



HAL
open science

Impact de la colère sur le traitement de l'information et la performance de conduite sur simulateur

Franck Techer

► **To cite this version:**

Franck Techer. Impact de la colère sur le traitement de l'information et la performance de conduite sur simulateur. Psychologie et comportements. Université de Nantes, 2016. Français. NNT: . tel-01455218v1

HAL Id: tel-01455218

<https://hal.science/tel-01455218v1>

Submitted on 3 Feb 2017 (v1), last revised 7 Feb 2017 (v2)

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

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



Thèse de Doctorat

Franck TECHER

*Mémoire présenté en vue de l'obtention du
grade de Docteur de l'Université de Nantes
sous le sceau de l'Université Bretagne Loire*

École doctorale : CEI *Cognition, Education, Interactions*

Discipline : *Psychologie*

Unité de recherche : *Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire*

Thèse financée par l'IFSTTAR

Conduite au sein du laboratoire LESCOT

Département TS2

Soutenue le 03 Novembre 2016

Impact de la colère sur l'attention, le traitement de l'information et les performances en conduite simulée

JURY

Rapporteurs : **Serge BOVERIE, HDR, Continental France**

Céline LEMERCIER, Professeur, Université de Toulouse 2 Le Mirail

Examineurs : **Alexandra FORT, Chargée de Recherche, IFSTTAR (co-encadrant)**

Anne GUILLAUME, Directrice de laboratoire, Laboratoire d'Accidentologie et de Biomécanique

Christophe JALLAIS, Chargé de Recherche, IFSTTAR (co-encadrant)

Emmanuel LAGARDE, Directeur de Recherche, INSERM

George MICHAEL, Professeur, Université Lumière Lyon 2

Directeur de thèse : **Yves CORSON, Professeur, Université de Nantes**

Remerciements

J'aimerais remercier mon directeur, Yves, pour son soutien et ses conseils avisés tout au long de cette thèse. Tout particulièrement, merci à lui pour sa réactivité hors du commun qui m'a permis à plusieurs reprises de gagner un temps précieux.

Merci à Serge Boverie et Céline Lemercier qui ont accepté d'être les rapporteurs de cette thèse, mais aussi à Anne Guillaume, Emmanuel Lagarde et George Michael pour leur implication en tant qu'examineurs.

Evidemment, j'adresse un remerciement du fond du cœur à tout le LESCOT. Merci aux chercheurs pour leur soutien exceptionnel. Merci également à toutes les personnes, dont certaines ne font pas (ou plus) partie du LESCOT, qui ont contribué au bon déroulement de mes expérimentations. Particulièrement, merci à Daniel N., Philippe, Bruno, Odette, Myriam, Bertrand, Daniel L. et Fabien qui m'ont accompagné dans la conception et l'analyse des données des trois études qui composent ma thèse.

En ce qui concerne ma vie de doctorant, j'aimerais dire un grand merci aux amis doctorants du labo que j'ai pu avoir à mes côtés pour me soutenir et avec qui j'ai partagé cette tranche de vie. Je pense bien sûr à Caroline, la première que j'ai rencontré, mais aussi à Marion, Nicolas, Alex et Guillaume. J'ai souvent puisé en vous la motivation qu'il me manquait pour continuer à travailler. J'adresse également un grand merci à tous les amis hors IFSTTAR qui m'ont apporté beaucoup durant ces trois années. Merci à tous mes amis de Montpellier, de la Réunion et merci à ma famille également pour leur soutien même si au fond, vous ne comprenez pas toujours ce que je fais comme travail.

Merci à ma femme, Julie. Ton soutien tout au long de ces trois années a été sans faille. Malgré les moments de tension et de perte de confiance, tu étais à mes côtés pour m'aider à me dépasser et aller au bout de ce travail. Tu as su être compréhensive lorsque le travail empiétait sur ma vie personnelle, et c'est une qualité qui me semble suffisamment rare pour être soulignée.

Enfin, j'aimerais adresser mes remerciements les plus sincères à Christophe et Alexandra qui ont fait de cette thèse un moment exceptionnel. Merci à tous les deux pour votre implication tant dans mon développement en tant que chercheur que dans mon bien être durant ces années. Merci de m'avoir poussé à donner le meilleur de moi-même sans (JAMAIS !) m'avoir découragé, blessé ou réprimandé. Je me considère comme extrêmement chanceux d'avoir pu passer ces moments sous votre supervision et j'espère sincèrement continuer mon aventure professionnelle en vous comptant parmi mes amis.

Table des matières

Remerciements	2
Liste des figures	7
Préambule.....	8
Contexte théorique	11
A. Attention.....	11
1. Modèles attentionnels	11
a) Modèles de l'attention sélective	11
b) Modèles des ressources attentionnelles.....	13
c) Modèle de ressources attentionnelles multiples	13
d) Modèle des ressources attentionnelles malléables	15
e) Modèle des réseaux attentionnels.....	16
B. Mesures de la dynamique attentionnelle	18
1. Tâche d'orientation indicée de l'attention	18
2. Tâche des « flankers ».....	20
3. Attention Network Test.....	22
C. Les émotions	25
1. Définitions.....	25
2. Modèles des émotions.....	26
a) Modèles dimensionnels	26
b) Modèle de l'évaluation.....	28
3. Caractéristiques de la colère	30
a) Réponses physiologiques et psychologiques associées à la colère	30
b) Trait et état de colère	31

4.	Investigation de l'impact des émotions en laboratoire	32
a)	Sélection au sein de la population	32
b)	Induction d'humeur	33
c)	Mesure de l'état émotionnel	35
5.	Emotions et réseaux attentionnels.....	37
D.	Conduite	38
1.	Présentation de l'activité de conduite	38
2.	Gestion de la prise de risques.....	39
3.	Défauts d'attention en conduite	40
E.	Emotions et conduite.....	42
1.	Investigation de l'impact des émotions en conduite	42
2.	Effets de la joie, la tristesse et la peur en conduite	44
3.	Colère et conduite	45
a)	Expression de la colère au volant.....	45
b)	Colère et style de conduite	46
c)	Impact de la colère sur l'attention en conduite	47
F.	Objectifs de la thèse	48
	Expérimentations.....	51
A.	Evaluation des effets de la colère sur les réseaux attentionnels.....	51
1.	Problématique et objectifs.....	51
2.	Méthode	52
a)	Attention Network Test - Interactions.....	52
b)	Induction et mesure de l'humeur.....	52
3.	Synthèse des résultats principaux et discussion.....	53
B.	Modulations comportementales et physiologiques de l'attention en conduite durant un état de colère	62
1.	Mesure physiologique de l'attention.....	62

2.	Les potentiels évoqués	64
3.	PEs et émotions.....	66
4.	Problématique et objectifs.....	68
5.	Méthode	68
a)	Poste de conduite.....	68
b)	Electroencéphalographie et traitement des potentiels évoqués	70
c)	Recueil des pensées distractives.....	70
6.	Résultats principaux.....	71
7.	Analyses complémentaires.....	71
a)	Variation contingente négative.....	71
b)	Influence du type de pensées distractives	71
8.	Discussion	73
C.	Effet de la colère générée par la conduite sur la détection de piétons et la performance de suivi de véhicule.....	92
1.	Méthode	94
a)	Participants	94
b)	Simulateur de conduite.....	95
c)	Induction et mesure de l'humeur.....	96
d)	Tâches expérimentales	96
e)	Procédure.....	97
2.	Principaux résultats et discussion	97
3.	Conclusions.....	100
	Discussion générale.....	113
A.	Influence de la colère sur le fonctionnement attentionnel.....	114
B.	Colère et performances de conduite	116
C.	Colère et aides à la conduite.....	118
	Perspectives et applications possibles	120

A.	Réduction des effets négatifs des émotions sur la performance de conduite	121
1.	Régulation émotionnelle	121
2.	Amélioration de la conscience de la situation.....	122
B.	Challenges scientifiques et techniques	123
C.	Enjeux à long terme.....	125
	Bibliographie.....	127
	Annexes.....	143
A.	Annexe 1 : BMIS, questionnaire de mesure de l'humeur	144
B.	Annexe 2 : Affect Grid, questionnaire de mesure de l'humeur	145
C.	Annexe 3 : Article en préparation	146
D.	Annexe 4 : Chapitre d'ouvrage	161
E.	Annexe 5 : Article de conférence	175
F.	Annexe 6 : Article de conférence	187

Liste des figures

Figure 1 : Modèle de l'attention sélective de Broadbent (1958).....	12
Figure 2 : Modèle de ressources multiples de Wickens (2002)	14
Figure 3 : Déroulement pour un essai valide et un essai non valide de la tâche d'orientation spatiale de Posner (1980).....	19
Figure 4 : Composition des stimuli utilisés lors de la tâche de Flankers décrite par Eriksen (1974).....	21
Figure 5 : Déroulement et conditions possibles d'un essai de l'Attention Network Test (Fan et al., 2002, p341)	23
Figure 6 : Illustration du positionnement de quatre émotions (Colère, Joie, Tristesse et Sérénité) selon le Circumplex de Russell (1980) représentant la valence (axe horizontal) et l'arousal (axe vertical).....	27
Figure 7 : Représentation théorique d'un potentiel évoqué obtenu en un point du scalp et dont les principales composantes ont été clairement identifiées	64
Figure 8 : Installation des participants lors de l'expérimentation sur simulateur réduit (les flèches blanches indiquent les éléments ajustables du poste de conduite)	69
Figure 9 : Répartition des participants selon le type de pensées distractives ressenties durant les deux sessions expérimentales.....	72
Figure 10 : Différentes étapes de sélection des participants lors de la troisième étude	95
Figure 11 : Dispositif utilisé pour le simulateur complet	96

Préambule

Pourquoi la notion de Facteurs Humains est importante dans le cadre de la conduite automobile ? Cette tâche, à forte demande attentionnelle, repose sur les capacités de l'individu à traiter, analyser et réagir aux événements présents dans l'environnement tout en anticipant les événements à venir (Endsley & Kiris, 1995). Or, un conducteur reste sensible à différents facteurs psychologiques tels que la fatigue, ou la présence d'émotions pouvant altérer ses compétences et processus cognitifs. Par exemple, le fait de traverser une période de divorce ou de séparation peut multiplier par quatre le risque d'accident grave de la route (Lagarde et al., 2004). Une telle augmentation du risque d'accident pourrait provenir directement du fait que ces conducteurs sont perturbés par des émotions négatives et des pensées qui n'ont pas de lien avec la tâche de conduite (Galera et al., 2012).

Comment apparaissent de telles pensées internes ? Plusieurs contextes tels qu'un environnement de conduite monotone (Berthié et al., 2015) ou la présence d'émotions négatives (Smallwood, Fitzgerald, Miles, & Phillips, 2009 ; Smallwood & O'Connor, 2011) sont susceptibles de favoriser l'apparition de ces pensées distractives. Parmi les émotions négatives, la colère représente un objet d'étude qui a pris de l'ampleur dans le domaine de la recherche en sécurité routière de par les risques représentés par une conduite agressive et le road-rage (Sullman, 2015). Selon les effets reportés dans la littérature, cette émotion pourrait provoquer une augmentation des infractions au code de la route (e.g. Abdu, Shinar, & Meiran, 2012 ; Deffenbacher, Deffenbacher, Lynch, & Richards, 2003; Stephens & Groeger, 2011, 2012), une vitesse de circulation excessive (e.g. Deffenbacher, Filetti, Lynch, Dahlen, & Oetting, 2002; Jeon, Walker, & Yim, 2014; Mesken, Hagenzieker, Rothengatter, & de Waard, 2007; Roidl, Frehse, & Hoeger, 2014) ou une mauvaise conscience de la situation (Jeon, Walker, & Gable, 2015). Cependant, il n'existe que trop peu d'études visant à comprendre la façon dont l'état de colère influence les processus attentionnels lors de la conduite.

L'objectif de cette thèse est double. D'une part, elle vise à apporter de nouvelles connaissances quant à l'influence de la colère sur le traitement de l'information. D'autre part,

elle examine la façon dont les modifications attentionnelles accompagnant la colère peuvent impacter la performance de conduite. Pour remplir ces deux objectifs, trois expérimentations ont été menées afin d'étudier les possibles interactions entre l'état de colère et la conduite dans des situations de complexité croissante.

La première étude a pour objectif d'étudier l'influence de la colère sur l'attention, en dehors de la tâche de conduite. La majorité des études sur ce sujet a essayé de démontrer l'existence de biais attentionnels associés à la colère lors du traitement d'une information connotée émotionnellement (e.g. Fox, Russo, Bowles, & Dutton, 2001; Herbert, Kissler, Junghöfer, Peyk, & Rockstroh, 2006). Cependant, dans un contexte de conduite, la plupart des stimuli sont neutres pour l'individu. Comment la colère pourrait-elle influencer le traitement de ces stimuli non connotés ? A ce jour, la littérature n'apporte pas ou peu d'éléments permettant de répondre à cette question. Il était donc nécessaire d'étudier la façon dont cette émotion influence les réseaux attentionnels lors du traitement de ce type de stimuli. Pour cela une tâche informatisée utilisant des stimuli neutres a été proposée à des participants induits dans un état de colère (Techer, Jallais, Fort, & Corson, 2015).

Afin de déterminer si les résultats obtenus durant la première étude étaient transférables dans un contexte de conduite peu complexe, une deuxième étude a été menée. Les conducteurs, induits en état de colère, étaient évalués à l'aide d'une tâche sur poste de conduite. Cette étude visait à comprendre comment la colère impacte les processus attentionnels en couplant des données comportementales (e.g., position sur la voie, temps de réponses) à des données électrophysiologiques rendant compte de l'activité cérébrale. En effet, ces données permettent une analyse plus fine du traitement de l'information que les mesures comportementales classiques, apportant ainsi un autre éclairage sur les effets d'un contexte émotionnel. Ainsi la méthode des potentiels évoqués cérébraux a permis d'apporter une mesure objective des ressources attentionnelles investies dans le traitement de l'information.

Enfin, la dernière étude de cette thèse avait pour objectif d'observer la façon dont la colère impacte l'attention et la performance de conduite dans un contexte simulé plus réaliste. Les participants étaient ainsi placés dans une situation de double tâche permettant de mesurer l'attention qu'ils porteraient à des éléments centraux et périphériques de l'environnement de

conduite. Le protocole établi combinait ainsi une tâche de suivi de véhicule (Brookhuis, Waard, & Mulder, 1994) et une détection de piétons placés en périphérie de l'environnement de conduite simulée. L'objectif additionnel de cette étude était de savoir si la présence d'une source de colère en lien avec la conduite pouvait provoquer des biais attentionnels.

Afin de poser le contexte permettant l'appréhension des enjeux représentés par cette thèse, le manuscrit débutera par une revue de la littérature sur les sujets de l'attention, des émotions et de la conduite. Par la suite, les trois expérimentations menées pour répondre à nos questions de recherches seront présentées. La discussion de ces nouvelles données sera ensuite effectuée au regard des connaissances existant dans la littérature. Enfin, les intérêts en termes d'applications de ces résultats au profit de l'industrie automobile seront présentés.

Contexte théorique

A. Attention

La conduite est une tâche riche et complexe nécessitant la perception et le traitement de nombreux éléments présents dans l'environnement, mais aussi une anticipation de l'évolution de la situation dans le temps (Endsley & Kiris, 1995). Ainsi, cette activité repose sur la capacité à détecter et traiter les informations pertinentes dans un temps restreint afin de prendre les décisions en accord avec les objectifs visés. Pour cela, le conducteur doit être capable de choisir les informations à traiter en priorité. Cette notion de sélection des informations est incontournable dans la définition de l'attention.

1. Modèles attentionnels

a) Modèles de l'attention sélective

Une partie des premiers modèles cognitifs de l'attention visait à expliquer ce phénomène selon lequel il est possible de se concentrer sur un stimulus afin d'améliorer son traitement et sa mémorisation. Cet effet a souvent été mis en évidence à l'aide d'une situation d'écoute dichotique, c'est-à-dire en présentant des stimuli de manière concurrente dans chaque oreille du participant. Si l'individu était incité à répéter des phrases présentées dans une des deux oreilles, il lui était difficile de restituer le contenu des stimuli présentés dans l'autre oreille (Cherry, 1953). Ce type d'observation a conduit Broadbent (1958) à envisager l'attention comme un filtre sensoriel précoce du traitement de l'information (Figure 1).

