

De Zorzi, L., Ranfaing, S., Honoré, J., & Sequeira, H. (2021). Autonomic reactivity to emotion: A marker of sub-clinical anxiety and depression symptoms? *Psychophysiology*, 58(4), e13774. <https://doi.org/10.1111/psyp.13774>

Ranfaing S., De Zorzi L., Honoré J., Critchley H., Sequeira H. (2021). Attention orientation to pleasantness and depressive symptomatology predict autonomic reactivity. *Cogn Emot.* 2021 May 27:1-11. doi: 10.1080/02699931.2021.1929852

➤ Articles en cours de soumission

De Zorzi, L., Ranfaing, S., Roux, C., Honoré, J. & Sequeira, H. (à soumettre). Differential impact of visual eccentricity on emotional reactivity: implications for anxious and depressive symptomatology.

De Zorzi, L., Ranfaing, S., Honoré, J., Critchley, H. & Sequeira, H. (à soumettre). Emotion and autonomic activity in depression and anxiety: A systematic qualitative review.

Ranfaing S., De Zorzi L., Honoré J., Critchley H., Sequeira H. (à soumettre). Autonomic repercussion of attentional modification procedure: implications for anxiety and depression.

➤ Communications orales

Ranfaing S., De Zorzi L., Honoré J., Critchley H., Sequeira H. (2021). Attentional Bias, Autonomic Reactivity and Depression. *IOP World Congress of Psychophysiology, Chengdu, China (virtual congress, September 7-11, 2021)*

Ranfaing S., De Zorzi L., Honoré J., Sequeira, H. (2020). Attention bias and autonomic reactivity to emotion: implications for depressive symptomatology. Journée André Verbert 2020 (Virtual Meeting), *Lille, France*.

Sequeira, H., De Zorzi, L., Ranfaing, S. (2020). Emotional Capture differs in Anxiety and Depression: Implications for neuro-affective regulation. International Society for Neuroregulation and Research, 28th Annual Conference (Virtual Meeting), July 31-August 2, 2020.

Ranfaing S., De Zorzi L., Honoré J., Sequeira, H. (2019). Autonomic reactivity to emotion: A marker of depressive and anxious symptomatology? *Réunion de la Société de PsychoPhysiologie et Neurosciences cognitives, Toulouse, France, 12-13 Dec. 2019.*

➤ **Communications affichées**

De Zorzi, L., Ranfaing, S., Honoré, J., & Sequeira, H. (2018). Reduced sympathetic activation to pleasant pictures with depression and anxiety. *IOP World Congress of Psychophysiology, Lucca, Italie, 4-8 Sept. 2018.*

De Zorzi, L., Ranfaing, S., Honoré, J., & Sequeira, H. (2018). Hemispheric dominance for non-emotional information? an autonomic approach. *IOP World Congress of Psychophysiology, Lucca, Italie, 4-8 Sept. 2018.*

Ranfaing, S., Martinez-Velazquez, E.S., Denorme, C., De Zorzi, L., Honoré, J., Sequeira, H. (2017). Autonomic Reactivity in Alexithymia: Respiratory Responses to Emotional Stimuli. *Int. Soc. Auton. Neuroscience, Nagoya, Japan.*

Bibliographie générale

(Introduction et Discussion)

- Abramov, I., Gordon, J., & Chan, H. (1991). Color appearance in the peripheral retina : Effects of stimulus size. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics and Image Science*, 8(2), 404-414. <https://doi.org/10.1364/josaa.8.000404>
- Algom, D., Chajut, E., & Lev, S. (2004). A rational look at the emotional stroop phenomenon : A generic slowdown, not a stroop effect. *Journal of Experimental Psychology. General*, 133(3), 323-338. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.3.323>
- Amir, N., Elias, J., Klumpp, H., & Przeworski, A. (2003). Attentional bias to threat in social phobia : Facilitated processing of threat or difficulty disengaging attention from threat? *Behaviour Research and Therapy*, 41(11), 1325-1335. [https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(03\)00039-1](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(03)00039-1)
- Amir, N., Najmi, S., & Morrison, A. S. (2009). Attenuation of Attention Bias in Obsessive-Compulsive Disorder. *Behaviour research and therapy*, 47(2), 153-157. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2008.10.020>
- Anderson, A. K. (2005). Affective influences on the attentional dynamics supporting awareness. *Journal of Experimental Psychology. General*, 134(2), 258-281. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.134.2.258>
- Anderson, A. K., & Phelps, E. A. (2001). Lesions of the human amygdala impair enhanced perception of emotionally salient events. *Nature*, 411(6835), 305-309. <https://doi.org/10.1038/35077083>
- Andreassi, J. L. (2007). *Psychophysiology : Human behavior & physiological response*, 5th ed (p. xxiii, 538). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Anton-Erxleben, K., & Carrasco, M. (2013). Attentional enhancement of spatial resolution : Linking behavioural and neurophysiological evidence. *Nature reviews. Neuroscience*, 14, 188-200. <https://doi.org/10.1038/nrn3443>
- Armstrong, T., & Olatunji, B. O. (2012). Eye tracking of attention in the affective disorders : A meta-analytic review and synthesis. *Clinical Psychology Review*, 32(8), 704-723. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2012.09.004>
- Azzopardi, P., & Cowey, A. (1993). Preferential representation of the fovea in the primary visual cortex. *Nature*, 361(6414), 719-721. <https://doi.org/10.1038/361719a0>
- Azzopardi, P., & Cowey, A. (1996). The overrepresentation of the fovea and adjacent retina in the striate cortex and dorsal lateral geniculate nucleus of the macaque monkey. *Neuroscience*, 72(3), 627-639. [https://doi.org/10.1016/0306-4522\(95\)00589-7](https://doi.org/10.1016/0306-4522(95)00589-7)
- Babiker, A., Faye, I., & Malik, A. (2013). Pupillary behavior in positive and negative emotions. *2013 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications*, 379-383. <https://doi.org/10.1109/ICSIPA.2013.6708037>

- Ball, K., Owsley, C., & Sloane, M. (1991). Visual and cognitive predictors of driving problems in older adults. *Experimental Aging Research*, 17(2), 79-80.
- Ballard, D. H., Hayhoe, M. M., Pook, P. K., & Rao, R. P. N. (1997). Deictic codes for the embodiment of cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 20(4), 723-767. <https://doi.org/10.1017/S0140525X97001611>
- Banerjee, S., & Argáez, C. (2017). Neurofeedback and Biofeedback for Mood and Anxiety Disorders : A Review of Clinical Effectiveness and Guidelines. Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK531603/>
- Bannerman, R. L., Milders, M., & Sahraie, A. (2010). Attentional cueing : Fearful body postures capture attention with saccades. *Journal of Vision*, 10(5), 23. <https://doi.org/10.1167/10.5.23>
- Bar-Haim, Y., Lamy, D., & Glickman, S. (2005). Attentional bias in anxiety : A behavioral and ERP study. *Brain and Cognition*, 59(1), 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2005.03.005>
- Bar-Haim, Y., Lamy, D., Pergamin, L., Bakermans-Kranenburg, M. J., & van IJzendoorn, M. H. (2007). Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals : A meta-analytic study. *Psychological Bulletin*, 133(1), 1-24. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.1.1>
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions : Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121(1), 65-94. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.65>
- Basanovic, J., Notebaert, L., Grafton, B., Hirsch, C. R., & Clarke, P. J. F. (2017). Attentional control predicts change in bias in response to attentional bias modification. *Behaviour Research and Therapy*, 99, 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2017.09.002>
- Bashinski, H. S., & Bacharach, V. R. (1980). Enhancement of perceptual sensitivity as the result of selectively attending to spatial locations. *Perception & Psychophysics*, 28(3), 241-248. <https://doi.org/10.3758/BF03204380>
- Beauchaine, T. (2001). Vagal tone, development, and Gray's motivational theory : Toward an integrated model of autonomic nervous system functioning in psychopathology. *Development and Psychopathology*, 13(2), 183-214. <https://doi.org/10.1017/s0954579401002012>
- Beck, A., Emery, G., & Greenberg, R. L. (2005). *Anxiety Disorders and Phobias : A Cognitive Perspective (Annual édition)*. Basic Books.
- Beck, A. T. (1976). *Cognitive therapy and the emotional disorders*. International Universities Press.
- Beck, A. T. (2008). The evolution of the cognitive model of depression and its neurobiological correlates. *The American Journal of Psychiatry*, 165(8), 969-977. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2008.08050721>

- Beck, A. T., & Clark, D. A. (1997). An information processing model of anxiety : Automatic and strategic processes. *Behaviour Research and Therapy*, 35(1), 49-58. [https://doi.org/10.1016/S0005-7967\(96\)00069-1](https://doi.org/10.1016/S0005-7967(96)00069-1)
- Beck, A. T., Emery, G., & Greenberg, R. L. (1985). *Anxiety disorders and phobias : A cognitive perspective*. Basic Books.
- Becker, E. S., Rinck, M., Margraf, J., & Roth, W. T. (2001). The emotional Stroop effect in anxiety disorders : General emotional or disorder specificity? *Journal of Anxiety Disorders*, 15(3), 147-159.
- Belopolsky, A. V., Devue, C., & Theeuwes, J. (2011). Angry faces hold the eyes. *Visual Cognition*, 19(1), 27-36. <https://doi.org/10.1080/13506285.2010.536186>
- Ben Hamed, S., Duhamel, J.-R., Bremmer, F., & Graf, W. (2002). Visual Receptive Field Modulation in the Lateral Intraparietal Area during Attentive Fixation and Free Gaze. *Cerebral Cortex*, 12(3), 234-245. <https://doi.org/10.1093/cercor/12.3.234>
- Berntson, G. G., Bigger, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., Nagaraja, H. N., Porges, S. W., Saul, J. P., Stone, P. H., & van der Molen, M. W. (1997). Heart rate variability : Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34(6), 623-648. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x>
- Berntson, G. G., Cacioppo, J. T., & Quigley, K. S. (1993). Cardiac psychophysiology and autonomic space in humans : Empirical perspectives and conceptual implications. *Psychological Bulletin*, 114(2), 296-322. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.114.2.296>
- Berti, S., Vessel, G., & Gamer, M. (2017). The Orienting Response in Healthy Aging : Novelty P3 Indicates No General Decline but Reduced Efficacy for Fast Stimulation Rates. *Frontiers in Psychology*, 8, 1780. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01780>
- Billman, G. E. (2011). Heart rate variability—A historical perspective. *Frontiers in Physiology*, 2, 86. <https://doi.org/10.3389/fphys.2011.00086>
- Bishop, S., Duncan, J., Brett, M., & Lawrence, A. D. (2004). Prefrontal cortical function and anxiety : Controlling attention to threat-related stimuli. *Nature Neuroscience*, 7(2), 184-188. <https://doi.org/10.1038/nn1173>
- Bishop, S. J. (2009). Trait anxiety and impoverished prefrontal control of attention. *Nature Neuroscience*, 12(1), 92-98. <https://doi.org/10.1038/nn.2242>
- Bjærtå, A., Flykt, A., & Sundin, O. (2013). The Effect of Using Different Distractor Sets in Visual Search with Spiders and Snakes on Spider-Sensitive and Nonfearful Participants. *Swiss Journal of Psychology*, 72, 171. <https://doi.org/10.1024/1421-0185/a000111>
- Bonnet, L., Comte, A., Tatu, L., Millot, J.-L., Moulin, T., & Medeiros de Bustos, E. (2015). The role of the amygdala in the perception of positive emotions : An « intensity detector ». *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9, 178. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00178>
- Boucsein, W. (2012). *Electrodermal Activity*. Springer US. <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-1126-0>

- Bradley, B., Mogg, K., White, J., Groom, C., & de Bono, J. (1999). Attentional bias for emotional faces in generalized anxiety disorder. - PubMed—NCBI. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10532148>
- Bradley, B. P., Mogg, K., & Lee, S. C. (1997). Attentional biases for negative information in induced and naturally occurring dysphoria. *Behaviour Research and Therapy*, 35(10), 911-927. [https://doi.org/10.1016/S0005-7967\(97\)00053-3](https://doi.org/10.1016/S0005-7967(97)00053-3)
- Bradley, M. M. (2009). Natural selective attention : Orienting and emotion. *Psychophysiology*, 46(1), 1-11. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00702.x>
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Sabatinelli, D., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation II : Sex differences in picture processing. *Emotion (Washington, D.C.)*, 1(3), 300-319.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion : The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49-59. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)
- Bradley, M. M., Miccoli, L., Escrig, M. A., & Lang, P. J. (2008). The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. *Psychophysiology*, 45(4), 602-607. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00654.x>
- Bradley, M. M., Sapigao, R. G., & Lang, P. J. (2017). Sympathetic ANS modulation of pupil diameter in emotional scene perception : Effects of hedonic content, brightness, and contrast. *Psychophysiology*, 54(10), 1419-1435. <https://doi.org/10.1111/psyp.12890>
- Branković, S. B. (2008). System identification of skin conductance response in depression—An attempt to probe the neurochemistry of limbic system. *Psychiatria Danubina*, 20(3), 310-322.
- Browning, M., Holmes, E. A., & Harmer, C. J. (2010). The modification of attentional bias to emotional information : A review of the techniques, mechanisms, and relevance to emotional disorders. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 10(1), 8-20. <https://doi.org/10.3758/CABN.10.1.8>
- Bryant, R. A., & Harvey, A. G. (1995). Processing threatening information in posttraumatic stress disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, 104(3), 537-541. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.104.3.537>
- Buckley, T. C., Blanchard, E. B., & Hickling, E. J. (2002). Automatic and Strategic Processing of Threat Stimuli : A Comparison Between PTSD, Panic Disorder, and Nonanxiety Controls. *Cognitive Therapy and Research*, 26(1), 97-115. <https://doi.org/10.1023/A:1013897805918>
- Buhr, K., & Dugas, M. J. (2006). Investigating the construct validity of intolerance of uncertainty and its unique relationship with worry. *Journal of Anxiety Disorders*, 20(2), 222-236. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2004.12.004>
- Buodo, G., Sarlo, M., & Palomba, D. (2002). Attentional Resources Measured by Reaction Times Highlight Differences Within Pleasant and Unpleasant, High Arousing Stimuli. *Motivation and Emotion*, 26(2), 123-138. <https://doi.org/10.1023/A:1019886501965>

- Buxbaum, L. J., Ferraro, M. K., Veramonti, T., Farne, A., Whyte, J., Ladavas, E., Frassinetti, F., & Coslett, H. B. (2004). Hemispatial neglect: Subtypes, neuroanatomy, and disability. *Neurology*, 62(5), 749-756. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000113730.73031.f4>
- Calvo, M. G., & Avero, P. (2005). Time course of attentional bias to emotional scenes in anxiety: Gaze direction and duration. *Cognition & Emotion*, 19(3), 433-451. <https://doi.org/10.1080/02699930441000157>
- Calvo, M., & Lang, P. (2005). Parafoveal Semantic Processing of Emotional Visual Scenes. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 31, 502-519. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.31.3.502>
- Cannon, W. B. (1915). Bodily changes in pain, hunger, fear and rage: An account of recent researches into the function of emotional excitement (p. xiii, 311). D Appleton & Company. <https://doi.org/10.1037/10013-000>
- Carl, J. R., Soskin, D. P., Kerns, C., & Barlow, D. H. (2013). Positive emotion regulation in emotional disorders: A theoretical review. *Clinical Psychology Review*, 33(3), 343-360. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2013.01.003>
- Carrasco, M., & McElree, B. (2001). Covert attention accelerates the rate of visual information processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(9), 5363-5367. <https://doi.org/10.1073/pnas.081074098>
- Carrasco, M., Penpeci-Talgar, C., & Eckstein, M. (2000). Spatial covert attention increases contrast sensitivity across the CSF: Support for signal enhancement. *Vision Research*, 40(10-12), 1203-1215. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(00\)00024-9](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(00)00024-9)
- Carstensen, L. L. (1995). Evidence for a Life-Span Theory of Socioemotional Selectivity. *Current Directions in Psychological Science*, 4(5), 151-156.
- Carstensen, L. L., & Mikels, J. A. (2005). At the Intersection of Emotion and Cognition: Aging and the Positivity Effect. *Current Directions in Psychological Science*, 14(3), 117-121. <https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00348.x>
- Carvalho, N., Laurent, E., Noiret, N., Chopard, G., Haffen, E., Bennabi, D., & Vandell, P. (2015). Eye Movement in Unipolar and Bipolar Depression: A Systematic Review of the Literature. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01809>
- Cavanagh, P., & Alvarez, G. A. (2005). Tracking multiple targets with multifocal attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(7), 349-354. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.05.009>
- Chapman, A., Devue, C., & Grimshaw, G. M. (2019). Fleeting reliability in the dot-probe task. *Psychological Research*, 83(2), 308-320. <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0947-6>
- Chong, L. J., & Meyer, A. (2020). Psychometric properties of threat-related attentional bias in young children using eye-tracking. *Developmental Psychobiology*. <https://doi.org/10.1002/dev.22053>
- Cisler, J. M., Bacon, A. K., & Williams, N. L. (2009). Phenomenological Characteristics of Attentional Biases Towards Threat: A Critical Review. *Cognitive Therapy and Research*, 33(2), 221-234. <https://doi.org/10.1007/s10608-007-9161-y>

- Cisler, J. M., & Koster, E. H. W. (2010). Mechanisms of attentional biases towards threat in anxiety disorders : An integrative review. *Clinical Psychology Review*, 30(2), 203-216. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2009.11.003>
- Cisler, J. M., & Olatunji, B. O. (2010). Components of Attentional Biases in Contamination Fear: Evidence for Difficulty in Disengagement. *Behaviour research and therapy*, 48(1), 74-78. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2009.09.003>
- Clark, L. A., & Watson, D. (1991). Tripartite model of anxiety and depression : Psychometric evidence and taxonomic implications. *Journal of Abnormal Psychology*, 100(3), 316-336.
- Clark, L., Iversen, S. D., & Goodwin, G. M. (2002). Sustained attention deficit in bipolar disorder. *The British Journal of Psychiatry: The Journal of Mental Science*, 180, 313-319. <https://doi.org/10.1192/bjp.180.4.313>
- Cohen, R. A. (2011). Sustained Attention. In J. S. Kreutzer, J. DeLuca, & B. Caplan (Éds.), *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology* (p. 2440-2443). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-79948-3_1334
- Cohen, R. A. (2014). Neural Mechanisms of Attention. In R. A. Cohen (Éd.), *The Neuropsychology of Attention* (p. 211-264). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-72639-7_10
- Costa, V. D., & Rudebeck, P. H. (2016). More than Meets the Eye : The Relationship between Pupil Size and Locus Coeruleus Activity. *Neuron*, 89(1), 8-10. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.12.031>
- Coussement, C., & Heeren, A. (2015). Vers une architecture cognitive du maintien du biais attentionnel envers la menace dans l'anxiété : Une approche par comparaison de modèles. *L'Année psychologique*, 115, 665. <https://doi.org/10.4074/S0003503315000202>
- Cowan, N. (1995). *Attention and memory : An integrated framework* (p. xv, 321). Oxford University Press.
- Critchley, H. D. (2002). Electrodermal responses: What happens in the brain. *The Neuroscientist: A Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*, 8(2), 132-142. <https://doi.org/10.1177/107385840200800209>
- Critchley, H. D., Daly, E. M., Bullmore, E. T., Williams, S. C., Van Amelsvoort, T., Robertson, D. M., Rowe, A., Phillips, M., McAlonan, G., Howlin, P., & Murphy, D. G. (2000). The functional neuroanatomy of social behaviour : Changes in cerebral blood flow when people with autistic disorder process facial expressions. *Brain: A Journal of Neurology*, 123 (Pt 11), 2203-2212. <https://doi.org/10.1093/brain/123.11.2203>
- Critchley, H. D., & Harrison, N. A. (2013). Visceral influences on brain and behavior. *Neuron*, 77(4), 624-638. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.02.008>
- Dai, Q., Hu, L., & Feng, Z. (2019). Attentional bias modification reduces clinical depression and enhances attention toward happiness. *Journal of Psychiatric Research*, 109, 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2018.11.024>

- Damasio, A. (2008). *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain*. Random House.
- Damásio, A. R. (1994). *Descartes' error : Emotion, reason, and the human brain*. Quill.
- Damasio, A. R. (2000). A Second Chance for Emotion. In R. D. R. Lane, L. Nadel, G. L. Ahern, J. Allen, & A. W. Kaszniak (Éds.), *Cognitive Neuroscience of Emotion* (p. 12-23). Oxford University Press.
- Dannlowski, U., Ohrmann, P., Bauer, J., Kugel, H., Arolt, V., Heindel, W., Kersting, A., Baune, B. T., & Suslow, T. (2007). Amygdala reactivity to masked negative faces is associated with automatic judgmental bias in major depression: A 3 T fMRI study. *Journal of Psychiatry & Neuroscience : JPN*, 32(6), 423-429.
- Darwin, C. (1809-1882) A. du texte. (1890). *L'expression des émotions chez l'homme et les animaux (2e édition) / par Charles Darwin,... ; Traduit de l'anglais par les Drs Samuel Pozzi,... René Benoist,...* <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k772010>
- Davidson, R. J. (2002). Anxiety and affective style : Role of prefrontal cortex and amygdala. *Biological Psychiatry*, 51(1), 68-80.
- Davis, M., & Whalen, P. J. (2001). The amygdala : Vigilance and emotion. *Molecular Psychiatry*, 6(1), 13-34. <https://doi.org/10.1038/sj.mp.4000812>
- Dawson, M. E., Schell, A. M., Filion, D. L., & Berntson, G. G. (2007). The Electrodermal System. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. Berntson (Éds.), *Handbook of Psychophysiology* (3e éd., p. 157-181). Cambridge University Press. <http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9780511546396A015>
- De Lissnyder, E., Derakshan, N., De Raedt, R., & Koster, E. H. W. (2011). Depressive symptoms and cognitive control in a mixed antisaccade task : Specific effects of depressive rumination. *Cognition and Emotion*, 25(5), 886-897. <https://doi.org/10.1080/02699931.2010.514711>
- De Raedt, R., Leyman, L., Baeken, C., Van Schuerbeek, P., Luypaert, R., Vanderhasselt, M.-A., & Dannlowski, U. (2010). Neurocognitive effects of HF-rTMS over the dorsolateral prefrontal cortex on the attentional processing of emotional information in healthy women : An event-related fMRI study. *Biological Psychology*, 85(3), 487-495. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.09.015>
- De Raedt, R., Vanderhasselt, M.-A., & Baeken, C. (2015). Neurostimulation as an intervention for treatment resistant depression : From research on mechanisms towards targeted neurocognitive strategies. *Clinical Psychology Review*, 41, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2014.10.006>
- De Zorzi, L., Ranfaing, S., Honoré, J., & Sequeira, H. (2021). Autonomic reactivity to emotion : A marker of sub-clinical anxiety and depression symptoms? *Psychophysiology*, 58(4). lucas.dezorzi@univ-lille.fr, ORCID: 0000-0002-0531-7942
- De Zorzi, L., Robin, M.-S., Honoré, J., Bubrovsky, M., Vaiva, G., & Sequeira, H. (2020). Depression restricts visual capture and promotes the perception of negative information. *Biological Psychology*, 154, 107923. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2020.107923>

- Dechant, M., Trimpl, S., Wolff, C., Mühlberger, A., & Shiban, Y. (2017). Potential of virtual reality as a diagnostic tool for social anxiety: A pilot study. *Computers in Human Behavior*, 76, 128-134.
- Deroost, N., & Cserjési, R. (2018). Attentional avoidance of emotional information in emotional eating. *Psychiatry Research*, 269, 172-177. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2018.08.053>
- Derryberry, D., & Reed, M. A. (2002). Anxiety-related attentional biases and their regulation by attentional control. *Journal of Abnormal Psychology*, 111(2), 225-236. <https://doi.org/10.1037//0021-843x.111.2.225>
- Dessy, E., Mairesse, O., van Puyvelde, M., Cortoos, A., Neyt, X., & Pattyn, N. (2020). Train Your Brain? Can We Really Selectively Train Specific EEG Frequencies With Neurofeedback Training. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 22. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00022>
- D'Hondt, F., Lassonde, M., Collignon, O., Dubarry, A.-S., Robert, M., Rigoulot, S., Honoré, J., Lepore, F., & Sequeira, H. (2010). Early Brain-Body Impact of Emotional Arousal. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00033>
- D'Hondt, F., Szaffarczyk, S., Sequeira, H., & Boucart, M. (2016). Explicit and implicit emotional processing in peripheral vision: A saccadic choice paradigm. *Biological Psychology*, 119, 91-100. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.07.014>
- Dillon, D. G., Wiecki, T., Pechtel, P., Webb, C., Goer, F., Murray, L., Trivedi, M., Fava, M., McGrath, P. J., Weissman, M., Parsey, R., Kurian, B., Adams, P., Carmody, T., Weyandt, S., Shores-Wilson, K., Toups, M., McInnis, M., Oquendo, M. A., ... Pizzagalli, D. A. (2015). A Computational Analysis of Flanker Interference in Depression. *Psychological medicine*, 45(11), 2333-2344. <https://doi.org/10.1017/S0033291715000276>
- Disner, S. G., Beevers, C. G., Haigh, E. A. P., & Beck, A. T. (2011). Neural mechanisms of the cognitive model of depression. *Nature Reviews. Neuroscience*, 12(8), 467-477. <https://doi.org/10.1038/nrn3027>
- Dolan, R. J., & Vuilleumier, P. (2003). Amygdala automaticity in emotional processing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 985, 348-355. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2003.tb07093.x>
- Donadio, V., Nolano, M., Provitera, V., Stancanelli, A., Lullo, F., Liguori, R., & Santoro, L. (2006). Skin sympathetic adrenergic innervation: An immunofluorescence confocal study. *Annals of Neurology*, 59(2), 376-381. <https://doi.org/10.1002/ana.20769>
- Douillez, C., & Philippot, P. (2008). Chapitre 1. Paradigmes expérimentaux en psychopathologie cognitive des émotions. De Boeck Supérieur. <http://www.cairn.info/psychopathologie-et-neurosciences--9782804158996-page-17.htm>
- Downing, C. J. (1988). Expectancy and visual-spatial attention: Effects on perceptual quality. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(2), 188-202. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.14.2.188>

- Dugas, M. J., Gagnon, F., Ladouceur, R., & Freeston, M. H. (1998). Generalized anxiety disorder : A preliminary test of a conceptual model. *Behaviour Research and Therapy*, 36(2), 215-226.
- Duque, A., & Vázquez, C. (2015). Double attention bias for positive and negative emotional faces in clinical depression : Evidence from an eye-tracking study. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 46, 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2014.09.005>
- Eastwood, J., Smilek, D., & Merikle, P. (2001). Differential attentional guidance by unattended faces expressing positive and negative emotion. *Perception & psychophysics*, 63, 1004-1013. <https://doi.org/10.3758/BF03194519>
- Eippert, F., Veit, R., Weiskopf, N., Erb, M., Birbaumer, N., & Anders, S. (2007). Regulation of emotional responses elicited by threat-related stimuli. *Human brain mapping*, 28, 409-423. <https://doi.org/10.1002/hbm.20291>
- Eisner, L. R., Johnson, S. L., & Carver, C. S. (2009). Positive affect regulation in anxiety disorders. *Journal of Anxiety Disorders*, 23(5), 645-649. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2009.02.001>
- Eizenman, M., Yu, L. H., Grupp, L., Eizenman, E., Ellenbogen, M., Gemar, M., & Levitan, R. D. (2003). A naturalistic visual scanning approach to assess selective attention in major depressive disorder. *Psychiatry Research*, 118(2), 117-128.
- El Khoury-Malhame, M., Reynaud, E., Soriano, A., Michael, K., Salgado-Pineda, P., Zendjidjian, X., Gellato, C., Eric, F., Lefebvre, M.-N., Rouby, F., Samuelian, J.-C., Anton, J.-L., Blin, O., & Khalfa, S. (2011). Amygdala activity correlates with attentional bias in PTSD. *Neuropsychologia*, 49(7), 1969-1973. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.03.025>
- Eldar, S., Apter, A., Lotan, D., Edgar, K. P., Naim, R., Fox, N. A., Pine, D. S., & Bar-Haim, Y. (2012). Attention Bias Modification Treatment for Pediatric Anxiety Disorders : A Randomized Controlled Trial. *The American journal of psychiatry*, 169(2), 213-220.
- Elgersma, H. J., Koster, E. H. W., Tuijl, L. A. van, Hoekzema, A., Penninx, B. W. J. H., Bockting, C. L. H., & Jong, P. J. de. (2018). Attentional bias for negative, positive, and threat words in current and remitted depression. *PLOS ONE*, 13(10), e0205154. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205154>
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16(1), 143-149. <https://doi.org/10.3758/BF03203267>
- Erisman, S., & Roemer, L. (2011). A Preliminary Investigation of the Process of Mindfulness. *Mindfulness*, 3. <https://doi.org/10.1007/s12671-011-0078-x>
- Eysenck, M. W. (1992). *Anxiety : The cognitive perspective*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and cognitive performance : Attentional control theory. *Emotion (Washington, D.C.)*, 7(2), 336-353. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.2.336>

- Fabes, R. A., Eisenberg, N., & Eisenbud, L. (1993). Behavioral and physiological correlates of children's reactions to others in distress. *Developmental Psychology*, 29(4), 655-663. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.29.4.655>
- Falconer, C. J., Rovira, A., King, J. A., Gilbert, P., Antley, A., Fearon, P., Ralph, N., Slater, M., & Brewin, C. R. (2016). Embodying self-compassion within virtual reality and its effects on patients with depression. *BJPsych open*, 2(1), 74-80. <https://doi.org/10.1192/bjpo.bp.115.002147>
- Fernández-Martín, A., & Calvo, M. (2016). Selective orienting to pleasant versus unpleasant visual scenes. *Cognition*, 155, 108-112. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.06.010>
- Fischer, B., & Breitmeyer, B. (1987). Mechanisms of visual attention revealed by saccadic eye movements. *Neuropsychologia*, 25(1A), 73-83. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(87\)90044-3](https://doi.org/10.1016/0028-3932(87)90044-3)
- Foa, E. B., Ilai, D., McCarthy, P. R., Shoyer, B., & Murdock, T. (1993). Information processing in obsessive—Compulsive disorder. *Cognitive Therapy and Research*, 17(2), 173-189. <https://doi.org/10.1007/BF01172964>
- Foa, E. B., & McNally, R. J. (1986). Sensitivity to feared stimuli in obsessive-compulsives : A dichotic listening analysis. *Cognitive Therapy and Research*, 10(4), 477-485. <https://doi.org/10.1007/BF01173299>
- Fortenbaugh, F. C., DeGutis, J., & Esterman, M. (2017). Recent theoretical, neural, and clinical advances in sustained attention research. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1396(1), 70-91. <https://doi.org/10.1111/nyas.13318>
- Fox, E., Russo, R., Bowles, R., & Dutton, K. (2001). Do Threatening Stimuli Draw or Hold Visual Attention in Subclinical Anxiety? *Journal of experimental psychology. General*, 130(4), 681-700.
- Fox, E., Russo, R., & Dutton, K. (2002). Attentional Bias for Threat : Evidence for Delayed Disengagement from Emotional Faces. *Cognition & emotion*, 16(3), 355-379.
- Frank, D. L., Khorshid, L., Kiffer, J. F., Moravec, C. S., & McKee, M. G. (2010). Biofeedback in medicine : Who, when, why and how? *Mental Health in Family Medicine*, 7(2), 85-91.
- Franken, I. H. A. (2003). Drug craving and addiction : Integrating psychological and neuropsychopharmacological approaches. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 27(4), 563-579. [https://doi.org/10.1016/S0278-5846\(03\)00081-2](https://doi.org/10.1016/S0278-5846(03)00081-2)
- Franzini, C., Lenzi, P., & Cianci, T. (1981). Interactions between temperature regulation and emotional arousal in the rabbit. *Experimental Brain Research*, 43(1), 87-92. <https://doi.org/10.1007/BF00238813>
- Fredrikson, M., Furmark, T., Olsson, M. T., Fischer, H., Andersson, J., & Långström, B. (1998). Functional neuroanatomical correlates of electrodermal activity : A positron emission tomographic study. *Psychophysiology*, 35(2), 179-185.