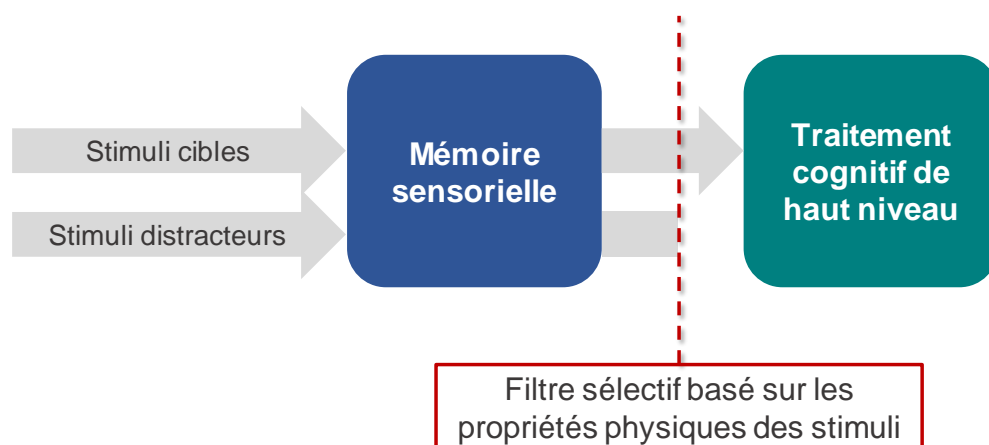


Figure 1 : Modèle de l'attention sélective de Broadbent (1958)

Le traitement conscient serait alors réservé uniquement aux stimuli ayant les caractéristiques physiques attendues de la cible. Ce modèle prédisait à la fois une amélioration du traitement des cibles, mais aussi une absence de traitement pour les informations non pertinentes présentes dans l'environnement. Cependant, cette conception binaire du filtre attentionnel ne permettait pas de rendre compte de certaines situations dans lesquelles des stimuli qui ne correspondent pas aux attentes de l'individu vont tout de même être traités consciemment. C'est ce qui se passe lors de l'effet « Cocktail party ». L'individu est engagé dans une conversation sur laquelle il focalise toute son attention, ce qui le conduirait à filtrer les sons environnants ne correspondant pas à la conversation en cours. Toutefois, il est possible que cet individu remarque que son prénom a été prononcé par des personnes extérieures à la conversation. Si l'on se réfère uniquement au modèle du filtre attentionnel de Broadbent (1958), ce stimulus auditif aurait dû être privé de traitement conscient. Le modèle de Treisman (1969) ajoute une nuance au modèle de filtre attentionnel en précisant que les informations non pertinentes ne sont pas simplement ignorées, mais plutôt atténuées. De plus, les résultats obtenus expérimentalement suggèrent que l'atténuation des stimuli non pertinents est encore plus forte lorsque leurs propriétés physiques diffèrent radicalement de la cible. En revanche, s'il est particulièrement important pour l'individu (comme son prénom) ou qu'il a des caractéristiques communes avec la cible, alors le traitement d'un stimulus distracteur sera nécessairement profond (Treisman, 1964). L'action du filtre attentionnel n'est pas binaire.

L'attention serait donc plus envisageable comme un filtre permettant d'atténuer le traitement des stimuli distracteurs, tout en permettant une meilleure performance de traitement pour les stimuli pertinents.

b) Modèles des ressources attentionnelles

Par la suite, une autre conception de l'attention a émergé d'une volonté d'expliquer les liens entre attention et performance de réalisation d'une tâche. Cet angle de questionnement a conduit les chercheurs à concevoir l'attention comme un réservoir de ressources. Selon le modèle de Kahneman (1973) l'individu possède un stock de ressources attentionnelles qu'il pourra utiliser lors de la réalisation d'une tâche cognitive. La performance de résolution de la tâche dépend alors : 1) de la quantité de ressources exigées par la tâche ; 2) de la quantité de ressources dont dispose l'individu ; et 3) de la façon dont l'individu utilise ses ressources pour effectuer la tâche. Dès lors que les demandes de la tâche dépassent la quantité de ressources disponibles, la tâche n'est pas effectuée de manière optimale. Cette conception suppose que les ressources attentionnelles sont polyvalentes et peuvent être investies au besoin pour tout type de tâches. Kahneman (1973) ajoute que la quantité de ressources n'est pas stable car elle peut être modulée par plusieurs paramètres tels que la fatigue ou l'âge.

c) Modèle de ressources attentionnelles multiples

Toutefois, Kahneman (1973) en vient à la conclusion que la modélisation de l'attention comme un simple réservoir n'est pas nécessairement la plus réaliste. D'un côté, les modèles de filtre attentionnel ont pour vocation de démontrer les limites structurelles de l'attention, suggérant qu'il est impossible de traiter plus d'une information à la fois. D'un autre côté, les modèles de ressources attentionnelles tentent de rendre compte de l'aspect quantitatif de l'attention, considérant que la performance sera intacte tant que les ressources de l'individu dépassent la demande de la situation. Dans les faits, il est pourtant possible de traiter plus d'une information à la fois, alors qu'il n'est pas toujours aisé d'effectuer une tâche supplémentaire malgré la disponibilité des ressources. Par exemple, la performance en double tâche sera meilleure lorsque les deux tâches sont présentées dans des modalités sensorielles différentes

que lorsque ces mêmes tâches sont présentées dans une seule modalité. Pour expliquer ce phénomène, le modèle à ressources multiples de Wickens (2002) propose que les ressources attentionnelles seraient partagées selon trois dimensions. Selon ce modèle, la modalité de présentation des stimuli, les étapes de traitement de l'information et les codes de traitement font appel à des ressources attentionnelles spécifiques (Figure 2).

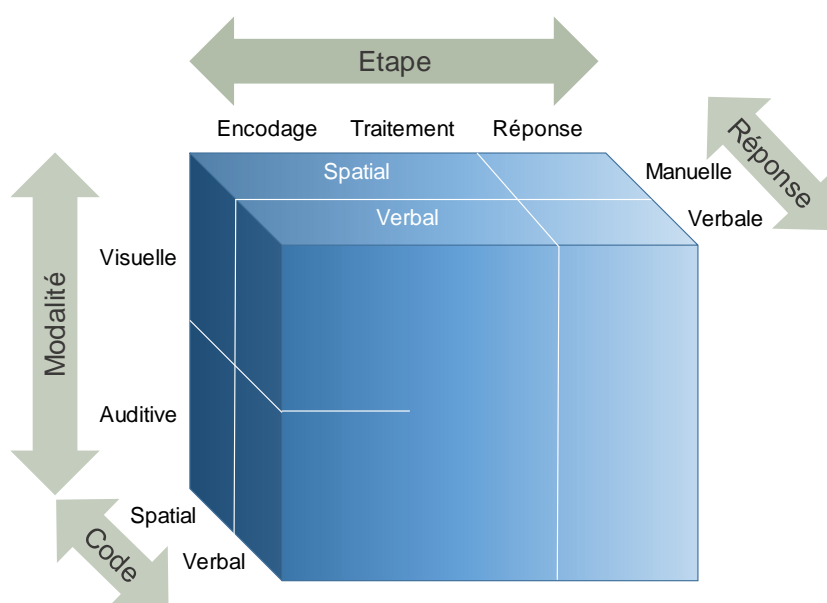


Figure 2 : Modèle de ressources multiples de Wickens (2002)

- Les étapes de traitement correspondent à la phase de perception (encodage), la phase de traitement de l'information, et la phase de réponse. Selon le modèle, les étapes de perception et de traitement de l'information peuvent utiliser des ressources communes alors que le réservoir de ressources correspondant à l'étape de réponse est cloisonné. Cela implique qu'une réponse nécessitant une grande quantité de ressources n'impactera pas les capacités de perception ou de traitement de l'information. En revanche, des tâches de perception et de traitement complexes peuvent interférer entre elles.

- La dimension de modalité des stimuli correspond aux caractéristiques physiques des informations à traiter. Ces informations peuvent être de nature visuelle ou auditive. Comme pour le modèle de filtre attentionnel, cette dimension reprend l'idée d'interférences au stade perceptif entre des informations de même nature.
- La dimension de codes de traitement correspond à la nature des informations manipulées mentalement. Elles peuvent être spatiales ou verbales durant les phases de perception et de traitement, et motrices ou vocales durant la phase de réponse.

Ce modèle prédit qu'une tâche secondaire interférera davantage avec la tâche principale lorsque ces deux tâches font appel au même type de ressources attentionnelles. Par exemple, un conducteur suivant les indications auditives d'un GPS devrait être plus performant qu'un conducteur lisant ces mêmes indications sur des panneaux. La raison à cela est qu'une information auditive n'utilisera pas le même type de ressources attentionnelles que la tâche de conduite qui correspond principalement à des stimuli visuels.

d) Modèle des ressources attentionnelles malléables

Un des reproches qui peuvent être faits aux modèles de l'attention en tant que réservoir de ressources (Kahneman, 1973 ; Wickens, 2002) est une absence de prédictions concernant les situations de sous-charge attentionnelle. En effet, la littérature démontre qu'un individu avec une posture passive ne parviendra pas à réagir aussi efficacement à un événement critique que lorsqu'il effectue une tâche initiale de manière active (Endsley & Kiris, 1995). Pourtant, les ressources attentionnelles devraient être disponibles en grande quantité, améliorant la performance des individus.

Le modèle des ressources attentionnelles malléables propose une explication à ce phénomène en partant du principe que la quantité de ressources attentionnelles est variable, et dépend en partie des exigences de la tâche (Young & Stanton, 2002a). Ainsi, lorsque la tâche en cours est peu complexe, le réservoir de ressources se rétracterait et ne pourrait contenir qu'un volume de ressources correspondant à la situation. Cette conception de l'attention permet de prédire une baisse de performances dans les situations de surcharge et

de sous-charge attentionnelle en conduite automobile. Comme pour les modèles évoqués précédemment, si la situation de conduite nécessite plus de ressources que celles dont dispose l'individu, la performance devrait être réduite. Si la tâche de conduite est stimulante et qu'un évènement critique survient, le conducteur pourrait utiliser une partie de ses ressources pour gérer la situation. Toutefois, lorsque l'environnement de conduite est monotone, la capacité du réservoir de ressources attentionnelles devrait diminuer. Si le même évènement critique survient dans ce contexte, la totalité des ressources de l'individu pourraient ne pas suffire pour réagir de manière efficace. Cependant, cette vision purement quantitative des ressources attentionnelles est également critiquable. En effet, d'autres facteurs sont à prendre en compte pour expliquer les variations de performances dans le traitement de l'information, comme la préparation de l'individu à traiter un stimulus, ou encore la vitesse avec laquelle il va se focaliser sur l'apparition de la cible. Ce type de mécanisme ne dépend pas de la quantité de ressources disponibles, mais plutôt de l'efficacité d'utilisation de ces ressources.

e) Modèle des réseaux attentionnels

Lorsqu'il s'agit d'expliquer les variations de performances dans le traitement de l'information alors que la quantité de ressources attentionnelles est stable, le modèle élaboré par Posner et collaborateurs (Posner, 1980 ; Posner & Petersen, 1990 ; Posner & Rothbart, 2007) semble le plus adapté. Ce modèle suggère que l'attention est divisée en trois sous-systèmes relativement indépendants. Ces systèmes, qui reposent chacun sur des réseaux de structures cérébrales différentes, sont l'orientation, le contrôle exécutif et l'alerte (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et *Tableau 1*).

- Les structures anatomiques impliquées dans le réseau d'orientation sont localisées principalement dans la partie postérieure du cerveau et utilisent majoritairement l'acétylcholine comme neurotransmetteur. Ce réseau a pour fonction de gérer le déplacement des ressources attentionnelles dans l'espace. Il peut ainsi provoquer l'engagement de l'attention, ce qui consiste en un investissement des ressources attentionnelles pour le traitement d'une zone de l'espace privilégiée par l'individu. Cette zone d'intérêt est également connue sous l'appellation « focus attentionnel ». Lorsque les

ressources cessent d'être utilisées pour le traitement de cette zone, un désengagement de l'attention a lieu. Enfin, avant de pouvoir engager l'attention vers une nouvelle localisation, il est nécessaire de déplacer le focus attentionnel.

- Le réseau du contrôle exécutif dont les structures anatomiques sont situées dans la zone frontale est un réseau utilisant majoritairement la dopamine. Il est impliqué dans la résolution de conflit perceptif et la discrimination entre cible et distracteurs.
- Enfin, le réseau d'alerte dont les structures sont principalement fronto-pariétales, utilise la noradrénaline (ou norépinéphrine) comme neurotransmetteur principal. Ce réseau a été divisé par la suite en deux sous-systèmes ayant des fonctions distinctes. Le premier de ces sous-systèmes, l'alerte phasique, permet une mobilisation très forte et pendant une période de temps très courte de l'attention suite à un signal d'alerte. Le deuxième sous-système d'alerte est l'alerte tonique, également appelée vigilance, qui contrôle l'état d'éveil de l'individu sur une longue période ne contenant pas forcément de stimulus d'alerte.

Afin de tester les prédictions de ces différents modèles de l'attention, il est nécessaire de les confronter à des phases d'expérimentations. Dans le cas du modèle des réseaux attentionnels de Posner, plusieurs mesures peuvent être utilisées pour comparer les prédictions et les observations empiriques.

Tableau 1

Principales structures anatomiques et neurotransmetteurs associés aux trois réseaux attentionnels de l'orientation, du contrôle exécutif et de l'alerte (Posner & Rothbart, 2007)

Réseau	Structures anatomiques impliquées	Neurotransmetteur principal
Orientation	Jonction temporo-pariétale Lobe pariétal supérieur Champ oculogyre frontal Pulvinar Colliculus supérieur	Acétylcholine
Contrôle exécutif	Cortex cingulaire antérieur Cortex préfrontal Ganglions de la base	Dopamine
Alerte	Locus coeruleus Lobe frontal droit Cortex pariétal	Noradrénaline

B. Mesures de la dynamique attentionnelle

Traditionnellement, l'efficacité des réseaux d'alerte, d'orientation et de contrôle exécutif est mesurée à l'aide de tâches différentes.

1. Tâche d'orientation indicée de l'attention

Pour la mesure de l'efficacité des réseaux d'alerte et d'orientation, une tâche d'orientation spatiale de l'attention a été créée (Posner, 1980). Dans cette tâche, les participants ont pour consigne d'indiquer si un stimulus cible apparaît à gauche ou à droite de l'écran (*Figure 3*). Ils sont incités à fixer un point au centre de l'écran durant toute la durée de la passation. A droite et à gauche de ce point de fixation, deux rectangles représentent les localisations possibles d'apparition de la cible. Chaque essai est constitué d'un temps de pause initial suivi par la

mise en surbrillance d'un des deux rectangles, puis la cible apparaît dans l'une des deux positions et l'essai se termine à la réponse du participant (*voir* Posner 1980). Le délai entre l'indice d'orientation (*i.e.* illumination du rectangle) et l'apparition de la cible est variable afin de ne pas favoriser la mise en place de stratégies de réponses basées sur le déroulement temporel de l'essai. De plus, la correspondance entre l'illumination du rectangle et la localisation de la cible n'est pas systématique. Dans un tiers des essais, l'indice d'orientation est « valide » car il indique correctement la localisation de la cible, dans un autre tiers des essais, l'indice est « non-valide », et dans le dernier tiers des essais, l'indice est « neutre » car les deux rectangles sont mis en surbrillance. Les résultats obtenus par Posner (1980) révèlent que lors des essais « valides », les temps de réponses sont plus courts que lors des autres types d'essais. Cette accélération du traitement viendrait du fait que lorsque l'indice d'orientation est donné, il va provoquer de manière automatique une orientation de l'attention. Ainsi, lorsque la cible apparaît, l'individu pourra la traiter directement sans avoir à orienter son attention. A l'inverse, lors des essais « non-valides » l'individu devra désengager son attention, la déplacer et l'engager sur la cible avant de donner sa réponse.