- Frewen, P., Dozois, D., Joanisse, M., & Neufeld, R. (2008). Selective attention to threat versus reward : Meta-analysis and neural-network modeling of the dot-probe task. *Clinical Psychology Review*, 28(2), 307-337. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2007.05.006>
- Friedman, B. H. (2007). An autonomic flexibility-neurovisceral integration model of anxiety and cardiac vagal tone. *Biological Psychology*, 74(2), 185-199. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.08.009>
- Frischen, A., Eastwood, J. D., & Smilek, D. (2008). Visual search for faces with emotional expressions. *Psychological Bulletin*, 134(5), 662-676. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.5.662>
- Geisler, F. C. M., Vennewald, N., Kubiak, T., & Weber, H. (2010). The impact of heart rate variability on subjective well-being is mediated by emotion regulation. *Personality and Individual Differences*, 49(7), 723-728. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2010.06.015>
- Georgiou, G., Bleakley, C., Hayward, J., Russo, R., Dutton, K., Eltiti, S., & Fox, E. (2005). Focusing on fear : Attentional disengagement from emotional faces. *Visual Cognition*, 12(1), 145-158. <https://doi.org/10.1080/13506280444000076>
- Gerdes, A. B. M., Alpers, G. W., & Pauli, P. (2008). When spiders appear suddenly : Spider-phobic patients are distracted by task-irrelevant spiders. *Behaviour Research and Therapy*, 46(2), 174-187. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2007.10.010>
- Ghiselin, M. T. (1973). Darwin and Evolutionary Psychology : Darwin initiated a radically new way of studying behavior. *Science*, 179(4077), 964-968. <https://doi.org/10.1126/science.179.4077.964>
- Gigerenzer, G., & Goldstein, D. (1996). Reasoning the Fast and Frugal Way : Models of Bounded Rationality. *Psychological Review*, 62, 650-669. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199744282.003.0002>
- Gotlib, I. H., & Joormann, J. (2010). Cognition and depression : Current status and future directions. *Annual Review of Clinical Psychology*, 6, 285-312. <https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.121208.131305>
- Goyal, M., Singh, S., Sibinga, E. M. S., Gould, N. F., Rowland-Seymour, A., Sharma, R., Berger, Z., Sleicher, D., Maron, D. D., Shihab, H. M., Ranasinghe, P. D., Linn, S., Saha, S., Bass, E. B., & Haythornthwaite, J. A. (2014). Meditation programs for psychological stress and well-being : A systematic review and meta-analysis. *JAMA Internal Medicine*, 174(3), 357-368. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.13018>
- Gregoriou, G. G., Gotts, S. J., & Desimone, R. (2012). Cell-Type-Specific Synchronization of Neural Activity in FEF with V4 during Attention. *Neuron*, 73(3), 581-594. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.12.019>
- Gross, J. J. (1998). The Emerging Field of Emotion Regulation : An Integrative Review. *Review of General Psychology*, 2(3), 271-299. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.2.3.271>
- Gross, J. J., & Thompson, R. (2007). Emotion Regulation : Conceptual Foundations. *Handbook of Emotion Regulation*, 3-27.

- Guilbert, J. J. (2003). The world health report 2002—Reducing risks, promoting healthy life. *Education for Health (Abingdon, England)*, 16(2), 230. <https://doi.org/10.1080/1357628031000116808>
- Hanatani, T., Sumi, N., Taguchi, S., Fujimoto, O., Nan-No, H., & Takeda, M. (2005). Event-related potentials in panic disorder and generalized anxiety disorder. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 59(1), 83-88. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1819.2005.01336.x>
- Hanes, D., & Wurtz, R. (2001). Interaction of the Frontal Eye Field and Superior Colliculus for Saccade Generation. *Journal of neurophysiology*, 85, 804-815. <https://doi.org/10.1152/jn.2001.85.2.804>
- Harvold, M., MacLeod, C., & Vaegter, H. B. (2018). Attentional Avoidance is Associated With Increased Pain Sensitivity in Patients With Chronic Posttraumatic Pain and Comorbid Posttraumatic Stress. *The Clinical Journal of Pain*, 34(1), 22-29. <https://doi.org/10.1097/AJP.0000000000000505>
- Haselton, M. G., Nettle, D., & Andrews, P. W. (2005). The Evolution of Cognitive Bias. In *The handbook of evolutionary psychology* (p. 724-746). John Wiley & Sons, Inc.
- Heeren, A., Bernstein, E. E., & McNally, R. J. (2018). Deconstructing trait anxiety : A network perspective. *Anxiety, Stress, & Coping*, 31(3), 262-276. <https://doi.org/10.1080/10615806.2018.1439263>
- Heeren, A., Ceschi, G., & Philippot, P. (2012). Biases attentionnels et troubles emotionnels : De l'évaluation au changement clinique [Attentional biases and emotional disorders: From assessment to clinical change]. *Revue Francophone de Clinique Comportementale et Cognitive*, 17, 24-41.
- Heilman, K. M. (1997). The neurobiology of emotional experience. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 9(3), 439-448. <https://doi.org/10.1176/jnp.9.3.439>
- Heller, W., Nitschke, J. B., Etienne, M. A., & Miller, G. A. (1997). Patterns of regional brain activity differentiate types of anxiety. *Journal of Abnormal Psychology*, 106(3), 376-385. <https://doi.org/10.1037//0021-843x.106.3.376>
- Henderson, J. M., & Hollingworth, A. (1998). Eye movements during scene viewing : An overview. In *Eye guidance in reading and scene perception* (p. 269-293). Elsevier Science Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-008043361-5/50013-4>
- Henderson, J. M., & Hollingworth, A. (1999). High-Level Scene Perception. *Annual Review of Psychology*, 50(1), 243-271. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.50.1.243>
- Henderson, J. M., Williams, C. C., Castelhana, M. S., & Falk, R. J. (2003). Eye movements and picture processing during recognition. *Perception & Psychophysics*, 65(5), 725-734. <https://doi.org/10.3758/bf03194809>
- Henderson, R. R., Bradley, M. M., & Lang, P. J. (2014). Modulation of the initial light reflex during affective picture viewing. *Psychophysiology*, 51(9), 815-818. <https://doi.org/10.1111/psyp.12236>

- Hepsomali, P., Hadwin, J. A., Liversedge, S. P., & Garner, M. (2017). Pupillometric and saccadic measures of affective and executive processing in anxiety. *Biological Psychology*, 127, 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.05.013>
- Hermans, D., Vansteenwegen, D., & Eelen, P. (1999). Eye movement registration as a continuous index of attention deployment: Data from a group of spider anxious students. *Cognition and Emotion*, 13(4), 419-434. <https://doi.org/10.1080/026999399379249>
- Hillyard, S. A., Vogel, E. K., & Luck, S. J. (1998). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: Electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 353(1373), 1257-1270. <https://doi.org/10.1098/rstb.1998.0281>
- Hoffman, J. E. (1998). Visual attention and eye movements. In *Attention* (p. 119-153). Psychology Press/Erlbaum (UK) Taylor & Francis.
- Hoffman, J. E., & Subramaniam, B. (1995). The role of visual attention in saccadic eye movements. *Perception & Psychophysics*, 57(6), 787-795. <https://doi.org/10.3758/BF03206794>
- Hofmann, S. G., Schulz, S. M., Heering, S., Muench, F., & Bufka, L. F. (2010). Psychophysiological correlates of generalized anxiety disorder with or without comorbid depression. *International Journal of Psychophysiology*, 78(1), 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2009.12.016>
- Hoge, E. A., Bui, E., Marques, L., Metcalf, C. A., Morris, L. K., Robinaugh, D. J., Worthington, J. J., Pollack, M. H., & Simon, N. M. (2013). Randomized Controlled Trial of Mindfulness Meditation for Generalized Anxiety Disorder: Effects on Anxiety and Stress Reactivity. *The Journal of clinical psychiatry*, 74(8), 786-792. <https://doi.org/10.4088/JCP.12m08083>
- Holland, null, & Gallagher, null. (1999). Amygdala circuitry in attentional and representational processes. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(2), 65-73. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(98\)01271-6](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(98)01271-6)
- Hoorebeke, D. V. (2008). L'émotion et la prise de décision. *Revue française de gestion*, n° 182(2), 33-44.
- Horenstein, M., & Segui, J. (1997). Chronometrics of attentional processes in anxiety disorders. *Psychopathology*, 30(1), 25-35. <https://doi.org/10.1159/000285025>
- Horley, K., Williams, L., Gonsalvez, C., & Gordon, E. (2004). Face to face: Visual scanpath evidence for abnormal processing of facial expressions in social phobia. *Psychiatry research*, 127, 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2004.02.016>
- Hunt, A. R., & Kingstone, A. (2003). Covert and overt voluntary attention: Linked or independent? *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 18(1), 102-105. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2003.08.006>
- Ioannou, S., Gallese, V., & Merla, A. (2014). Thermal infrared imaging in psychophysiology: Potentialities and limits. *Psychophysiology*, 51(10), 951-963. <https://doi.org/10.1111/psyp.12243>

- Izard, C. E. (1993). Four systems for emotion activation: Cognitive and noncognitive processes. *Psychological Review*, 100(1), 68-90. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.100.1.68>
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Holt. <http://archive.org/details/theprinciplesofp01jameuoft>
- Jansson, B., & Najström, M. (2009). Is preattentive bias predictive of autonomic reactivity in response to a stressor? *Journal of Anxiety Disorders*, 23(3), 374-380. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2008.12.001>
- Johns, S. A., Brown, L. F., Beck-Coon, K., Monahan, P. O., Tong, Y., & Kroenke, K. (2015). Randomized controlled pilot study of mindfulness-based stress reduction for persistently fatigued cancer survivors. *Psycho-Oncology*, 24(8), 885-893. <https://doi.org/10.1002/pon.3648>
- Johnson, D. (2009). Goal-directed attentional deployment to emotional faces and individual differences in emotional regulation. *Journal of Research in Personality*, 43, 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2008.09.006>
- Jonassen, R., Harmer, C. J., Hilland, E., Maglanoc, L. A., Kraft, B., Browning, M., Stiles, T. C., Haaland, V. Ø., Berge, T., & Landrø, N. I. (2019). Effects of Attentional Bias Modification on residual symptoms in depression: A randomized controlled trial. *BMC Psychiatry*, 19(1), 141. <https://doi.org/10.1186/s12888-019-2105-8>
- Joormann, J., & Gotlib, I. H. (2007). Selective attention to emotional faces following recovery from depression. *Journal of Abnormal Psychology*, 116(1), 80-85. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.116.1.80>
- Joshi, S., Li, Y., Kalwani, R. M., & Gold, J. I. (2016). Relationships between Pupil Diameter and Neuronal Activity in the Locus Coeruleus, Colliculi, and Cingulate Cortex. *Neuron*, 89(1), 221-234. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.11.028>
- Kabat-Zinn, J. (2017). Lovingkindness Meditation. *Mindfulness*, 8(4), 1117-1121. <https://doi.org/10.1007/s12671-017-0757-3>
- Kaiser, J., Wronka, E., Barry, R. J., & Szczudlik, A. (1999). Evoked cardiac response components in cognitive processing: Differential effects of amyotrophic lateral sclerosis. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 59(4), 329-334.
- Kalechstein, A. D., Newton, T. F., & van Gorp, W. G. (2003). Neurocognitive functioning is associated with employment status: A quantitative review. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25(8), 1186-1191. <https://doi.org/10.1076/jcen.25.8.1186.16723>
- Kaplan, E. (2013). The M, P and K pathways of the Primate Visual System revisited. In *The New Visual Neurosciences*.
- Kawai, S., Takano, H., & Nakamura, K. (2013). Pupil Diameter Variation in Positive and Negative Emotions with Visual Stimulus. 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 4179-4183. <https://doi.org/10.1109/SMC.2013.712>

- Kebir, O., Ben Azouz, O., Amado, I., & Tabbane, K. (2008). Le phénomène de l'inhibition de retour dans la schizophrénie : Revue de la littérature. *L'Encéphale*, 34(3), 263-269. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2007.07.006>
- Keitel, C., Maess, B., Schröger, E., & Müller, M. M. (2013). Early visual and auditory processing rely on modality-specific attentional resources. *NeuroImage*, 70, 240-249. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.12.046>
- Kelley, N. J., Gallucci, A., Riva, P., Romero Lauro, L. J., & Schmeichel, B. J. (2019). Stimulating Self-Regulation : A Review of Non-invasive Brain Stimulation Studies of Goal-Directed Behavior. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 12. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00337>
- Kessler, R. C., Petukhova, M., Sampson, N. A., Zaslavsky, A. M., & Wittchen, H.-U. (2012). Twelve-month and lifetime prevalence and lifetime morbid risk of anxiety and mood disorders in the United States. *International Journal of Methods in Psychiatric Research*, 21(3), 169-184. <https://doi.org/10.1002/mpr.1359>
- Kirschner, H., Hilbert, K., Hoyer, J., Lueken, U., & Beesdo-Baum, K. (2016). Psychophysiological reactivity during uncertainty and ambiguity processing in high and low worriers. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 50, 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2015.06.001>
- Klein, null. (2000). Inhibition of return. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(4), 138-147. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01452-2](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01452-2)
- Klein, R. (1980). Does oculomotor readiness mediate cognitive control of visual attention? In R. Attention and performance VIII, 8. <https://doi.org/10.1037/e665402011-424>
- Klimesch, W., Sauseng, P., & Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations : The inhibition-timing hypothesis. *Brain Research Reviews*, 53(1), 63-88. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.06.003>
- Koenig, J., & Thayer, J. F. (2016). Sex differences in healthy human heart rate variability : A meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 64, 288-310. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.03.007>
- Kosonogov, V., Zorzi, L. D., Honoré, J., Martínez-Velázquez, E. S., Nandrino, J.-L., Martínez-Selva, J. M., & Sequeira, H. (2017). Facial thermal variations : A new marker of emotional arousal. *PLOS ONE*, 12(9), e0183592. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183592>
- Koster, E., Derakshan, N., & De Raedt, R. (2011). Understanding Depressive Rumination from a Cognitive Science Perspective : The Impaired Disengagement Hypothesis. *Clinical psychology review*, 31, 138-145. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2010.08.005>
- Koster, E. H. W., Crombez, G., Verschuere, B., & De Houwer, J. (2004). Selective attention to threat in the dot probe paradigm : Differentiating vigilance and difficulty to disengage. *Behaviour Research and Therapy*, 42(10), 1183-1192. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2003.08.001>
- Koster, E. H. W., Crombez, G., Verschuere, B., Van Damme, S., & Wiersema, J. R. (2006). Components of attentional bias to threat in high trait anxiety : Facilitated engagement,

- impaired disengagement, and attentional avoidance. *Behaviour Research and Therapy*, 44(12), 1757-1771. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2005.12.011>
- Koster, E. H. W., Leyman, L., Raedt, R. D., & Crombez, G. (2006). Cueing of visual attention by emotional facial expressions : The influence of individual differences in anxiety and depression. *Personality and Individual Differences*, 41(2), 329-339. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2005.12.022>
- Koster, E. H. W., Verschuere, B., Crombez, G., & Van Damme, S. (2005). Time-course of attention for threatening pictures in high and low trait anxiety. *Behaviour Research and Therapy*, 43(8), 1087-1098. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2004.08.004>
- Kowler, E. (2011). Eye movements : The past 25years. *Vision Research*, 51(13), 1457-1483. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.12.014>
- Kreibig, S. D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion : A review. *Biological Psychology*, 84(3), 394-421. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.03.010>
- LaBerge, D. (1995). *Attentional processing : The brain's art of mindfulness* (p. x, 262). Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674183940>
- Lacey, B. C., & Lacey, J. I. (1977). Change in heart period : A function of sensorimotor event timing within the cardiac cycle. *Physiological Psychology*, 5(3), 383-393.
- Lam, C. M., & Beale, I. L. (1991). Relations among sustained attention, reading performance, and teachers' ratings of behavior problems. *RASE: Remedial & Special Education*, 12(2), 40-47. <https://doi.org/10.1177/074193259101200208>
- Land, M., Mennie, N., & Rusted, J. (1999). The Roles of Vision and Eye Movements in the Control of Activities of Daily Living. *Perception*, 28(11), 1311-1328. <https://doi.org/10.1068/p2935>
- Lang, P., Bradley, M., & Cuthbert, B. (2008). International affective picture system (IAPS) : Affective ratings of pictures and instruction manual. <http://csea.php.ufl.edu/Media.html>
- Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M., & Hamm, A. O. (1993). Looking at pictures : Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, 30(3), 261-273.
- Langner, O., Dotsch, R., Bijlstra, G., Wigboldus, D. H. J., Hawk, S. T., & van Knippenberg, A. (2010). Presentation and validation of the Radboud Faces Database. *Cognition and Emotion*, 24(8), 1377-1388. <https://doi.org/10.1080/02699930903485076>
- Langner, R., & Eickhoff, S. B. (2013). Sustaining Attention to Simple Tasks : A Meta-Analytic Review of the Neural Mechanisms of Vigilant Attention. *Psychological bulletin*, 139(4), 870-900. <https://doi.org/10.1037/a0030694>
- Larsen, R. (2009). The Contributions of Positive and Negative Affect to Emotional Well-Being. *Psihologijske Teme*, 18(2), 247-266.

- Lawrence, C. A., & Barry, R. J. (2009). ERPs and the evoked cardiac response to auditory stimuli : Intensity and cognitive load effects. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 69(4), 552-559.
- Lazarov, A., Abend, R., & Bar-Haim, Y. (2016). Social anxiety is related to increased dwell time on socially threatening faces. *Journal of Affective Disorders*, 193, 282-288. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.01.007>
- Lee, G. P., Arena, J. G., Meador, K. J., Smith, J. R., & et al. (1988). Changes in autonomic responsiveness following bilateral amygdalotomy in humans. *Neuropsychiatry, Neuropsychology, & Behavioral Neurology*, 1(2), 119-129.
- Lemelin, S., Baruch, P., Vincent, A., Everett, J., & Vincent, P. (1997). Distractibility and processing resource deficit in major depression : Evidence for two deficient attentional processing models. *Journal of Nervous and Mental Disease*, 185(9), 542-548. <https://doi.org/10.1097/00005053-199709000-00002>
- Leyman, L., De Raedt, R., Schacht, R., & Koster, E. H. W. (2007). Attentional biases for angry faces in unipolar depression. *Psychological Medicine*, 37(3), 393-402. <https://doi.org/10.1017/S003329170600910X>
- Li, Y., Xu, Y., Xia, M., Zhang, T., Junjie, W., Liu, X., & He, Y. (2016). Eye Movement Indices in the Study of Depressive Disorder. *Shanghai Archives of Psychiatry*, 28, 326-334. <https://doi.org/10.11919/j.issn.1002-0829.216078>
- Liang, C.-W., & Hsu, W.-Y. (2016). Effects of attention bias modification with short and long stimulus-duration : A randomized experiment with individuals with subclinical social anxiety. *Psychiatry Research*, 240, 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2016.04.019>
- Libby, W. L., Lacey, B. C., & Lacey, J. I. (1973). Pupillary and cardiac activity during visual attention. *Psychophysiology*, 10(3), 270-294. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1973.tb00526.x>
- Lichtenstein-Vidne, L., Okon-Singer, H., Cohen, N., Todder, D., Aue, T., Nemets, B., & Henik, A. (2017). Attentional bias in clinical depression and anxiety : The impact of emotional and non-emotional distracting information. *Biological Psychology*, 122, 4-12. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.07.012>
- Lin, H.-P., Lin, H.-Y., Lin, W.-L., & Huang, A. C.-W. (2011). Effects of stress, depression, and their interaction on heart rate, skin conductance, finger temperature, and respiratory rate : Sympathetic-parasympathetic hypothesis of stress and depression. *Journal of Clinical Psychology*, 67(10), 1080-1091. <https://doi.org/10.1002/jclp.20833>
- Lindner, P., Hamilton, W., Miloff, A., & Carlbring, P. (2019). How to Treat Depression With Low-Intensity Virtual Reality Interventions : Perspectives on Translating Cognitive Behavioral Techniques Into the Virtual Reality Modality and How to Make Anti-Depressive Use of Virtual Reality—Unique Experiences. *Frontiers in Psychiatry*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2019.00792>
- Liu, J., Shen, K., & Li, H. (2019). How state anxiety and attentional bias interact with each other : The moderating effect of cognitive appraisal. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 81(3), 694-706. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-01650-y>

- Liversedge, null, & Findlay, null. (2000). Saccadic eye movements and cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(1), 6-14. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(99\)01418-7](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(99)01418-7)
- Loschky, L., Mcconkie, G., Yang, J., & Miller, M. (2005). The limits of visual resolution in natural scene viewing. *Visual Cognition*, 12, 1057-1092. <https://doi.org/10.1080/13506280444000652>
- Lowther, H., Newman, E., Sharp, K., & McMurray, A. (2016). Attentional bias to respiratory- and anxiety-related threat in children with asthma. *Cognition & Emotion*, 30(5), 953-967. <https://doi.org/10.1080/02699931.2015.1036842>
- Lu, S., Xu, J., Li, M., Xue, J., Lu, X., Feng, L., Fu, B., Wang, G., Zhong, N., & Hu, B. (2017). Attentional bias scores in patients with depression and effects of age : A controlled, eye-tracking study. *The Journal of International Medical Research*, 45(5), 1518-1527. <https://doi.org/10.1177/0300060517708920>
- Ludwig, D. S., & Kabat-Zinn, J. (2008). Mindfulness in medicine. *JAMA*, 300(11), 1350-1352. <https://doi.org/10.1001/jama.300.11.1350>
- Lynn, R. (1966). CHAPTER 1—THE ORIENTATION REACTION. In R. Lynn (Éd.), *Attention, Arousal and the Orientation Reaction* (p. 1-13). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-011524-5.50006-0>
- MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science (New York, N.Y.)*, 288(5472), 1835-1838. <https://doi.org/10.1126/science.288.5472.1835>
- Mack, A., & Rock, I. (1998). *Inattention blindness* (p. xiv, 273). The MIT Press.
- MacLean, K. A., Ferrer, E., Aichele, S. R., Bridwell, D. A., Zanesco, A. P., Jacobs, T. L., King, B. G., Rosenberg, E. L., Sahdra, B. K., Shaver, P. R., Wallace, B. A., Mangun, G. R., & Saron, C. D. (2010). Intensive meditation training improves perceptual discrimination and sustained attention. *Psychological Science*, 21(6), 829-839. <https://doi.org/10.1177/0956797610371339>
- MacLeod, C., & Mathews, A. (1988). Anxiety and the allocation of attention to threat. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 40(4), 653-670. <https://doi.org/10.1080/14640748808402292>
- MacLeod, C., & Mathews, A. (2012). Cognitive bias modification approaches to anxiety. *Annual Review of Clinical Psychology*, 8, 189-217. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032511-143052>
- MacLeod, C., Mathews, A., & Tata, P. (1986). Attentional bias in emotional disorders. *Journal of Abnormal Psychology*, 95(1), 15-20. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.95.1.15>
- MacQUEEN, G. M., Tipper, S. P., Young, L. T., Joffe, R. T., & Levitt, A. J. (2000). Impaired distractor inhibition on a selective attention task in unmedicated, depressed subjects. *Psychological Medicine*, 30(3), 557-564. <https://doi.org/10.1017/S0033291799001981>
- Mahlberg, R., Steinacher, B., Mackert, A., & Flechtner, K. M. (2001). Basic parameters of saccadic eye movements—Differences between unmedicated schizophrenia and

- affective disorder patients. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 251(5), 205-210. <https://doi.org/10.1007/s004060170028>
- Mangina, C. A., & Beuzeron-Mangina, J. H. (1996). Direct electrical stimulation of specific human brain structures and bilateral electrodermal activity. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 22(1-2), 1-8. [https://doi.org/10.1016/0167-8760\(96\)00022-0](https://doi.org/10.1016/0167-8760(96)00022-0)
- Mangun, G. R. R., & Hillyard, S. A. (1987). The Spatial Allocation of Visual Attention as Indexed by Event-Related Brain Potentials. *Human Factors*, 29(2), 195-211. <https://doi.org/10.1177/001872088702900207>
- Mardaga, S., & Hansenne, M. (2009). Autonomic aspect of emotional response in depressed patients: Relationships with personality. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 39(4), 209-216. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2009.06.002>
- Martin, M., Williams, R. M., & Clark, D. M. (1991). Does anxiety lead to selective processing of threat-related information? *Behaviour Research and Therapy*, 29(2), 147-160.
- Mather, M., & Carstensen, L. (2005). Aging and Motivated Cognition: The Positivity Effect in Attention and Memory. *Trends in cognitive sciences*, 9, 496-502. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.08.005>
- Mathews, A. (1990). Why worry? The cognitive function of anxiety. *Behaviour Research and Therapy*, 28(6), 455-468. [https://doi.org/10.1016/0005-7967\(90\)90132-3](https://doi.org/10.1016/0005-7967(90)90132-3)
- Mathews, A., Mackintosh, B., & Fulcher, E. P. (1997). Cognitive biases in anxiety and attention to threat. *Trends in Cognitive Sciences*, 1(9), 340-345. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(97\)01092-9](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(97)01092-9)
- Mathews, A., & MacLeod, C. (1994). Cognitive approaches to emotion and emotional disorders. *Annual Review of Psychology*, 45, 25-50. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.45.020194.000325>
- Mathews, A., Mogg, K., Kentish, J., & Eysenck, M. (1995). Effect of psychological treatment on cognitive bias in generalized anxiety disorder. *Behaviour Research and Therapy*, 33(3), 293-303.
- Maurage, P., Campanella, S., Philippot, P., de Timary, P., Constant, E., Gauthier, S., Micciché, M.-L., Kornreich, C., Hanak, C., & Noël, X. (2008). Alcoholism leads to early perceptive alterations, independently of comorbid depressed state: An ERP study. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38(2), 83-97.
- McCraty, R., & Shaffer, F. (2015). Heart Rate Variability: New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-regulatory Capacity, and Health risk. *Global Advances in Health and Medicine*, 4(1), 46-61. <https://doi.org/10.7453/gahmj.2014.073>
- McElree, B., & Carrasco, M. (1999). The Temporal Dynamics of Visual Search: Evidence for Parallel Processing in Feature and Conjunction Searches. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 25(6), 1517-1539.