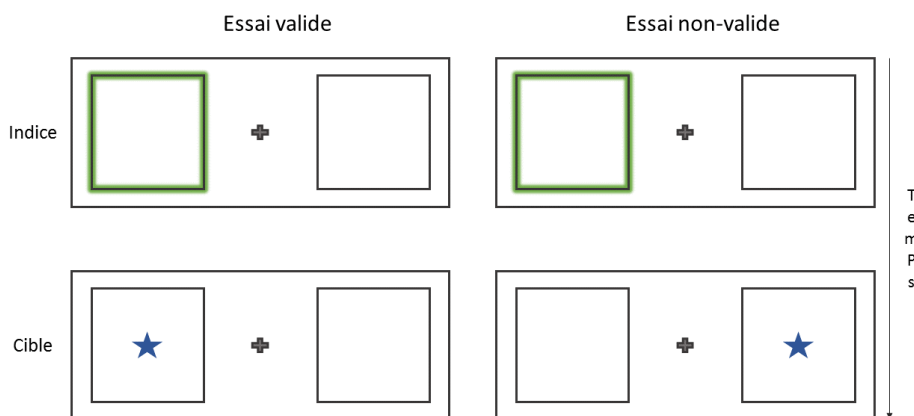


Figure 3 : Déroulement pour un essai valide et un essai non valide de la tâche d'orientation spatiale de Posner (1980)

2. Tâche des « flankers »

La tâche des Flankers créée par Eriksen et Eriksen (1974) peut être utilisée pour évaluer l'efficacité du réseau de contrôle exécutif. Dans cette tâche, une croix de fixation est présentée au centre de l'écran. Après un temps de pause, une série de lettres apparaît au-dessus du point de fixation. Cette série de lettres est composée d'une lettre cible au centre, entourée par 3 lettres appelées « flankers » de chaque côté. La lettre cible peut être une lettre angulaire (*i.e.* K ou H), ou une lettre courbe (*i.e.* S ou C). Selon le type de lettre présentée, le participant doit orienter un levier soit vers la gauche soit vers la droite. Il existe six types de flankers possibles qui les rendent plus ou moins ressemblants à la cible, c'est-à-dire plus ou moins congruents avec la réponse attendue.

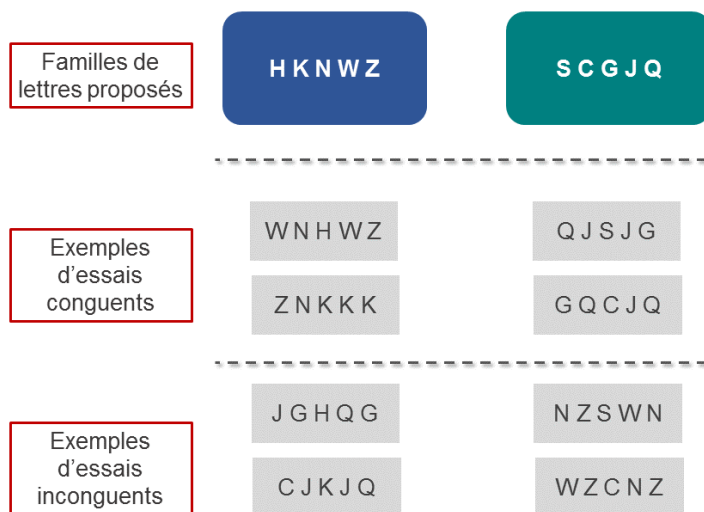


Figure 4 : Composition des stimuli utilisés lors de la tâche de Flankers décrite par Eriksen (1974)

Les temps de réponses ainsi recueillis indiquent traditionnellement que plus les flankers ressemblent à la cible, plus la réaction est rapide. A l'inverse, lorsque les flankers sont incongruents avec la réponse, celle-ci est ralentie. Enfin, plus les flankers incongruents sont rapprochés de la cible, plus ils vont avoir un impact négatif sur les temps de réponse. Ces résultats indiquent que les individus n'ont pas pu s'empêcher de traiter les informations présentées autour de la cible. La réponse correspondant à ces distracteurs est donc entrée en conflit avec la réponse correspondant à la cible, ce qui a nécessité la mobilisation du contrôle exécutif. Une seconde conclusion tirée de ces résultats est que la largeur du focus attentionnel possède une taille minimale. En effet, lorsque les distracteurs sont proches de la cible, il ne sera pas toujours possible de les ignorer complètement.

La mesure de l'efficacité de chacun des réseaux attentionnels avec les tests classiques ne permet cependant pas de tester l'hypothèse de l'indépendance de ces trois réseaux. Pour cela il a été nécessaire d'étudier ces trois réseaux dans un même test.

3. Attention Network Test

Afin de pouvoir évaluer l'efficacité des réseaux d'alerte, d'orientation et de contrôle exécutif, au sein d'une même tâche standardisée, Fan et collaborateurs (Fan, McCandliss, Sommer, Raz, & Posner, 2002) ont développé l'Attention Network Test (ANT). L'ANT (*Figure 5*) est la combinaison de la tâche d'orientation attentionnelle (Posner, 1980) et de la tâche des flankers (Eriksen & Eriksen, 1974). Lors de l'élaboration de cet outil, les auteurs souhaitaient qu'il soit accessible aux adultes comme aux enfants, mais aussi à des populations présentant une pathologie. Dans ce test, les participants doivent indiquer la direction d'une flèche cible entourée de symboles distracteurs (flankers). Dans certains essais, ces symboles sont des flèches pouvant pointer dans une direction congruente ou incongruente par rapport à la cible. Dans d'autres, les symboles sont des lignes horizontales ayant une congruence neutre par rapport à la cible. Les stimuli cibles apparaissent au-dessus ou en dessous d'un point de fixation. Ils sont précédés par un stimulus faisant office d'indice d'orientation et/ou d'alerte permettant au participant de se préparer à la détection. Quatre types d'indices peuvent être présentés avant la cible : 1) Un indice d'alerte central donnant une indication sur l'imminence de l'apparition de la cible, mais pas d'information sur sa localisation ; 2) Un indice spatial indiquant la localisation de la cible ; 3) Un double indice signalant les deux positions possibles de la cible, servant ainsi d'alerte et d'aide à l'orientation attentionnelle ; 4) Une condition sans indice. Chacune de ces conditions a été choisie pour faciliter ou complexifier l'action des trois réseaux attentionnels. Par la suite, les temps de réponses ont été décomposés afin d'identifier la part de chaque réseau dans les variations de la performance de traitement. Trois scores attentionnels correspondent ainsi à une estimation de l'efficacité de chacun des réseaux sont ensuite calculés. Le score d'alerte correspond à une soustraction entre les temps de réponses pour les conditions avec indice et les conditions sans indices. Il traduit ainsi le gain lié à la présence d'une alerte et le coût lié à son absence. Le score d'orientation correspond à une soustraction entre les temps de réponses pour les conditions avec ou sans indices d'orientation. Il reflète ainsi les gains liés à un indice d'orientation ainsi que les coûts liés à une absence d'indice d'orientation. Enfin, le score de contrôle exécutif est obtenu par une soustraction des temps de réponses entre les conditions de flankers congruents et

incongruents. Il représente les gains liés à la présence de stimuli congruents ainsi que les coûts liés à la présence de stimuli incongruents avec la cible.

Les résultats obtenus par Fan et al. (2002) indiquent que les temps de réponses sont plus courts dans les essais avec double indices que dans les essais sans indice. Les temps de réponses sont également plus courts dans les essais avec indice spatial que dans les essais avec indice central. Enfin, les temps de réponse sont plus courts dans les essais avec flankers congruents que dans les essais avec flankers incongruents. Ces résultats semblent corroborer l'existence des trois différents réseaux attentionnels. Toutefois, l'hypothèse de leur indépendance semble discutable car les résultats de la majorité des études utilisant l'ANT montrent également une interaction entre les réseaux (voir Macleod et al., 2010).

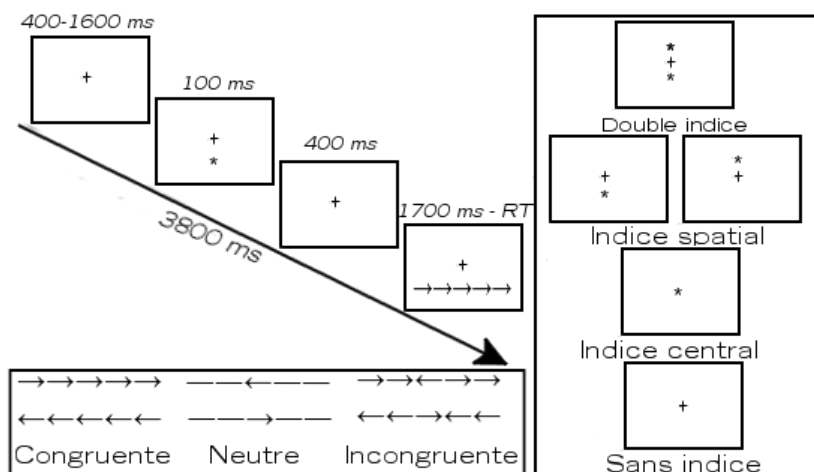


Figure 5 : Déroulement et conditions possibles d'un essai de l'Attention Network Test (Fan et al., 2002, p341)

Cependant, cette interaction pourrait être due à un manque de distinction entre les stimuli permettant de mesurer l'alerte et ceux permettant de mesurer l'orientation dans l'ANT. En effet, selon le modèle à ressources multiples (Wickens, 2002), le traitement simultané de deux informations données dans la même modalité sensorielle pourrait être source d'interférences. Or, ces interférences pourraient être attribuables à un épuisement des ressources dédiées au

traitement visuel. De plus, le calcul des scores attentionnels des réseaux d'alerte et d'orientation reposant sur les mêmes stimuli, l'interprétation des interactions entre les réseaux attentionnels était difficile. Callejas et collaborateurs (Callejas, Lupiáñez, Funes, & Tudela, 2005) en ont conclu qu'il serait préférable de faire appel à deux modalités distinctes afin de rendre réellement compte de l'efficacité et des interactions entre ces réseaux attentionnels.

Ainsi, une version modifiée de l'ANT a été créée en séparant les indices d'alerte des indices d'orientation, ce qui permet également de tester les interactions entre les réseaux (Callejas et al., 2005). Dans l'Attention Network Test – Interactions (ANT-I), une alerte auditive remplace l'indice central et les doubles indices. Les indices d'orientation ont également été modifiés afin de ne plus être prédictifs de la localisation de la cible. De cette manière, les auteurs considèrent que la validité de la mesure de l'orientation de l'attention sera augmentée car elle ne pourra pas être biaisée par la mise en place d'une orientation endogène de l'attention. Les effets mis en évidence par Callejas et al. (2005) se sont révélés robustes dans le temps. Ils ont notamment pu être répliqués suite à un grand nombre de répétitions de la tâche chez un même individu (Ishigami & Klein, 2010), ce qui démontre la stabilité et la fidélité de ce test.

L'utilisation de ces différents tests a permis de rendre compte de l'influence de différents contextes externes ou internes tels que la fatigue (Roca et al., 2012), la présence d'une pathologie (Samyn, Roeyers, Bijttebier, & Wiersema, 2013), ou encore l'impact des émotions sur l'attention (e.g. Pacheco-Unguetti, Acosta, Callejas, & Lupiáñez, 2010). Compte tenu de la forte composante attentionnelle de la tâche de conduite, les performances mesurées à l'aide des tâches évoquées précédemment pourraient s'avérer importantes pour la sécurité. Plus particulièrement, lorsque la dynamique attentionnelle d'un conducteur est perturbée, il pourrait se mettre en danger du fait d'une mauvaise représentation de son environnement. Par conséquent, la connaissance des facteurs impactant l'attention et notamment celle des facteurs émotionnels, permettrait une meilleure appréhension des contextes dangereux pour la conduite. Or dans ce domaine, la majorité des études fondamentales ont eu pour objet l'influence des informations émotionnellement connotées sur l'attention. Cependant, les informations dans un environnement de conduite n'ont pas toujours une connotation émotionnelle. Dans ce domaine, il serait plus pertinent de chercher à comprendre l'influence

des émotions sur le traitement d'informations neutres. Cependant, la notion d'émotion peut inclure une grande variété de nuances qu'il sera nécessaire de prendre en compte.

C. Les émotions

1. Définitions

Les termes « émotion », « humeur » et « affect » sont couramment utilisés pour désigner les états émotionnels. Ils sont généralement employés de manière interchangeable, ce qui entraîne parfois un manque de précision ou une mauvaise compréhension.

Une émotion est un état bref et intense qui va provoquer une rupture dans le comportement de celui qui la ressent (*voir* Corson, 2002). Durant ces quelques instants, l'ensemble de son fonctionnement cognitif et comportemental sera mobilisé par cette émotion. Son origine est clairement identifiable et l'individu a une conscience précise de ce qu'il ressent pendant ce moment. Il est par conséquent facile de différencier les émotions les unes des autres. Toutefois, il existe encore un débat sur les mécanismes impliqués dans le ressenti d'une émotion. Certains auteurs tels que James (1884) ou Lange (Lange & Haupt, 1922) suggèrent que la perception d'un stimulus provoque parfois des modifications physiologiques chez un individu. Ces modifications sont ensuite attribuées par cet individu à une émotion donnée. D'autres chercheurs tels que Cannon (1987) et Bard (1934) pensent que c'est le ressenti d'une émotion qui provoque des modifications physiologiques. Le but de cette thèse n'est pas de donner du crédit à l'une ou l'autre de ces théories sur les causes des émotions, mais de comprendre les conséquences de ces états émotionnels sur la cognition d'un individu pendant une tâche de conduite.

Le terme humeur est également utilisé pour désigner l'état émotionnel. Il se définit comme un état plus durable mais moins intense que les émotions. Il arrive parfois qu'une émotion s'estompe en laissant place à une humeur, ce qui rend difficile la distinction entre ces deux états (Corson, 2002). De par sa faible intensité, l'individu peut ne pas avoir conscience de l'origine de cette humeur. Elle ne provoquera donc pas d'interruption directe dans le

comportement de l'individu, mais plutôt une coloration de l'ensemble de ses opérations mentales. Le fonctionnement cognitif et comportemental de l'individu sera donc impacté de manière inconsciente pendant une longue durée (Isen, 1987).

Enfin, le troisième terme souvent utilisé est celui d'« affect ». Ce terme est employé de manière générale pour désigner un état ayant une dimension émotionnelle (e.g. Forgas, 1995). Il englobe donc à la fois les émotions et les humeurs. En outre, les termes état et trait émotionnel sont souvent utilisés afin de distinguer des contextes émotionnels différant entre autres selon leur stabilité temporelle et leur consistance inter-situationnelle (Chaplin, John, & Goldberg, 1988). Ainsi, l'état émotionnel représente un contexte isolé et passager durant lequel un individu ressent les effets d'une émotion. Au contraire, le trait représente une structure relativement stable de la personnalité de l'individu. Il aura ainsi une tendance à ressentir les effets d'une même émotion dans un grand nombre de situations de natures différentes.

On notera que l'objet d'étude de cette thèse est l'humeur de colère, mais les termes émotions et état émotionnel seront également employés par commodité et pour éviter les répétitions trop nombreuses.

Ces différentes formes émotionnelles impactent les processus cognitifs de l'individu et les poussent parfois à adopter des comportements congruents avec leur ressenti (Isen, 1987). Plusieurs modèles émotionnels ont ainsi été créés afin de définir ces états et en expliquer les effets sur la cognition.

2. Modèles des émotions

a) Modèles dimensionnels

Selon le modèle du circumplex de Russell (1980), les émotions peuvent être représentées autour de deux axes correspondant aux deux dimensions de l'affect : la valence et l'arousal. La valence représente l'aspect hédonique du ressenti de l'individu, de l'état le plus déplaisant au plus agréable. La deuxième dimension est celle de l'arousal pour laquelle il est difficile de trouver une définition faisant consensus (*voir* Gilet & Jallais, 2012). Pour certains auteurs tels

que Russel (1980), l'arousal se réfère à l'intensité d'un état émotionnel, partant d'un état très relaxé à un état très excité. Une distinction a parfois été faite entre deux types d'arousal : la tension et l'énergie (Thayer, 1989). La tension, partant d'un état ressenti de somnolence à un état d'éveil, correspondrait à l'arousal associé à une valence négative. L'énergie, oscillant entre un état de calme et un état de nervosité, correspondrait quant à elle à la dimension de l'arousal associé à une valence positive. De manière à intégrer les différentes définitions, nous définirons l'arousal par l'intensité d'activation physiologique et psychologique de l'individu. Selon le modèle bidimensionnel de Russell (Russell, Weiss, & Mendelsohn, 1989), la colère est définie comme un état déplaisant associé à une forte activation, alors que la sérénité est un état plaisant provoquant une faible activation. Ce modèle reste l'un des plus utilisés à ce jour grâce à sa grande simplicité et sa robustesse.