- McNally, R. J., Kaspi, S. P., Riemann, B. C., & Zeitlin, S. B. (1990). Selective processing of threat cues in posttraumatic stress disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, 99(4), 398-402. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.99.4.398>
- Mennin, D. S., Heimberg, R. G., Turk, C. L., & Fresco, D. M. (2005). Preliminary evidence for an emotion dysregulation model of generalized anxiety disorder. *Behaviour Research and Therapy*, 43(10), 1281-1310. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2004.08.008>
- Micoulaud-Franchi, J.-A., Lagarde, S., Barkate, G., Dufournet, B., Besancon, C., Trébuchon-Da Fonseca, A., Gavaret, M., Bartolomei, F., Bonini, F., & McGonigal, A. (2016). Rapid detection of generalized anxiety disorder and major depression in epilepsy : Validation of the GAD-7 as a complementary tool to the NDDI-E in a French sample. *Epilepsy & Behavior: E&B*, 57(Pt A), 211-216. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2016.02.015>
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Miltner, W. H. R., Krieschel, S., Hecht, H., Trippe, R., & Weiss, T. (2004). Eye Movements and Behavioral Responses to Threatening and Nonthreatening Stimuli During Visual Search in Phobic and Nonphobic Subjects. *Emotion*, 4(4), 323-339. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.4.4.323>
- Mogg, K., & Bradley, B. P. (1998). A cognitive-motivational analysis of anxiety. *Behaviour Research and Therapy*, 36(9), 809-848. [https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(98\)00063-1](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(98)00063-1)
- Mogg, K., & Bradley, B. P. (2002). Selective orienting of attention to masked threat faces in social anxiety. *Behaviour Research and Therapy*, 40(12), 1403-1414. [https://doi.org/10.1016/S0005-7967\(02\)00017-7](https://doi.org/10.1016/S0005-7967(02)00017-7)
- Mogg, K., & Bradley, B. P. (2016). Anxiety and attention to threat : Cognitive mechanisms and treatment with attention bias modification. *Behaviour Research and Therapy*, 87, 76-108. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2016.08.001>
- Mogg, K., Bradley, B. P., Miles, F., & Dixon, R. (2004). Time course of attentional bias for threat scenes : Testing the vigilance-avoidance hypothesis. *Cognition and Emotion*, 18(5), 689-700. <https://doi.org/10.1080/02699930341000158>
- Mogg, K., Millar, N., & Bradley, B. P. (2000). Biases in eye movements to threatening facial expressions in generalized anxiety disorder and depressive disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, 109(4), 695-704.
- Mollahosseini, A., Hasani, B., & Mahoor, M. H. (2019). AffectNet : A Database for Facial Expression, Valence, and Arousal Computing in the Wild. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 10(1), 18-31. <https://doi.org/10.1109/TAFFC.2017.2740923>
- Moritz, S., Birkner, C., Kloss, M., Jahn, H., Hand, I., Haasen, C., & Krausz, M. (2002). Executive functioning in obsessive-compulsive disorder, unipolar depression, and schizophrenia. *Archives of Clinical Neuropsychology: The Official Journal of the National Academy of Neuropsychologists*, 17(5), 477-483.
- Morris, J. S., Friston, K. J., Büchel, C., Frith, C. D., Young, A. W., Calder, A. J., & Dolan, R. J. (1998). A neuromodulatory role for the human amygdala in processing emotional facial

- expressions. *Brain: A Journal of Neurology*, 121 (Pt 1), 47-57. <https://doi.org/10.1093/brain/121.1.47>
- Mulckhuyse, M. (2018). The influence of emotional stimuli on the oculomotor system : A review of the literature. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 18(3), 411-425. <https://doi.org/10.3758/s13415-018-0590-8>
- Mullen, K. T., & Kingdom, F. A. A. (2002). Differential distributions of red-green and blue-yellow cone opponency across the visual field. *Visual Neuroscience*, 19(1), 109-118. <https://doi.org/10.1017/s0952523802191103>
- Müller, H., & Rabbitt, P. (1989). Reflexive and Voluntary Orienting of Visual Attention : Time Course of Activation and Resistance to Interruption. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 315-330. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.15.2.315>
- Nagai, Y., Critchley, H. D., Featherstone, E., Trimble, M. R., & Dolan, R. J. (2004). Activity in ventromedial prefrontal cortex covaries with sympathetic skin conductance level : A physiological account of a “default mode” of brain function. *Neuroimage*, 22(1), 243-251.
- Najström, M., & Jansson, B. (2006). Unconscious Responses to Threatening Pictures : Interactive Effect of Trait Anxiety and Social Desirability on Skin Conductance Responses. *Cognitive Behaviour Therapy*, 35(1), 11-18. <https://doi.org/10.1080/16506070510011566>
- Nakamura, H., Gattass, R., Desimone, R., & Ungerleider, L. G. (1993). The modular organization of projections from areas V1 and V2 to areas V4 and TEO in macaques. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 13(9), 3681-3691.
- Näsänen, R., & O’Leary, C. (1998). Recognition of band-pass filtered hand-written numerals in foveal and peripheral vision. *Vision Research*, 38(23), 3691-3701. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(98\)00062-5](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(98)00062-5)
- Naveteur, J., Buisine, S., & Gruzelier, J. H. (2005). The influence of anxiety on electrodermal responses to distractors. *International Journal of Psychophysiology*, 56(3), 261-269. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2004.12.006>
- Nelson, W. W., & Loftus, G. R. (1980). The functional visual field during picture viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6(4), 391-399. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.6.4.391>
- Netser, S., Ohayon, S., & Gutfreund, Y. (2010). Multiple Manifestations of Microstimulation in the Optic Tectum : Eye Movements, Pupil Dilations, and Sensory Priming. *Journal of Neurophysiology*, 104(1), 108-118. <https://doi.org/10.1152/jn.01142.2009>
- Nieuwenhuis, S., de Geus, E. J., & Aston-Jones, G. (2011). The anatomical and functional relationship between the P3 and autonomic components of the orienting response. *Psychophysiology*, 48(2), 162-175. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01057.x>

- Niu, Y., Todd, R., & Anderson, A. K. (2012). Affective salience can reverse the effects of stimulus-driven salience on eye movements in complex scenes. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00336>
- Nolen-Hoeksema, S., Wisco, B. E., & Lyubomirsky, S. (2008). Rethinking Rumination. *Perspectives on Psychological Science: A Journal of the Association for Psychological Science*, 3(5), 400-424. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6924.2008.00088.x>
- Nummenmaa, L., Hyönä, J., & Calvo, M. (2006). Eye movement assessment of selective attentional capture by emotional pictures. *Emotion*, 6(2), 257-268. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.6.2.257>
- Nummenmaa, L., Hyönä, J., & Calvo, M. G. (2009). Emotional scene content drives the saccade generation system reflexively. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(2), 305-323. <https://doi.org/10.1037/a0013626>
- Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2005). The cognitive control of emotion. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(5), 242-249. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.03.010>
- Ohman, A., Flykt, A., & Esteves, F. (2001). Emotion drives attention : Detecting the snake in the grass. *Journal of Experimental Psychology-General*, 130(3), 466-478. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.130.3.466>
- Ohman, A., & Mineka, S. (2001). Fears, phobias, and preparedness : Toward an evolved module of fear and fear learning. *Psychological Review*, 108(3), 483-522. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.108.3.483>
- Olatunji, B. O., Ciesielski, B. G., Armstrong, T., & Zald, D. H. (2011). Making Something out of Nothing : Neutral Content Modulates Attention in Generalized Anxiety Disorder. *Depression and anxiety*, 28(5), 427-434. <https://doi.org/10.1002/da.20806>
- Ottowitz, W. E., Dougherty, D. D., & Savage, C. R. (2002). The neural network basis for abnormalities of attention and executive function in major depressive disorder : Implications for application of the medical disease model to psychiatric disorders. *Harvard Review of Psychiatry*, 10(2), 86-99. <https://doi.org/10.1080/10673220216210>
- Paelecke-Habermann, Y., Pohl, J., & Leplow, B. (2005). Attention and executive functions in remitted major depression patients. *Journal of Affective Disorders*, 89(1-3), 125-135. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2005.09.006>
- Paradiso, S., Lamberty, G. J., Garvey, M. J., & Robinson, R. G. (1997). Cognitive impairment in the euthymic phase of chronic unipolar depression. *Journal of Nervous and Mental Disease*, 185(12), 748-754. <https://doi.org/10.1097/00005053-199712000-00005>
- Park, G., Moon, E., Kim, D.-W., & Lee, S.-H. (2012). Individual differences in cardiac vagal tone are associated with differential neural responses to facial expressions at different spatial frequencies : An ERP and sLORETA study. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 12(4), 777-793. <https://doi.org/10.3758/s13415-012-0111-0>
- Park, G., & Thayer, J. F. (2014). From the heart to the mind : Cardiac vagal tone modulates top-down and bottom-up visual perception and attention to emotional stimuli. *Frontiers in Psychology*, 5, 278. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00278>

- Park, G., Van Bavel, J. J., Vasey, M. W., Egan, E. J. L., & Thayer, J. F. (2012). From the heart to the mind's eye : Cardiac vagal tone is related to visual perception of fearful faces at high spatial frequency. *Biological Psychology*, 90(2), 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2012.02.012>
- Park, M., Hood, M. M., Shah, R. C., Fogg, L. F., & Wyatt, J. K. (2012). Sleepiness, parkinsonian features and sustained attention in mild Alzheimer's disease. *Age and Ageing*, 41(6), 765-770. <https://doi.org/10.1093/ageing/afs084>
- Parker, G., Hadzi-Pavlovic, D., Brodaty, H., Boyce, P., Mitchell, P., Wilhelm, K., Hickie, I., & Eysers, K. (1993). Psychomotor disturbance in depression : Defining the constructs. *Journal of Affective Disorders*, 27(4), 255-265. [https://doi.org/10.1016/0165-0327\(93\)90049-P](https://doi.org/10.1016/0165-0327(93)90049-P)
- Parker, J. D., Taylor, G. J., & Bagby, R. M. (1993). Alexithymia and the recognition of facial expressions of emotion. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 59(3-4), 197-202.
- Parsons, T., & Rizzo, A. (2008). Affective outcomes of virtual reality exposure therapy for anxiety and specific phobias : A meta-analysis. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*, 39, 250-261. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2007.07.007>
- Partala, T., & Surakka, V. (2003). Pupil size variation as an indication of affective processing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(1), 185-198. [https://doi.org/10.1016/S1071-5819\(03\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S1071-5819(03)00017-X)
- Paulus, M. P., & Stein, M. B. (2010). Interoception in anxiety and depression. *Brain Structure & Function*, 214(5-6), 451-463. <https://doi.org/10.1007/s00429-010-0258-9>
- Pavlov, I. P. (1927). *Conditioned reflexes : An investigation of the physiological activity of the cerebral cortex* (p. xv, 430). Oxford Univ. Press.
- Peckham, A. D., McHugh, R. K., & Otto, M. W. (2010). A meta-analysis of the magnitude of biased attention in depression. *Depression and Anxiety*, 27(12), 1135-1142. <https://doi.org/10.1002/da.20755>
- Pestilli, F., & Carrasco, M. (2005). Attention enhances contrast sensitivity at cued and impairs it at uncued locations. *Vision Research*, 45(14), 1867-1875. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.01.019>
- Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The Attention System of the Human Brain : 20 Years After. *Annual review of neuroscience*, 35, 73-89. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062111-150525>
- Peterson, M. S., Kramer, A. F., & Irwin, D. E. (2004). Covert shifts of attention precede involuntary eye movements. *Perception & Psychophysics*, 66(3), 398-405. <https://doi.org/10.3758/BF03194888>
- Pflugshaupt, T., Mosimann, U. P., von Wartburg, R., Schmitt, W., Nyffeler, T., & Müri, R. M. (2005). Hypervigilance-avoidance pattern in spider phobia. *Journal of Anxiety Disorders*, 19(1), 105-116. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2003.12.002>

- Phelps, E. A., Ling, S., & Carrasco, M. (2006). Emotion Facilitates Perception and Potentiates the Perceptual Benefits of Attention. *Psychological science*, 17(4), 292-299. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01701.x>
- Pike, A. C., Printzlau, F. A. B., von Lautz, A. H., Harmer, C. J., Stokes, M. G., & Noonan, M. P. (2020). Attentional Control in Subclinical Anxiety and Depression: Depression Symptoms Are Associated With Deficits in Target Facilitation, Not Distractor Inhibition. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01660>
- Porges, S. W. (1991). Vagal tone: An autonomic mediator of affect. In *The development of emotion regulation and dysregulation* (p. 111-128). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511663963.007>
- Porges, S. W. (1992). Vagal Tone: A Physiologic Marker of Stress Vulnerability. *Pediatrics*, 90(3), 498-504.
- Porges, S. W. (2007). The Polyvagal Perspective. *Biological psychology*, 74(2), 116-143. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.06.009>
- Porges, S. W., Arnold, W. R., & Forbes, E. J. (1973). Heart rate variability: An index of attentional responsivity in human newborns. *Developmental Psychology*, 8(1), 85-92. <https://doi.org/10.1037/h0033793>
- Porges, S. W., & Raskin, D. C. (1969). Respiratory and heart rate components of attention. *Journal of Experimental Psychology*, 81(3), 497-503.
- Porges, S. W., Stamps, L. E., & Walter, G. F. (1974). Heart rate variability and newborn heart rate responses to illumination changes. *Developmental Psychology*, 10(4), 507-513. <https://doi.org/10.1037/h0036560>
- Porter, R. J., Bourke, C., & Gallagher, P. (2007). Neuropsychological impairment in major depression: Its nature, origin and clinical significance. *The Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*, 41(2), 115-128. <https://doi.org/10.1080/00048670601109881>
- Posner, M. I. (1988). Structures and function of selective attention. In *Clinical neuropsychology and brain function: Research, measurement, and practice* (p. 173-202). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/10063-005>
- Posner, M. I. (2016). Orienting of Attention: Then and Now. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69(10), 1864-1875. <https://doi.org/10.1080/17470218.2014.937446>
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of Visual Orienting. *Attention and Performance X*, 32, 531-556.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.13.030190.000325>
- Posner, M., Snyder, C., & Davidson, B. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 160-174. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.109.2.160>

- Pourtois, G., Thut, G., Grave de Peralta, R., Michel, C., & Vuilleumier, P. (2005). Two electrophysiological stages of spatial orienting towards fearful faces : Early temporo-parietal activation preceding gain control in extrastriate visual cortex. *NeuroImage*, 26(1), 149-163. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.01.015>
- Powers, M. B., & Emmelkamp, P. M. G. (2008). Virtual reality exposure therapy for anxiety disorders: A meta-analysis. *Journal of Anxiety Disorders*, 22(3), 561-569. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2007.04.006>
- Pratto, F., & John, O. (1991). Automatic Vigilance : The Attention-Grabbing Power of Negative Social Information. *Journal of personality and social psychology*, 61, 380-391. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.61.3.380>
- Prinsloo, G. E., Rauch, H. G. L., Karpul, D., & Derman, W. E. (2013). The effect of a single session of short duration heart rate variability biofeedback on EEG : A pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 38(1), 45-56. <https://doi.org/10.1007/s10484-012-9207-0>
- Pruneti, C. A., Lento, R. M., Fante, C., Carrozzo, E., & Fontana, F. (2010). Autonomic arousal and differential diagnosis in clinical psychology and psychopathology. *Giornale Italiano di Psicopatologia / Italian Journal of Psychopathology*, 16(1), 43-52.
- Pruneti, C., Saccò, M., Cosentino, C., & Sgromo, D. (2016). Relevance of Autonomic Arousal in the Stress Response in Psychopathology. *Journal of Basic and Applied Sciences*, 12(0), 176-184.
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., & Lamantia, A.-S. (2011). *Neuroscience Fifth Edition (5e édition)*. Sinauer Associates Inc.
- Qiyuan, J., Richer, F., Wagoner, B. L., & Beatty, J. (1985). The Pupil and Stimulus Probability. *Psychophysiology*, 22(5), 530-534. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1985.tb01645.x>
- Rafal, R., Egly, R., & Rhodes, D. (1994). Effects of inhibition of return on voluntary and visually guided saccades. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 48(2), 284-300. <https://doi.org/10.1037/1196-1961.48.2.284>
- Raymond, J., Shapiro, K., & Arnell, K. (1992). Temporary Suppression of Visual Processing in an RSVP Task: An Attentional Blink? *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 18, 849-860. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.18.3.849>
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing : 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372>
- Remington, R. W. (1980). Attention and saccadic eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 6(4), 726-744. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.6.4.726>
- Richards, A., Richards, L. C., & McGeeney, A. (2000). Anxiety-Related Stroop Interference in Adolescents. *The Journal of General Psychology*, 127(3), 327-333. <https://doi.org/10.1080/00221300009598587>

- Richards, H. J., Hadwin, J. A., Benson, V., Wenger, M. J., & Donnelly, N. (2011). The influence of anxiety on processing capacity for threat detection. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(5), 883-889. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0124-7>
- Richards, J. E., & Casey, B. J. (1991). Heart rate variability during attention phases in young infants. *Psychophysiology*, 28(1), 43-53. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1991.tb03385.x>
- Richards, J. E., & Casey, B. J. (1992). Development of sustained visual attention in the human infant. In *Attention and information processing in infants and adults : Perspectives from human and animal research* (p. 30-60). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Rigoulot, S., Delplanque, S., Desprez, P., Defoort-Dhellemmes, S., Honoré, J., & Sequeira, H. (2008). Peripherally Presented Emotional Scenes : A Spatiotemporal Analysis of Early ERP Responses. *Brain Topography*, 20(4), 216. <https://doi.org/10.1007/s10548-008-0050-9>
- Rinck, M., Becker, E. S., Kellermann, J., & Roth, W. T. (2003). Selective attention in anxiety : Distraction and enhancement in visual search. *Depression and Anxiety*, 18(1), 18-28. <https://doi.org/10.1002/da.10105>
- Rinck, M., Reinecke, A., Ellwart, T., Heuer, K., & Becker, E. S. (2005). Speeded detection and increased distraction in fear of spiders : Evidence from eye movements. *Journal of Abnormal Psychology*, 114(2), 235-248. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.114.2.235>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2018). *Mental Health. Our World in Data.* <https://ourworldindata.org/mental-health>
- Roberto, V. (Éd.). (1993). *Intelligent Perceptual Systems : New Directions in Computational Perception.* Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/3-540-57379-8>
- Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., & Yiend, J. (1997). 'Oops!': Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*, 35(6), 747-758. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(97\)00015-8](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(97)00015-8)
- Robinson, M. D. (1998). Running from William James' Bear : A Review of Preattentive Mechanisms and their Contributions to Emotional Experience. *Cognition and Emotion*, 12(5), 667-696. <https://doi.org/10.1080/026999398379493>
- Rohner, J.-C. (2002). The time-course of visual threat processing : High trait anxious individuals eventually avert their gaze from angry faces. *Cognition and Emotion*, 16(6), 837-844. <https://doi.org/10.1080/02699930143000572>
- Rosebrock, L. E., Hoxha, D., Norris, C., Cacioppo, J. T., & Gollan, J. K. (2017). Skin Conductance and Subjective Arousal in Anxiety, Depression, and Comorbidity : Implications for Affective Reactivity. *Journal of Psychophysiology*, 31(4), 145-157. <https://doi.org/10.1027/0269-8803/a000176>
- Rottenberg, J., Gross, J. J., & Gotlib, I. H. (2005). Emotion Context Insensitivity in Major Depressive Disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, 114(4), 627-639. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.114.4.627>

- Roy, J., Sequeira, H., & Delerm, B. (1993). Neural Control of Electrodermal Activity : Spinal and Reticular Mechanisms. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2864-7_7
- Ruiz-Padial, E., Sollers, J., Vila, J., & Thayer, J. (2003). The rhythm of the heart in the blink of an eye : Emotion-modulated startle magnitude covaries with heart rate variability. *Psychophysiology*, 40, 306-313. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.00032>
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161-1178. <https://doi.org/10.1037/h0077714>
- Sanchez, A., Romero, N., & De Raedt, R. (2017). Depression-related difficulties disengaging from negative faces are associated with sustained attention to negative feedback during social evaluation and predict stress recovery. *PLoS ONE*, 12(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175040>
- Sanchez, A., Vazquez, C., Marker, C., LeMoult, J., & Joormann, J. (2013). Attentional disengagement predicts stress recovery in depression : An eye-tracking study. *Journal of Abnormal Psychology*, 122(2), 303-313. <https://doi.org/10.1037/a0031529>
- Sanchez-Lopez, A., Vanderhasselt, M.-A., Allaert, J., Baeken, C., & De Raedt, R. (2018). Neurocognitive mechanisms behind emotional attention : Inverse effects of anodal tDCS over the left and right DLPFC on gaze disengagement from emotional faces. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 18(3), 485-494. <https://doi.org/10.3758/s13415-018-0582-8>
- Sarlo, M., Buodo, G., & Palomba, D. (2010). Lack of startle blink potentiation to mutilation pictures irrespective of fearfulness. *Biological Psychology*, 85(2), 338-343. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.08.004>
- Sarter, M., Givens, B., & Bruno, J. P. (2001). The cognitive neuroscience of sustained attention : Where top-down meets bottom-up. *Brain Research Reviews*, 35(2), 146-160. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(01\)00044-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(01)00044-3)
- Sass, S., Evans, T., Xiong, K., Mirghassemi, F., & Tran, H. (2016). Attention training to pleasant stimuli in anxiety. *Biological Psychology*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.03.003>
- Schachter, S., & Singer, J. (1962). Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state. *Psychological Review*, 69(5), 379-399. <https://doi.org/10.1037/h0046234>
- Schall, J. D., Purcell, B. A., Heitz, R. P., Logan, G. D., & Palmeri, T. J. (2011). Neural mechanisms of saccade target selection : Gated accumulator model of the visual-motor cascade. *European Journal of Neuroscience*, 33(11), 1991-2002. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2011.07715.x>
- Scherer, K. R. (2005). What are emotions? And how can they be measured? *Social Science Information*, 44(4), 695-729. <https://doi.org/10.1177/0539018405058216>
- Scherer, K. R., & Ekman, P. (Éds.). (1984). *Expression and the Nature of Emotion*. In *Approaches To Emotion*. Psychology Press.

- Schimmack, U., & Derryberry, D. (2005). Attentional interference effects of emotional pictures : Threat, negativity, or arousal? *Emotion* (Washington, D.C.), 5(1), 55-66. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.5.1.55>
- Schmidt, E. A., Schrauf, M., Simon, M., Fritzsche, M., Buchner, A., & Kincses, W. E. (2009). Drivers' misjudgement of vigilance state during prolonged monotonous daytime driving. *Accident; Analysis and Prevention*, 41(5), 1087-1093. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.06.007>
- Schmidt, L. J., Belopolsky, A. V., & Theeuwes, J. (2015). Potential threat attracts attention and interferes with voluntary saccades. *Emotion* (Washington, D.C.), 15(3), 329-338. <https://doi.org/10.1037/emo0000041>
- Schmidt, L. J., Belopolsky, A. V., & Theeuwes, J. (2017). The time course of attentional bias to cues of threat and safety. *Cognition and Emotion*, 31(5), 845-857. <https://doi.org/10.1080/02699931.2016.1169998>
- Schneirla, T. C. (1959). An evolutionary and developmental theory of biphasic processes underlying approach and withdrawal. In *Nebraska symposium on motivation*, 1959 (p. 1-42). Univer. Nebraska Press.
- Scholte, H. S., Spekrijse, H., & Roelfsema, P. R. (2001). The spatial profile of visual attention in mental curve tracing. *Vision Research*, 41(20), 2569-2580. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(01\)00148-1](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(01)00148-1)
- Sears, C., Quigley, L., Fernandez, A., Newman, K., & Dobson, K. (2019). The reliability of attentional biases for emotional images measured using a free-viewing eye-tracking paradigm. *Behavior Research Methods*, 51(6), 2748-2760. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1147-z>
- Sedlmeier, P., Eberth, J., Schwarz, M., Zimmermann, D., Haarig, F., Jaeger, S., & Kunze, S. (2012). The psychological effects of meditation: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 138(6), 1139-1171. <https://doi.org/10.1037/a0028168>
- Sequeira, H., Hot, P., Silvert, L., & Delplanque, S. (2009). Electrical autonomic correlates of emotion. *International Journal of Psychophysiology*, 71(1), 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.07.009>
- Sequeira-Martinho, H., & Roy, J.-C. (1993). Cortical and hypothalamo-limbic control of electrodermal responses. In *Progress in electrodermal research* (p. 93-114). Plenum Press. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2864-7_8
- Shane, M. S., & Peterson, J. B. (2007). An evaluation of early and late stage attentional processing of positive and negative information in dysphoria. *Cognition and Emotion*, 21(4), 789-815. <https://doi.org/10.1080/02699930600843197>
- Shapiro, K. L., & Lim, A. (1989). The impact of anxiety on visual attention to central and peripheral events. *Behaviour Research and Therapy*, 27(4), 345-351. [https://doi.org/10.1016/0005-7967\(89\)90004-1](https://doi.org/10.1016/0005-7967(89)90004-1)
- Siegle, G. J., Thompson, W., Carter, C. S., Steinhauer, S. R., & Thase, M. E. (2007). Increased amygdala and decreased dorsolateral prefrontal BOLD responses in unipolar

- depression : Related and independent features. *Biological Psychiatry*, 61(2), 198-209. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.05.048>
- Silver, H., & Feldman, P. (2005). Evidence for sustained attention and working memory in schizophrenia sharing a common mechanism. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 17(3), 391-398. <https://doi.org/10.1176/jnp.17.3.391>
- Skinner, I., Hübscher, M., Lee, H., Traeger, A. C., Moseley, G. L., Wand, B. M., Gustin, S. M., & McAuley, J. H. (2021). Do people with acute low back pain have an attentional bias to threat-related words? *Scandinavian Journal of Pain*. <https://doi.org/10.1515/sjpain-2020-0014>
- Skinner, I. W., Hübscher, M., Moseley, G. L., Lee, H., Wand, B. M., Traeger, A. C., Gustin, S. M., & McAuley, J. H. (2018). The reliability of eyetracking to assess attentional bias to threatening words in healthy individuals. *Behavior Research Methods*, 50(5), 1778-1792. <https://doi.org/10.3758/s13428-017-0946-y>
- Sloan, D. M., & Sandt, A. R. (2010). Depressed mood and emotional responding☆. *Biological Psychology*, 84(2), 368-374. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.04.004>
- Smith, R., Thayer, J. F., Khalsa, S. S., & Lane, R. D. (2017). The hierarchical basis of neurovisceral integration. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 75, 274-296. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.02.003>
- Sokolov, E. N. (1963). Higher Nervous Functions : The Orienting Reflex. *Annual Review of Physiology*, 25(1), 545-580. <https://doi.org/10.1146/annurev.ph.25.030163.002553>
- Stevens, C., & Bavelier, D. (2012). The role of selective attention on academic foundations : A cognitive neuroscience perspective. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2, S30-S48. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2011.11.001>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Sumich, A., Harris, A., Flynn, G., Whitford, T., Tunstall, N., Kumari, V., Brammer, M., Gordon, E., & Williams, L. M. (2006). Event-related potential correlates of depression, insight and negative symptoms in males with recent-onset psychosis. *Clinical neurophysiology*, 117(8), 1715-1727.
- Sumich, A. L., Kumari, V., Heasman, B. C., Gordon, E., & Brammer, M. (2006). Abnormal asymmetry of N200 and P300 event-related potentials in subclinical depression. *Journal of affective disorders*, 92(2-3), 171-183.
- Tabira, T., Maruta, M., Matsudaira, K., Matsuo, T., Hasegawa, T., Sagari, A., Han, G., Takahashi, H., & Tayama, J. (2020). Relationship Between Attention Bias and Psychological Index in Individuals With Chronic Low Back Pain : A Preliminary Event-Related Potential Study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.561726>
- Takahashi, T., Sugiyama, F., Kikai, T., Kawashima, I., Guan, S., Oguchi, M., Uchida, T., & Kumano, H. (2019). Changes in depression and anxiety through mindfulness group therapy in Japan : The role of mindfulness and self-compassion as possible mediators. *BioPsychoSocial Medicine*, 13(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s13030-019-0145-4>

- Tata, P. R., Leibowitz, J. A., Prunty, M. J., Cameron, M., & Pickering, A. D. (1996). Attentional bias in obsessional compulsive disorder. *Behaviour Research and Therapy*, 34(1), 53-60. [https://doi.org/10.1016/0005-7967\(95\)00041-u](https://doi.org/10.1016/0005-7967(95)00041-u)
- Thayer, J. F., Ahs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies : Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747-756. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>
- Thayer, J. F., Hansen, A. L., Saus-Rose, E., & Johnsen, B. H. (2009). Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance : The neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Annals of Behavioral Medicine: A Publication of the Society of Behavioral Medicine*, 37(2), 141-153. <https://doi.org/10.1007/s12160-009-9101-z>
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, 61(3), 201-216. [https://doi.org/10.1016/s0165-0327\(00\)00338-4](https://doi.org/10.1016/s0165-0327(00)00338-4)
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart-brain connection : Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(2), 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.08.004>
- Theeuwes, J., Kramer, A. F., Hahn, S., & Irwin, D. E. (1998). Our Eyes do Not Always Go Where we Want Them to Go : Capture of the Eyes by New Objects. *Psychological Science*, 9(5), 379-385. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00071>
- Thorpe, S. J., Gegenfurtner, K. R., Fabre-Thorpe, M., & Bülthoff, H. H. (2001). Detection of animals in natural images using far peripheral vision. *European Journal of Neuroscience*, 14(5), 869-876. <https://doi.org/10.1046/j.0953-816x.2001.01717.x>
- Tomkins, S. S. (1962). *Affect, imagery, consciousness : Vol. I. The positive affects* (p. xv, 522). Springer.
- Tooby, J., & Cosmides, L. (1990). The past explains the present : Emotional adaptations and the structure of ancestral environments. *Ethology and Sociobiology*, 11(4), 375-424. [https://doi.org/10.1016/0162-3095\(90\)90017-Z](https://doi.org/10.1016/0162-3095(90)90017-Z)
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97-136. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5)
- Trichard, C., Martinot, J. L., Alagille, M., Masure, M. C., Hardy, P., Ginestet, D., & Féline, A. (1995). Time course of prefrontal lobe dysfunction in severely depressed in-patients : A longitudinal neuropsychological study. *Psychological Medicine*, 25(1), 79-85. <https://doi.org/10.1017/s0033291700028105>
- Troller-Renfree, S., McLaughlin, K. A., Sheridan, M. A., Nelson, C. A., Zeanah, C. H., & Fox, N. A. (2017). The beneficial effects of a positive attention bias amongst children with a history of psychosocial deprivation. *Biological psychology*, 122, 110-120. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.04.008>

- Tsakiris, M., & Critchley, H. (2016). Interoception beyond homeostasis : Affect, cognition and mental health. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 371(1708), 20160002. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0002>
- Van Dam, N. T., van Vugt, M. K., Vago, D. R., Schmalzl, L., Saron, C. D., Olendzki, A., Meissner, T., Lazar, S. W., Kerr, C. E., Gorchov, J., Fox, K. C. R., Field, B. A., Britton, W. B., Brefczynski-Lewis, J. A., & Meyer, D. E. (2018). Mind the Hype : A Critical Evaluation and Prescriptive Agenda for Research on Mindfulness and Meditation. *Perspectives on Psychological Science: A Journal of the Association for Psychological Science*, 13(1), 36-61. <https://doi.org/10.1177/1745691617709589>
- Vanderhasselt, M.-A., De Raedt, R., Baeken, C., Leyman, L., & D'haenen, H. (2006). The influence of rTMS over the left dorsolateral prefrontal cortex on Stroop task performance. *Experimental Brain Research*, 169(2), 279-282. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-0344-z>
- Vogt, J., De Houwer, J., Koster, E. H. W., Van Damme, S., & Crombez, G. (2008). Allocation of spatial attention to emotional stimuli depends upon arousal and not valence. *Emotion (Washington, D.C.)*, 8(6), 880-885. <https://doi.org/10.1037/a0013981>
- Vranekovic, G., Hock, E., Isaac, P., & Cordero, L. (1974). Heart rate variability and cardiac response to an auditory stimulus. *Biology of the Neonate*, 24(1), 66-73. <https://doi.org/10.1159/000240633>
- Vuilleumier, P. (2005). How brains beware : Neural mechanisms of emotional attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(12), 585-594. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.10.011>
- Vuilleumier, P., Richardson, M. P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. J. (2004). Distant influences of amygdala lesion on visual cortical activation during emotional face processing. *Nature Neuroscience*, 7(11), 1271-1278. <https://doi.org/10.1038/nn1341>
- Waechter, S., Nelson, A., Wright, C., Hyatt, A., & Oakman, J. (2013). Measuring Attentional Bias to Threat : Reliability of Dot Probe and Eye Movement Indices. *Cognitive Therapy and Research*. <https://doi.org/10.1007/s10608-013-9588-2>
- Wang, C.-A., Boehnke, S. E., Itti, L., & Munoz, D. P. (2014). Transient Pupil Response Is Modulated by Contrast-Based Saliency. *Journal of Neuroscience*, 34(2), 408-417.
- Wang, C.-A., & Munoz, D. P. (2015). A circuit for pupil orienting responses : Implications for cognitive modulation of pupil size. *Current Opinion in Neurobiology*, 33, 134-140. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2015.03.018>
- Wang, S., Zhao, Y., Chen, S., Lin, G., Sun, P., & Wang, T. (2013). EEG biofeedback improves attentional bias in high trait anxiety individuals. *BMC Neuroscience*, 14, 115. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-14-115>
- Waters, A. M., Pittaway, M., Mogg, K., Bradley, B. P., & Pine, D. S. (2013). Attention training towards positive stimuli in clinically anxious children. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 4, 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2012.09.004>
- Watson, A. B. (2014). A formula for human retinal ganglion cell receptive field density as a function of visual field location. *Journal of Vision*, 14(7). <https://doi.org/10.1167/14.7.15>

- Weafer, J., & Fillmore, M. T. (2013). Acute Alcohol Effects on Attentional Bias in Heavy and Moderate Drinkers. *Psychology of addictive behaviors: journal of the Society of Psychologists in Addictive Behaviors*, 27(1), 32-41. <https://doi.org/10.1037/a0028991>
- Weierich, M. R., Treat, T. A., & Hollingworth, A. (2008). Theories and measurement of visual attentional processing in anxiety. *Cognition and Emotion*, 22(6), 985-1018. <https://doi.org/10.1080/02699930701597601>
- Weinberger, D. A., Schwartz, G. E., & 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(4), 369-380.
- Wenzler, S., Hagen, M., Tarvainen, M. P., Hilke, M., Ghirmai, N., Huthmacher, A.-C., Trettin, M., van Dick, R., Reif, A., & Oertel-Knöchel, V. (2017). Intensified emotion perception in depression: Differences in physiological arousal and subjective perceptions. *Psychiatry Research*, 253, 303-310. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.03.040>
- Westlye, L. T., Grydeland, H., Walhovd, K. B., & Fjell, A. M. (2011). Associations between regional cortical thickness and attentional networks as measured by the attention network test. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 21(2), 345-356. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhq101>
- Wiens, S., Peira, N., Golkar, A., & Öhman, A. (2008). Recognizing masked threat: Fear betrays, but disgust you can trust. *Emotion*, 8(6), 810-819. <https://doi.org/10.1037/a0013731>
- Wieser, M. J., Pauli, P., & Mühlberger, A. (2009). Probing the attentional control theory in social anxiety: An emotional saccade task. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 9(3), 314-322. <https://doi.org/10.3758/CABN.9.3.314>
- Williams, J. M. G., Watts, F. N., MacLeod, C., & Mathews, A. (1997). *Cognitive Psychology and Emotional Disorders Second Edition* (2 edition). JW.
- Williams, J. M., Mathews, A., & MacLeod, C. (1996). The emotional Stroop task and psychopathology. *Psychological Bulletin*, 120(1), 3-24. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.120.1.3>
- Williams, L. M., Brammer, M. J., Skerrett, D., Lagopolous, J., Rennie, C., Kozek, K., Olivieri, G., Peduto, T., & Gordon, E. (2000). The neural correlates of orienting: An integration of fMRI and skin conductance orienting. *Neuroreport*, 11(13), 3011-3015. <https://doi.org/10.1097/00001756-200009110-00037>
- Williams, T. A., Schachter, J., & Tobin, M. (1967). Spontaneous variation in heart rate: Relationship to the average evoked heart rate response to auditory stimuli in the neonate. *Psychophysiology*, 4(1), 104-111. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1967.tb02744.x>
- Winton, W. M., Putnam, L. E., & Krauss, R. M. (1984). Facial and autonomic manifestations of the dimensional structure of emotion. *Journal of Experimental Social Psychology*, 20(3), 195-216. [https://doi.org/10.1016/0022-1031\(84\)90047-7](https://doi.org/10.1016/0022-1031(84)90047-7)

- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments : A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225-240. <https://doi.org/10.1162/105474698565686>
- Wright, M. J. (1987). Spatiotemporal properties of grating motion detection in the center and the periphery of the visual field. *JOSA A*, 4(8), 1627-1633. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.4.001627>
- Wright, R. D., & Ward, L. M. (2008). *Orienting of Attention*. Oxford University Press.
- Wurtz, R. H., & Albano, J. E. (1980). Visual-motor function of the primate superior colliculus. *Annual Review of Neuroscience*, 3, 189-226. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.03.030180.001201>
- Yantis, S., & Jonides, J. (1984). Abrupt visual onsets and selective attention : Evidence from visual search. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 10(5), 601-621. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.10.5.601>
- Yee, C. M., & Miller, G. A. (1988). Emotional information processing : Modulation of fear in normal and dysthymic subjects. *Journal of Abnormal Psychology*, 97(1), 54-63. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.97.1.54>
- Yiend, J., & Mathews, A. (2001). Anxiety and Attention to Threatening Pictures. *The Quarterly journal of experimental psychology. A, Human experimental psychology*, 54, 665-681. <https://doi.org/10.1080/713755991>
- Zbozinek, T. D., Rose, R. D., Wolitzky-Taylor, K. B., Sherbourne, C., Sullivan, G., Stein, M. B., Roy-Byrne, P. P., & Craske, M. G. (2012). Diagnostic Overlap of Generalized Anxiety Disorder and Major Depressive Disorder in a Primary Care Sample. *Depression and anxiety*, 29(12), 1065- 1071. <https://doi.org/10.1002/da.22026>



Received: 25 June 2020 | Revised: 4 November 2020 | Accepted: 23 December 2020

DOI: 10.1111/psyp.13774

ORIGINAL ARTICLE

PSYCHOPHYSIOLOGY SPR WILEY

Autonomic reactivity to emotion: A marker of sub-clinical anxiety and depression symptoms?

Lucas De Zorzi | Stéphane Ranfaing | Jacques Honoré | Henrique Sequeira

UMR 9193 - SCALab - Sciences Cognitives et Sciences Affectives, CNRS, University of Lille, Lille, France

Correspondence

Lucas De Zorzi, UMR 9193 - SCALab - Sciences Cognitives et Sciences Affectives, CNRS, University of Lille, F-59000 Lille, France.
Email: lucas.dezorzi@univ-lille.fr

Funding information

The present study received no specific grant from any funding agency, commercial or not-for-profit sectors and was supported by the annual financial support of the University of Lille and CNRS to the DEEP Team of SCALab UMR 9193 (HS, JH, and LDZ), the Ministère de la Recherche, France (SR), the CNRS, the Ministère de la Recherche and the University of Lille, France (HS, JH). The funders had no role in the study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript

Abstract

Anxiety and depression are both characterized by dysregulated autonomic reactivity to emotion. However, most experiments until now have focused on autonomic reactivity to stimuli presented in central vision (CV) even if affective saliency is also observed in peripheral vision (PV). We compared autonomic reactivity to CV and PV emotional stimulation in 58 participants with high anxious (HA) or low anxious (LA) and high depressive (HD) or low depressive (LD) symptomatology, based on STAI-B and BDI scores, respectively. Unpleasant (U), pleasant (P), and neutral (N) pictures from IAPS were presented at three eccentricities (0°: CV; -12 and 12°: PV). Skin conductance (SC), skin temperature, pupillary diameter, and heart rate (HR) were recorded. First, HA participants showed greater pupil dilation to emotional than to neutral stimuli in PV than in CV. Second, in contrast to HD, the valence effect indexed by SC and emotional arousal effect indexed by skin temperature were observed in LD. Third, both anxiety and depression lead to a valence effect indexed by pupillary light reflex and heart rate. These results suggest a hyperreactivity to emotion and hypervigilance to PV in anxiety. Depression is associated with an attenuation of positive effect and a global blunted autonomic reactivity to emotion. Moreover, anxiety mostly modulates the early processes of autonomic reactivity whereas depression mainly affects the later processes. The differential impact of emotional information over the visual field suggests the use of new stimulation strategies in order to attenuate anxious and depressive symptoms.

KEYWORDS

anxiety, autonomic, depression, emotion, heart rate, IAPS, pupil, skin conductance, skin temperature

1 | INTRODUCTION

Emotional behaviors are classically indexed by a range of physiological variations, especially those depending on the autonomic nervous system (ANS). Autonomic changes are known to provide information about the main emotional dimension, that is, arousal, reflecting physiological and

psychological levels of activation, and valence, reflecting the appetitive and the aversive value of pleasant and unpleasant emotional stimuli, respectively (Lang et al., 1993). Among the autonomic expressions, electrodermal activity, skin temperature, and variations in pupil size have proved to be robust indices for revealing the arousal dimension of an emotional stimulus, whereas heart rate variations are indicative of the valence and arousal dimensions of the same stimulus.

Lucas De Zorzi and Stéphane Ranfaing contributed equally to this work.

Psychophysiology. 2021;58:e13774.
<https://doi.org/10.1111/psyp.13774>

wileyonlinelibrary.com/journal/psyp

© 2021 Society for Psychophysiological Research | 1 of 16

Electrodermal activity, usually recorded as skin conductance responses (SCRs), increases in response to sympathetic discharges related to emotional induction, initial attentional capture, and the preparation for action (Bradley, 2009; Critchley, 2002; Sequeira et al., 2009). In particular, the amplitude of SCRs increases with the emotional arousal of stimulus regardless of the valence (Bradley et al., 2001; Lang et al., 1993). Another index of emotional arousal, also under sympathetic control, is the thermal variations that occur in glabrous skin (e.g., the tip of the nose, palms of the hands or soles of the feet) (Ioannou et al., 2014). In a recent study, Kosonogov et al. (2017) showed that the temperature of the tip of the nose decreases with emotional arousal, regardless of the valence, and is correlated with the subjective evaluation of emotional stimulation. Variations in pupil size have also been widely used to assess the impact of emotional stimulation, although their control depends on both the sympathetic and parasympathetic divisions of the ANS. In the context of visual stimulation, light reflex can be modulated by the emotional content of stimuli (Henderson et al., 2014) as well as pupil dilation which increases with emotional arousal, regardless of the valence (Bradley et al., 2008).

Cardiac activity is also modulated by emotion through the two branches of the ANS (Berntson et al., 1997). The parasympathetic-mediated initial deceleration occurs in the context of environmental detection, leading to a sensory intake and an enhanced orienting response (Bradley, 2009), while the subsequent sympathetic-mediated acceleration is a response to the preparation for action, indicating sensory rejection and defensive arousal (Bradley, 2009; Bradley et al., 2001; Jennings & van der Molen, 2005). The heart rate slows further in response to unpleasant cues, while it increases with emotional arousal and pleasant stimuli (Bradley, 2009; Lang et al., 1993).

These autonomic indicators are widely used to investigate the reactivity to emotional visual stimuli not only in healthy individuals but also in persons with difficulties in processing affective stimuli, especially those with anxious and depressive symptoms. Anxiety is characterized by a state of alertness and increased vigilance, with a feeling of fear and worry about a potential threat or danger (Chua & Dolan, 2000). Anxious individuals monitor their visual environment more than normal participants and devote more attentional resources to detecting emotionally related stimuli, particularly threatening ones (Bar-Haim et al., 2007). Indeed, the reactivity of individuals with trait anxiety is associated with significantly high SCRs to emotional pictures (Najström & Jansson, 2006), indicating a sustained sympathetic mobilization when they are exposed to emotional stimuli. Moreover, depression is characterized by psychomotor retardation which disturbs visual exploration, leading to an increase in reaction time especially in prosaccade and anti-saccade tasks (Carvalho et al., 2015; Mahlberg et al., 2001). In terms of

affective saliency in depression, attentional orientation is reduced with pleasant stimuli and increased with unpleasant ones (Armstrong & Olatunji, 2012; Peckham et al., 2010). Furthermore, this attentional pattern is accompanied by a reduced autonomic reactivity to unpleasant stimuli (Bylsma et al., 2008). Interestingly, these behavioral and autonomic manifestations observed at the clinical level are also present at the subclinical level (Gotlib & Joormann, 2010; Mogg & Bradley, 2016), so sub-clinical symptoms could be early signs of anxiety and depression symptomatology. Therefore, the autonomic reactivity to emotional stimuli in sub-clinical populations could be a useful indicator to distinguish anxiety and depression symptoms.

Despite the wealth of literature on anxiety and depression, there is no consensus about how they modulate autonomic reactivity to the arousal and valence dimensions of emotional stimulation. In anxiety, there is evidence of both autonomic hyperreactivity (Schwerdtfeger, 2006) and hyporeactivity (Naveteur et al., 1987) to emotion, while depression has been either associated with greater reactivity to unpleasant stimuli (Wenzler et al., 2017), a lower reactivity to pleasant ones (Bylsma et al., 2008) or with a blunt reactivity to emotional content (Rottenberg et al., 2005). Hence, the modulation of autonomic responses to emotional dimensions by sub-clinical and clinical anxiety and depression symptomatology remains to be characterized. Furthermore, most experiments until now involved stimulation in central vision (CV), thus tending to underestimate the fact that these disorders also modulate the degree of vigilance given to the exploration of peripheral parts of the visual field. Indeed, the behavioral impact of affective saliency of stimuli is observed not only in CV but also in peripheral vision (PV) (D'Hondt et al., 2016; Rigoulot et al., 2008, 2011, 2012). Despite the decrease in acuity with the increase in visual eccentricity, relevant visual events occurring in PV cause saccades that displace targets of interest into CV where detailed visual analysis can be performed (Liversedge & Findlay, 2000). The salient effect of information appearing in PV was evidenced for emotional stimulation over neutral ones through a set of behavioral and cerebral responses (Calvo et al., 2008, 2011; Rigoulot et al., 2008). In view of these data, autonomic indicators seem to be reliable candidates for identifying specific patterns of reactivity in anxiety and depression to emotional information presented in CV and PV.

Hence the aim of this study was to compare autonomic reactivity to emotional stimulation occurring in CV and PV in participants with high and low sub-clinical anxiety and depression symptoms. Standardized emotional and neutral scenes were presented in CV and PV eccentricities to participants who had to locate them, while they underwent behavioral and autonomic recordings. We hypothesized the following: (1) emotional stimulation would elicit greater autonomic responses than neutral ones; (2) greater anxious

symptomatology would lead to an exacerbated emotional reactivity over the entire stimulated visual field; (3) greater depressive symptomatology would lead to greater behavioral efficiency and distinct autonomic reactivity to unpleasant pictures in the central part of the visual field.

2 | METHOD

2.1 | Participants

Sixty-two healthy unmedicated participants were recruited through an online questionnaire. All were French speakers, right-handed (Edinburgh Handedness Inventory, EHI; Oldfield, 1971), and had normal or corrected-to-normal vision (Snellen, 1862). Individuals with a history of neurological disorders or drug consumption were not included. Four participants were excluded due to recording problems, giving a sample of 58 participants (mean age 21.36 ± 2.28 ; 30 females and 28 males). Each participant provided written informed consent and received 20 € compensation for his or her participation. This study was approved by the Ethics Committee of Université de Lille [Reference: 2018-1-S54] and conducted in accordance with the Declaration of Helsinki at Faculté de Médecine, Pôle Recherche, Université de Lille, France.

Participants were grouped as high or low anxious (HA, LA), based on the Trait Anxiety Inventory (STAI-B; Spielberger & Gorsuch, 1983), and as high or low depressed (HD, LD), based on the Beck Depression Inventory (BDI-II; Beck et al., 1996), by means of the median split (STAI-B median = 43.5 and BDI median = 10) as used in previous studies (Gold et al., 2004; Mialet et al., 1996). Individuals in the HA group ($n = 29$, 15 females and 14 males) had a mean STAI-B of $53.69 (\pm 6.77)$, while those in the LA group ($n = 29$, 15 females and 14 males) had a mean STAI-B of $36.48 (\pm 4.12)$. Individuals in the HD group ($n = 28$, 14 females and 14 males) had a mean BDI of $14.68 (\pm 3.69)$, while those in the LD group ($n = 30$, 16 females and 14 males) had a mean BDI of $6 (\pm 3.05)$. Individuals in the HA and LA groups differed significantly on STAI-B scores ($F_{1,54} = 93.58, p < .001, \eta^2 = 0.634$), whereas HD and LD individuals differed significantly on BDI scores ($F_{1,54} = 58.155, p < .001, \eta^2 = 0.519$).

2.2 | Stimuli and apparatus

Three sets of 16 pictures, unpleasant (U), neutral (N), and pleasant (P), were selected from the International Affective Picture System (IAPS; Lang et al., 2008), which provides standardized a priori values for each picture on the valence and arousal dimensions. To control for semantic content, each set contained eight pictures depicting human beings and eight

pictures depicting objects. In addition, given the recognized differences in emotional assessment by gender (Bradley et al., 2001; Collignon et al., 2010), we selected three sets for each gender, resulting in equivalent a priori valence and arousal values. Both selections included 37 gender-specific pictures and 11 common pictures.

The three sets of selected pictures differed significantly on their valence level (*women*: $U = 2.53, N = 4.82, p = 7.10, F_{1,15} = 457.30; p < .001$; *men*: $U = 2.71, N = 4.84, p = 7.06, F_{1,15} = 445.00; p < .001$). In terms of arousal, unpleasant and pleasant sets did not differ but were higher than neutral sets (*women*: $U = 5.73, N = 3.18, p = 5.52, F_{1,15} = 182.81; p < .001$; *men*: $U = 5.56, N = 2.90, p = 5.51, F_{1,15} = 210.24; p < .001$). For each picture, the angular size ($12^\circ \times 8^\circ$), the spatial frequencies (Delplanque et al., 2007) and the main physical properties were extracted (*ImageJ v1.50 software*), including the luminance and contrasts for the greyscale version and the RGB (red, green and blue) layers. The complexity of digitized pictures was estimated in terms of the number of bytes of the compressed image file size in JPEG format (Calvo & Lang, 2005). All these picture properties were homogenized. No significant difference was observed between the three sets of pictures for both genders (Table S1). Thus, the pictures differed only in terms of their emotional dimensions.

Participants were seated at a fixed viewing distance of 60 cm from the projection screen (30 inches, 256×160 ppi, DELL 3007WFP HC) which was connected to a computer (DELL Optiplex 9020, Windows 7 Professional) that managed the presentation of pictures and recorded behavioral responses thanks to an in-house customized program (*MATLAB software*). The pictures were displayed on a black background and each picture was presented pseudo-randomly based on a Latin squares design in central (0°), left (-12°), or right ($+12^\circ$) peripheral visual positions. To avoid the accumulation of fatigue in participants, the 144 trials were presented in four 36-trial blocks.

2.3 | Recordings

Skin conductance (SC), thermal variations, and an electrocardiogram (ECG) were recorded at baseline and during the task and recovery periods, using a BIOPAC MP35 system connected to a third computer running on ad hoc *software* (*BIOPAC Student Pro 3.7*) that allowed signal acquisition at 200 Hz. SC was recorded through bipolar Ag/AgCl surface electrodes (BIOPAC EL507) pre-gelled with an isotonic electrolyte (0.05 molar NaCl) and attached to the palmar side of the middle phalanges of the index and middle fingers of the participant's non-dominant hand. SC was measured with a gain of $5 \mu\text{S/V}$, low-pass-filtered at 10 Hz. Temperature variations were recorded continuously via a fast-response

thermistor (BIOPAC SS6L) fixed on the palmar surface of the middle finger of the participant's non-dominant hand. Temperature variations were measured at a gain of $2.5^{\circ}/V$ with a 0.05 Hz high-pass filter. Eye movements and pupil diameter were recorded using an eye tracker (SMI RED-m Eye Tracking System) connected to the projection computer with *SMI iView RED-m 2.11* software for an acquisition at 120 Hz to detect saccades. The ECG was recorded using a DI modified bypass placing the Ag/AgCl pre-gelled (BIOPAC EL503, 7% NaCl) surface electrodes on the participant's left and right wrists and with a band-pass filter set between 0.5 and 66.5 Hz. At the end of the experiment, the participant was asked to look again at all the pictures and to rate the valence and arousal values using the two nine-point SAM scales (Self-Assessment Manikin; Bradley & Lang, 1994), ranging from 1, very unpleasant, to 9, very pleasant, and from 1, very calm, to 9, very arousing. Ratings were recorded with *OpenSesame* (Mathôt et al., 2012).

2.4 | Procedure

The experimental procedure was divided into three steps. First, the electrodes were installed and the participant was acclimatized to the environment; at the same time, they also underwent psychometric tests to assess anxiety state (State-Trait Anxiety Inventory, STAI-A; Spielberger, 1993). Then the task was explained orally to the participants, who were advised to ask for breaks during the experiment whenever necessary.

Next, recording began with autonomic indices during a task-free 2-min baseline period. The participants were seated in front of the black screen and the light in the room was kept dark. It was explained to the participants that there would be a recording period of two minutes during which the physiological activity at rest would be measured and that they, therefore, had to remain calm. This period was followed by the recording of behavioral and autonomic responses during the presentation of the 48 pictures one by one in a pseudo-random order at the three eccentricities. Each trial contained the following sequence: a fixation cross projected at the center of the screen for a random duration between 1 and 2 s, the picture projection for 300 ms, followed by a black screen for a random duration between 9 and 13 s. The inter-stimulus interval, therefore, varied from 10 to 15 s, an ideal interval to avoid the phenomenon of habituation often observed with autonomic signals, particularly with electrodermal activity. The participant used a response box to indicate the location of the picture (left, center or right). They were instructed to keep their gaze on the central cross, a required behavior for triggering stimulation, throughout the course of the experiment without moving their eyes at any time. Trials containing saccades, detected online, were automatically replayed, only

once, at the end of the task, during a fifth presentation block. After the task, autonomic activity continued to be recorded for a 2-min recovery period.

Finally, to validate our selection of pictures, the participant was asked to evaluate the valence and arousal dimensions using the two 9-point SAM scales. These subjective ratings correspond to a posteriori values of pictures.

2.5 | Data analyses

All trials containing eye movements were rejected to exclude possible saccades. Across all participants and conditions, 13.2% of the trials were rejected. The percentage of remaining trials did not differ between conditions in total (X^2 Yates = 2.2, $df = 8$, $p = .973$), nor in each group (LA: X^2 Yates = 1.5, $df = 8$, $p = .993$; HA: X^2 Yates = 0.9, $df = 8$, $p = .999$; LD: X^2 Yates = 1.4, $df = 8$, $p = .994$; HD: X^2 Yates = 0.8, $df = 8$, $p = .999$). Each condition was, therefore, represented by an equivalent number of trials in each group.

2.6 | Behavioral data

The speed and accuracy to locate pictures, measured by reaction times (RT) and rates of correct responses (CR), were used to compute a Speed-Accuracy Composite Score (SACS; Collignon et al., 2010). The SACS is a general index of performance that discounts a possible speed/accuracy trade-off effect and, in this context, measures the efficiency of the location of the pictures on the screen. To attribute the same weight to RT and correct responses across participants, the SACS was calculated by subtracting the normalized RT from the normalized correct responses: $SACS = z(CR) - z(RT)$. When the RT decreased and/or the correct responses increased, the efficiency increased. The a posteriori values of valence and arousal were given by each participant for each presented picture using two 9-point scales varying from 1 to 9 (Self-Assessment Manikin, Bradley & Lang, 1994).