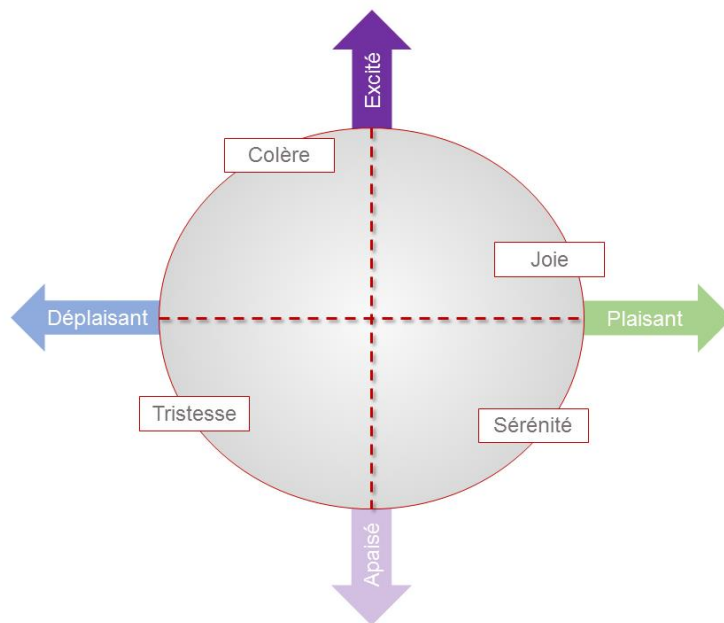


Figure 6 : Illustration du positionnement de quatre émotions (Colère, Joie, Tristesse et Sérénité) selon le Circumplex de Russell (1980) représentant la valence (axe horizontal) et l'arousal (axe vertical)

Cependant, la littérature suggère que cette distinction selon la valence et l'arousal n'est pas toujours suffisante pour prédire les effets d'une émotion sur la cognition. La troisième dimension proposée est donc l'intensité motivationnelle, qui représente l'urgence de la réaction d'approche ou d'évitement suscitée par la situation. Cette dimension a souvent pu être confondue avec l'arousal car les émotions provoquant une forte activation sont en général des émotions qui poussent également à une réaction forte d'approche ou d'évitement (Harmon-Jones, Gable, & Price, 2013). Toutefois, lorsque l'intensité motivationnelle est isolée des autres dimensions, elle apparaît comme une dimension importante pour comprendre l'impact d'une situation sur l'attention. Par exemple, des individus ressentant de l'amusement ou du désir auront des réactions différentes malgré le fait que ces deux états soient vécus comme des états positifs de forte intensité (Harmon-Jones et al., 2013). L'influence de cette dimension a été interprétée comme un mécanisme d'adaptation à l'environnement. En effet, lorsqu'un stimulus provoque un fort comportement appétitif ou aversif, l'individu devra se focaliser sur cet élément afin d'atteindre l'objectif de s'adapter à l'environnement. L'interprétation de l'intensité motivationnelle comme une dimension cruciale de l'état émotionnel donne une importance particulière à la congruence entre les états émotionnels et les objectifs de l'individu. Cette conception concorde par ailleurs avec un autre modèle incontournable des émotions connu sous l'appellation de « modèle de l'évaluation ».

b) Modèle de l'évaluation

Lazarus (1991) propose un modèle relationnel, motivationnel et cognitif, communément désigné comme "modèle de l'évaluation". Ce modèle est relationnel car il considère qu'une émotion n'est que le fruit de l'interaction entre l'individu et son environnement. Il est motivationnel car ce sont les objectifs et l'intensité de la motivation de l'individu qui vont lui permettre d'interpréter les bénéfices ou les menaces que représente une situation donnée. Enfin, ce modèle est aussi cognitif car le jugement d'une situation nécessite d'avoir des attentes sur le déroulement habituel d'un événement afin de comprendre s'il se passe comme prévu ou non.

A partir de ces éléments, Lazarus (1991) nous propose un autre classement des émotions selon leurs conditions d'apparition, ce qui permet de prendre en compte les spécificités de la

situation, mais aussi le ressenti, les attentes et les objectifs de l'individu. Selon ce modèle, les émotions générées dans une situation donnée dépendent de l'évaluation primaire et de l'évaluation secondaire de l'individu.

L'évaluation primaire, qui définit l'émotion ressentie est composé de :

- La pertinence des buts : L'importance des objectifs de l'individu au moment de la situation vécue vont déterminer l'intensité de l'émotion ressentie
- La congruence entre la situation et les buts : Le jugement de la situation comme étant bénéfique ou néfaste pour la réalisation des buts de l'individu vont déterminer la valence de l'état émotionnel.
- La nature du but : L'impact d'un objectif pour l'individu, (e.g. bénéfice personnel, préservation de l'image ou de l'intégrité physique) permettra de distinguer l'émotion générée des autres émotions de même valence et d'intensité comparable.

Lorsque l'émotion est générée, la façon dont l'individu va réagir dépend de plusieurs facteurs qui constituent l'évaluation secondaire :

- Blâme/crédit : L'individu peut attribuer la survenue de l'évènement vers lui-même ou vers un autre, ce qui nécessite un jugement concernant la responsabilité et l'intention de causer cette situation.
- Possibilité de compensation : Possibilité d'influencer la situation pour changer l'évaluation. La compensation peut être centré sur le problème en tentant de changer la situation, ou être centré sur l'émotion en tentant de changer le ressenti.
- Attentes concernant la situation : L'individu fait automatiquement des prévisions sur la façon dont va évoluer la situation avec ou sans compensation afin d'ajuster au mieux sa réaction.

La combinaison spécifique des différents éléments composant l'arousal primaire et secondaire peut ainsi entraîner l'émergence d'un petit nombre d'émotions de base telles que la joie, la peur ou la tristesse. Ce modèle suggère que chaque émotion provoquera de manière systématique une motivation à adopter certains comportements. Cette motivation serait également accompagnée d'une réaction physiologique facilitant le passage à l'action. La

colère résulterait alors d'une interaction de l'individu avec certaines situations, et elle serait aussi accompagnée d'une modification physiologique spécifique.

3. Caractéristiques de la colère

Tout comme la peur, la colère est une émotion négative à fort arousal (Russell, 1980). Selon le modèle de l'évaluation (Lazarus, 1991), elle apparaîtrait lorsqu'un but important pour l'individu est menacé par une injustice ou une insulte. La colère sera d'autant plus importante si l'individu pense avoir les capacités de rétablir une situation telle qu'elle devrait être idéalement. En revanche, elle n'apparaîtra que si la source est jugée comme responsable de la situation. Il est également possible de ressentir de la colère lors d'une situation vécue par une autre personne. Cela indiquerait que les valeurs morales composant notre identité sont mises en péril par les actions d'un individu.

Une des prédictions du modèle de l'évaluation est que chaque état émotionnel va entraîner une réponse physiologique spécifique (Lazarus, 1991). Cette réponse physiologique servirait à préparer l'individu pour la réponse comportementale naturellement associée à chaque émotion. Ainsi, la colère, qui est une émotion suscitant un fort mouvement d'approche (Carver & Harmon-Jones, 2009), serait accompagnée d'un ensemble de modifications physiologiques et psychologiques favorisant l'agression.

a) Réponses physiologiques et psychologiques associées à la colère

Il a été constaté que sous l'action du locus coeruleus, un accroissement du niveau de noradrénaline avait pour conséquence une augmentation du niveau d'arousal (Berridge, 2008). Or, la noradrénaline entraînerait une augmentation de la sensibilité à l'environnement, abaissant ainsi les seuils de détection de l'individu. La probabilité de détecter les stimuli générateurs de colère est augmentée, et par conséquent, la propension à l'irritabilité et l'agressivité (Coccaro et al., 1991). La baisse du seuil perceptif permettrait de laisser plus de temps à l'individu pour déclencher une agression en surprenant celui qui sera jugé comme responsable de la situation.

En parallèle, certains muscles faciaux semblent être contractés de manière automatique, communiquant ainsi à autrui l'état émotionnel de l'individu (Ekman, Levenson, & Friesen, 1983). Cette activation musculaire faciale observable par des méthodes d'électromyographie pourrait également refléter l'effort investi par l'individu dans la résolution du conflit (Stemmler et al., 2007).

Enfin, la colère semble provoquer un optimisme et une confiance en soi exacerbés nous permettant de nous sentir plus confiants et plus puissants afin de surmonter l'adversité et rétablir une situation correspondant à nos attentes (voir Lerner & Tiedens, 2006 pour une revue de la littérature sur la colère et la prise de décisions). En effet, si l'on se réfère au modèle de l'évaluation, un individu jugeant qu'il a les capacités de changer la situation va tenter de modifier le cours des événements afin qu'ils soient conformes à ses attentes.

b) Trait et état de colère

Le modèle « State-Trait Anger Theory » stipule qu'il existe une différence entre l'état de colère et le trait de personnalité colérique (Deffenbacher et al., 1996). L'état de colère est un état psychologique et physiologique transitoire correspondant à une réponse de l'individu lors d'une situation donnée. Au contraire, le trait de colère est une dimension stable de l'individu modulant son ressenti de l'état de colère. En accord avec cette théorie (Deffenbacher et al., 1996), les cinq principes suivants ont été identifiés comme étant constitutifs du trait de colère : Le trait de colère facilite l'apparition de l'état de colère, mais il en augmente aussi l'intensité. De plus, les individus avec un fort trait de colère ont une difficulté à l'exprimer de manière constructive, ce qui diminue leur capacité à évacuer la colère. Ainsi, ils subissent plus fréquemment les conséquences associées à la colère (e.g. frustration, agressivité).

L'étude de l'influence des émotions sur la cognition nécessite la mise en place d'un protocole expérimental particulier. Ainsi, plusieurs techniques ont été développées afin d'investiguer cette question fondamentale.

4. Investigation de l'impact des émotions en laboratoire

a) Sélection au sein de la population

Pour étudier les émotions en laboratoire, trois approches sont couramment employées. La première d'entre elles consiste à étudier le fonctionnement cognitif d'individus présentant une pathologie affectant leur fonctionnement émotionnel. C'est le cas notamment de l'étude de Gotlib, Krasnoperova, Yue, & Joormann (2004) qui a sélectionné des participants présentant une dépression pathologique afin d'en évaluer l'impact sur la focalisation attentionnelle. Cette méthode possède l'avantage de révéler les effets que peut avoir une émotion lorsqu'elle est ressentie de manière fréquente et intense. Toutefois, ce type d'expérimentation peut s'avérer limitée par la présence de pathologies. En effet, la grande variété d'atteintes physiologiques, de traitements suivis et les variabilités intra-individuelles liés à l'état pathologique sont autant de freins à la généralisation des résultats (Pêcher, Lemercier, & Cellier, 2011). C'est pourquoi la sélection de participants ne présentant pas de pathologie dépressive lourde est parfois préférée. Par exemple, un grand nombre d'études ont eu pour objectif d'observer la dysphorie (état général d'insatisfaction et de mal être non pathologique) et les biais attentionnels qu'elle pouvait provoquer (Sears, Thomas, LeHuquet, & Johnson, 2010).

Une deuxième méthode d'investigation est le recrutement de participants présentant un trait de personnalité spécifique à l'émotion ciblée. Pour cela, il est nécessaire de repérer ces individus dans la population générale, ce qui se concrétise généralement par la passation de questionnaires cliniques. Par exemple, la sélection d'individus avec un fort trait d'anxiété peut être effectuée à l'aide du State/Trait Anxiety Inventory (Spielberger, 2010). Il est alors possible d'étudier le comportement d'individus étant le plus exposés à l'état anxieux, tout en facilitant la généralisation des résultats pour le reste de la population.

De la même manière certains auteurs se sont intéressés au trait de colère en conduite. Il reflèterait la fréquence et l'intensité du ressenti de l'état de colère pendant une tâche de conduite. Il peut être mesuré à l'aide de la Driving Anger Scale (Voir page 45).

L'autre méthode utilisée en laboratoire consiste à induire les participants dans l'état émotionnel désiré. En effet, il est possible qu'au moment de l'expérimentation en laboratoire, l'individu soit dans une humeur ne correspondant pas à l'état émotionnel visé par l'étude. C'est pourquoi il peut être préférable d'induire les individus dans l'humeur souhaitée. Différentes techniques de manipulation de l'état émotionnel ont donc été développées (pour une revue voir Jallais & Gilet, 2010). L'induction émotionnelle est la plus utilisée par le fait notamment qu'elle est moins coûteuse dans le sens où elle ne nécessite pas de sélection a priori des participants. Cette technique a été utilisée dans le cadre des expérimentations de cette thèse.

b) Induction d'humeur

Il existe un ensemble de méthodes d'induction couramment utilisées et dont la fiabilité a été éprouvée de nombreuses fois (voir Gilet, 2008 ; Martin, 1990). Parmi ces méthodes, la procédure de Velten (1968) reste l'une des plus utilisées. Elle consiste à faire lire au participant un ensemble de phrases correspondant à une humeur positive, négative ou neutre. Ces phrases consistent à déclarer une humeur positive ou négative (e.g. « C'est génial, je me sens vraiment bien ») ou à exprimer les manifestations physiologiques de l'humeur visée (e.g. « Je me sens tellement fatigué que je n'ai envie de rien faire »). En plus de lire ces phrases, l'individu a pour consigne de faire son maximum pour ressentir l'humeur correspondante.

La méthode d'écoute musicale (Sutherland, Newman, & Rachman, 1982) consiste quant à elle, à inciter un individu à se concentrer sur une écoute de musique tout en essayant de ressentir une humeur positive ou négative. Dans un premier temps, cette procédure permettait au participant de choisir l'extrait musical, mais pour un meilleur contrôle de la situation, d'autres études ont choisi d'utiliser la même musique pour tous les participants du même groupe (Martin, 1990). La consigne consistant à essayer de ressentir l'humeur visée a parfois été supprimée afin que le participant ne soit pas conscient de l'objectif de l'écoute musicale (Pignatiello, Camp, & Rasar, 1986).

Ces méthodes d'induction émotionnelle se sont avérées efficaces pour induire des humeurs positives, négatives ou neutres. Cependant, elles n'ont pas été conçues pour l'étude d'une émotion particulière (e.g. colère, joie, tristesse, dégoût etc.). Dans le cadre de l'étude d'un état

émotionnel en particulier, des méthodes combinant plusieurs types d'induction ont parfois été utilisées. Ces méthodes mixtes ont été créées dans l'optique de renforcer l'intensité et la persistance de l'état émotionnel induit. Par exemple, la méthode de l'écoute musicale a parfois été combinée à l'imagerie guidée (Mayer, Allen, & Beauregard, 1995). Cette méthode mixte consiste à présenter au participant des situations génératrices de joie, de colère, de peur ou de tristesse. Des phrases telles que « Quelqu'un a déposé une plainte infondée contre vous » (*i.e.* induction de colère) ou « Personne ne se souvient de votre anniversaire » (*i.e.* induction de tristesse) sont lues par le participant. Il lui est alors demandé de s'imaginer le plus précisément possible dans cette situation. L'utilisation de phrases décrivant une situation plutôt qu'un état émotionnel constituent la majeure différence par rapport à la procédure de (Velten, 1968). En addition à cette tâche d'imagerie, un fond musical composé de musiques propices à l'induction est joué afin de renforcer l'efficacité de la procédure. Puis, pendant quelques minutes après la fin de la tâche d'imagerie guidée, la musique reste présente afin de maintenir l'état émotionnel du participant durant la tâche expérimentale. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet de ne pas informer le participant sur l'état dans lequel il devrait être induit.