2.7 | Autonomic data

SC, thermal, and ECG variations, initially sampled at 200 Hz, were down-sampled at 10 Hz using *LabChart7*. For the SC variations to pictures, phasic waveforms were derived from the tonic signals with an offline 0.05 Hz high-pass filter using *AcqKnowledge 4.1* software. For the ECG, the instantaneous heart rate (HR) in beats per minute (BPM) was calculated from the R wave intervals and smoothed using the triangular Bartlett window with a 1 s width using *LabChart7*. Due to recording issues, pupil diameter data were missing for 6 of the 58 participants, giving a sample of 52 participants for

whom pupil diameter variations could be analyzed (mean age 21.42 ± 2.19 ; 27 females and 26 males). To facilitate data processing, the pupil diameter, initially sampled at 120 Hz, was down-sampled at 10 Hz using *LabChart7*. Eye blinks, which expressed themselves in the signal as sudden drops in pupil diameter, were eliminated and missing data linear-extrapolated. Pupil diameter, thermal, and HR variations in response to stimulation were obtained by subtracting the average over a 3 s pre-stimulus period from the 10 s post-stimulus period data. For each condition and participant, after the baseline correction (-3 to 0 s), we averaged the epochs (-3 to 10 s), time-locked to the stimulus onset.

Since principal component analysis (PCA) techniques have already demonstrated their relevance to explore other electrophysiological responses (e.g., Event-related potentials: Barry et al., 2016; Pourtois et al., 2008; Rigoulot et al., 2008, 2011, 2012; Pupil diameter: Bradley et al., 2017) to emotional stimuli, we applied a temporal PCA in order to determine the dynamic of autonomic changes in response to stimulation without a priori hypotheses. We conducted a temporal PCA on each autonomic averaged epoch, using a covariance matrix with unrestricted Varimax rotation (SPSS V.25) and with 130 variables (130-time series: from -3 to 10 s at 10 Hz) and 468 observations for pupil variations (52 participants \times 9 conditions) and 522 observations for SC, thermal and HR variations (58 participants \times 9 conditions). This resulted in an observations-to-variables ratio of 4:1 (Mundfrom et al., 2005). This PCA identifies correlated time series and reduces them to principal temporal factors (TF; Pourtois et al., 2008). Factor loading corresponds to the contribution of each time point to the TF. Factors were selected according to the Karlis et al. (2003) rule and to the broken stick test (Frontier, 1976; Legendre & Legendre, 2012).

2.8 | Statistical analysis

The Spearman coefficient was calculated between a priori and a posteriori ratings. A repeated-measures analysis of variance (ANOVA) was applied to a posteriori ratings with emotion as a within-subject factor and gender as a between-subject factor. Post hoc tests were performed by pairwise comparisons of means with Bonferroni correction for multiple comparisons ($p < .05$, two-tailed).

Regarding emotion and according to the dimensional theory of it (Lang et al., 1993), we expected two emotional effects: (1) a valence effect (Unpleasant vs. Pleasant), being modeled by a first degree polynomial contrast (*Linear Contrast*, LC = Unpleasant – Pleasant); and (2) an arousal effect (Emotion vs. Neutral) being modeled by a second-degree polynomial contrast (*Quadratic Contrast*, QC = [Unpleasant + Pleasant]/2 – Neutral). Moreover, the use of

linear and quadratic contrasts allows for the totality of the variability caused by emotional factors to be considered. Regarding visual position, the effects of laterality were not considered here so the analyses focused on the effects of eccentricity (Center vs. Periphery) being modeled by a second degree polynomial contrast (*Quadratic Contrast*, QC = [Left + Right]/2 – Center).

These contrasts were assessed with two repeated measures ANOVA, applied to the individual reaction time, correct responses, SACS, and the principal factors yielded by the PCA for each autonomic measure with emotional (unpleasant, neutral, pleasant) and position conditions (-12° ; 0° ; $+12^\circ$) as within-subject factors. One analysis on the participants grouped according to anxiety ($2 \times 3 \times 3$) and a second according to depression ($2 \times 3 \times 3$). A sensitivity analysis performed by *G*Power 3.1.9.2* (Erdfelder et al., 1996) indicated that for a $2 \times 3 \times 3$ analysis of variance position and emotion as repeated measures, given a sample size $N = 58$, $\alpha = 0.05$ and $\beta = 0.2$, we could detect an effect of minimum size of $f = 0.137$ (i.e., $\eta^2 = 0.018$). The threshold of significance was set at $p < .05$ (bilateral).

3 | RESULTS

First, we validated the emotional and neutral selected pictures by comparing a priori subjective ratings of arousal and valence and a posteriori subjective ratings of the same pictures. Second, the selected principal factors from the PCA analysis applied to autonomic signals are described according to their putative physiological significance, based on their latency and effects of emotion or visual position. Finally, the effects of anxiety and depression on behavioral and autonomic responses are presented.

3.1 | Subjective assessment of pictures

A posteriori and a priori ratings were correlated for both genders on valence (*women*: $\rho_{28} = 0.92$, $p = 4.81E^{-20}$, *men*: $\rho_{26} = 0.93$, $p = 3.14E^{-21}$, Figure 1a,b) and arousal (*women*: $\rho_{28} = 0.76$, $p = 3.93E^{-10}$, *men*: $\rho_{26} = 0.70$, $p = 2.92E^{-09}$, Figure 1c,d). As expected, the valence assessment by the participants differed according to the emotional category ($U = 2.46$, $N = 5.15$, $p = 6.71$; LC: $F_{1,56} = 639.28$; $p = 2.58E^{-032}$; $\eta^2 = 0.919$). Thus, participants rated unpleasant pictures with a lower valence than pleasant ones, although the valence gap with neutral pictures was greater for unpleasant pictures (QC: $F_{1,56} = 83.04$; $p = 3.59E^{-013}$, $\eta^2 = 0.614$). The arousal assessment by the participants also differed according to the emotional category ($U = 5.37$, $N = 2.43$, $p = 4.26$; QC: $F_{1,56} = 387.92$; $p = 7.61E^{-027}$; $\eta^2 = 0.874$). While unpleasant

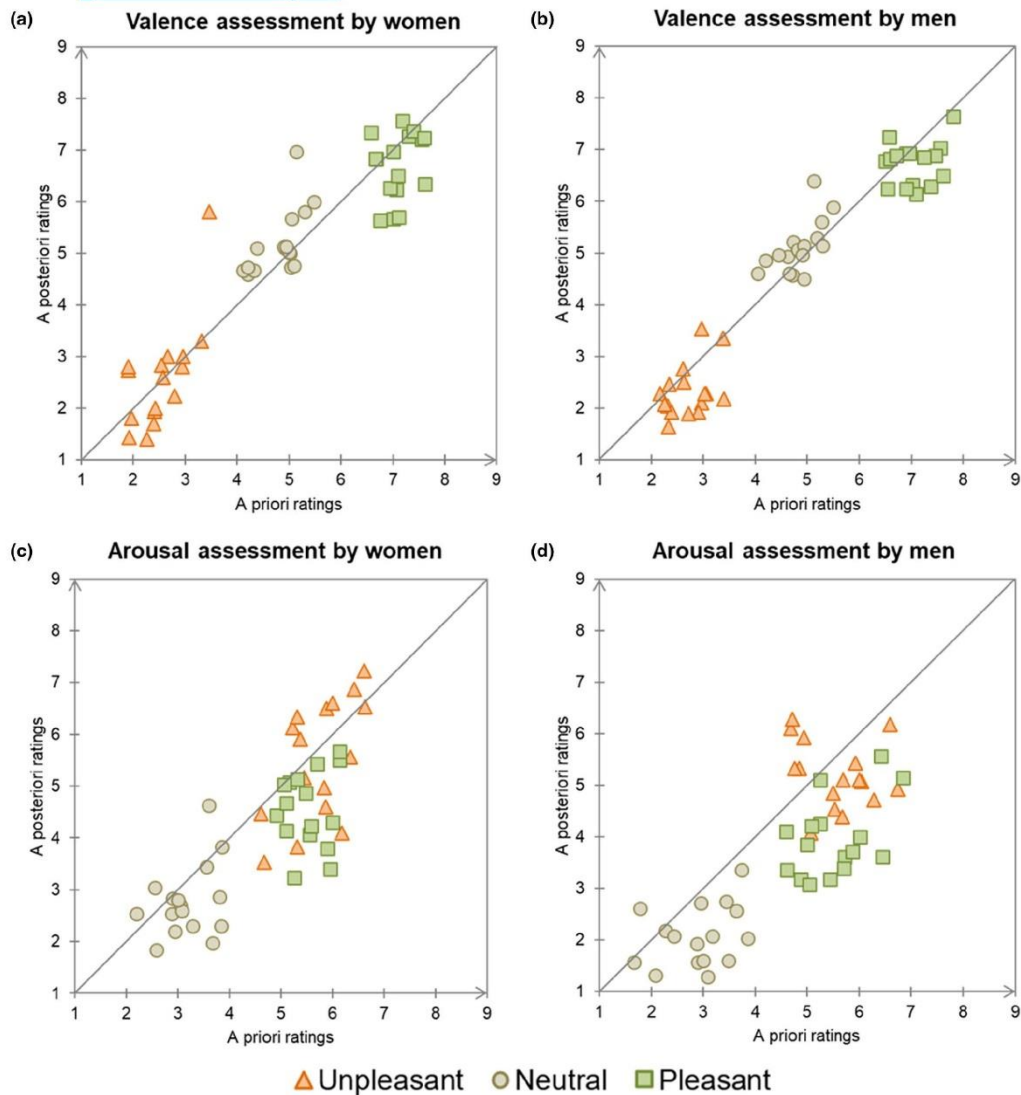


FIGURE 1 Validation of picture selection using correlations between standardized (a priori) ratings by International Affective Picture System (IAPS) and mean subjective (a posteriori) ratings of unpleasant, pleasant, and neutral pictures. Ratings for unpleasant, neutral, and pleasant. (a) valence ratings for women; (b) valence ratings for men; (c) arousal ratings for women; (d) arousal ratings for men

and pleasant pictures were evaluated as more arousing than neutral ones, the participants evaluated unpleasant pictures as more arousing than pleasant ones (LC: $F_{1,56} = 42.48$; $p = 2.20E^{-008}$; $\eta^2 = 0.431$; Figure 1c,d).

Finally, the valence (women: $U = 2.59$, $N = 5.19$, $p = 6.68$; men: $U = 2.33$, $N = 5.11$, $p = 6.74$; LC: $F_{1,56} = 0.852$;

$p = .360$; $\eta^2 = 0.015$ and QC: $F_{1,56} = 0.022$; $p = .88$; $\eta^2 = 0.0004$) and the arousal assessment of pictures (women: $U = 5.52$, $N = 2.78$, $p = 4.56$, $F_{1,15} = 182.81$; $p < .001$; men: $U = 5.21$, $N = 2.08$, $p = 3.96$; LC: $F_{1,56} = 0.729$; $p = .397$; $\eta^2 = 0.013$ and QC: $F_{1,56} = 0.989$; $p = .324$; $\eta^2 = 0.017$) were not modulated by gender.

3.2 | Dynamic of autonomic changes

For each autonomic measure, temporal factors are numbered according to the percentage of the signal variance they explain and are described in the chronological order of their appearance.

3.3 | Skin conductance

PCA applied to SC variations yielded four factors that described 59.9% of the variance (Figure 2a). The first factor (F6) described 9.5% of the SCR variance, peaks at 1.8 s, and a rise of SC in response to pictures, which corresponds to the classical value of SCR latency (Dawson et al., 2001). The second factor (F5) described 14.3% of the SCR variance, peaks at 2.8 s when the response reached its maximum amplitude. The third factor (F3) described 16.5% of the SCR variance, peaks at 4.8 s leading to the SC half recovery (Dawson et al., 2001). The fourth factor (F1) described 19.6% of the SCR variance peaks at 6.9 s, during the slow decrease of SC signals to baseline.

3.4 | Skin temperature

PCA applied to the skin thermal variations yielded three factors that described 97.9% of the variance. Chronologically, the first factor (F1) described 39.8% of the variance of the thermal response and identified the positive inflection of temperature corresponding to the rise in thermal response. The second factor (F3) described 24.0% of the variance, peaks at 5.2 s when the temperature was maximal. The third factor (F2) described 34.1% of the variance of thermal responses, peaks at 9.5 s, and identified the period when temperature decreased to baseline.

3.5 | Pupil diameter

PCA applied to pupil diameter variations yielded four factors that described 79.2% of the variance of pupil responses. Chronologically, the first factor (F6) described 2.1% of the variance and peaks at 0.6 s. This factor appeared at a rapid negative point of inflection of the curve starting after the onset of

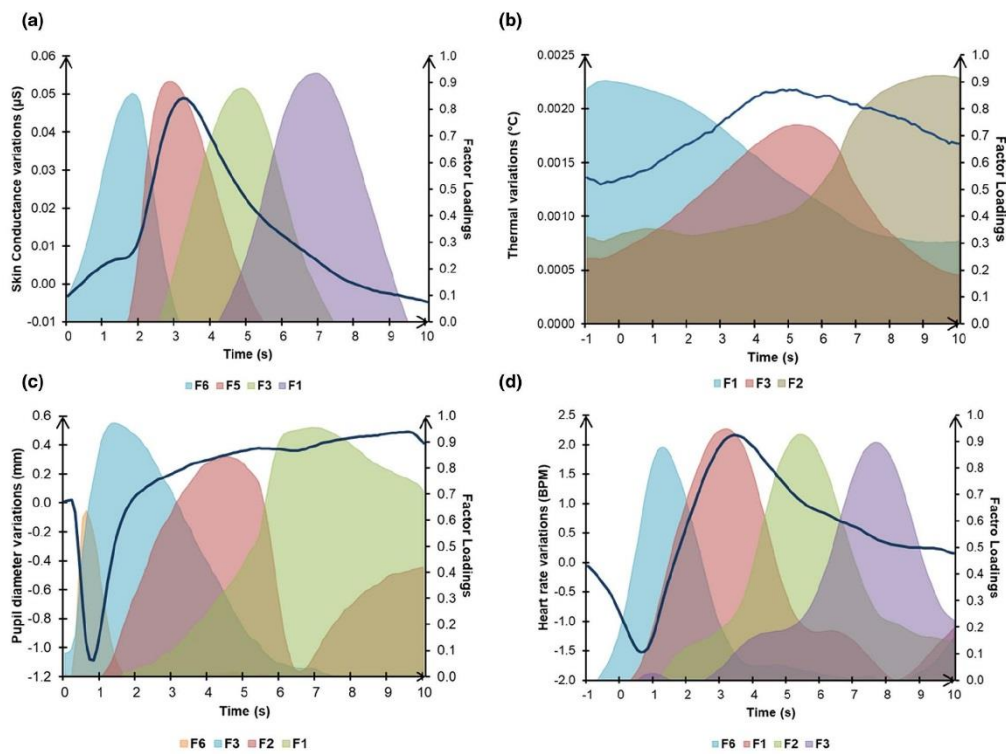


FIGURE 2 Grand average (black line) of skin conductance (a), skin temperature (b), pupil diameter (c), and heart rate (d) variations with factor loadings of selected principal components as a function of time, for each autonomic signal, temporal factors (f) are numbered according to their percentage to explain the variance of signal responses and are presented in the chronological order of their appearance

the picture, which identified a rapid decrease in pupil diameter (myosis). Thus, this factor is consistent with the early occurring parasympathetic-mediated pupillary light reflex (Henderson et al., 2014). The second (F3) and the third (F2) factors described 20.8% and 21.1% of the variance in pupil responses and with peaks at 1.4 s and 4.5 s, respectively, during the positive inflexion of the pupil diameter variation, corresponding to an iris dilation (mydriasis) following the light reflex. Such factors are consistent with the sympathetically mediated action on the iris dilation described in the literature as the consequence of aroused stimuli (Bradley et al., 2008). As expected, an arousal effect was observed on scores of these factors with greater pupil dilation in response to emotional pictures than to neutral ones (QC: $F_{1,47} = 4.20$, $p = .046$, $\eta^2 = 0.082$). The last factor (F1) described 35.1% of the variance and peaks at 6.9 s, during a slight inflexion of the curve which prolonged the persistence of the arousal effect.

3.6 | Heart rate

PCA applied to HR variations yielded four factors that described 65.5% of the variance. Chronologically, the first factor (F6) described 10.9% of the variance of the HR response and peaks at 1.3 s. This factor appeared at a rapid negative point of inflexion of the curve starting after the onset of the picture, which identified a rapid decrease in HR reported elsewhere as the initial moment of cardiac deceleration (Bradley et al., 2001). The second factor (F1) described 19.7% of the variance, peaks at 3.1 s during a rapid positive inflexion of the HR variation, corresponding to the classical pattern of cardiac acceleration (Bradley et al., 2001). The third factor (F2) described 18.5% of the variance of HR responses, peaks at 5.4 s during a rapid decrease in HR following the cardiac acceleration. This seemed to correspond to the period when the HR reaches half recovery. The last factor (F3) described 16.5% of the variance, peaks at

7.7 s, and corresponds to the return of HR to baseline after the classical bimodal HR response.

3.7 | Anxiety and depression effects

3.7.1 | Effect of anxiety

Behaviorally, no emotional or positional effect depending on the anxiety group was observed on the SACS scores (all $F_s < 1.21$ and $p_s > 0.277$). However, a principal effect of the group was observed ($F_{1,56} = 7.56$, $p = .008$; $\eta^2 = 0.119$) with a greater efficiency to locate pictures in HA participants (0.083 ± 0.016) than in LA ones (0.026 ± 0.017).

Concerning autonomic responses, an eccentricity effect depending on anxiety was observed on mydriasis following the light reflex as identified by the F3 factor ($F_{1,49} = 5.22$, $p = .027$, $\eta^2 = 0.096$, Figure 3). As expected, pupil diameter was greater with peripheral than with central stimulation and this effect was significantly greater for HA ($F_{1,25} = 168.72$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.871$) than for LA participants ($F_{1,24} = 125.87$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.840$).

An emotional arousal effect depending on anxiety was observed on the same factor ($F_{1,49} = 5.61$, $p = .022$, $\eta^2 = 0.103$, Figure 4a), and on cardiac deceleration as identified by the F6 factor ($F_{1,56} = 4.75$, $p = .034$, $\eta^2 = 0.078$, Figure 4b).

HA participants showed a trend toward a greater pupil diameter for emotional stimuli than neutral ones ($F_{1,25} = 3.55$; $p = .071$; $\eta^2 = 0.124$), while in LA participants, the mydriasis was not modulated by picture arousal ($F_{1,24} = 2.13$; $p = .157$; $\eta^2 = 0.081$). LA participants showed greater HR during cardiac deceleration, that is, an attenuated cardiac deceleration in response to neutral pictures ($F_{1,28} = 5.98$; $p = .021$; $\eta^2 = 0.176$), while cardiac deceleration in HA participants was not modulated by picture arousal ($F_{1,28} = 0.054$; $p = .818$; $\eta^2 = 0.002$). The effects of eccentricity and emotion

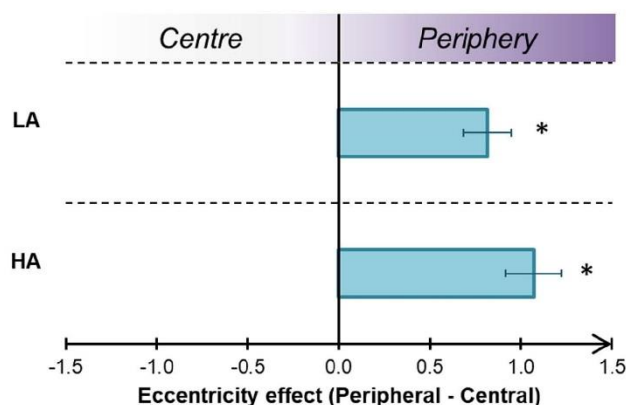


FIGURE 3 Effect of eccentricity on post-light reflex dilation according to anxiety. Effect of arousal (Quadratic Contrast, QC = Emotion – Neutral) in Low (LA, top) and High Anxious (HA, bottom) individuals. Positive values indicate greater pupil diameter during post-light reflex dilation for peripheral than for central presentation (* $p < .05$). Error bars represent the 95% confidence interval

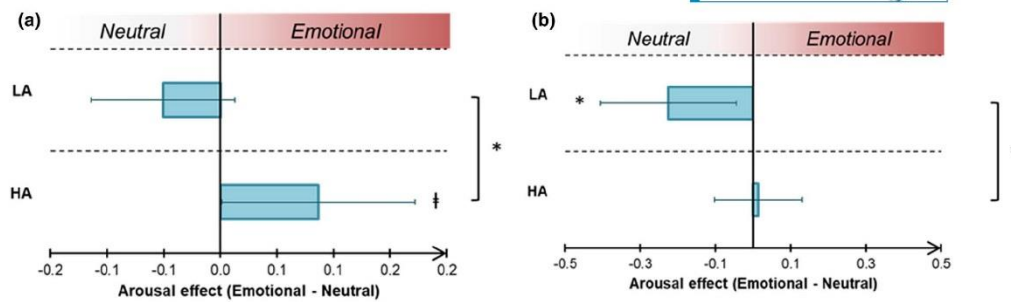


FIGURE 4 Effect of arousal on post-light reflex dilation (a) and cardiac deceleration (b) factors according to anxiety. Effect of arousal (*Quadratic Contrast*, $QC = \text{Emotion} - \text{Neutral}$) in Low (LA, top) and High Anxious (HA, bottom) individuals. Positive values indicate greater pupil diameter during post-light reflex and greater HR during cardiac deceleration for emotional than for neutral pictures and negative values indicate greater pupil diameter during post-light reflex and greater HR during cardiac deceleration for neutral than for emotional pictures ($*p < .05$; $\ddagger p > .10$). Error bars represent the 95% confidence interval

described above as dependent on anxiety were not observed when participants were grouped according to depression (all $F_s < 2.98$ and $p_s > .09$).

In sum, anxiety is associated with a better capacity to locate pictures and a greater pupil dilation in response to PV presentation. Emotional pictures induce a greater cardiac deceleration in LA but not in HA participants, whereas the pupillary reactivity to emotion increased with the level of anxiety.

3.7.2 | Effect of depression

Concerning behavioral responses, no emotional or positional effect depending on depression was observed on the SACS scores (all $F_s < 2.83$ and $p_s > .098$).

In terms of autonomic reactivity, a valence effect depending on depression was observed on the SC half recovery as identified by the F3 factor ($F_{1,56} = 5.71$, $p = .020$; $\eta^2 = 0.092$; Figure 5a). LD participants showed greater SC half recovery to pleasant than to unpleasant pictures ($F_{1,29} = 5.92$, $p = .021$; $\eta^2 = 0.170$), while this effect was not observed in HD participants ($F_{1,27} = 0.32$, $p = .574$; $\eta^2 = 0.012$). A valence effect depending on eccentricity and depression was also observed on the skin temperature peak amplitude as identified by the F3 factor ($F_{1,55} = 5.75$, $p = .020$; $\eta^2 = 0.095$; Figure 5b). While LD participants showed a trend toward a greater skin temperature for pleasant in CV and for unpleasant in PV, HD participants showed an opposite pattern.

Beside the effects of valence, an arousal effect depending on depression was observed on the temperature decreased to baseline as identified by the F2 factor ($F_{1,55} = 7.19$, $p = .010$; $\eta^2 = 0.116$; Figure 6). While LD participants showed higher skin temperature in response to neutral than to emotional pictures ($F_{1,29} = 4.24$, $p = .049$; $\eta^2 = 0.127$), HD participants showed the opposite trend ($F_{1,26} = 3.06$, $p = .092$; $\eta^2 = 0.105$). The effects

of eccentricity and emotion described above as dependent on depression were not observed when participants were grouped according to anxiety (all $F_s < 1.608$ and $p_s > .211$).

In sum, depression modulated the autonomic reactivity to emotion: first, LD was associated with greater response to pleasant pictures; second, depression modulated the recovery of thermal responses to emotion in HD participants.

3.8 | Common effects of anxiety and depression

An eccentricity \times valence \times anxiety interaction ($F_{1,49} = 4.03$, $p = .050$; $\eta^2 = 0.076$; Figure 7a) and an eccentricity \times valence \times depression interaction ($F_{1,49} = 4.56$, $p = .038$; $\eta^2 = 0.085$; Figure 7b) were observed on the pupillary light reflex as identified by the F6 factor.

The anxiety-dependent effect of valence was observed in PV ($F_{1,49} = 6.07$, $p = .017$; $\eta^2 = 0.110$) but not in CV ($F_{1,49} = 1.03$, $p = .316$; $\eta^2 = 0.021$). For PV presentation, while HA participants showed greater pupil diameter, that is, an attenuated pupillary light reflex in response to pleasant pictures ($F_{1,25} = 7.03$, $p = .014$; $\eta^2 = 0.219$), this effect was not observed in LA participants ($F_{1,24} = 0.59$, $p = .451$; $\eta^2 = 0.024$). In the same way, the depression-dependent effect of valence was observed in PV ($F_{1,49} = 5.18$, $p = .027$; $\eta^2 = 0.096$) but not in CV ($F_{1,49} = 1.65$, $p = .206$; $\eta^2 = 0.033$). For PV presentation, while HD participants showed lower pupillary light reflex in response to pleasant pictures ($F_{1,23} = 6.29$, $p = .020$; $\eta^2 = 0.215$), this effect was not observed in LD participants ($F_{1,26} = 0.28$, $p = .603$; $\eta^2 = 0.011$).