Enfin, pour induire une humeur spécifique, il est possible d'avoir recours à une tâche de rappel autobiographique consistant à se remémorer des situations ayant provoqué cette humeur par le passé. Plusieurs variations existent autour de ce principe. La première d'entre elles est la procédure développée par Brewer, Doughtie, et Lubin (1980). Elle consistait à demander au participant de se remémorer successivement, et par ordre d'intensité croissante, trois situations ayant provoqué l'état émotionnel visé. Une autre version de cette procédure consiste à demander au participant de se remémorer un événement correspondant à l'humeur indiquée, puis de décrire cet événement par écrit pendant dix minutes (Krauth-Gruber & Ric, 2000). Cette méthode a été utilisée avec succès pour induire des états spécifiques tels que la colère, la joie, la tristesse et la sérénité (Jallais & Gilet, 2010). Dans leur expérimentation, le participant est également incité à faire l'effort de revivre mentalement la situation afin de pouvoir la décrire le plus précisément possible, en ajoutant tous les détails dont il peut se souvenir. Cette variante de la méthode du rappel autobiographique s'est révélée plus efficace

que la méthode d'imagerie guidée avec musique pour induire des changements de valence et d'arousal (Jallais & Gilet, 2010).

Pour plus de validité lors de l'interprétation des résultats, il est nécessaire de s'assurer que l'humeur des participants corresponde à l'objectif de l'expérimentation. Plusieurs méthodes ont ainsi été développées pour mesurer l'état émotionnel et ainsi vérifier l'efficacité de la technique d'induction employée.

c) Mesure de l'état émotionnel

Les méthodes de mesure de l'état émotionnel peuvent être regroupées en trois catégories. Tout d'abord, il est possible d'utiliser des indices comportementaux ayant déjà montré leur sensibilité aux émotions. Par exemple, la dépression est généralement associée à un ralentissement psychomoteur (American Psychiatric Association, 2013). Ainsi, l'induction d'une humeur négative à l'aide de la procédure de Velten (1968) peut provoquer un ralentissement dans la vitesse de décompte, d'écriture et d'association d'idées (*voir* Clark, 1983 pour une revue). Cependant, ces indices correspondent plus à une mesure de l'impact de l'humeur sur la cognition qu'une mesure de l'état émotionnel de l'individu.

D'autres types de mesures consistent à identifier un ensemble d'indicateurs qui seraient sensibles aux changements d'humeur de l'individu (Ekman et al., 1983 ; Lazarus, 1991). Ces indicateurs incluent un ensemble de réactions somato-viscérales, musculaires et cardiaques qui sont particulièrement impactées par des changements dans le niveau d'arousal. L'avantage de cette méthode est que l'individu reste naïf concernant les objectifs de l'étude. De plus, cette évaluation peut se faire directement pendant la tâche expérimentale. Cependant, ces indicateurs servent davantage à rendre compte de changements d'états émotionnels plutôt qu'à s'assurer que l'individu est dans l'humeur souhaitée. Il faut également tenir compte, lors d'une mesure de l'humeur, du fait que la faible intensité de l'état émotionnel ressenti pourrait rendre indétectables les changements opérés au niveau physiologique.

Le troisième type de mesure de l'état émotionnel qui reste l'un des plus utilisés est l'auto-évaluation. Plusieurs questionnaires ont ainsi été créés pour permettre à l'individu d'indiquer directement l'état émotionnel dans lequel il se trouve. Par exemple, le Positive And Negative

Affect Schedule (PANAS ; Watson, Clark, & Tellegen, 1988) propose à l'individu d'évaluer sur une échelle de type Lickert, une vingtaine d'adjectifs désignant des humeurs positives ou négatives (e.g. Enthousiaste, excité, déterminé etc.). Une limite à ce questionnaire est qu'il ne permet pas d'identifier l'état émotionnel spécifique ressenti par l'individu. Une version étendue du PANAS, appelée le Positive And Negative Affect Schedule – expanded form (PANAS-X ; Watson & Clark, 1994) a donc été créée. Le PANAS-X est composé de 60 adjectifs que le participant évaluera selon la correspondance entre l'adjectif et son humeur ressentie. Ce questionnaire permet d'identifier plus clairement l'état émotionnel de l'individu en distinguant la valence de l'humeur ressentie, mais aussi de catégoriser l'humeur ressentie dans sept états possibles (*i.e.* joyeux, attentif, apeuré, hostile, coupable, triste, confiant et attentif). Toutefois, ces questionnaires ne comportent pas d'évaluation précise de l'état de colère d'un individu.

Le questionnaire Brief Mood Introspection Scale (BMIS ; Mayer & Gaschke, 1988), modifié par Corson et Verrier (2007) se base sur le modèle de Russell (1980) pour recueillir le ressenti des individus concernant leur état. Il est composé de 16 adjectifs (e.g. Enragé ; Triste ; Joyeux ; Calme) que le participant évalue à l'aide d'une échelle de type Lickert en sept points allant de « Pas du tout » à « Tout à fait ». Ces adjectifs correspondent à quatre émotions : la colère, la tristesse, la sérénité et la joie. Les notes recueillies pour ces 16 adjectifs permettent de calculer un score de valence et un score d'arousal. Par exemple, pour la colère, le score de valence correspond à la moyenne des notes pour les quatre adjectifs dénotant la colère : Enragé ; En colère ; Hostile et Furieux. Le score d'arousal correspond quant à lui à la moyenne des notes pour les 16 adjectifs, en inversant les notes pour les 8 adjectifs dénotant la tristesse et la sérénité qui sont des émotions associées à un faible arousal. Ce questionnaire a été utilisé plusieurs fois avec succès pour mesurer un état de colère induit (e.g. Jallais & Gilet, 2010) et semble donc être le plus adapté à nos objectifs (Voir Annexe 1).

A l'aide de ces questionnaires, il sera possible d'évaluer l'état émotionnel de nos participants avant le début de la tâche de conduite afin de s'assurer qu'ils sont bien dans l'humeur souhaitée. Dans le cadre de recherches fondamentales sur la relation entre émotions et cognition, plusieurs études ont été menées afin d'observer l'impact des émotions sur les capacités attentionnelles.

5. Emotions et réseaux attentionnels

Pour cela, les tests d'orientation attentionnelle ou de flankers ainsi que l'ANT et l'ANT-I (*voir page 22*) reposant sur le modèle des réseaux attentionnels (Posner, 1980) ont notamment été utilisés.

Une partie de ces études s'est appliquée à soumettre les participants à une induction émotionnelle avant de compléter la tâche afin de comprendre en quoi un état émotionnel particulier pouvait impacter le traitement de stimuli neutres. La majorité d'entre elles visait à évaluer les effets d'un état émotionnel plaisant ou déplaisant sur l'attention. Par exemple, lorsque l'arousal est élevé, les participants induits dans un état émotionnel positif montrent un effet plus fort de la congruence des flankers (McConnell & Shore, 2011). Une autre étude ayant remplacé les flèches de l'ANT-I par les lettres utilisées dans la tâche de flankers originale, a montré que le système d'alerte a été plus performant lorsque les participants ont été induits dans une humeur négative (Jiang, Scolaro, Bailey, & Chen, 2011). Par ailleurs, d'autres chercheurs ont préféré se focaliser sur un état émotionnel à la fois plutôt qu'à un état positif ou négatif. Il s'avère que cette approche a permis de montrer des effets qui n'avaient pas été observés en groupant les émotions selon leur valence. C'est par exemple le cas des résultats observés pour la tristesse. Contrairement à ce qui avait été observé pour les émotions négatives (Jiang et al., 2011), la tristesse ne provoque pas d'amélioration du réseau d'alerte, mais une réduction de l'efficacité du réseau d'orientation (Pêcher, Quaireau, Lemerrier, & Cellier, 2011). Cet effet semble provenir principalement d'un état inattentif induit par la tristesse, ce qui expliquerait pourquoi les participants traitent les indices d'orientation sans faire d'inférences concernant le positionnement de la cible. Un effet a également été observé pour la peur qui améliore l'efficacité du contrôle exécutif en accélérant les temps de réponses lorsque la flèche cible est entourée de flankers incongruents (Finucane, 2011). Enfin, l'état d'anxiété semble avoir un impact positif sur les effets d'alerte et d'orientation (Pacheco-Unguetti et al., 2010).

Parfois, les stimuli neutres de l'ANT-I ont été remplacés par des stimuli connotés négativement. Par exemple, en remplaçant les indices d'orientation par des images véhiculant

des émotions négatives, il a été démontré que l'intervention du contrôle exécutif pouvait réduire l'impact de ces stimuli sur l'attention (Cohen, Henik, & Mor, 2011).

De par les modifications ponctuelles apportées aux tests originaux, mais aussi de par la diversité des états émotionnels induits, les résultats obtenus sont parfois à prendre avec précautions lorsqu'il s'agit de prédire l'influence d'une émotion particulière sur l'efficacité des réseaux attentionnels. De plus, à notre connaissance, aucune de ces études n'a été menée afin d'étudier l'impact de la colère sur l'efficacité des réseaux attentionnels. Il nous semble donc important d'obtenir ces connaissances fondamentales avant de mener des expérimentations plus appliquées étudiant l'impact de la colère sur l'attention en conduite. Enfin, selon le type de modifications observées, il serait possible de faire des inférences sur les dimensions de l'activité de conduite affectées par la colère.

D. Conduite

1. Présentation de l'activité de conduite

Un des modèles les plus largement utilisés pour décrire l'activité de conduite est le modèle de Michon (1985). Grâce à la revue d'une grande quantité de modèles antérieurs, il a constaté que ces derniers pouvaient se répartir dans deux grandes classes que sont les taxonomies et les modèles fonctionnels. Les taxonomies ont l'avantage de répertorier et classer les différentes composantes de l'activité de conduite, mais elles n'expriment pas la dynamique entre ces composantes. Les modèles fonctionnels, eux, donnent une idée de la relation entre les éléments, mais ils sont parfois trop restrictifs et ne dépassent pas toujours le cadre de leur propre champ d'étude. Ils ne sont pas toujours généralisables.

A partir de cette revue, Michon (1985) a élaboré un modèle cognitif de l'activité de conduite qui se présente sous une structure simple et flexible, pouvant regrouper différents niveaux hiérarchiques et théoriques. Le modèle proposé est divisé en trois grandes parties correspondant à trois niveaux de compétences dans l'activité de conduite :

- Le niveau opérationnel, qui contient l'ensemble des actions nécessaires au contrôle de la voiture ;
- Le niveau tactique, qui concerne les manœuvres de déplacement et de positionnement dans le trafic et l'infrastructure ;
- Le niveau stratégique, qui permet la planification des buts de la conduite, de l'itinéraire, et du choix de la modalité de transport.

Ces différents niveaux s'entre-influencent de telle sorte que les conditions de conduite ou la volonté du conducteur peuvent modifier, par exemple, la façon d'interagir avec le trafic, ou une modification d'itinéraire. Par exemple, lorsqu'un conducteur a pour objectif stratégique de prendre la prochaine sortie d'autoroute alors qu'il s'apprête à effectuer un dépassement, plusieurs choix s'offrent à lui. Il peut faire le choix tactique d'effectuer son dépassement, ce qui suppose un contrôle important de la vitesse et du déplacement latéral du véhicule au niveau opérationnel. Au contraire, le conducteur peut faire le choix tactique de ne pas effectuer le dépassement, ce qui facilitera la gestion opérationnelle du véhicule jusqu'au prochain point de l'itinéraire. La décision entre ces deux possibilités dépendra en partie de la gestion des risques par le conducteur.

2. Gestion de la prise de risques

Selon le modèle de l'homéostasie du risque (Wilde, 1998), les décisions correspondant principalement au niveau stratégique du modèle de Michon (1985) dépendent d'une optimisation de la prise de risque de l'individu. En effet, le conducteur choisirait la manœuvre la plus appropriée en se basant sur quatre dimensions : 1) Les bénéfices attendus du comportement à risque ; 2) Les coûts attendus de ce comportement ; 3) Les bénéfices attendus d'un comportement sécuritaire ; 4) Les coûts de ce comportement. Selon Wilde (1998), le risque nul n'existe pas en conduite. Dès lors qu'un individu prend le volant, il a un objectif à atteindre. Pour atteindre cet objectif, chaque individu possède un niveau de risque préféré pour lequel il tire un maximum de bénéfices, et en dessous duquel les contraintes sont jugées trop importantes.

La prise de risque peut donc être volontaire si l'individu décide d'effectuer une manœuvre en acceptant les risques. Toutefois, elle peut aussi être involontaire lorsqu'elle provient d'un défaut d'attention, ce qui implique que l'individu n'a pas pris sa décision en ayant conscience de tous les éléments critiques de la situation.

3. Défauts d'attention en conduite

Il existe différentes approches pour catégoriser les défauts d'attention en conduite. Tout d'abord, il est possible de les caractériser par l'objet responsable de la perturbation attentionnelle. Ainsi, une perturbation venant de stimuli externes tels qu'une interaction avec un téléphone portable serait plutôt de la distraction. En revanche, l'allocation privilégiée de l'attention vers des stimuli internes tels que la préparation mentale pour une liste de courses correspondrait à de l'inattention (Regan, Hallett, & Gordon, 2011). Les perturbations causées par les émotions durant la conduite correspondraient donc, selon cette taxonomie, à de l'inattention. Cette vision peut être enrichie grâce à l'accidentologie liée aux défauts d'attention, qui vont pouvoir caractériser différents types d'erreurs liées à l'inattention ou la distraction. Ainsi, sur l'échantillon d'accidents de la route recueilli par Hoel et collaborateurs (Hoel, Jaffard, Boujon, & Van Elslande, 2011), l'inattention était la perturbation attentionnelle la plus fréquente. Elle était majoritairement associée à une erreur de détection, une erreur de décision, ou une mauvaise anticipation. L'inattention est donc un facteur important contribuant à l'insécurité routière pour les nombreuses erreurs qu'elle va provoquer.

Lorsque l'objet de l'inattention concerne des pensées auto-générées sans rapport avec la tâche en cours elle peut également être désignée sous l'appellation « mind-wandering », ou encore « vagabondage de la pensée ». Plusieurs études épidémiologiques ont révélé l'importance du mind-wandering en termes de sécurité routière. Par exemple, en interrogeant un échantillon de patients admis dans un service d'urgences pour un accident de la route, Galéra et collaborateurs (Galera et al., 2012), ont observé que les conducteurs fortement perturbés par leurs pensées étaient deux fois plus fréquemment considérés comme responsables de l'accident. Ce résultat pourrait être expliqué par le phénomène de découplage perceptuel qui survient lors des épisodes de mind-wandering. Le découplage

perceptuel représente les phases durant lesquelles les ressources attentionnelles d'un individu ne sont plus dirigées vers son environnement, mais plutôt vers des stimuli internes (Smallwood & Schooler, 2015).

En conduite, le mind-wandering se traduirait par une augmentation des temps de réactions pour des informations centrales et périphériques, une augmentation de la vitesse, et une réduction de la distance inter-véhiculaire (Yanko & Spalek, 2014). Il est envisageable que le mind-wandering impacte la conduite car il place l'individu dans une situation comparable à une double tâche. Une partie des ressources attentionnelles serait alors utilisée pour alimenter la génération et le traitement des pensées internes. Cependant, des individus se sachant en double tâche peuvent adapter leur allure afin d'augmenter la distance inter-véhiculaire, palliant ainsi leur baisse de réactivité (e.g. Ranney, Harbluk, & Noy, 2005). En revanche, les conducteurs sujets au vagabondage des pensées ont généralement une mauvaise conscience de la situation. Ils ne sont donc pas capables de s'adapter à leurs capacités actuelles en augmentant la distance inter-véhiculaire ou en réduisant leur vitesse de circulation. Au contraire, ils auraient tendance à augmenter leur vitesse en réduisant la distance de suivi (Yanko & Spalek, 2014).

Il est à noter qu'une humeur négative est un contexte favorable au développement du mind-wandering (Smallwood et al., 2009 ; Smallwood & Schooler, 2015). Ce phénomène pourrait être à l'origine de l'augmentation du risque d'accident lorsque les conducteurs traversent des phases telles que les périodes de séparation ou de divorce propices à l'émergence d'émotions négatives (Lagarde et al., 2004). En effet, la prévalence d'accidents responsables graves s'est avérée quatre fois plus élevée pour les individus ayant subi une séparation ou un divorce que pour les autres conducteurs. Dès lors, l'étude des émotions en conduite automobile apparaît comme indispensable pour comprendre certaines baisses de performances de conduite et pour améliorer la sécurité routière.

E. Emotions et conduite

1. Investigation de l'impact des émotions en conduite

L'investigation des effets des émotions sur la conduite automobile, bien qu'appliquée, répond aux mêmes exigences que les recherches plus fondamentales. Ainsi, les méthodologies expérimentales disponibles sont les mêmes : sélection des participants par leur pathologie, par leur trait de personnalité ou induction de l'état émotionnel investigué (*voir Gilet, 2008 pour une revue*). De la même manière que pour les études en laboratoire, sélectionner au sein de la population générale des participants sur des critères répondant aux objectifs de l'étude peut s'avérer compliqué et coûteux en temps. En effet, la variété des atteintes physiologiques, des traitements médicaux et la faible prévalence de ces populations sont des facteurs qui peuvent compliquer la méthodologie mise en place. Un souci supplémentaire qui se pose pour ce type de protocole est que cela pose question quant à l'incompatibilité de certains traitements avec la tâche de conduite.

Parmi les questionnaires permettant une sélection sur le trait de personnalité, la Driving Anger Scale (DAS ; Deffenbacher, Oetting, & Lynch, 1994) a été développée afin de mesurer la propension à ressentir la colère en conduite. Pour créer cette échelle, les auteurs ont identifié grâce à des questionnaires les situations les plus fortement génératrices de colère au volant. Ces situations étaient classées dans six grandes classes : 1) Les gestes hostiles ; 2) La conduite illégale ; 3) La présence de policiers ; 4) La conduite lente ; 5) La discourtoisie ; et 6) Les obstructions du trafic. Les participants devaient indiquer à quel point ils auraient ressenti de la colère dans une série de situations de conduite. Un des objectifs sous-tendant la création de la DAS est de permettre une sélection des conducteurs avec une tendance à ressentir facilement la colère pour les futures études portant sur la colère en conduite. Ainsi, un individu pourra être observé lors d'un grand nombre de situations car le trait émotionnel est une caractéristique stable. Selon le State - Trait anger theory (*voir page 31*), ce trait augmentera principalement la fréquence et l'intensité de l'état de colère ressenti durant la conduite.

En ce qui concerne l'étude de l'influence d'états émotionnels sur la conduite, une première méthode consiste à identifier la présence d'émotions émergeant naturellement de la tâche de conduite. En effet, il est possible d'interroger des conducteurs de manière rétrospective afin de recueillir leur ressenti associé à des situations génératrices d'accidents (ex. Galera et al., 2012 ; Lagarde et al., 2004). Ce type d'études permet de recueillir les résultats à propos d'un large échantillon de conducteurs dans un environnement naturel. Cependant, la mesure rétrospective des états émotionnels comporte plusieurs désavantages. En effet, la précision de ces tests est dépendante de la capacité d'auto-évaluation de l'individu. Il est possible que le conducteur ne soit pas toujours conscient de l'état dans lequel il se trouvait, ou que ses capacités mnésiques aient été perturbées par les émotions ressenties. De plus, pour que les questionnaires introspectifs soient fiables, il est important que l'individu soit honnête dans ses déclarations (Watson & Clark, 1997). Ce dernier point peut s'avérer problématique en cas d'études impliquant un accident car l'individu ne souhaitera pas toujours avouer ce qu'il ressent au risque de paraître incompetent ou responsable de l'accident. Enfin, les émotions peuvent moduler l'évaluation des risques (e.g. Lerner & Keltner, 2001). L'état de peur entraîne une focalisation sur les événements générateurs de peur ce qui pourrait biaiser le nombre de situations dangereuses perçues. Par conséquent, il est parfois préférable de mener des expérimentations qui permettent une observation directe du comportement des conducteurs.

Une autre méthode consiste donc à utiliser des méthodes d'induction émotionnelle classiques (voir page 32) afin d'observer les effets d'un état émotionnel en particulier sur les performances de conduite (voir Pêcher, Lemerrier, et al., 2011). Toutefois, cette méthode présente aussi des inconvénients qui pourraient être particulièrement gênants pour des études sur la conduite. En effet, l'humeur ainsi induite a une persistance d'environ 15 minutes seulement (Pêcher, Lemerrier, et al., 2011). De plus, l'induction d'humeur par les techniques classiques pour étudier la conduite suppose que l'humeur générée ne sera pas liée à la tâche elle-même. Selon Bodenhausen, Sheppard, & Kramer (1994), il faut distinguer l'affect incident qui est induit par des événements antérieurs à la tâche de conduite, de l'affect intégral qui est généré par la situation de conduite. En effet, ces deux types d'affect pourraient avoir des effets différents sur la performance de conduite (Jeon et al., 2014).

Pour pallier ce problème, il est possible de créer une situation de conduite propice à l'apparition de l'état émotionnel désiré. Stephens et collaborateurs (Stephens & Groeger, 2011 ; Stephens, Trawley, Madigan, & Groeger, 2013) ont identifié les situations génératrices de colère en conduite et ont créé une méthode d'induction basée sur leurs observations. Cette méthode consiste à faire conduire un individu en étant gêné par d'autres utilisateurs de la route, tout en plaçant quelques événements ponctuels fortement générateurs de colère (e.g. klaxon ou manœuvres dangereuses d'autres usagers). De plus, le contexte de pression temporelle permettrait de maximiser l'intensité et la durée de l'induction de colère. Cette procédure d'induction permet d'observer l'effet de la colère générée par la conduite, mais elle permet aussi l'identification d'une source de colère présente dans l'environnement, ce qui pourrait perturber la dynamique attentionnelle de l'individu (Fox et al., 2001; Harmon-Jones et al., 2013).

Ces différentes méthodes ont été appliquées à l'étude de plusieurs états émotionnels en conduite tels que la joie, la tristesse ou la peur mais aussi la colère. Une description brève des effets de ces émotions sur la conduite est nécessaire afin de mieux cerner les spécificités de la colère dont les effets sur la conduite seront décrits par la suite.

2. Effets de la joie, la tristesse et la peur en conduite

Les résultats indiquent que chacune de ces émotions pourrait impacter la conduite d'une manière spécifique. La joie est une émotion de valence positive accompagnée d'un fort arousal. De manière théorique, plusieurs auteurs ont suggéré que les conducteurs joyeux sont de meilleurs conducteurs (Eyben et al., 2010 ; Jeon et al., 2014), cependant, peu de travaux empiriques viennent confirmer cette supposition. Certaines études montrent même que la joie pourrait avoir des effets négatifs sur la conduite. Par exemple, la musique joyeuse pourrait pousser les conducteurs à adopter un style de conduite plus risqué en réduisant leur contrôle de vitesse et de trajectoire (Pêcher, Lemerrier, & Cellier, 2009). Il est à noter que l'étude des émotions positives en conduite représente une très petite partie des expérimentations bien que la joie pourrait être une émotion fréquente dans ce contexte.

La tristesse est une émotion négative à faible arousal. Comme nous l'avons vu, les études épidémiologiques révèlent que les événements de vie propices à la tristesse peuvent augmenter le risque d'accident (Lagarde et al., 2004). De plus, Pêcher et al. (2009) ont également montré que les conducteurs dans un état de tristesse étaient moins concentrés sur la tâche de conduite, ce qui a provoqué une réduction de leur vitesse et une trajectoire plus rectiligne. La principale menace représentée par la tristesse serait liée à l'émergence de mind-wandering (Pêcher, Lemerrier, et al., 2011).

Les effets de la peur et de l'anxiété, deux émotions négatives accompagnées d'un fort arousal, ne sont pas clairement établis dans un contexte de conduite. Certains auteurs suggèrent que le trait anxieux entraînerait une conduite plus prudente pour compenser une perception plus importante du risque (Stephens & Groeger, 2009). Toutefois, l'anxiété et la peur pousseraient à ignorer des éléments essentiels pour la tâche de conduite et à être focalisé sur les éléments menaçants (Williams, 1997). Cette attention exacerbée pour les éléments menaçants pourrait les placer en situation de surcharge cognitive délétère pour la performance de conduite (Wilson, Smith, Chattington, Ford, & Marple-Horvat, 2006 ; Wong, Mahar, & Titchener, 2015).

Cette perception du risque est à l'opposé des réactions suscitées par d'autres émotions telles que la colère, par exemple.

3. Colère et conduite

Dans le cas de la colère, les individus deviennent plus optimistes (Lerner & Tiedens, 2006), ce qui pourrait augmenter le risque d'accidents par une prise de risque plus élevée, et non une baisse de performance. Toutefois, il existe d'autres effets de la colère qui pourraient également expliquer le risque représenté par cette émotion en conduite.

a) Expression de la colère au volant

Une des manifestations particulièrement remarquables de la colère en conduite provient de son expression par les conducteurs. Quatre moyens d'expression de la colère ont été identifiés en conduite lors de la construction de la « Driving Anger Expression Inventory » (Deffenbacher, Lynch, Oetting, & Swaim, 2002) :

- L'expression constructive, menant à une dissipation de la colère grâce à des stratégies de compensation efficaces,
- L'expression verbale agressive qui peut se manifester par des insultes ou des cris,
- L'expression personnelle physique agressive qui regroupe les possibles agressions physiques envers les autres conducteurs,
- L'expression de la colère par l'utilisation du véhicule, ce qui conduit à des appels de phares, des obstructions de voies et à des comportements délibérément dangereux pour les autres usagers.

Il est à noter que l'expression de la colère par une agression physique ne serait pas toujours une forme d'expression courante, car elle dépend fortement de la culture (Sullman, Stephens, & Yong, 2015). Par exemple, en France, les conducteurs déclarent une tendance plus forte à l'expression verbale de leur frustration plutôt qu'à une expression agressive de la colère à travers l'utilisation du véhicule (Villieux & Delhomme, 2007).

En plus d'une expression de la colère, plusieurs modifications du style de conduite ont été observées (Abdu et al., 2012 ; Jeon et al., 2015 ; Pêcher et al., 2009 ; Roidl et al., 2014).

b) Colère et style de conduite

Suite à l'apparition de colère, les conducteurs semblent enfreindre le code de la route plus que les autres conducteurs, notamment par une augmentation du nombre de franchissement des feux oranges, et une tendance à conduire à une vitesse plus élevée (Abdu et al., 2012). Ce comportement dangereux étant associé à la colère, le State-Trait Anger Theory prédit que les individus ayant un fort trait de colère y soient plus souvent confrontés que les autres conducteurs (Deffenbacher et al., 1996). Cette prédiction semble soutenue par le fait que les conducteurs ayant une forte propension à la colère rencontrent plus fréquemment des situations de presque-accident (Underwood, Chapman, Wright, & Crundall, 1999). Cette relation est en fait à double sens car lorsque les conducteurs sont placés en situation de presque-accident par la faute d'un autre conducteur, ils ont plus de risques de ressentir de la colère (Stephens & Groeger, 2011 ; Underwood et al., 1999).

Stephens & Groeger (2011) ont montré que lorsque la colère émerge au cours d'une situation de conduite, les effets tels que la vitesse excessive, le mauvais positionnement sur la voie et l'augmentation du nombre de collisions persistaient bien après la situation génératrice de colère. En plus d'une allure plus élevée et des accélérations plus brutales, les conducteurs dans un état de colère avaient également des accélérations latérales plus élevées, indiquant qu'ils ont un contrôle de trajectoire moins souple (Roidl et al., 2014).

c) Impact de la colère sur l'attention en conduite

Ces modifications dans le style de conduite montrent le danger représenté par la colère au volant. Mais, afin d'expliquer de manière plus complète cette dangerosité, il faut également s'intéresser à la dynamique attentionnelle des conducteurs. En plus des risques provenant de la tendance au vagabondage des pensées (Galera et al., 2012 ; Lagarde et al., 2004), les études à propos de l'attention en conduite révèlent un impact négatif de la colère sur la sécurité routière. L'augmentation de la vitesse de circulation causée par la colère semble être majoritairement modulée par la conscience de la situation (Jeon et al., 2015). Une conduite dangereuse peut donc être due à une mauvaise conscience de la situation, associée à une perception réduite des risques (Lerner & Tiedens, 2006). Cette baisse de conscience de la situation peut être attribuable en partie à une mobilisation des ressources par l'activité de vagabondage des pensées, mais elle serait également liée à un traitement plus superficiel de la situation par les individus en colère (*voir* Angie, Connelly, Waples, & Kligyte, 2011). En effet, il semble que les conducteurs en colère ont tendance à prendre des décisions en se basant sur une vision stéréotypique de la situation (Stephens & Groeger, 2011). Par exemple, s'ils ont fait face à un type de véhicule gênant lors d'un scénario d'induction, ils vont tout faire pour éviter ce type de véhicule par la suite.

De plus lorsqu'ils rencontrent une situation potentiellement dangereuse comme un piéton émergeant sur la route pour traverser après avoir été caché par un obstacle visuel, les conducteurs dans un état de colère réagiront plus tardivement (Stephens et al., 2013). Ce résultat témoigne du fait que les conducteurs n'ont pas réussi à prévoir le comportement du piéton dès lors qu'il n'était plus visible. L'ensemble de ces modifications sur l'attention

combinées aux tendances en termes de comportements de conduite soulignent l'importance de poursuivre l'étude des effets de la colère en conduite pour une amélioration de la sécurité routière.

F. Objectifs de la thèse

Ainsi, même si certains effets de la colère sur le comportement de conduite imputables à une modification des performances attentionnelles ont été observés à plusieurs reprises dans la littérature (e.g. Deffenbacher, Lynch, et al., 2002 ; Jeon et al., 2014 ; Roidl et al., 2014 ; Stephens & Groeger, 2011, 2012 ; Stephens et al., 2013), il reste néanmoins un manque de connaissances à propos de l'impact de cette émotion sur les capacités attentionnelles. Une investigation plus complète sur ce sujet permettrait notamment de mieux appréhender les mécanismes modulant la performance de conduite dans un état de colère. C'est avec cet objectif général que trois études ont été menées au cours de cette thèse.

La première d'entre elles vise à apporter des connaissances fondamentales sur le lien entre colère et réseau attentionnel. Comme il a été présenté précédemment, la colère semble impacter un grand nombre de dimensions de la tâche de conduite. L'observation directe des performances de conduite pourrait entraîner une confusion de cette grande variété d'effets. Ainsi, nous avons choisi d'observer dans un premier temps les perturbations attentionnelles suscitées par un état émotionnel hors d'une tâche de conduite. A notre connaissance, aucune étude ne s'est focalisée sur l'observation de l'impact de la colère sur les réseaux attentionnels décrits par Posner (1980) en laboratoire. Pour se faire, l'utilisation de l'Attention Network Test – Interactions (Callejas et al., 2005) semble particulièrement intéressante car ce test permet de mesurer l'efficacité des trois réseaux lors du traitement de stimuli neutres. En effet, plusieurs études sur l'impact des émotions en laboratoire ont utilisé des stimuli émotionnellement connotés. Or, en conduite, l'environnement est constitué en majorité de stimuli neutres. Notre première étude visera donc à observer l'impact de la colère sur les réseaux attentionnels en laboratoire en utilisant l'ANT-I. Les résultats ainsi obtenus pourront

nous servir de base dans la formulation des hypothèses concernant l'influence de la colère sur l'attention dans la tâche de conduite.

La deuxième étape a consisté en l'observation de l'influence de la colère sur la dynamique attentionnelle dans un contexte de conduite. L'intérêt de cette étude était de déterminer si les effets de la colère sur l'attention, tels qu'ils ont été observés en laboratoire à l'aide de l'ANT-I (Techer, Jallais, Fort, & Corson, 2015), sont toujours observables en conduite. En effet, une tâche de conduite simulée constituant un environnement plus riche que l'ANT-I, il est possible que d'autres variables puissent masquer les effets précédemment observés. De la même façon que pour l'ANT-I, nous avons observé les participants lors d'une tâche nécessitant une réponse rapide, à la différence qu'ils étaient placés dans un contexte de conduite simulée. Les temps de réaction pouvant être impactés par différents facteurs tels qu'une perturbation motrice ou des défauts d'attention, les mesures comportementales ont été couplées à des mesures objectives de la dynamique attentionnelle. L'analyse de l'activité cérébrale via la méthode des potentiels évoqués qui présente une excellente résolution temporelle a été employée en complément des mesures comportementales. L'utilisation de cette technique durant une tâche de conduite a parfois permis de rendre compte de changements attentionnels qui n'avaient pas de conséquences observables sur le comportement de conduite (e.g. Ebe, Itoh, Kwee, & Nakada, 2015). Si cette technique a permis notamment d'évaluer à plusieurs reprises les effets de distraction lors du traitement d'informations neutres en conduite automobile (e.g. Bueno, Fabrigoule, Deleurence, Ndiaye, & Fort, 2012), à notre connaissance, aucune étude ne s'est servi de cette technique afin d'examiner l'impact de la colère sur le traitement de ces informations.