An arousal and valence effects depending on anxiety (valence: $F_{1,56} = 4.63$, $p = .036$; $\eta^2 = 0.076$; arousal: $F_{1,56} = 11.94$, $p = .001$; $\eta^2 = 0.176$; Figure 8a,c) and depending on depression (valence: $F_{1,56} = 8.76$, $p = .005$;

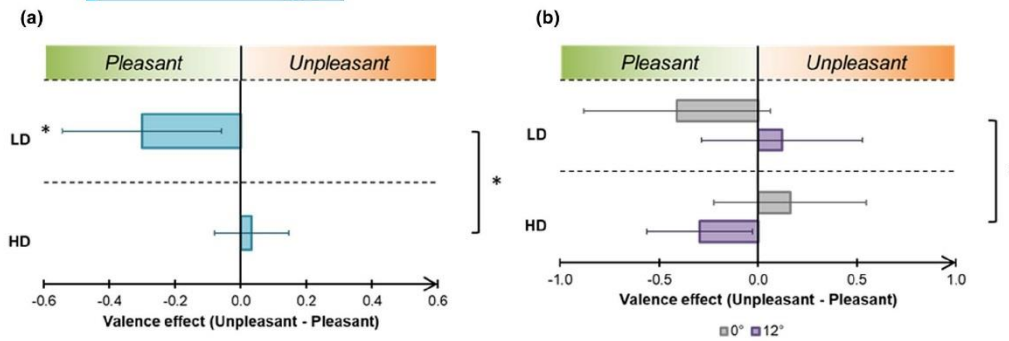


FIGURE 5 Effect of valence on skin conductance half recovery (a) and skin temperature peak amplitude factors (b) according to depression. Effect of valence (*Linear Contrast*, QC = Unpleasant – pleasant) in Low (LD, top) and High Depressed (HD, bottom) individuals. Positive values indicate greater skin conductance during the half recovery and skin temperature peak amplitude for unpleasant than for pleasant pictures and negative values indicate greater skin conductance during the half recovery and skin temperature peak amplitude for pleasant than for unpleasant pictures ($*p < .05$). Error bars represent the 95% confidence interval

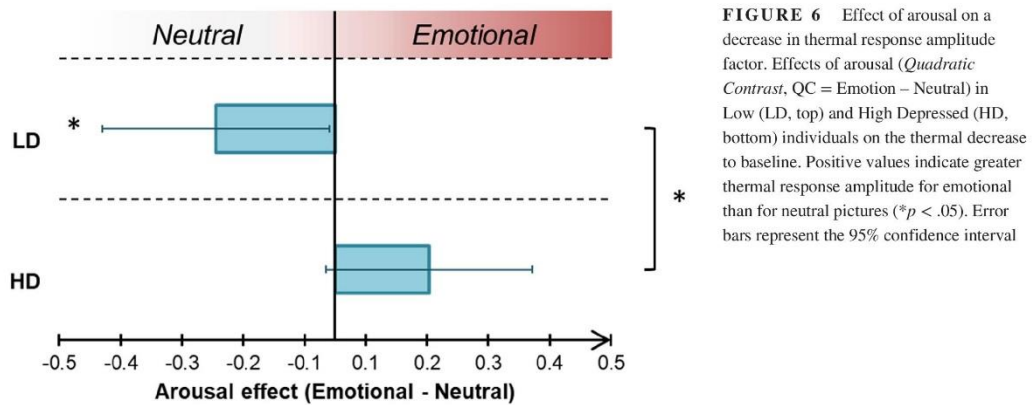


FIGURE 6 Effect of arousal on a decrease in thermal response amplitude factor. Effects of arousal (*Quadratic Contrast*, QC = Emotion – Neutral) in Low (LD, top) and High Depressed (HD, bottom) individuals on the thermal decrease to baseline. Positive values indicate greater thermal response amplitude for emotional than for neutral pictures ($*p < .05$). Error bars represent the 95% confidence interval

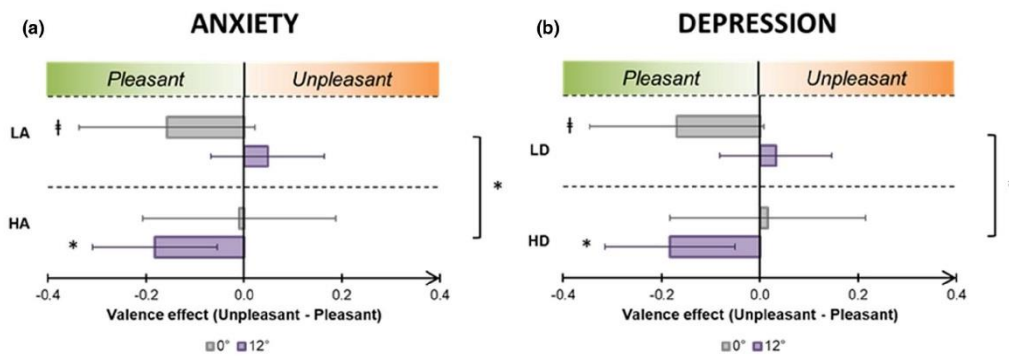


FIGURE 7 Effect of valence on pupillary light reflex factors according to anxiety (a) and depression (b). Effect of valence (*Linear Contrast*, QC = Unpleasant – pleasant) in Low (LA, top) and High Anxious (HA, bottom) individuals (a) and in Low (LD, top) and High Depressed (HD, bottom) individuals (b). Positive values indicate greater pupil diameter during the pupillary light reflex for unpleasant than for pleasant pictures ($*p < .05$; $\dagger p > .10$). Error bars represent the 95% confidence interval

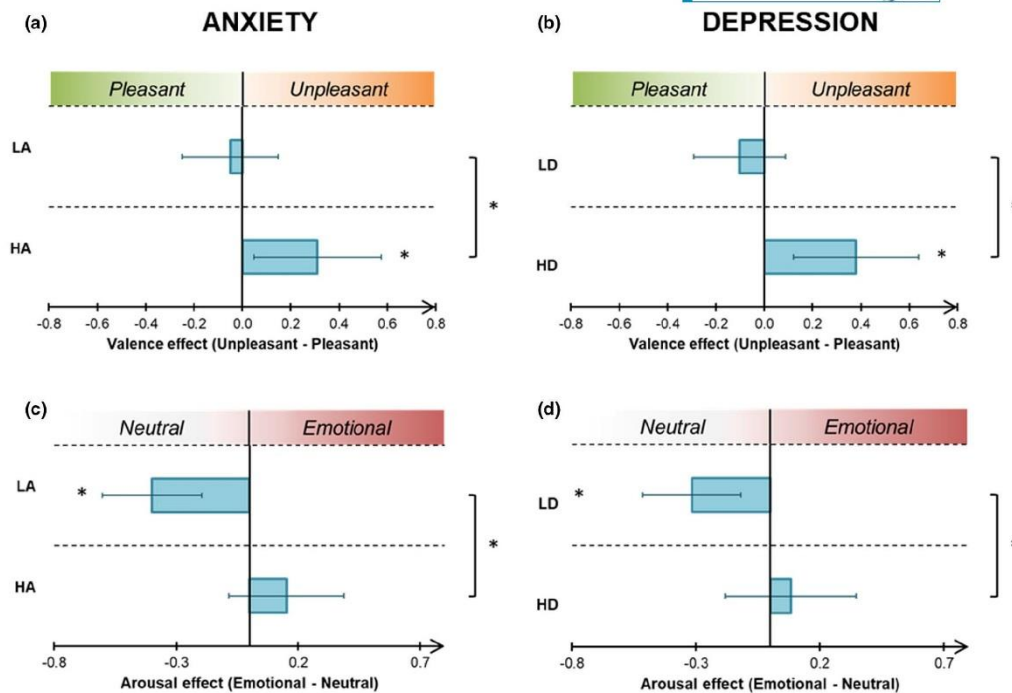


FIGURE 8 Effect of valence and arousal on the return of heart rate to baseline according to anxiety and depression. Effect of valence (Linear Contrast, QC = Unpleasant – pleasant) in Low (LA, top) and High Anxious (HA, bottom) individuals (a) and in Low (LD, top) and High Depressed (HD, bottom) individuals (b). Positive values indicate a quicker return of heart rate to baseline for unpleasant than for pleasant pictures. Effect of arousal (Quadratic Contrast, QC = Emotion – Neutral) in Low (LA, top) and High Anxious (HA, bottom) individuals (c) and in Low (LD, top) and High Depressed (HD, bottom) individuals (d). Positive values indicate a greater heart rate during the return of heart rate to baseline for emotional than for neutral pictures (* $p < .05$). Error bars represent the 95% confidence interval

$\eta^2 = 0.135$; arousal: $F_{1,56} = 5.74$, $p = .020$; $\eta^2 = 0.093$; Figure 8b,d) were observed on the return to HR baseline as identified by the F3 factor. During return to HR baseline, HA participants showed greater HR to unpleasant than to pleasant pictures ($F_{1,28} = 5.38$, $p = .028$; $\eta^2 = 0.161$) without arousal effect ($F_{1,28} = 1.59$, $p = .218$; $\eta^2 = 0.054$), while LA participants showed lower HR to emotional than to neutral pictures ($F_{1,28} = 14.64$, $p = .001$; $\eta^2 = 0.343$) without valence effect ($F_{1,28} = 0.25$, $p = .624$; $\eta^2 = 0.009$). In the same way, HD participants showed greater HR to unpleasant than to pleasant pictures ($F_{1,27} = 8.24$, $p = .008$; $\eta^2 = 0.234$) without arousal effect ($F_{1,27} = 0.39$, $p = .539$; $\eta^2 = 0.014$), while LD participants showed lower HR to emotional than to neutral pictures ($F_{1,29} = 9.79$, $p = .004$; $\eta^2 = 0.252$) without valence effect ($F_{1,29} = 1.09$, $p = .304$; $\eta^2 = 0.036$).

In sum, based on HR variations, anxiety and depression are associated with greater reactivity to unpleasant, and on the basis of pupillary reaction, both anxiety and depression attenuated the effect of pleasant pictures in PV.

4 | DISCUSSION

The aim of this study was to compare autonomic reactivity to emotional stimulation occurring in CV and PV between participants with high and low anxious or depressive symptoms. In support of our hypotheses, we found the following: first, anxiety was associated with a global hyperreactivity to emotions and to PV; second, depression is associated with an attenuated reactivity to pleasant and a global blunted autonomic reactivity to emotion; third, anxiety and depression modulated differentially the dynamics of autonomic responses.

4.1 | Anxiety and autonomic reactivity

Anxiety was associated with greater sympathetic pupil dilation to emotion, consistent with a greater pupillary response to emotional faces in HA individuals (Hepsomali et al., 2017). This high level of autonomic arousal has also been observed in

anxiety (Pruneti et al., 2010, 2016), even when threatening pictures are presented subliminally (Najström & Jansson, 2006).

Moreover, anxiety induced a greater pupillary sympathetic activation with PV stimulation regardless of emotion, allowing more visual information to reach the retina. As anxiety is characterized by hypervigilance and a state of alert (Heller et al., 1997; MacLeod & Mathews, 2012), present results could reflect an extension of such hypervigilance to PV. This process could lead to reinforced monitoring of peripheral parts of the visual field which is coherent with a better capacity to locate pictures, as observed in HA individuals. Furthermore, the fact that anxiety leads to exacerbated reactivity over the entire visual field, is also consistent with the increase in attentional capture observed in anxiety on tasks with irrelevant threats and non-threatening stimuli (Gerdes et al., 2008; Wieser et al., 2009) or with peripheral information that is not obviously threatening (Mathews, 1990; Shapiro & Lim, 1989). In the same vein, Beck and Emery (1985) proposed that anxious individuals are constantly scanning the environment for signs of danger, and may misinterpret ambiguous situations and exaggerate minor threats, all of which would further increase anxiety (Beck et al., 2005).

In brief, anxiety is associated with greater sympathetic activation in response to emotion and favors hypervigilance levels able to sustain increased resources to be allocated to PV. In this way, and as argued by Shapiro and Lim (1989), anxiety gives to individuals an adaptive gain by improving their PV to locate and react to a source of stimulation.

4.2 | Depression and autonomic reactivity

Regardless of picture positions, HD participants did not show the greater SC to pleasant pictures observed in LD. Depression was, therefore, associated with less sympathetic arousal to pleasant cues. This is consistent with results from Mardaga and Hansenne (2009) who observed that, unlike controls, depressed individuals did not show greater SCRs to pleasant pictures compared to unpleasant ones. These electrodermal-based evidences support the positive attenuation hypothesis, which explains that depression is characterized by a decreased reactivity to positive effect (Clark & Watson, 1991). Otherwise, LD was associated with lower skin temperature to emotion, implying greater sympathetic vasoconstriction, whereas such an effect of arousal was not observed in HD. This supports the idea that depression blunts emotional reactivity, which is consistent with the emotional context insensitivity hypothesis (Rottenberg et al., 2005).

Considering visual position, depression was associated with greater reactivity to unpleasant pictures presented in CV. This greater reactivity to unpleasant information supports the negative potentiation hypothesis (Wenzler et al., 2017)

by showing its relevance in CV but not in PV. These results confirm what has been observed in patients with the major depressive disorder who showed a negativity bias and enhanced autonomic responses for CV but not PV (De Zorzi et al., 2020). Thus, depressive symptomatology leads to increased processing of negative information associated with a CV focus, consistent with the fewer saccades and longer fixation observed in depressed patients (Li et al., 2016), which in turn suggests that depressed individuals make less visual exploration.

In brief, present results and those from the literature showing an attenuated electrodermal and vasomotor reactivity to emotional information in HD is in favor of a global blunted emotional reactivity in depression.

4.3 | Anxiety, depression and autonomic dynamics

In addition to specific results for anxiety or depression, our results show that anxious or depressive symptomatology leads to common effects. Indeed, both anxiety and depression are associated with lower pupillary light reflex in response to pleasant pictures presented in PV. Besides, both anxiety and depression are associated with higher HR to unpleasant during the return of HR to baseline. These results can be enlightened by evidence from the literature, suggesting that anxiety and depression are associated with an exaggeration of attention paid to negative stimuli over neutral stimuli (Eizenman et al., 2003; MacLeod et al., 1986). Indeed, in anxious individuals, the threshold for activating the threat assessment system would be lower and this would result in a direct increase in the attentional resources allocated to stimuli considered threatening by this system (Coussemant & Heeren, 2015).

Exploratory results in Supplementary Data comparing controls, anxious, depressed, and mixed anxiety and depression, showed that effects of anxiety and depression on return to HR baseline seem to differ when both emotion and the visual position are taken into account. Indeed, depression without anxiety was associated with greater reactivity to unpleasant pictures presented in CV, depression with anxiety was associated with a hyperreactivity to unpleasant only in PV. This probably means that depression guides hypervigilance toward aversive cues in PV and thus increases the state of alert in anxious participants. These exploratory results open perspectives on the study of visuospatial and emotional modulations of autonomic reactivity by anxiety and depression.

In the frame of potential factors likely to distinguish anxiety and depression, the dynamics of autonomic variables also emerge from the present research. Indeed, anxiety is mostly associated with the early stages of autonomic responses to

emotion, while depression rather modulates their late stages. This echoes the hypothesis proposed by Williams et al. (1997) that anxiety and depression differ in terms of the dynamics of cognitive biases. Anxiety might be associated with an orientation bias toward threatening information in the early stages of information processing (Bar-Haim et al., 2007), followed by an avoidance bias (Pflugshaupt et al., 2005; Rohner, 2002) or difficulty in disengaging attention from threat (Fox et al., 2001; Yiend & Mathews, 2001) in the later stages. Depression, moreover, is related to sustained attention to unpleasantness rather than rapid orientation (Hallion & Ruscio, 2011) and to a global negative bias in the later processes (Mogg & Bradley, 2016).

These dynamics are also observed at the neurophysiological level where anxious individuals elicit earlier P1/N1 complex in response to faces (Bar-Haim et al., 2005), consistent with a rapid orientation, a shorter latency, and a larger amplitude of the P200 associated with preferential attention (Hanatani et al., 2005; Pauli et al., 2005; Yee & Miller, 1988), and a reduced N300 amplitude (Rossignol et al., 2005). Anxiety might thus manifest itself through a combination of early and late components to process emotional stimuli (Li et al., 2007). Depressed individuals showed a greater latency and a diminished amplitude of the P3b component when detecting happy faces among neutral ones, reflecting a deficit in the attribution of cognitive resources to evaluate these stimuli (Cavanagh & Geisler, 2006). Nevertheless, it has been shown that bias in emotional processing in depression may concern both the early and late stages of stimuli processing (Maurage et al., 2008; Sumich, Harris, et al., 2006; Sumich, Kumari, et al., 2006), which would only manifest themselves in the late stages of autonomic responses.

In brief, taking both the position and the emotional content of the pictures into account could lead to the autonomic distinction of anxiety and depression. This differentiation process could also be enriched by the analysis of autonomic dynamics. In fact, anxiety mostly modulates the early processes of autonomic reactivity whereas depression mainly affects the later processes.

5 | CONCLUSIONS

This study has several methodological strengths. First, considering that physical saliency influences visual search and attention (Lucas & Vuilleumier, 2008) and gender differences in emotional assessment and reactivity (Bradley et al., 2001), we carried out a rigorous selection of stimuli. Second, considering the predominant view that the ANS is not a unitary system (Berntson et al., 1998), the recording of both autonomic branches provided a reliable and comprehensive overview of autonomic functioning. Third, the

use of temporal principal component analysis allowed us to study the dynamic of autonomic responses without a priori assumptions and guided us toward their late components, which are often associated with pathophysiological consequences (McEwen & Stellar, 1993). Nevertheless, the study also has some limitations. In particular, the choice of sub-clinical populations limits the scope of our results to moderate levels of depression and anxiety. Indeed, the HD group had a mean BDI-II score of 14.68, which corresponds to mild depression, while the HA group had a mean STAI-B score of 53.69, which corresponds to moderate anxiety. Nonetheless, salient effects were observed even at these subclinical levels.

In conclusion, the present findings provide new insights to consider autonomic reactivity in affective disorders. First, anxiety and depression appear to modulate autonomic output reactivity in specific ways. Second, considering the biases in favor of PV for anxiety and of CV for depression, autonomic reactivity could be used to differentiate between anxious and depressive individuals. Indeed, the differential impact of emotional information over the visual field indicates the value of using new stimulation strategies in order to attenuate anxiety and depressive dysfunctions. In this regard, attentional training procedures could be developed to modify the deployment of attention toward emotional cues, which play a critical role in the maintenance and etiology of these disorders (Gotlib & Joormann, 2010; Mogg & Bradley, 2016). Finally, the study underlines the value of biofeedback and the individualization of training that focuses on autonomic reactivity to improve anxiety and depression.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to acknowledge the organizations which support this project: CNRS, Pôle Recherche de la Faculté de Médecine, Université de Lille; and Ray Cooke for copyediting the manuscript.

CONFLICT OF INTEREST

None.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Lucas De Zorzi: Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Investigation; Methodology; Software; Visualization; Writing-original draft; Writing-review & editing. **Stéphane Ranfaing:** Data curation; Formal analysis; Investigation; Methodology; Software; Writing-original draft; Writing-review & editing. **Jacques Honoré:** Conceptualization; Supervision; Visualization. **Henrique Sequeira:** Conceptualization; Supervision; Validation; Visualization; Writing-original draft; Writing-review & editing.

ORCID

Lucas De Zorzi  <https://orcid.org/0000-0002-0531-7942>

REFERENCES

- Armstrong, T., & Olatunji, B. O. (2012). Eye tracking of attention in the affective disorders: A meta-analytic review and synthesis. *Clinical Psychology Review, 32*(8), 704–723.
- Bar-Haim, Y., Lamy, D., & Glickman, S. (2005). Attentional bias in anxiety: A behavioral and ERP study. *Brain and Cognition, 59*(1), 11–22.
- Bar-Haim, Y., Lamy, D., Pergamin, L., Bakermans-Kranenburg, M. J., & Van Ijzendoorn, M. H. (2007). Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals: A meta-analytic study. *Psychological Bulletin, 133*(1), 1.
- Barry, R. J., De Blasio, F. M., Fogarty, J. S., & Karamacoska, D. (2016). ERP Go/NoGo condition effects are better detected with separate PCAs. *International Journal of Psychophysiology, 106*, 50–64. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.06.003>
- Beck, A. T., & Emery, G. (1985). *Anxiety disorders and phobias. A cognitive perspective*. Basic.
- Beck, A. T., Emery, G., & Greenberg, R. L. (2005). *Anxiety disorders and phobias: A cognitive perspective*. Basic Books.
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Brown, G. K. (1996). Beck Depression inventory-II. *San Antonio, 78*(2), 490–498.
- Berntson, G. G., Bigger, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., & Stone, P. H. (1997). Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology, 34*(6), 623–648. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x>
- Berntson, G. G., Sarter, M., & Cacioppo, J. T. (1998). Anxiety and cardiovascular reactivity: The basal forebrain cholinergic link. *Behavioural Brain Research, 94*(2), 225–248.
- Bradley, M. M. (2009). Natural selective attention: Orienting and emotion. *Psychophysiology, 46*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00702.x>
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation I: Defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion, 1*(3), 276. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.1.3.276>
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 25*(1), 49–59. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)
- Bradley, M. M., Miccoli, L., Escrig, M. A., & Lang, P. J. (2008). The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. *Psychophysiology, 45*(4), 602–607. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00654.x>
- Bradley, M. M., Sapigao, R. G., & Lang, P. J. (2017). Sympathetic ANS modulation of pupil diameter in emotional scene perception: Effects of hedonic content, brightness, and contrast. *Psychophysiology, 54*(10), 1419–1435. <https://doi.org/10.1111/psyp.12890>
- Bylsma, L. M., Morris, B. H., & Rottenberg, J. (2008). A meta-analysis of emotional reactivity in major depressive disorder. *Clinical Psychology Review, 28*(4), 676–691. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2007.10.001>
- Calvo, M. G., Avero, P., & Nummenmaa, L. (2011). Primacy of emotional vs. Semantic scene recognition in peripheral vision. *Cognition & Emotion, 25*(8), 1358–1375. <https://doi.org/10.1080/0269931.2010.544448>
- Calvo, M. G., & Lang, P. J. (2005). Parafoveal semantic processing of emotional visual scenes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 31*(3), 502–519. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.31.3.502>
- Calvo, M. G., Nummenmaa, L., & Hyönä, J. (2008). Emotional scenes in peripheral vision: Selective orienting and gist processing, but not content identification. *Emotion (Washington, D.C.), 8*(1), 68–80. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.8.1.68>
- Carvalho, N., Laurent, E., Noiret, N., Chopard, G., Haffen, E., Bennabi, D., & Vandel, P. (2015). Eye movement in unipolar and bipolar depression: A systematic review of the literature. *Frontiers in Psychology, 6*, 1809.
- Cavanagh, J., & Geisler, M. W. (2006). Mood effects on the ERP processing of emotional intensity in faces: A P3 investigation with depressed students. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology, 60*(1), 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2005.04.005>
- Chua, P., & Dolan, R. (2000). *The neurobiology of anxiety and anxiety-related disorders: A functional neuroimaging perspective*. Academic Press.
- Clark, L. A., & Watson, D. (1991). Tripartite model of anxiety and depression: Psychometric evidence and taxonomic implications. *Journal of Abnormal Psychology, 100*(3), 316.
- Collignon, O., Girard, S., Gosselin, F., Saint-Amour, D., Lepore, F., & Lassonde, M. (2010). Women process multisensory emotion expressions more efficiently than men. *Neuropsychologia, 48*(1), 220–225. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.09.007>
- Coussement, C., & Heeren, A. (2015). Vers une architecture cognitive du maintien du biais attentionnel envers la menace dans l'anxiété: une approche par comparaison de modèles. *L'année Psychologique, 115*(4), 665–690.
- Critchley, H. D. (2002). Electrodermal responses: What happens in the brain. *The Neuroscientist, 8*(2), 11. <https://doi.org/10.1177/107385840200800209>
- D'Hondt, F., Szafrarczyk, S., Sequeira, H., & Boucart, M. (2016). Explicit and implicit emotional processing in peripheral vision: A saccadic choice paradigm. *Biological Psychology, 119*, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.07.014>
- Dawson, M. E., Schell, A. M., & Filion, D. L. (2001). The electrodermal system. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, and G. B. Bernston (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (2nd ed., pp. 200–223). Cambridge Press.
- De Zorzi, L., Robin, M. S., Honoré, J., Bubrovsky, M., Vaiva, G., & Sequeira, H. (2020). Depression restricts visual capture and promotes the perception of negative information. *Biological Psychology, 154*, 107923. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2020.107923>
- Delplanque, S., N'diaye, K., Scherer, K., & Grandjean, D. (2007). Spatial frequencies or emotional effects?: A systematic measure of spatial frequencies for IAPS pictures by a discrete wavelet analysis. *Journal of Neuroscience Methods, 165*(1), 144–150. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.05.030>
- Eizenman, M., Lawrence, H. Y., Grupp, L., Eizenman, E., Ellenbogen, M., Gemar, M., & Levitan, R. D. (2003). A naturalistic visual scanning approach to assess selective attention in major depressive disorder. *Psychiatry Research, 118*(2), 117–128. [https://doi.org/10.1016/S0165-1781\(03\)00068-4](https://doi.org/10.1016/S0165-1781(03)00068-4)
- Erdfelder, E., Faul, F., & Buchner, A. (1996). GPOWER: A general power analysis program. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 28*(1), 1–11. <https://doi.org/10.3758/BF03203630>
- Fox, E., Russo, R., Bowles, R., & Dutton, K. (2001). Do threatening stimuli draw or hold visual attention in subclinical anxiety? *Journal of Experimental Psychology: General, 130*(4), 681. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.130.4.681>
- Frontier, S. (1976). Étude de la décroissance des valeurs propres dans une analyse en composantes principales: Comparaison avec le

- modèle du bâton brisé. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 25(1), 67–75.
- Gerdes, A. B., Alpers, G. W., & Pauli, P. (2008). When spiders appear suddenly: Spider-phobic patients are distracted by task-irrelevant spiders. *Behaviour Research and Therapy*, 46(2), 174–187.
- Gold, S. M., Zakowski, S. G., Valdimarsdottir, H. B., & Bovbjerg, D. H. (2004). Higher Beck depression scores predict delayed epinephrine recovery after acute psychological stress independent of baseline levels of stress and mood. *Biological Psychology*, 67(3), 261–273. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2003.12.001>
- Gotlib, I. H., & Joormann, J. (2010). Cognition and depression: Current status and future directions. *Annual Review of Clinical Psychology*, 6, 285–312. <https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.12.1208.131305>
- Hallion, L. S., & Ruscio, A. M. (2011). A meta-analysis of the effect of cognitive bias modification on anxiety and depression. *Psychological Bulletin*, 137(6), 940–958. <https://doi.org/10.1037/a0024355>
- Hanatani, T., Sumi, N., Taguchi, S., Fujimoto, O., Nan-no, H., & Takeda, M. (2005). Event-related potentials in panic disorder and generalized anxiety disorder. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 59(1), 83–88. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1819.2005.01336.x>
- Heller, W., Nitschke, J. B., Etienne, M. A., & Miller, G. A. (1997). Patterns of regional brain activity differentiate types of anxiety. *Journal of Abnormal Psychology*, 106(3), 376. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.106.3.376>
- Henderson, R. R., Bradley, M. M., & Lang, P. J. (2014). Modulation of the initial light reflex during affective picture viewing. *Psychophysiology*, 51(9), 815–818. <https://doi.org/10.1111/psyp.12236>
- Hepsomali, P., Hadwin, J. A., Liversedge, S. P., & Garner, M. (2017). Pupillometric and saccadic measures of affective and executive processing in anxiety. *Biological Psychology*, 127, 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.05.013>
- Ioannou, S., Gallese, V., & Merla, A. (2014). Thermal infrared imaging in psychophysiology: Potentialities and limits: Thermal infrared imaging in psychophysiology. *Psychophysiology*, 51(10), 951–963. <https://doi.org/10.1111/psyp.12243>
- Jennings, J. R., & van der Molen, M. W. (2005). Preparation for speeded action as a psychophysiological concept. *Psychological Bulletin*, 131(3), 434. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.3.434>
- Karlis, D., Saporta, G., & Spinakis, A. (2003). A simple rule for the selection of principal components. *Communications in Statistics Theory and Methods*, 32(3), 643–666. <https://doi.org/10.1081/STA-120018556>
- Kosonogov, V., De Zorzi, L., Honoré, J., Martínez-Velázquez, E. S., Nandrino, J.-L., Martínez-Selva, J. M., & Sequeira, H. (2017). Facial thermal variations: A new marker of emotional arousal. *PLoS One*, 12(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183592>
- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (2008). *International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual*. University of Florida. Technical Report A-8.
- Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M., & Hamm, A. O. (1993). Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, 30(3), 261–273. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1993.tb03352.x>
- Legendre, P., & Legendre, L. F. (2012). *Numerical ecology* (Vol. 24). Elsevier.
- Li, Y., Xu, Y., Xia, M., Zhang, T., Wang, J., Liu, X., & Wang, J. (2016). Eye movement indices in the study of depressive disorder. *Shanghai Archives of Psychiatry*, 28(6), 326. <https://doi.org/10.11919/j.issn.1002-0829.216078>
- Li, W., Zinbarg, R. E., & Paller, K. A. (2007). Trait anxiety modulates supraliminal and subliminal threat: Brain potential evidence for early and late processing influences. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 7(1), 25–36.
- Liversedge, S. P., & Findlay, J. M. (2000). Saccadic eye movements and cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(1), 6–14. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01418-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01418-7)
- Lucas, N., & Vuilleumier, P. (2008). Effects of emotional and non-emotional cues on visual search in neglect patients: Evidence for distinct sources of attentional guidance. *Neuropsychologia*, 46(5), 1401–1414. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.12.027>
- MacLeod, C., & Mathews, A. (2012). Cognitive bias modification approaches to anxiety. *Annual Review of Clinical Psychology*, 8, 189–217. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032511-143052>
- MacLeod, C., Mathews, A., & Tata, P. (1986). Attentional bias in emotional disorders. *Journal of Abnormal Psychology*, 95(1), 15–20. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.95.1.15>
- Mahlberg, R., Steinacher, B., Mackert, A., & Flechtner, K.-M. (2001). Basic parameters of saccadic eye movements—differences between unmedicated schizophrenia and affective disorder patients. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 251(5), 205–210. <https://doi.org/10.1007/s004060170028>
- Mardaga, S., & Hansenne, M. (2009). Autonomic aspect of emotional response in depressed patients: Relationships with personality. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 39(4–5), 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2009.06.002>
- Mathews, A. (1990). Why worry? The cognitive function of anxiety. *Behaviour Research and Therapy*, 28(6), 455–468.
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44, 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- Maurage, P., Campanella, S., Philippot, P., de Timary, P., Constant, E., Gauthier, S., & Noël, X. (2008). Alcoholism leads to early perceptual alterations, independently of comorbid depressed state: An ERP study. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38(2), 83–97.
- McEwen, B. S., & Stellar, E. (1993). Stress and the individual: Mechanisms leading to disease. *Archives of Internal Medicine*, 153(18), 2093–2101. <https://doi.org/10.1001/archinte.1993.00410180039004>
- Mialet, J., Bisslerbe, J., Jacobs, A., & Pope, H. (1996). Two-dimensional anxiety: A confirmation using a computerized neuropsychological testing of attentional performance. *European Psychiatry*, 11(7), 344–352. [https://doi.org/10.1016/S0924-9338\(97\)81057-7](https://doi.org/10.1016/S0924-9338(97)81057-7)
- Mogg, K., & Bradley, B. P. (2016). Anxiety and attention to threat: Cognitive mechanisms and treatment with attention bias modification. *Behaviour Research and Therapy*, 87, 76–108.
- Mundfrom, D. J., Shaw, D. G., & Ke, T. L. (2005). Minimum sample size recommendations for conducting factor analyses. *International Journal of Testing*, 5(2), 159–168. https://doi.org/10.1207/s15327574ijt0502_4
- Najström, M., & Jansson, B. (2006). Unconscious responses to threatening pictures: Interactive effect of trait anxiety and social desirability on skin conductance responses. *Cognitive Behaviour Therapy*, 35(1), 11–18. <https://doi.org/10.1080/16506070510011566>
- Naveteur, J., Freixa, I., & Baque, E. (1987). Individual differences in electrodermal activity as a function of subjects' anxiety.

- Personality and Individual Differences*, 8(5), 615–626. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(87\)90059-6](https://doi.org/10.1016/0191-8869(87)90059-6)
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Pauli, P., Amrhein, C., Mühlberger, A., Dengler, W., & Wiedemann, G. (2005). Electrocardiac evidence for an early abnormal processing of panic-related words in panic disorder patients. *International Journal of Psychophysiology*, 57(1), 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2005.01.009>
- Peckham, A. D., McHugh, R. K., & Otto, M. W. (2010). A meta-analysis of the magnitude of biased attention in depression. *Depression and Anxiety*, 27(12), 1135–1142. <https://doi.org/10.1002/da.20755>
- Pflugshaupt, T., Mosimann, U. P., von Wartburg, R., Schmitt, W., Nyffeler, T., & Müri, R. M. (2005). Hypervigilance–avoidance pattern in spider phobia. *Journal of Anxiety Disorders*, 19(1), 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2003.12.002>
- Pourtois, G., Delplanque, S., Michel, C., & Vuilleumier, P. (2008). Beyond conventional event-related brain potential (ERP): Exploring the time-course of visual emotion processing using topographic and principal component analyses. *Brain Topography*, 20(4), 265–277. <https://doi.org/10.1007/s10548-008-0053-6>
- Pruneti, C. A., Lento, R. M., Fante, C., Carrozzo, E., & Fontana, F. (2010). *Autonomic arousal and differential diagnosis in clinical psychology and psychopathology La valutazione della risposta neurovegetativa nella diagnosi differenziale in psicologia clinica e psicopatologia*. 10.
- Pruneti, C., Saccò, M., Cosentino, C., & Sgromo, D. (2016). Relevance of autonomic arousal in the stress response in psychopathology. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 12, 176–184. <https://doi.org/10.6000/1927-5129.2016.12.26>
- Rigoulot, S., D'Hondt, F., Defoort-Dhellemmes, S., Desprez, P., Honoré, J., & Sequeira, H. (2011). Fearful faces impact in peripheral vision: Behavioral and neural evidence. *Neuropsychologia*, 49(7), 2013–2021. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.03.031>
- Rigoulot, S., D'Hondt, F., Honoré, J., & Sequeira, H. (2012). Implicit emotional processing in peripheral vision: Behavioral and neural evidence. *Neuropsychologia*, 50(12), 2887–2896. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.08.015>
- Rigoulot, S., Delplanque, S., Desprez, P., Defoort-Dhellemmes, S., Honoré, J., & Sequeira, H. (2008). Peripherally presented emotional scenes: A spatiotemporal analysis of early ERP responses. *Brain Topography*, 20(4), 216–223. <https://doi.org/10.1007/s10548-008-0050-9>
- Rohner, J.-C. (2002). The time-course of visual threat processing: High trait anxious individuals eventually avert their gaze from angry faces. *Cognition & Emotion*, 16(6), 837–844.
- Rosignol, M., Philippot, P., Douilliez, C., Crommelinck, M., & Campanella, S. (2005). The perception of fearful and happy facial expression is modulated by anxiety: An event-related potential study. *Neuroscience Letters*, 377, 115–120. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2004.11.091>
- Rottenberg, J., Gross, J. J., & Gotlib, I. H. (2005). Emotion context insensitivity in major depressive disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, 114(4), 627–639. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.114.4.627>
- Schwerdtfeger, A. (2006). Trait anxiety and autonomic indicators of the processing of threatening information: A cued S1–S2 paradigm. *Biological Psychology*, 72(1), 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.07.008>
- Sequeira, H., Hot, P., Silvert, L., & Delplanque, S. (2009). Electrical autonomic correlates of emotion. *International Journal of Psychophysiology*, 71(1), 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.07.009>
- Shapiro, K. L., & Lim, A. (1989). The impact of anxiety on visual attention to central and peripheral events. *Behaviour Research and Therapy*, 27(4), 345–351. [https://doi.org/10.1016/0005-7967\(89\)90004-1](https://doi.org/10.1016/0005-7967(89)90004-1)
- Snellen, H. (1862). *Letterproeven, tot bepaling der gezigtsscherpte* (Vol. 1). J. Greven.
- Spielberger, C. D. (1983). State-trait anxiety inventory for adults (STAI-AD) [Database record]. *APA PsycTests*. <https://doi.org/10.1037/t06496-000>
- Spielberger, C. D., & Gorsuch, R. L. (1983). *State-trait anxiety inventory for adults: Sampler set: Manual, test, scoring key*. Mind Garden.
- Sumich, A., Harris, A., Flynn, G., Whitford, T., Tunstall, N., Kumari, V., Brammer, M., Gordon, E., & Williams, L. M. (2006). Event-related potential correlates of depression, insight and negative symptoms in males with recent-onset psychosis. *Clinical Neurophysiology*, 117(8), 1715–1727. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.04.017>
- Sumich, A. L., Kumari, V., Heasman, B. C., Gordon, E., & Brammer, M. (2006). Abnormal asymmetry of N200 and P300 event-related potentials in subclinical depression. *Journal of Affective Disorders*, 92(2–3), 171–183. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2006.01.006>
- Wenzler, S., Hagen, M., Tarvainen, M. P., Hilke, M., Ghirmai, N., Huthmacher, A.-C., & Oertel-Knöchel, V. (2017). Intensified emotion perception in depression: Differences in physiological arousal and subjective perceptions. *Psychiatry Research*, 253, 303–310. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.03.040>
- Wieser, M. J., Pauli, P., & Mühlberger, A. (2009). Probing the attentional control theory in social anxiety: An emotional saccade task. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 9(3), 314–322.
- Williams, J. M., & Andersen, M. B. (1997). Psychosocial influences on central and peripheral vision and reaction time during demanding tasks. *Behavioral Medicine*, 22(4), 160–167. <https://doi.org/10.1080/08964289.1997.10543549>
- Yee, C. M., & Miller, G. A. (1988). Emotional information processing: Modulation of fear in normal and dysthymic subjects. *Journal of Abnormal Psychology*, 97(1), 54.
- Yiend, J., & Mathews, A. (2001). Anxiety and attention to threatening pictures. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 54(3), 665–681. <https://doi.org/10.1080/17470310010001613755991>

SUPPORTING INFORMATION

Additional supporting information may be found online in the Supporting Information section.

Supplementary Material

How to cite this article: De Zorzi L, Ranfaing S, Honoré J, Sequeira H. Autonomic reactivity to emotion: A marker of sub-clinical anxiety and depression symptoms?. *Psychophysiology*. 2021;58:e13774. <https://doi.org/10.1111/psyp.13774>



Cognition and Emotion



ISSN: (Print) (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/pcem20>

Attention orientation to pleasantness and depressive symptomatology predict autonomic reactivity

Stéphane Ranfaing, Lucas De Zorzi, Jacques Honoré, Hugo Critchley & Henrique Sequeira

To cite this article: Stéphane Ranfaing, Lucas De Zorzi, Jacques Honoré, Hugo Critchley & Henrique Sequeira (2021): Attention orientation to pleasantness and depressive symptomatology predict autonomic reactivity, *Cognition and Emotion*, DOI: [10.1080/02699931.2021.1929852](https://doi.org/10.1080/02699931.2021.1929852)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/02699931.2021.1929852>

 View supplementary material [↗](#)

 Published online: 27 May 2021.

 Submit your article to this journal [↗](#)

 Article views: 51

 View related articles [↗](#)

 View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=pcem20>



Attention orientation to pleasantness and depressive symptomatology predict autonomic reactivity

Stéphane Ranfaing^{a*}, Lucas De Zorzi^{a*}, Jacques Honoré^a, Hugo Critchley^{b,c,d} and Henrique Sequeira^a

^aUniv. Lille, CNRS, UMR 9193 - SCALab - Sciences Cognitives et Sciences Affectives, Lille, France; ^bClinical Imaging Sciences Centre, Brighton and Sussex Medical School, University of Sussex, Brighton, United Kingdom; ^cSackler Centre for Consciousness Science, University of Sussex, Brighton, United Kingdom; ^dPsychiatry, Brighton and Sussex Medical School, Brighton, United Kingdom

ABSTRACT

Depression is characterised by attentional bias to emotional information and dysregulated autonomic reactivity. Despite its relevance to understanding depressive mechanisms, the association between attentional bias and autonomic reactivity to emotional information remains poorly characterised. This study compared behavioural and autonomic responses to emotional images in 32 participants in whom subclinical depressive symptomatology was quantified using the Beck Depression Inventory. Pairs of emotional and neutral images (unpleasant-neutral, U-N; pleasant-neutral, P-N; neutral-neutral, N-N) were presented while attentional indices (eye movements) and autonomic activity (skin conductance responses, SCRs; heart rate, HR) were recorded. Results showed that all recorded ocular parameters indicated a preferential orientation and maintenance of attention to emotional images. SCRs were associated with a valence effect on fixation latency: lower fixation latency to pleasant stimuli leads to lower SCRs whereas the opposite was observed for unpleasant stimuli. Finally, stepwise linear regression analysis revealed that latency of fixation to pleasant images and scores of depression predicted SCRs of participants. Thus, our research reveals an association between autonomic reactivity and attentional bias to pleasant information, on the one hand, and depressive symptomatology on the other. Present findings therefore suggest that depressive individuals may benefit from attention training towards pleasant information in association with autonomic biofeedback procedures.

ARTICLE HISTORY

Received 29 December 2020
Revised 3 May 2021
Accepted 11 May 2021

KEYWORDS

Emotion; depression;
attention bias; eye
movements; autonomic
responses; skin conductance


Introduction

Healthy individuals mobilise privileged attentional resources toward emotional information (Vuilleumier, 2015) and express associated autonomic and behavioural responses (Damasio, 2000). However, abnormalities in the amount of attention dedicated to emotional information are implicated in the etiology and maintenance of depressive symptomatology (Gotlib & Joormann, 2010). For mood-congruent information, depressed individuals are characterised by biases at all stages of attentional processing (Ingram et al., 1998). Meta-analysis reveals that, in depression,

attentional bias toward negative information is observed for verbal and non-verbal stimuli, in both clinical and subclinical populations (Peckham et al., 2010). It is also reported that, in depression, less attention is dedicated to pleasant information (Duque & Vázquez, 2015). This may reflect an absence of the “protective bias” toward positive stimuli that is usually observed in healthy or non-dysphoric individuals (Shane & Peterson, 2007). Furthermore, attentional bias to pleasant information is found to correlate negatively with the onset of depressive symptomatology, and is associated with greater trait

CONTACT Henrique Sequeira  Henrique.Sequeira@univ-lille.fr  SCALab, Université de Lille, Cité Scientifique, SN4, 59650, France

*These authors contributed equally to this work.

 Supplemental data for this article can be accessed <https://doi.org/10.1080/02699931.2021.1929852>.

© 2021 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

resilience. Hence, attentional bias to pleasant information can be considered as an index of adaptive emotion regulation (Thoern et al., 2016). Conversely, reduced attentional bias to pleasant material increases vulnerability to stress-related psychopathology (Fox et al., 2010). In brief, individuals with depressive symptomatology show greater orientation and maintenance of attention towards unpleasant stimuli and reduced orientation towards pleasant stimuli (Gotlib & Joormann, 2010).

The dot probe task is one established approach for measuring the time course of attentional processes in depression (MacLeod et al., 1986). Here, the participant views a pair of stimuli, usually one emotional and one neutral image, which are immediately followed by a stimulus ("probe"), which appears at the location of one of two images. The participant is instructed to make a reaction time response to the probe. Emotional attentional bias to it expresses faster responses on trials when the probe is presented in the location of the emotional compared to the neutral image. This task and variations of it has become a gold standard for investigating attentional bias and its time course. However, the use of reaction times does not allow direct measurement of the attention span and has recently been criticised regarding its psychometric properties (Chapman et al., 2019). As an alternative, measures of eye movements can provide a more direct index of attentional deployment. In depressed individuals, they showed an increased attention to negative stimuli and decreased attention to positive stimulation when compared to nondepressed individuals (Armstrong & Olatunji, 2012). Eye movements can reflect both orienting (e.g. initial orientation and latency to first fixation) and maintenance (e.g. number of fixations, or total duration of fixation; Duque & Vázquez, 2015) components of attention, as well as attentional reorientation to stimuli. Indeed, unlike reaction times, eye movements allow the continuous measurement of attentional processes and can thus better characterise attention biases to emotional stimuli. A few studies in the literature have investigated the psychometric properties of eye movement indices and most of them used different stimuli, paradigm or sample characteristics (Lazarov et al., 2016; Sears et al., 2019; Skinner et al., 2018; Waechter et al., 2014). Although there are still mixed results for the early attention cues (Skinner et al., 2018), the results for indices of maintenance of attention such as total fixation time and number of fixations appear encouraging

concerning psychometrics properties (Sears et al., 2019). Consequently, some authors suggest that eye-tracking measures of attentional bias may have better overall psychometric properties as compared than traditional RT measures of attentional bias for children and adults (Chong & Meyer, 2020).

Depressive symptoms are associated with altered patterns of autonomic activity, which has been related to a disengagement from emotional information (Bylsma et al., 2008). Increases in electrodermal activity (Branković, 2008), skin temperature and respiratory frequency (Wenzler et al., 2017) and decreases in heart rate variability (HRV; Kemp et al., 2010) are reported. However, across studies of depression, there is heterogeneity in autonomic reactivity to emotive stimuli, which remains to be clarified. We propose this heterogeneity may reflect individual differences in attentional focus (De Zorzi et al., 2021). For example, depressed individuals show heightened electrodermal reactivity only for stimuli in direct attentional focus (i.e. central vision) and not for stimulation presented in peripheral vision (De Zorzi et al., 2020). More generally, attentional processes are linked to the modulation of autonomic activity. Thus, electrodermal activity, notably the amplitude of sympathetic skin conductance responses (SCRs), is related to attention-orientation behaviours and reflects focused attention to new stimuli and their salience (Boucsein, 2012). Similarly, HRV, reflecting both parasympathetic and sympathetic influences on heart rate, is also considered as an objective indicator of attentional processes. In this context, superior selective or sustained attention is associated with increased HRV, particularly in the dominant high-frequency range (HF-HRV, indexing vagal parasympathetic autonomic activity) (Suess et al., 1994). Interoceptive feedback of autonomic bodily signals also influences emotional and attentional processes (Critchley & Harrison, 2013). Altered sensitivity to bodily arousal is observed in depression (Paulus & Stein, 2010). As depressive individuals suffer from attentional disturbance when emotional information is involved, the use of a task allowing to measure attentional processes appears relevant in the study of their autonomic reactivity to emotion.

The present study aimed to characterise the association of attentional bias and autonomic reactivity to emotional information in individuals expressing different levels of depression. To this end, in an

original paradigm, we presented pairs of emotional and neutral images, at near eccentricities within left (-12°) and right ($+12^\circ$) visual fields. Eye movements were recorded to enable the tracking of attentional deployment toward one or other images, while we simultaneously measured autonomic variables (SCR and HR). Accordingly, we hypothesised that: 1) Attention will be preferentially directed to emotional images in all participants; 2) attentional bias to emotional information will be associated with autonomic reactivity (SCR and HR responses); 3) depressive symptoms will be associated with greater attention towards unpleasant stimuli and reduced orientation towards pleasant stimuli on the one hand, and with autonomic reactivity on the other hand.

Method

Participants

Thirty-four healthy unmedicated participants were recruited through an online questionnaire. All were French speakers, right-handed and had normal or corrected-to-normal vision. Individuals with a history of neurological disorders or regular and/or recent illicit drug consumption were not included. Two participants were excluded due to recording problems, giving a sample of 32 participants (24 females and 8 males; Table 1). Each participant provided an informed consent statement and received a 20 € compensation for his or her participation. This study was approved by the Ethics Committee of Université de Lille [Reference: 2019-352-S73], and conducted in accordance with the Declaration of Helsinki at Faculté de Médecine, Pôle Recherche, Université de Lille, France.

Stimuli and apparatus

The stimuli used were pairs of images of emotional or neutral scenes selected from the International Affective Pictures System (IAPS; Lang et al., 2008), which provides standardised *a priori* values for each

image on valence and arousal dimensions. One value is provided for men, and another for women. Given the recognised differences in gender-based emotional assessments (Bradley et al., 2001), we performed two image selections adapted to each gender, but resulting in equivalent valence and arousal values. Ninety-six images were selected and used to build three kinds of pairs: 16 unpleasant-neutral pairs (|UN|), 16 pleasant-neutral pairs (|PN|) and 16 neutral-neutral pairs (|NN|). In order to control the salience of the two images that made up each pair, the difference of valence and arousal between the two images constituting each pair were calculated. These within-pairs differences significantly differed between the three kinds of pairs on their *a priori* valence values (*women*: $|U - N| = 2.56$, $|P - N| = 2.47$, $|N - N| = 0.54$, $F_{1,15} = 290.196$; $p < 0.001$; *men*: $|U - N| = 2.65$, $|P - N| = 2.28$, $|N - N| = 0.40$, $F_{1,15} = 640.406$; $p < 0.001$), and on their arousal *a priori* values (*women*: $|U - N| = 2.74$, $|P - N| = 2.80$, $|N - N| = 0.50$, $F_{1,15} = 263.916$; $p < 0.001$; and *men*: $|U - N| = 2.48$, $|P - N| = 2.67$, $|N - N| = 0.54$, $F_{1,15} = 232.177$; $p < 0.001$) with higher within-pairs difference for |UN| and |PN| pairs than |NN| ones, but there were no differences between |UN| and |PN| pairs. For each pair of images, no within-pairs differences of valence or arousal was observed between the selections for men and women (all $F_s < 0.275$ and $p_s > 0.609$). For each image, the angular size ($12^\circ \times 8^\circ$), the energy across spatial frequencies (Delplanque et al., 2007) and the main physical properties were extracted (*ImageJ v1.50 software*), including the luminance and contrasts for the greyscale version and the RGB (red, green and blue) layers. No significant differences were observed between the three sets of images for both genders (all $p_s > .20$). Thus, the image pairs differed only in terms of their emotional dimensions (see table in Appendix Table S1).

Participants were seated at a fixed viewing distance of 60 cm from the projection screen (30 inches, 256×160 ppi, DELL 3007WFP HC), which was connected to a computer (DELL Optiplex 9020, Windows 7 Professional) that managed the presentation of the pairs of images. The images were displayed on a black background and each pair of images was presented pseudo-randomly, based on a Latin squares design, at near visual eccentricities (-12° , $+12^\circ$). The presentation of the 48 trials lasted approximately 15 minutes.

Table 1. Demographic and psychometric characteristics of participants.

	Sample (N = 32)		
	Mean	SD	(Min – Max)
Age	21	2	(18–24)
STAI-A	30.4	9.7	(20–58)
STAI-B	47.1	12.8	(25–71)
BDI-II	13.3	10.4	(1–41)

Recordings

Anxiety state, trait and depressive scores were measured using French language versions of the State-Trait Anxiety Inventory (STAI-A & B; Spielberger et al., 1993) and Beck Depressive Inventory (BDI-II; Beck et al., 1996) respectively.

Regarding behavioural data, the eye movements were recorded using an eye tracker (SMI RED-m Eye Tracking System) connected to the projection computer with *SMI iView RED-m 2.11* software for an acquisition at 120 Hz. The skin conductance (SC) and electrocardiogram (ECG) were recorded during two minutes of baseline, during the task and over 2-minute recovery periods, using a BIOPAC MP35 system connected to a second computer (running *BIOPAC Student Pro 3.7* software) for an acquisition at 200 Hz. SC was recorded using bipolar Ag/AgCl surface electrodes (BIOPAC EL507) pre-gelled with an isotonic electrolyte (0.05 molar NaCl) and attached to the palmar side of the middle phalanges of the index and middle fingers of the participant's non-dominant hand. SC was measured with a gain of 5 $\mu\text{S}/\text{V}$ and a 10 Hz low-pass filter. The ECG was recorded using a DI modified bypass placing the Ag/AgCl pre-gelled (BIOPAC EL503, 7% NaCl) surface electrodes on the participant's left and right wrists and with a band-pass filter set between 0.5 and 66.5 Hz. At the end of the experiment, the participant was required to review each of the images and to rate them individually for valence and arousal values using two nine-point SAM scales (Self-Assessment Manikin; Bradley & Lang, 1994), ranging from 1, very unpleasant, to 9, very pleasant, and from 1, very calm, to 9, very arousing. Ratings were recorded with *OpenSesame* (Mathôt et al., 2012).

Procedure

The experimental procedure was divided into three steps. First, the SCR and ECG electrodes were attached and the participant was acclimatised to the experimental environment. The participant completed a psychometric measure of anxiety state (State Anxiety Inventory, STAI-A; Spielberger et al., 1993), then the task was again explained orally in full.

Next, autonomic responses were recorded over a task-free 2-minute baseline period. This period was then followed by the main task, with recording of

behavioural (eye-tracking) and autonomic responses together. The participant saw 48 pairs of images; 16 pairs of unpleasant-neutral |UN| images, 16 pairs of pleasant-neutral |PN| images and 16 pairs of neutral-neutral |NN| images presented in a pseudo-random order. Each trial had the following sequence: First, a central fixation cross was projected for a duration of 0.5 s then this was replaced by the probe; a digit number (between 1 and 9) replacing the fixing cross for 1 s. The participant was instructed to say this number as quickly as possible. As shown by Duque and Vázquez (2015), this procedure ensured that the participant watched the centre of the screen before the presentation of the stimuli. The procedure also helped maintain the participants' attention during the experimental phase. Following the presentation of the number, a pair of images was presented simultaneously, at -12° and $+12^\circ$ on the projection screen for 3.5 s, followed by a black screen for a random duration between 9 to 13 s. Participants were invited to view the images naturally without any further requirements. The inter-stimulus interval (ISI) varied from 10.5 to 14.5 s; an ideal interval to avoid habituation inherent to autonomic responses, particularly electrodermal activity. After the task, we recorded autonomic activity during a 2-minute recovery period.

Finally, to validate our selection of images, the participant was asked to rate the valence and arousal dimensions using the two 9-point SAM scales. These subjective ratings correspond to *a posteriori* values of images.

Data and Statistical analyses

All trials containing eye movements before the onset of the image were rejected to exclude trials for which gaze is already directed to a image's side. Across all participants and conditions, 5.14% of the trials were rejected.

Eye movements

Attentional deployment was assessed based on eye movements (*OpenGazeAndMouseAnalyzer*; Voßkühler et al., 2008). For initial fixation, the percentage of first fixation for each type of image (unpleasant, pleasant and neutral) in pairs (|UN| and |PN|) was calculated for each participant. In addition, total fixation duration, number and latency of fixations were recorded.

Conductance and cardiac activities

SC and ECG variations initially sampled at 200 Hz, were down-sampled at 10 Hz using *LabChart7*. For the SC variations to the presentation of pairs of images, phasic waveforms were derived from the tonic signals with an offline 0.05 Hz high-pass filter using *AcqKnowledge 4.1* software. SCRs were analysed by computing the integrals of SC amplitude variations over time for each condition and participant. One participant with no SCR was excluded from the analysis. For the ECG, the instantaneous heart rate in beats per minute (BPM) was calculated from the R wave intervals and smoothed using the triangular Bartlett window with a 1 s width using *LabChart7*. SC variations in response to stimulation were obtained by subtracting the average over a 3 s pre-stimulus period from the 10 s post-stimulus period data. For each condition and participant, after the baseline correction (-3 to 0 s), we averaged the epochs (-3 to 10 s), time-locked to the stimulus onset. Finally, we analysed the heart rate variability (HRV) during the 2 minutes of baseline and recovery periods. HRV quantification was computed with an in-house customised program *MATLAB* program referring to HRV guidelines (Berntson et al., 1997). The R-R intervals were detrended with a smoothness-prior method in order to remove the slow (< 0.04 Hz) non-stationary trends from the HRV signal. For the frequency domain method, a power spectrum density analysis was performed for the RR interval series using fast Fourier transform method with the low frequency (LF) band set at 0.04-0.15 Hz and a high frequency (HF) band set at 0.15-0.4 Hz. The LF/HF ratio was also computed. For the time domain method, we computed the mean heart rate (HR), the standard deviation of HR (namely the variability of the HR) as well as the root mean square of successive RR intervals differences (RMSSD).

Statistical analyses

Regarding emotion and in accordance with its dimensional theory (Lang et al., 1993), we tested for two emotional effects: 1) A valence effect (Unpleasant vs. Pleasant), being modelled by a first degree polynomial contrast (*Linear Contrast*, $LC = |PN| - |UN|$); and 2) an arousal effect (Emotion vs. Neutral) being modelled by a second degree polynomial contrast (*Quadratic Contrast*, $QC = (|UN| + |PN|) / 2 - |NN|$). These contrasts were assessed with a repeated measure analysis of variance (ANOVA), applied to

the individual subjective image assessments, eye movements, electrodermal and cardiac measurements with emotion (type of pairs: | UN |, | NN |, | PN |) as intra-subject factors.

The analysis of the factors associated with the autonomic variables was performed by calculating the Pearson correlation coefficient given linear relationships were expected between variables and after inspection of scatterplots. Partial correlations were then assessed controlling for age and gender. The search for predictors of autonomic variables was performed with stepwise linear regression analyses. The multivariate model includes variables for which associations were observed between ocular and autonomic parameters. Thus, the model was constructed by including variables associated with SCRs, but also including covariates such as the age of participants, and their state and trait anxiety (STAI-A and STAI-B scores), regardless of their degree of significance in the univariate analyses. The model selection was based on considerations of the corrected Akaike information criterion (AICc). The validity of the multivariate model was established by a study of the residuals.

Results

Concerning psychometry, STAI-B (trait anxiety) scores correlated with BDI (depression) ($r_{33} = 0.810$; $p < 0.001$) and STAI-A (state anxiety) scores ($r_{33} = 0.631$; $p < 0.001$). BDI scores correlated with STAI-A scores ($r_{33} = 0.651$; $p < 0.001$).

Eye movements and emotional arousal

Analysis of the contrasts revealed an emotional arousal effect on the initial fixation (QC: $F_{(1,31)} = 7.144$; $p = 0.012$ $\eta^2 = 0.187$), first fixation latency (QC: $F_{(1,31)} = 75.624$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.709$), fixation duration (QC: $F_{(1,31)} = 107.966$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.777$) and number of fixation (QC: $F_{(1,31)} = 125.181$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.802$; Figure 1). However, no differences were observed between unpleasant and pleasant for these parameters (initial fixation: LC: $F_{(1,31)} = 2.827$; $p = 0.103$ $\eta^2 = 0.084$; first fixation latency : LC: $F_{(1,31)} = 0.040$; $p = 0.843$; $\eta^2 = 0.001$; fixation duration : LC: $F_{(1,31)} = 0.92$; $p = 0.764$; $\eta^2 = 0.003$; number of fixation : LC: $F_{(1,31)} = 0.049$; $p = 0.826$ $\eta^2 = 0.002$). In sum, eye movements were initially oriented and engaged by emotional images.

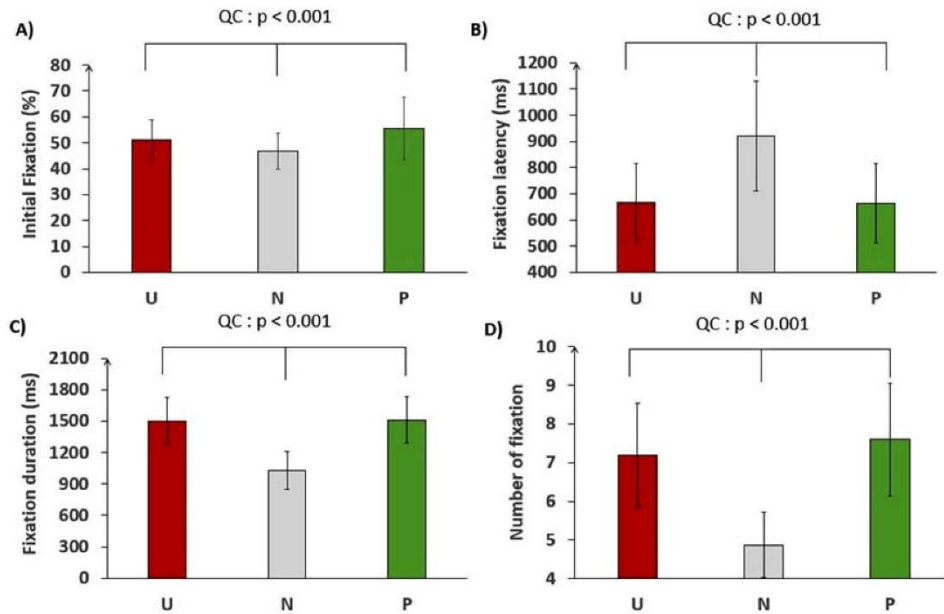


Figure 1. Initial fixation and fixation latency (A-B) and total fixation duration and number of fixations (C-D) to image emotion in |UN| and |PN| pairs. U: Unpleasant; N: Neutral; P: Pleasant; QC: Quadratic contrast.