Enfin, la dernière étude de cette thèse s'est focalisée sur les répercussions des effets attentionnels observés précédemment sur la performance de conduite. En effet, la perturbation de l'attention en conduite vient en partie des ruminations associées à cette émotion. Or, la littérature suggère que l'impact de l'inattention sur le risque d'accidents serait principalement associé à des erreurs de détections. De plus, Stephens et Groeger (2011) ont montré que les individus induits en colère à l'aide d'une tâche de conduite ont une augmentation du nombre de collisions avec les piétons. Ce résultat pourrait être expliqué en

partie par des erreurs de détection des piétons présents en périphérie de la scène de conduite. Pour tester cette hypothèse, une tâche de détection de piétons a été proposée aux participants en addition d'une tâche de suivi de véhicule. Ainsi, nous avons testé la reproductibilité des résultats obtenus durant la deuxième étude au cours d'une tâche de conduite plus complexe.

Expérimentations

A. Evaluation des effets de la colère sur les réseaux attentionnels

1. Problématique et objectifs

En s'appuyant sur le modèle de Posner (1980), nous pouvons supposer qu'en conduite, l'individu déplace constamment son focus attentionnel afin de traiter les éléments critiques de la scène dynamique. Cette fonction serait assurée grâce à l'intervention du réseau d'orientation. Pour chaque élément traité, il doit être capable de discriminer et d'identifier les points critiques tout en ignorant les distracteurs grâce au contrôle exécutif. Enfin, le conducteur doit maintenir un niveau d'alerte tonique adapté à la complexité de l'environnement. Par moment, des indices présents dans l'environnement (e.g. klaxon, panneaux de signalisation de dangers) aideront l'individu à détecter plus rapidement des éléments importants grâce à une intervention de système d'alerte phasique.

La conduite étant une tâche visuo-spatiale, elle peut donc être fortement impactée par des variations dans l'efficacité du traitement attentionnel. Elle se déroule dans un environnement complexe et elle peut être influencée par une grande variété de facteurs. Pour identifier l'impact réel des émotions sur l'attention en conduite, il serait possible de s'appuyer sur les études fondamentales menées dans un environnement simplifié.

Cependant, la majorité de ces études s'est attachée à comparer différents types de stimuli émotionnellement connotés afin de démontrer l'existence de biais attentionnels. Par exemple, des stimuli véhiculant un fort arousal peuvent provoquer des difficultés dans le désengagement attentionnel (Fox et al., 2001). Or, en conduite, la majorité des informations présentes dans l'environnement sont émotionnellement neutres.

Ainsi, l'objectif de cette première étude était d'observer l'impact de la colère sur l'efficacité des trois réseaux attentionnels décrits par Posner (1980) lors du traitement de stimuli neutres et en dehors d'un environnement de conduite.

2. Méthode

a) Attention Network Test - Interactions

La majorité des stimuli présents dans une scène de conduite étant des stimuli neutres, l'influence de la colère sur la conduite se produit principalement lorsque l'individu est lui-même dans un état de colère. Ainsi, le test de l'ANT-I (Callejas et al., 2005) semble le plus approprié pour mesurer l'impact de l'état de colère sur les trois réseaux attentionnels durant le traitement de stimuli neutres.

b) Induction et mesure de l'humeur

Lors de cette étude, les participants ont été répartis aléatoirement en un groupe Colère (N = 20) et un groupe Contrôle (N = 21), afin d'être induits dans l'humeur correspondante avant de compléter la tâche expérimentale.

Pour induire les participants dans une humeur de colère, la méthode du rappel autobiographique a été choisie car elle semble robuste et efficace pour l'induction d'humeurs spécifiques telles que la colère (Jallais et Gilet, 2010). De plus, le rappel autobiographique ne nécessite pas l'utilisation de fond musical durant la tâche. Or, la présence de musique durant l'ANT-I (Callejas et al., 2005) peut perturber le traitement des signaux d'alertes présentés dans la modalité auditive.

La méthode du rappel autobiographique n'a pas été utilisée pour les participants du groupe Contrôle car elle semble peu adaptée à l'induction d'humeur neutre. En effet, la capacité à se remémorer un événement de manière claire et détaillée est grandement influencée par la valeur subjective, l'intensité des émotions ressenties, et l'implication personnelle (voir Holland & Kensinger, 2010 pour une revue sur l'émotion et la mémoire autobiographique). Par conséquent, l'induction dans une humeur contrôle a été effectuée à l'aide d'une écoute de

musique relaxante (Teyssaire, 2003) avant d'effectuer la tâche expérimentale, afin d'aider les participants à se sentir dans une humeur calme qui correspondrait à un état moyen en termes d'arousal et de valence.

La Brief Mood Introspection Scale (BMIS) modifiée par Corson et Verrier (2007) a été utilisée pour mesurer l'état émotionnel des participants (Voir page 35).

3. Synthèse des résultats principaux et discussion

Cette étude a permis de mettre en évidence un impact d'un état de colère sur l'efficacité du réseau d'alerte. Les temps de réponse obtenus par les participants du groupe Colère suggèrent qu'ils ont tiré un plus grand bénéfice des indices d'alerte auditive que les participants du groupe Contrôle.

La colère étant une émotion associée à un fort arousal, son impact sur le réseau d'alerte pourrait être expliqué par l'action du locus coeruleus et de la noradrénaline. En effet, la noradrénaline est le neurotransmetteur principal du réseau d'alerte dont le locus coeruleus fait également partie (Fan et al., 2002 ; Posner & Rothbart, 2007). Or, le locus coeruleus fait partie des principales structures noradrénergiques également impliquées dans la modulation du niveau d'arousal (Berridge, 2008). De plus, la littérature indique que la colère est associée à un niveau élevé de noradrénaline, mais aussi que ce neurotransmetteur peut induire un état d'irritabilité (Ax, 1953 ; Coccaro et al., 1991 ; Stemmler et al., 2007)

Selon les modèles de l'attention en tant que réservoir de ressources (Voir page 13), le fort arousal aurait potentiellement augmenté la quantité de ressources attentionnelles disponibles. Cependant, lors d'une expérimentation menée par Huertas, Zahonero, Sanabria, et Lupiáñez (2011), les participants effectuaient de l'exercice physique tout en complétant la tâche d'ANT-I. Ils ont constaté que l'arousal induit par une activité physique ne provoque pas d'amélioration de l'efficacité du réseau d'alerte. Ainsi, une partie des ressources attentionnelles appartenant au réservoir dédié aux réponses manuelles (Wickens, 2002) a pu être mobilisée par la tâche motrice. Contrairement à la situation d'exercice physique, l'arousal émotionnel est généré

alors que l'ensemble des ressources attentionnelles de l'individu sont disponibles pour la formulation d'une réponse.

Cette influence de la colère sur l'alerte phasique serait particulièrement utile pour l'adaptation de l'espèce. En effet, la majorité des effets de la colère semblent promouvoir la préparation à une réponse agressive (Voir page 30). Ainsi, lorsqu'un individu est victime de transgressions répétées venant d'une source qu'il a la capacité de repousser, la colère ressentie pourrait lui permettre d'affronter la source de colère (Lerner & Tiedens, 2006). L'ensemble de ces modifications combinées à une amélioration de l'efficacité du réseau d'alerte permettraient le déclenchement plus rapide d'une agression grâce à un abaissement des seuils de détection (Coccaro et al., 1991). Grâce à cette réponse rapide suite à la transgression subie, l'individu profite de la surprise du générateur de colère, tout en réduisant la propension de ce dernier à réitérer la transgression (Fessler, 2010).

Les résultats obtenus avec cette étude amènent à se questionner également sur l'influence d'autres émotions sur les réseaux attentionnels. Ainsi, une expérimentation complémentaire a été menée à l'occasion d'un encadrement d'étudiants de Master 1 avec des participants induits dans des humeurs de joie et de tristesse (voir annexe 2). Cette seconde expérimentation menée en parallèle de la thèse a révélé que la joie, comme la colère, provoquerait une amélioration du système d'alerte. De plus, la joie et la tristesse ont toutes deux provoqué une augmentation de l'effet d'orientation.

BRIEF REPORT

Assessing the Impact of Anger State on the Three Attentional Networks With the ANT-I

Yves Corson
University of NantesFranck Techer
French Institute of Science and Technology for Transport,
Development and Networks, Bron, France, and
University of NantesChristophe Jallais and Alexandra Fort
French Institute of Science and Technology for Transport,
Development and Networks, Bron, France

Anger is a negative and highly aroused emotion. Previous research has revealed that a high level of arousal can induce the participant in a physical preparation and self-awareness. The aim of this research was to study the influence of anger on the attentional network using the Attention Network Test– Interactions (ANT-I). This test has been developed in order to assess 3 attentional networks: alerting, orienting, and executive control. Here, participants were induced in anger using the autobiographic recall procedure or in a neutral mood before the realization of the ANT-I. As expected, the results showed a better alerting score for the angry group. The possible origin of this alerting gain related to the high level of arousal is discussed. The results obtained should enlighten the interaction between emotion and the functioning of the attentional system. They also may be relevant for applied fields related to anger.

Keywords: attention network test, anger state, phasic alertness, auditory signal, alerting

Most studies about emotion and attention compared emotional with neutral stimuli processing to underline a bias of attention. It has been shown that stimuli inducing a high level of arousal have been related to difficulties in the disengagement of attention (e.g., Fox, Russo, Bowles & Dutton, 2001).

In particular, anger, which is characterized by a negative valence and a high arousal, can provoke an attentional focusing toward its source (Harmon-Jones, Gable, & Price, 2013). In order to better understand the effect of anger on attention, it could also be useful to study these effects on the processing of neutral stimuli.

This article was published Online First October 6, 2014.

Franck Techer, TS2-LESCOT, French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks, Bron, France, and LPPL, Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire, University of Nantes; Christophe Jallais and Alexandra Fort, TS2-LESCOT, French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks; Yves Corson, LPPL, Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire, University of Nantes.

We thank the anonymous reviewers for the time they have spent in discussing our work. Their insightful comments and suggestions helped us to improve the quality of the article. The authors would also like to thank Pr. J. Lupiañez for the E-prime version of the ANT-I.

Correspondence concerning this article should be addressed to Franck Techer, IFSTTAR, Cité des Mobilités, 25 Avenue François Mitterrand, 69675 Bron Cedex, France. E-mail: franck.techer@ifsttar.fr

According to Posner and Petersen (1990) attention is composed of three independent networks: alerting, orienting, and executive control. Fan, McCandliss, Sommer, Raz, and Posner (2002) designed the Attention Network Test (ANT), a single task assessing the efficiency of each attentional network at the same time. The ANT is the combination of a cueing task (e.g., Posner, Snyder, & Davidson, 1980) and a flankers task (Eriksen & Eriksen, 1974). Although the ANT was a reliable test, Callejas, Lupiañez, Funes, and

Tudela (2005) pointed out that both alerting and orienting scores were obtained from the same cue conditions, leading to a confused interaction between these networks. Thus, they developed the Attention Network Test– Interactions (ANT-I) to assess these two networks independently. They also made the orienting cue nonpredictive in order to assess exogenous rather than endogenous attention measured in the ANT.

The ANT and the ANT-I have already been used to assess the impact of emotional states on attention. In their study about the anxiety-state, Pacheco-Unguetti, Acosta, Callejas, and Lupiáñez (2010) observed that the alerting and orienting networks were positively impacted, whereas the anxiety-trait altered the executive control network. Moreover, Pêcher, Quaireau, Lemerrier, and Cellier (2011) showed that sadness could affect the orienting function. To our knowledge, anger has not been studied using these tests.

This article aims to assess the impact of anger-state on neutral stimuli processing using the ANT-I. Knowing that anger is linked to a high level of arousal and that arousal can improve the sensitivity to the environment by implying a cognitive and physiological excitation (see Thayer, 1989), we expected an increased efficiency of the alerting network. We did not expect any effect of anger on the orienting and the executive control networks.

Method

Participants

Forty-one volunteers (23 to 44 years; M 31, SD 6) took part in this experiment. Twenty were induced in anger using an auto-biographical recall procedure (anger group, 13 females) and 21 in a neutral mood (control group, 15 females). Participants were randomly assigned to one of the two groups. The research protocol was approved by the ethic committee of the French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Net-works.

Mood Induction

Participants were induced either in an angry or a neutral mood. In order to induce anger, the autobiographical recall procedure was used (see Jallais & Gilet, 2010). Participants had to recall and write down an angry event they experienced. They were encouraged to provide as many details as they could. They were given 10 min to perform this task. In the control group, participants were asked to listen to a 10-min music (Teyssaire, 2003) session (see Jallais & Gilet, 2010).

To evaluate the arousal dimension, the Affect Grid (Russell, Weiss, & Mendelsohn, 1989) adapted by

Eich and Metcalfe (1989) was used. Participants were given a matrix made of 81 squares (9 lines 9 columns). The horizontal and vertical axes represented the valence and the arousal, respectively. Participants had to mark one square according to their current mood. The valence dimension was assessed using a modified version of the Brief Mood Introspection Scale (BMIS; Mayer & Gaschke, 1988), developed by Corson and Verrier (2007), to estimate anger state in a more precise way than with the Affect Grid. This version consists in a list of 16-item self-report questionnaire in which each adjective is rated on a 7-point scale.

ANT-I

Apparatus and stimuli. Stimuli were presented on a 17-in. computer screen using OpenSesame (Mathôt, Schreij, & Theeuwes, 2012). Responses were collected using an external numeric pad, and participants received auditory stimuli through head-phones. We used the ANT-I paradigm, previously developed by Callejas et al. (2005).

Design. A fixation cross (0.44° angular size) was presented at the center of the screen during the whole session. After a 400 ms to 1600 ms random time, an auditory alert (2,000 Hz) was pre-sented for half of the trials during 50 ms (tone vs. no-tone conditions). Then, after 400 ms, in two thirds of the trials, an orienting cue (a 0.32° asterisk) was presented for 100 ms at 1.03° above or below the fixation point. Finally, after 100 ms, a line of arrows appeared. The target central arrow was flanked by four arrows (two on each side). Each arrow was 0.55° long and they were separated by 0.06° of visual angle from each other. The four flanking arrows could either (a) point in the same direction as the central arrow (i.e., congruent trials), (b) point in the opposite direction of the central arrow (i.e., incongruent trials), or (c) be replaced entirely with horizontal lines (i.e., neutral trials). The target could be displayed at the same location as the orienting cue for one third of the trials (cued-location condition) or at the opposite location for one third of the trials (uncued location condition). In the other trials, no orienting cue was presented (no-cue condition). The target arrow was displayed until the participant response, or for a maximum of 1,700 ms. The fixation point was displayed until the trial reached 4,150 ms so that it was not possible for the participants to anticipate the beginning of every new trial.

The 18 possible conditions of 2 auditory alert (tone; no tone) 3 orienting cue (cued-location; no-cue; uncued location) 3 congruency (congruent; incongruent; neutral) were presented randomly,

each condition being repeated 8 times, giving a total of 144 trials.

Task and procedure. Participants had to indicate as fast and as accurately as possible the direction in which the central arrow pointed using the keypad (“4” for left and “6” for right).

Participants were seated at 53 cm from the computer screen. They were told to keep their eyes on the fixation point for the whole test. They completed a 20-trials training session, then filled out the first BMIS and Affect Grid to assess their mood state (Moment 1). Afterward, they followed the Mood Induction Procedure (MIP) according to their mood groups and completed a second mood assessment before the experimental task (Moment 2).

Results

Scores of valence and arousal were presented in Table 1.