Psychometry, Eye Movements and Autonomic activity

Mean SCRs to pairs of images correlated with depression ($r_{32} = 0.475$; $p = 0.005$). Thus, higher SCRs to images were associated with higher depression scores even when age or sex were controlled (respectively $r_{30} = 0.476$; $p = 0.006$ and $r_{30} = 0.495$; $p = 0.004$). HF-HRV at baseline correlated with the duration of fixation on pleasant images. Thus, higher HF-HRV at baseline was associated with a longer duration of fixation on pleasant images during the task ($r_{31} = 0.374$; $p = 0.035$). This association was still observed when age was controlled ($r_{29} = 0.375$; $p = 0.037$) and was still marginally significant when controlled for sex ($r_{29} = 0.320$; $p = 0.079$). During the task, a correlation was observed between ocular parameters and autonomic reactivity: the difference of fixation latency between pleasant and unpleasant images (valence effect) correlated with mean SCRs ($r_{30} = -0.381$; $p = 0.034$) even when age or sex were controlled (respectively $r_{28} = -0.380$; $p = 0.038$ and $r_{28} = -0.438$; $p = 0.015$). No other associations were found between ocular and autonomic variables ($r_s >$

0.281 ; $p_s > 0.120$) nor between ocular variables and depression or anxiety ($r_s < 0.249$; $p_s > 0.170$).

Depression, Eye Movements and Autonomic reactivity

As SCRs correlated with depression scores and with the valence effect on the fixation latency, the stepwise linear regression model was performed by including depression (BDI scores) and the latency of fixing pleasant and unpleasant images, the age of participants, and their state and trait anxiety (STAI-A and STAI-B scores).

On the basis of the corrected Akaike information criterion (AICc), the selected model for predicting SCRs was found to explain 21% of the variance in the integral of SCR ($F_{3,29} = 3.60$, $p = 0.027$) and include the depression scores (BDI), the latency to fix pleasant images and the trait-anxiety scores (STAI-B) as predictors. The measures found did not point to the existence of significant collinearity between the predictors, minimal tolerance = 0.429 and maximal variance inflation factor (VIF) = 2.33 (Figure 2).

A1)

Predictors	Slope	β	t	Sig.	VIF
STAI-B	-0.842	-0.484	-1.922	0.066	2.329
BDI	1.302	0.559	2.220	0.035	2.332
Latency to fix pleasant	0.050	0.384	2.325	0.028	1.003

One participant was excluded (N = 30) due to a Cook's distance value greater than 0.2.

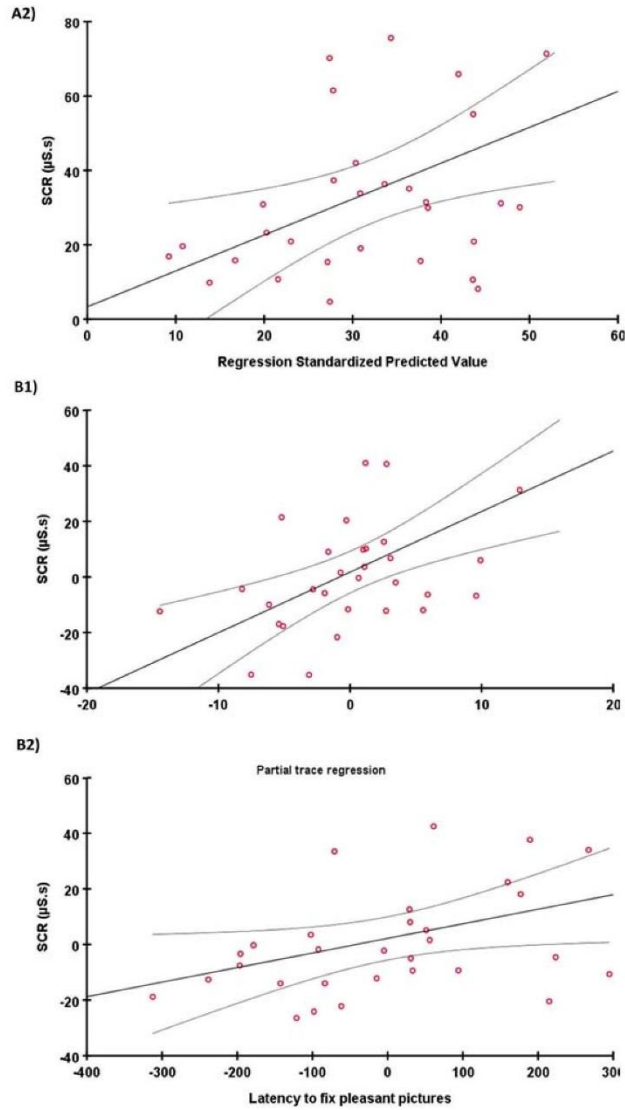


Figure 2. Multiple linear regression model to predict SCRs. VIF: maximal variance inflation factor, index allowing to verify the premise of multicollinearity (A1) and representation of the model (A2) B. Partial trace regression with intervals of confidence for BDI scores (B1) and for latency of fixation to pleasant images (B2).

In the model, depression scores ($t = 2.22, p = 0.035$) and the latency to fix pleasant images ($t = 2.33, p = 0.028$) significantly contributed to a better prediction of the SCRs while the trait-anxiety scores ($t = -1.92, p = 0.066$) did not significantly contribute to the predictive power of the model. Hence, greater SCRs were associated with higher depression, with a coefficient of 1.30, and higher latency to fix pleasant images, with a coefficient of 0.05. Interestingly, contrary to what has been observed for depression scores and the latency to fix pleasant images, the coefficient describing the direction of the relation between STAI-B scores and SCRs was negative.

In sum, the best model to predict SCRs integrate latency of fixation to pleasant images, depression and anxious scores such higher depression level and lower orientation to pleasant stimuli were expected to predict higher SCRs, after controlling for the other variables.

Discussion

The aim of this study was to investigate potential links between attentional bias and autonomic reactivity to emotional information and the implication of depressive symptomatology on these potential associations. Firstly, all recorded parameters of ocular behaviour indicated a preferential orientation of attention to emotional images. Secondly, higher orientation and maintenance of attention towards pleasant images were associated with lower values of autonomic arousal during baseline (HRV) and during the task (SC). Thirdly, the best model to predict SCRs of participants includes latency of fixation to pleasant images, and scores of depression and anxiety.

The first result, showing a preferential orientation and maintenance of attention toward emotional contents, reflected by the initial fixation and the shorter latency to fixate upon emotional images, extends data from previous eye-tracking studies demonstrating that emotional stimuli benefit from enhanced perceptual processing, with more fixations, especially during the first saccades (Niu et al., 2012). In terms of unpleasant and pleasant value of images, no attentional preference was observed for one over the other, suggesting that attentional bias depends only on the arousal dimension of emotion.

Depressive symptomatology was not correlated with any ocular parameter which is consistent with few studies that failed to report bias for emotion in

people with depression or dysphoria (Elgersma et al., 2018; Koster et al., 2006). Moreover, data from the literature report an attentional bias in depression towards “mood-congruent” or “dysphoric” information, using discrete emotional stimuli, and mainly for attention maintenance indicators (Armstrong & Olatunji, 2012). The present study did not use mood-congruent stimuli but natural scene based on dimensional theory of emotion, which could explain that such correlation was not observed. Besides, in the present study, the images’ selection was carried out in order to ensure homogenised arousal differences between the two images constituting the pairs. Thereby, attention may have been captured by the emotional image regardless of symptomatology for all participants.

The second result supports specific links between attentional bias to pleasant information and the expression of autonomic arousal both at baseline and during the task. During the baseline, greater HF-HRV was associated with longer fixation on pleasant images. Hence, higher parasympathetic influence, and thus increased HF-HRV, appears linked to maintenance of attention toward pleasant information. The polyvagal theory (Porges, 2007) proposes that baseline cardiac measures of parasympathetic activity can index the capacity to adapt to the environment. More precisely, parasympathetic HRV activity at rest and reactivity are associated with adaptive expression of emotion and self-regulatory skills. Therefore, our observed association between baseline autonomic activity and preferential attention to pleasant information reveals a positive impact of a more parasympathetic psychophysiological state on an upcoming emotional task in the domain of emotional regulation (Beauchaine, 2001). Individuals with higher parasympathetic activation at baseline may be better able to employ the best strategies to respond to stressful emotional challenges by focusing on pleasant information. The present results also reinforce the neuro-visceral integration model (Thayer & Lane, 2000), which postulates that cardiac activity, through HRV, is informative about the integrity of brain networks supporting interaction between emotion and cognition. However, this association became marginally significant when sex is controlled. Indeed, sex differences on HRV have been reported with higher HRV in women characterised by a relative dominance of vagal activity (Koenig & Thayer, 2016). Due to the sample size, it seems difficult to conclude on sex differences for HRV and it is therefore advisable to

remain cautious about this result. Additional data on the association between attentional and autonomic measurement in relation to sex are necessary and may point out different associations for these parameters for men and women.

During the task, a valence effect on the fixation latency was associated with autonomic reactivity. Individuals who fixated upon pleasant stimuli more quickly showed lower SC to the pairs of images whereas the reverse was observed for fixation on unpleasant stimuli. This positivity bias, described in the attentional literature (Troller-Renfree et al., 2017) bears witness to a regulatory interaction between the capture of information and autonomic adaptation.

The third result showed that the best model to predict SCRs integrate latency of fixation to pleasant information with depression and trait-anxiety scores. At psychometric level, higher depression predicted greater SCRs in response to pair of images while trait anxiety did not significantly contribute to the prediction of SCRs. At attentional level, measured by images' fixation latency, a lower attentional orientation towards the pleasant images was associated with greater SCRs. This association between pleasant orientation and autonomic reactivity is particularly interesting since depressed individuals appear to lack positive attentional bias (Duque & Vázquez, 2015) and are characterised by autonomic dysfunctions sometimes reported as increased autonomic activity (Branković, 2008; Wenzler et al., 2017). Consequently, attempts to reinforce such bias could help to attenuate autonomic activation and potentially serve as a protective homeostatic adaptation or a coping strategy. In the same vein, similar autonomic hyperactivity to emotional challenges has already been reported, and interpreted as the expression of a coping strategy engaged to improve performance of a behavioural task (Naveteur et al., 2005). In this context, an intervention to attenuate autonomic reactivity could increase capacity to orient attention towards pleasant information which may be beneficial especially for depressed individuals. Therefore, these results suggest that the pleasantness bias could constitute a cognitive marker of behavioural and autonomic adaptations to emotion.

Finally, this study has several methodological strengths. First, we carefully considered influences of physical saliency of images on visual search and attention (Lucas & Vuilleumier, 2008) and gender differences in emotional assessment and reactivity (Bradley et al., 2001). Thus, we carried out a rigorous

selection of stimuli for each type of pair of images (see Appendix 1; Table S1). Second, this study was enriched by taking into account both facets of the autonomic nervous system, sympathetic and parasympathetic, which potentially have distinct contributions to attentional and emotional processes. Third, the integration of behavioural and autonomic parameters, encompassing their reciprocal influences, allowed us to clarify the relationship between attentional bias and autonomic reactivity and the relation with depressive symptomatology. The study also had some limitations, notably the sex-ratio of participants. Indeed, even if images selection was homogenised between women and men, sex of participants seems to influence some of the association observed (e.g. HRV) and the sample size for men do not allow to examine potential sex differences properly on these associations. Therefore, additional researches are needed to determine potential implication of this variable on interaction between attention and autonomic expression. Moreover, the choice of a non-clinical population constrains the scope of our results to moderate levels of depression. Indeed, participants are not clinically depressed in our sample. Nonetheless, even when considering lower depression levels, prominent effects were observed. Moreover, findings remain relevant since attentional bias is considered to be implicated in the development of clinical depression (Gotlib & Joormann, 2010).

In conclusion, our characterisation of the association between attentional processes and specific patterns of autonomic reactivity extends a growing literature, and points in the direction of reciprocal influences of both systems that can lead to the personalisation of clinical remediation and rehabilitation procedures, including attentional training and/or biofeedback therapies. Furthermore, the data obtained in this work argue in favour of evidence-based interventions using attentional training towards pleasant information. Consequently, considering the lack of orientation to pleasant information and autonomic dysfunction in depression, two strategies can emerge from these results. On the one hand, in depressed individuals who lack strong attentional bias toward pleasantness, attentional training towards emotionally positive information may be beneficial in reducing autonomic hyperarousal and reactivity to emotional information. On the other hand, in depressed individuals who show autonomic hyperarousal, biofeedback procedures based on HRV may be therapeutically beneficial, in part by fostering

enhanced attentional bias toward pleasant information. Finally, our research supports an approach integrating both cognition and physiology to better understand their interdependence in healthy and pathological expressions of emotion.

Acknowledgements

We would like to acknowledge the organisations which support this project: CNRS, Pôle Recherche de la Faculté de Médecine and Université de Lille. We are also grateful to Clinical Imaging Sciences Centre, Brighton and Sussex Medical School, University of Sussex (UK) for stay facilities to S. Ranfaing.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

Funding

The present study received no specific grant from any funding agency, commercial or not-for-profit sectors and was supported by the annual financial support of University of Lille and CNRS to the DEEP Team of SCA Lab UMR 9193 (HS and LDZ), the Ministère de la Recherche, France (SR), the CNRS, the Ministère de la Recherche and the University of Lille, France (HS and JH). The funders had no role in the study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

References

- Armstrong, T., & Olatunji, B. O. (2012). Eye tracking of attention in the affective disorders: A meta-analytic review and synthesis. *Clinical Psychology Review, 32*(8), 704–723. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2012.09.004>
- Beauchaine, T. (2001). Vagal tone, development, and gray's motivational theory: Toward an integrated model of autonomic nervous system functioning in psychopathology. *Development and Psychopathology, 13*(2), 183–214. <https://doi.org/10.1017/S0954579401002012>
- Beck, A. T., Steer, R. A., Ball, R., & Ranieri, W. (1996). Comparison of Beck depression inventories -IA and -II in psychiatric outpatients. *Journal of Personality Assessment, 67*(3), 588–597. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa6703_13
- Berntson, G. G., Bigger, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., Nagaraja, H. N., Porges, S. W., Saul, J. P., Stone, P. H., & van der Molen, M. W. (1997). Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology, 34*(6), 623–648. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x>
- Boucsein, W. (2012). Principles of electrodermal phenomena. In *Electrodermal activity* (pp. 1–86). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1126-0_1
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation I: Defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion, 1*(3), 276–298. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.1.3.276>
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 25*(1), 49–59. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)
- Branković, S. B. (2008). System identification of skin conductance response in depression—an attempt to probe the neurochemistry of limbic system. *Psychiatria Danubina, 20*(3), 310–322.
- Bylsma, L. M., Morris, B. H., & Rottenberg, J. (2008). A meta-analysis of emotional reactivity in major depressive disorder. *Clinical Psychology Review, 28*(4), 676–691. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2007.10.001>
- Chapman, A., Devue, C., & Grimshaw, G. M. (2019). Fleeting reliability in the dot-probe task. *Psychological Research, 83*(2), 308–320. <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0947-6>
- Chong, L. J., & Meyer, A. (2020). Psychometric properties of threat-related attentional bias in young children using eye-tracking. *Developmental Psychobiology*. <https://doi.org/10.1002/dev.22053>
- Critchley, H. D., & Harrison, N. A. (2013). Visceral influences on brain and behavior. *Neuron, 77*(4), 624–638. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.02.008>
- Damasio, A. R. (2000). A second chance for emotion. In R. D. R. Lane, L. Nadel, G. L. Ahern, J. Allen, & A. W. Kaszniak (Eds.), *Cognitive neuroscience of emotion* (pp. 12–23). Oxford University Press.
- Delplanque, S., N'diaye, K., Scherer, K., & Grandjean, D. (2007). Spatial frequencies or emotional effects? A systematic measure of spatial frequencies for IAPS pictures by a discrete wavelet analysis. *Journal of Neuroscience Methods, 165*(1), 144–150. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.05.030>
- De Zorzi, L., Ranfaing, S., Honoré, J., & Sequeira, H. (2021). Autonomic reactivity to emotion: A marker of sub-clinical anxiety and depression symptoms? *Psychophysiology, 58*(4), e13774. <https://doi.org/10.1111/psyp.13774>
- De Zorzi, L., Robin, M.-S., Honoré, J., Bubrowsky, M., Vaiva, G., & Sequeira, H. (2020). Depression restricts visual capture and promotes the perception of negative information. *Biological Psychology, 154*, Article 107923. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2020.107923>
- Duque, A., & Vázquez, C. (2015). Double attention bias for positive and negative emotional faces in clinical depression: Evidence from an eye-tracking study. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 46*, 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2014.09.005>
- Elgersma, H. J., Koster, E. H. W., Tuijl, L. A. v., Hoekzema, A., Penninx, B. W. J. H., Bockting, C. L. H., & Jong, P. J. d. (2018). Attentional bias for negative, positive, and threat words in current and remitted depression. *PLOS ONE, 13*(10), e0205154. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205154>
- Fox, E., Cahill, S., & Zougkou, K. (2010). Preconscious processing biases predict emotional reactivity to stress. *Biological Psychiatry, 67*(4), 371–377. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.11.018>
- Gotlib, I. H., & Joormann, J. (2010). Cognition and depression: Current status and future directions. *Annual Review of Clinical Psychology, 6*(1), 285–312. <https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.121208.131305>
- Ingram, R. E., Miranda, J., & Segal, Z. V. (1998). *Cognitive vulnerability to depression* (p. xiii, 330). Guilford Press.

- Kemp, A. H., Quintana, D. S., Gray, M. A., Felmingham, K. L., Brown, K., & Gatt, J. M. (2010). Impact of depression and antidepressant treatment on heart rate variability: A review and meta-analysis. *Biological Psychiatry*, *67*(11), 1067–1074. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2009.12.012>
- Koenig, J., & Thayer, J. F. (2016). Sex differences in healthy human heart rate variability: A meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *64*, 288–310. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.03.007>
- Koster, E. H. W., Leyman, L., Raedt, R. D., & Crombez, G. (2006). Cueing of visual attention by emotional facial expressions: The influence of individual differences in anxiety and depression. *Personality and Individual Differences*, *41*(2), 329–339. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2005.12.022>
- Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M., & Hamm, A. O. (1993). Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, *30*(3), 261–273
- Lang, P., Bradley, M., & Cuthbert, B. (2008). International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. <http://csea.phhp.ufl.edu/Media.html>
- Lazarov, A., Abend, R., & Bar-Haim, Y. (2016). Social anxiety is related to increased dwell time on socially threatening faces. *Journal of Affective Disorders*, *193*, 282–288. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.01.007>
- Lucas, N., & Vuilleumier, P. (2008). Effects of emotional and non-emotional cues on visual search in neglect patients: Evidence for distinct sources of attentional guidance. *Neuropsychologia*, *46*(5), 1401–1414. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.12.027>
- MacLeod, C., Mathews, A., & Tata, P. (1986). Attentional bias in emotional disorders. *Journal of Abnormal Psychology*, *95*(1), 15–20. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.95.1.15>
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). Opensesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, *44*(2), 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- Naveteur, J., Buisine, S., & Gruzelier, J. H. (2005). The influence of anxiety on electrodermal responses to distractors. *International Journal of Psychophysiology*, *56*(3), 261–269. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2004.12.006>
- Niu, Y., Todd, R. M., Kyan, M., & Anderson, A. K. (2012). Visual and emotional salience influence eye movements. *ACM Transactions on Applied Perception*, *9*(3), 1–18. <https://doi.org/10.1145/2325722.2325726>
- Paulus, M. P., & Stein, M. B. (2010). Interoception in anxiety and depression. *Brain Structure & Function*, *214*(5–6), 451–463. <https://doi.org/10.1007/s00429-010-0258-9>
- Peckham, A. D., McHugh, R. K., & Otto, M. W. (2010). A meta-analysis of the magnitude of biased attention in depression. *Depression and Anxiety*, *27*(12), 1135–1142. <https://doi.org/10.1002/da.20755>
- Porges, S. W. (2007). The polyvagal perspective. *Biological Psychology*, *74*(2), 116–143. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.06.009>
- Sears, C., Quigley, L., Fernandez, A., Newman, K., & Dobson, K. (2019). The reliability of attentional biases for emotional images measured using a free-viewing eye-tracking paradigm. *Behavior Research Methods*, *51*(6), 2748–2760. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1147-z>
- Shane, M. S., & Peterson, J. B. (2007). An evaluation of early and late stage attentional processing of positive and negative information in dysphoria. *Cognition and Emotion*, *21*(4), 789–815. <https://doi.org/10.1080/02699930600843197>
- Skinner, I. W., Hübscher, M., Moseley, G. L., Lee, H., Wand, B. M., Traeger, A. C., Gustin, S. M., & McAuley, J. H. (2018). The reliability of eyetracking to assess attentional bias to threatening words in healthy individuals. *Behavior Research Methods*, *50*(5), 1778–1792. <https://doi.org/10.3758/s13428-017-0946-y>
- Spielberger, C. D., Bruchon-Schweitzer, M., & Paulhan, I. (1993). STAI-Y: Inventaire d'anxiété état-trait forme Y. Éditions du centre de psychologie appliquée, DL 1993.
- Suess, P. E., Porges, S. W., & Plude, D. J. (1994). Cardiac vagal tone and sustained attention in school-age children. *Psychophysiology*, *31*(1), 17–22. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1994.tb01020.x>
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, *61*(3), 201–216. [https://doi.org/10.1016/S0165-0327\(00\)00338-4](https://doi.org/10.1016/S0165-0327(00)00338-4)
- Thoern, H. A., Grueschow, M., Ehlert, U., Ruff, C. C., & Kleim, B. (2016). Attentional bias towards positive emotion predicts stress resilience. *PLOS ONE*, *11*(3), e0148368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148368>
- Troller-Renfree, S., McLaughlin, K. A., Sheridan, M. A., Nelson, C. A., Zeanah, C. H., & Fox, N. A. (2017). The beneficial effects of a positive attention bias amongst children with a history of psychosocial deprivation. *Biological Psychology*, *122*, 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.04.008>
- Voßkübler, A., Nordmeier, V., Kuchinke, L., & Jacobs, A. M. (2008). OGAMA (Open Gaze and Mouse analyzer): Open-source software designed to analyze eye and mouse movements in slideshow study designs. *Behavior Research Methods*, *40*(4), 1150–1162. <https://doi.org/10.3758/BRM.40.4.1150>
- Vuilleumier, P. (2015). Affective and motivational control of vision. *Current Opinion in Neurology*, *28*(1), 29–35. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000159>
- Waechter, S., Nelson, A. L., Wright, C., Hyatt, A., & Oakman, J. (2014). Measuring attentional bias to threat: reliability of Dot probe and Eye movement indices. *Cognitive Therapy and Research*, *38*(3), 313–333. <https://doi.org/10.1007/s10608-013-9588-2>
- Wenzler, S., Hagen, M., Tarvainen, M. P., Hilke, M., Ghirmai, N., Huthmacher, A.-C., Trettin, M., van Dick, R., Reif, A., & Oertel-Knöchel, V. (2017). Intensified emotion perception in depression: differences in physiological arousal and subjective perceptions. *Psychiatry Research*, *253*, 303–310. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.03.040>

Résumé

L'anxiété et la dépression sont caractérisées par un déploiement altéré des ressources attentionnelles, notamment vers l'information visuelle émotionnelle. Aussi, ces symptomatologies manifestent des variations neurovégétatives atypiques en réponse à des stimulations émotionnelles. Nous avons donc cherché à établir des liens entre le déploiement de l'attention et la réactivité neurovégétative à l'émotion afin de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans l'anxiété et la dépression. En conséquence, notre programmation expérimentale a mis en œuvre une approche intégrée afin d'étudier le déploiement de l'attention vers des scènes émotionnelles. Celles-ci étaient présentées en vision centrale (VC) et en vision périphérique (VP) ou lors de paradigmes de visualisation de paires d'images émotionnelles, chez des individus manifestant des niveaux pré-cliniques d'anxiété et de dépression. Nous avons ensuite évalué les répercussions attentionnelles et neurovégétatives d'une procédure de modification de déploiement de l'attention.

Dans un premier temps, nous montrons que l'anxiété est associée à une hyperréactivité à l'émotion et à une hypervigilance en VP. De plus, l'anxiété mène à un biais de réponse accru pour les informations déplaisantes en VP. Aussi, la dépression est associée à une atténuation de la réactivité aux informations émotionnelles et plus particulièrement aux informations plaisantes. Une focalisation en vision centrale, lors de la présentation d'images émotionnelles, est aussi observée en lien avec les niveaux de dépression. *Dans un second temps*, nous avons pu établir que la réactivité neurovégétative à l'émotion peut être modulée par le déploiement de l'attention vers l'émotion et la symptomatologie dépressive. En effet, nous observons une association entre la réactivité neurovégétative et le biais attentionnel à l'information plaisante d'une part, et à la symptomatologie dépressive d'autre part. *Enfin*, une modulation de la réactivité neurovégétative a été observée suite à l'utilisation d'une procédure de modification de déploiement de l'attention. Une telle modification se caractérise par une réduction de l'activité sympathique et une augmentation de l'activité parasympathique en réponse aux stimulations émotionnelles.

L'ensemble des résultats présentés apporte des arguments expérimentaux en faveur de la mesure conjointe des processus attentionnel et neurovégétatif afin de mieux préciser la distinction entre la symptomatologie anxieuse et dépressive. Les résultats montrent aussi l'apport des modifications de déploiement attentionnel envers les informations émotionnelles dans l'espace visuel. En effet, leur impact peut s'avérer pertinent pour agir à la fois sur le volet attentionnel et neurovégétatif chez des individus aux prises avec des manifestations pré-cliniques d'anxiété et de dépression. Nos résultats ouvrent ainsi des perspectives

encourageantes sur la personnalisation des techniques comportementales utilisées dans l'anxiété et la dépression, dans le cadre du déploiement de l'attention dans l'espace visuel.

Abstract

Anxiety and depression are characterized by an altered deployment of attentional resources particularly to visual emotional information. Also, these symptomatologies manifest atypical autonomic variations in response to emotional stimuli. We therefore sought to establish links between the deployment of attention and autonomic reactivity to emotion in order to better understand the mechanisms implicated in anxiety and depression. As a result, our experimental programming implemented an integrated approach to study the deployment of attention to emotional scenes. These were presented in central vision (CV) and peripheral vision (PV) or during paradigms allowing the visualization of emotional image pairs, by individuals with pre-clinical levels of anxiety and depression. We then evaluated the attentional and autonomic consequences of a modified attention deployment procedure.

Firstly, we show that anxiety is associated with hyperreactivity to emotion and hypervigilance in PV. Additionally, anxiety leads to an increased response bias for unpleasant information in PV. Also, depression is associated with reduced responsiveness to emotional information and more particularly to pleasant information. Following levels of depression, a related focalization to emotional images was observed when presented in the central vision. *Secondly*, we were able to establish that the autonomic reactivity to emotion can be modulated by the deployment of attention towards emotion and by depressive symptomatology. Indeed, we observe an association between autonomic reactivity and attentional bias to pleasant information on the one hand, and to depressive symptomatology on the other. *Finally*, a modulation of autonomic reactivity was observed following the use of an attention modification procedure. This modification is characterized by a reduced sympathetic activity and an increased parasympathetic activity in response to emotional stimulation.

Overall, presented results provide experimental arguments in favor of concomitant measurements of attentional and autonomic processes in order to better define the distinction between anxious and depressive symptoms. The results also show the contribution of changes in attentional deployment towards emotional information in the visual space. Indeed, their impact may be relevant for acting on both attentional and autonomic aspects in individuals with pre-clinical manifestations of anxiety and depression. Our results thus open up encouraging perspectives on the personalization of behavioral techniques used in anxiety and depression, particularly in the context of attentional deployment in visual space.