Valence Assessment

A repeated measures ANOVA on the 2 (mood) 2 (moment) interaction was carried out with mood as an intersubject factor, moment as a within-subject factor, and mean rating for anger adjectives (BMIS) as a dependent factor. Analysis revealed a main effect of mood, $F(1, 39) = 14.93$, $MSE = 0.77$, $p < .0001$, and a main effect of the moment, $F(1, 39) = 34.61$, $MSE = 0.10$, $p < .0001$. Analysis also revealed a significant Mood Moment interaction, $F(1, 39) = 52.33$, $MSE = 0.10$, $p < .0001$. Within groups, planned comparisons showed that the anger-group mean ratings for adjectives denoting anger increased between the first and the second mood check, $F(1, 39) = 83.98$, $MSE = 0.10$, $p < .0001$. No significant effect was found for the control-group planned comparison between the first and the second mood check, $F(1, 39) = 0.93$, $MSE = 0.10$, $p = .34$. Between-groups comparisons revealed no difference between the anger and the control groups for the first anger rating, $F(1, 39) = 1.45$, $MSE = 0.42$, $p = .23$. But a significant difference between the two groups for the second mood check was found, $F(1, 39) = 35.26$, $MSE = 0.46$, $p < .0001$. Note that three outliers were present in the anger group at Moment 1, which could reduce the effects on the attentional networks. Their potential influences were checked, but similar results were observed, and then these outliers were kept in the analysis.

Table 1

Mean (SD) Valence and Arousal Ratings for Both Mood Groups, According to the Moment

	Moment 1	Moment 2
Valence		
Anger	1.34 (2.43)	2.26 (0.99)
Control	1.10 (1.14)	1.00 (0.82)
Arousal		
Anger	1.4 (0.44)	1.7 (1.42)
Control	1.05 (1.94)	0.33 (1.88)

Arousal Assessment

A repeated measures ANOVA on the 2 (mood) 2 (moment) interaction was carried out with mood as intersubject factor, moment as within subject factor, and the Affect Grid mean ratings for arousal as dependent variable. Analysis revealed a main effect of mood, $F(1, 39) = 6.05$, $MSE = 4.82$, $p < .05$, and a main effect of moment, $F(1, 39) = 10.34$, $MSE = 0.58$, $p < .01$. Analysis also revealed a significant interaction between mood and moment, $F(1, 39) = 25.00$, $MSE = 0.58$, $p < .0001$. Within-groups planned comparisons showed that anger-group mean ratings for arousal dimension of the Affect Grid did not differ between the first and the second mood check, $F(1, 39) = 1.55$, $MSE = 0.58$, $p < .22$. The planned comparison between the two moments showed that control-group mean ratings for arousal dimension of the affect significantly decreased, $F(1, 39) = 20.02$, $MSE = 0.58$, $p < .0001$. Between-groups comparisons revealed no difference between the anger and the control group for the first arousal rating, $F(1, 39) = 0.49$, $MSE = 2.61$, $p = .49$, but a significant difference between the two groups in the second mood check, $F(1, 39) = 15.17$, $MSE = 2.79$, $p < .001$. Thus, the anger group was in a higher aroused state than the control group after the MIP.

ANT-I

As expected, neutral trials did not differ from congruent trials, $F < 1$, so we decided to exclude them from the analysis (Callejas et al., 2005).

Response time (RT) analysis. A 2 (mood) 2 (auditory alert) 3 (orienting cue) 2 (congruency) repeated measures ANOVA was carried out with mood (anger/control) as a between-subjects factor, and auditory alert (tone/no tone), orienting cue (cued-location/uncued-location/no-cue), and congruency (congruent/incongruent) as within-subject factors. RTs faster or slower than two standard deviations from the mean per participant

were filtered out and represented less than 3% of the trials.

The main effects of auditory alert, $F(1, 39) = 12.49$, $MSE = 3672$, $p < .01$, orienting cue, $F(2, 39) = 95.19$, $MSE = 2587$, $p < .0001$, and congruency factors, $F(1, 39) = 417.27$, $MSE = 4335$, $p < .001$, were statistically significant, with RTs being faster in the tone than in the no-tone condition, and in the congruent than in the incongruent condition. Planned comparisons showed that RTs were faster in the cued-location than in the no-cue condition, $F(1, 39) = 111.01$, $MSE = 3125.8$, $p < .0001$, and the uncued-location condition, $F(1, 39) = 142.96$, $MSE = 2732.1$ $p < .0001$. We did not observe any statistical differences concerning the no-cue and uncued-location conditions, $F(1, 39) = 0.68$, $MSE = 1903.77$, $p < .41$. No significant main effect of mood was found (see Table 2). The usual interactions between auditory alert and orienting cue, $F(2, 78) = 10.49$, $MSE = 1487$, $p < .0001$, and between orienting cue and congruency, $F(2, 78) = 9.40$, $MSE = 1920$, $p < .001$, were also observed. No significant interaction was found, however, between auditory alert and congruency, $F(1, 39) = 1.59$, $MSE = 1155$, $p = .21$.

Importantly, the analysis also revealed the predicted interaction between auditory alert and mood, $F(1, 39) = 4.09$, $MSE = 3672$, $p < .05$.

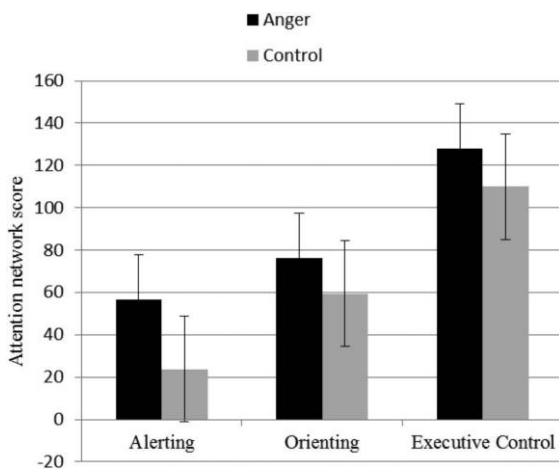


Figure 1. Attentional scores according to mood groups.

Table 2

Mean Correct Reaction Times in Milliseconds (SD) Obtained for the Two Groups as a Function of Auditory Signal, Orienting Cue, and Congruency

	Anger		Control	
	Tone	No tone	Tone	No tone
Cued location				
Congruent	473 (49)	505(74)	490 (113)	496 (111)
Incongruent	575 (67)	608(89)	589 (123)	600(8)
No cue				
Congruent	524 (45)	562(67)	535 (148)	571 (13)
Incongruent	642 (86)	713 (115)	651 (134)	659 (11)
Uncued location				
Congruent	549 (53)	542(59)	539 (116)	527(98)
Incongruent	683 (63)	698(95)	675 (137)	675 (13)

Complementary analysis. Afterward, three one-way ANO-VAs were carried out to test the effect of mood on the attentional networks scores. The three attentional scores were calculated following the ANT-I method (see Callejas et al., 2005; Figure 1). The alerting network score was calculated by subtracting the tone from the no-tone conditions, only considering the no-cue condition. The orienting network score was calculated by subtracting the cued-location from the uncued-location conditions. The executive control network score was calculated by subtracting the congruent from the incongruent conditions.

These analyses revealed an effect of mood on the alerting score, $F(1, 39) = 4.27$, $MSE = 10622.3$, $p < .05$. No significant effect of mood was found concerning the orienting score, $F(1, 39) = 2.22$, $MSE = 3028.5$, $p = .14$, and the executive control score, $F(1, 39) = 1.03$, $MSE = 1484.7$, $p = .32$. We wondered if the larger alerting effects observed here were particularly associated with the arousal and/or the anger level. On one hand, correlations between the arousal ratings and the three attentional scores were calculated, but none were significant. On the other hand, the correlation between phasic alertness and anger valence ratings ($r = .43$, $p < .05$), and between the orienting and anger valence ratings ($r = .47$, $p < .05$), were significant. Those correlations suggest that the effects observed are specific to anger and not to a general state of arousal.

Moreover, we wondered whether this larger effect could arise from a lack of vigilance for the control group rather than a real alertness increase for the

anger group (lower arousal after a potentially boring or wearisome experimental session). The planned comparison between both groups for no-tone/no-cue trials was not significant, $F(1, 39) = 0.45$, $MSE = 10234.19$, $p > .05$, suggesting that participants were in a comparable state of vigilance.

Discussion

In this research, participants were induced so as to study the influence of anger on the three attentional networks: alerting, orienting, and executive control. As expected, the MIP was efficient in the induction of the valence dimension. Although the MIP did not lead to increased perceived arousal for the anger group, the two groups (control and anger) differed significantly in the arousal ratings at the second evaluation.

As expected, analysis showed that angry participants were faster than the control group when an auditory alert was present, revealing a greater alerting effect. However, no significant effect of anger was observed for the orienting or the executive control network. The increase of alerting effect observed here seems to be induced specifically by anger rather than arousal. This may explain the difference compared with the results obtained by Huertas, Zahonero, Sanabria, and Lupiañez (2011) for arousal induced by physical exercise.

One possible explanation for the effect of anger on the alerting network could be physiological. Indeed, it is interesting that the locus coeruleus, which is thought to be involved in the alerting network with the right frontal and parietal regions (Fan et al., 2002; Posner & Rothbart, 2007), is one of the noradrenergic systems. Marrocco and Davidson (1998) revealed that the nor-adrenaline modulates the efficiency of the alerting network. More-over, the noradrenergic systems modulate the arousal state (Berridge, 2008). In addition, anger could cause stronger noradrenergic responses (Ax, 1953; Stemmler, Aue, & Wacker, 2007). Therefore, the stronger alerting effect for angry participants may be explained by a higher level of noradrenaline.

However, in this study, results did not reveal any increased efficiency for the orienting or the executive control networks. The activity of the former, associated with parietal and frontal areas, could be modulated by acetylcholine (Davidson & Marrocco, 2000; Fan et al., 2002). In addition, the activity of the latter is modulated by dopamine levels in frontal-subcortical areas (Hosenbocus & Chahal, 2012). Therefore, the differences between the physiological and anatomical bases in the three attentional networks (Fan et al., 2009) could

explain why we had difficulty observing similar effects of anger on the two other attentional networks (orientation and executive control).

This experiment only took into account the effect of anger-state, but the literature has showed differences between anger-trait and anger-state. For instance, the results obtained by Stephens and Groeger (2009) revealed that a high trait-anger could lead to consider low anger-evoking events as highly anger-evoking events. Further studies could deal with the induction of high trait-anger participants to an anger state so as to maximize the efficiency of the arousal induction and to reinforce the impact of the MIP. High anger-trait participants could take more advantage of the auditory alert, and even more when they are experiencing anger.

Although the standard ANT-I tasks incorporate at least 288 trials, only 144 trials were run in this experiment to fit the duration of the MIP efficiency. Even if it could be difficult to compare the size of the attentional indexes with those reported elsewhere, it is nonetheless true that the effects observed on the RTs from the control group are consistent with those already observed in the literature (Callejas et al., 2005; Pacheco-Unguetti et al., 2010). These results suggest that the ANT-I is suitable to assess the attention during short periods like induced moods duration using a low number of trials.

Finally, understanding the effect of anger on attention could be useful in applied domains like driving. Indeed, it is known that experiencing anger while driving can cause a lack of attention for stimuli located away from the expected location of hazards (Stephens, Trawley, Madigan, & Groeger, 2013). However, Weinbach & Henik (2011) have showed that alertness could broaden the scope of the attentional focus. Thus, it could be interesting to know whether angry drivers could take better advantage of the driving assistance systems that rely on auditory alerts. Studies about anger and attentional mechanisms could be very relevant in improving road safety and in designing driving assistance systems.

References

- Ax, A. F. (1953). The physiological differentiation between fear and anger in humans. *Psychosomatic Medicine*, 15, 433– 442. doi:10.1097/00006842-195309000-00007
- Berridge, C. W. (2008). Noradrenergic modulation of arousal. *Brain Research Reviews*, 58, 1–17. doi:10.1016/j.brainresrev.2007.10.013
- Callejas, A., Lupiañez, J., Funes, M. J., & Tudela, P. (2005). Modulations among the alerting,

- orienting and executive control networks. *Experimental Brain Research*, 167, 27–37. doi:10.1007/s00221-005-2365-z
- Corson, Y., & Verrier, N. (2007). Emotions and false memories valence or arousal? *Psychological Science*, 18, 208–211. doi:10.1111/j.1467-9280.2007.01874.x
- Davidson, M. C., & Marrocco, R. T. (2000). Local infusion of scopolamine into intraparietal cortex slows covert orienting in rhesus monkeys. *Journal of Neurophysiology*, 83, 1536–1549.
- Eich, E., & Metcalfe, J. (1989). Mood dependent memory for internal versus external events. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 443–455. doi:10.1037/0278-7393.15.3.443
- 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, 143–149. doi:10.3758/BF03203267
- Fan, J., Gu, X., Guise, K. G., Liu, X., Fossella, J., Wang, H., & Posner, M. I. (2009). Testing the behavioral interaction and integration of attentional networks. *Brain and Cognition*, 70, 209–220. doi:10.1016/j.bandc.2009.02.002
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 340–347. doi:10.1162/089892902317361886
- 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, 681–700. doi:10.1037/0096-3445.130.4.681
- Harmon-Jones, E., Gable, P. A., & Price, T. F. (2013). Does negative affect always narrow and positive affect always broaden the mind? Considering the influence of motivational intensity on cognitive scope. *Current Directions in Psychological Science*, 22, 301–307. doi:10.1177/0963721413481353
- Hosenbocus, S., & Chahal, R. (2012). A review of executive function deficits and pharmacological management in children and adolescents. *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 21, 223–229.
- Huertas, F., Zahonero, J., Sanabria, D., & Lupiáñez, J. (2011). Effects of aerobic exercise on the attentional networks. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 33, 649–665.
- Jallais, C., & Gilet, A.-L. (2010). Inducing changes in arousal and valence: Comparison of two mood induction procedures. *Behavior Research Methods*, 42, 318–325. doi:10.3758/BRM.42.1.318
- Marrocco, R. T., & Davidson, M. C. (1998). Neurochemistry of attention. In R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain* (p. 3, 5–50). Cambridge, MA: MIT Press.
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44, 314–324. doi:10.3758/s13428-011-0168-7
- Mayer, J. D., & Gaschke, Y. N. (1988). The experience and meta-experience of mood. *Journal of Personality and Social Psychology*, 55, 102–111. doi:10.1037/0022-3514.55.1.102
- Pacheco-Unguetti, A. P., Acosta, A., Callejas, A., & Lupiáñez, J. (2010). Attention and anxiety different attentional functioning under state and trait anxiety. *Psychological Science*, 21, 298–304. doi:10.1177/0956797609359624
- Pêcher, C., Quaireau, C., Lemerrier, C., & Cellier, J.-M. (2011). The effects of inattention on selective attention: How sadness and ruminations alter attention functions evaluated with the Attention Network Test. *European Review of Applied Psychology*, 61, 43–50. doi:10.1016/j.erap.2010.10.003
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25–42. doi:10.1146/annurev.ne.13.30190.000325
- Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annual Review of Psychology*, 58, 1–23. doi:10.1146/annurev.psych.58.110405.085516
- Posner, M. I., Snyder, C. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology*, 109, 160–174. doi:10.1037/0096-3445.109.2.160
- Russell, J. A., Weiss, A., & Mendelsohn, G. A. (1989). Affect Grid: A single-item scale of pleasure and arousal. *Journal of Personality and Social Psychology*, 57, 493–502. doi:10.1037/0022-3514.57.3.493
- Stemmler, G., Aue, T., & Wacker, J. (2007). Anger and fear: Separable effects of emotion and motivational direction on somatovisceral responses. *International Journal of Psychophysiology*, 66, 141–153. doi:10.1016/j.ijpsycho.2007.03.019
- Stephens, A. N., & Groeger, J. A. (2009). Situational specificity of trait influences on drivers' evaluations and driving behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12, 29–39.
- Stephens, A. N., Trawley, S. L., Madigan, R., & Groeger, J. A. (2013). Drivers display anger-congruent attention to potential traffic hazards. *Applied Cognitive Psychology*, 27, 178–189. doi:10.1002/acp.2894
- Teyssaire, J. P. (2003). *Obscure clarté, éveil des fleurs et brume* [Dark brightness, awakening of

- flowers and mist] [CD]. Origins: Honey-B Publishing.
- Thayer, R. (1989). *The biopsychology of mood and arousal*. New York, NY: Oxford University Press.
- Weinbach, N., & Henik, A. (2011). Phasic alertness can modulate executive control by enhancing global processing of visual stimuli. *Cognition*, 121, 454 – 458. doi:10.1016/j.cognition. 2011.08.010

Received April 30, 2014
Revision received August 29, 2014
Accepted September 2, 2014

B. Modulations comportementales et physiologiques de l'attention en conduite durant un état de colère

L'effet de la colère sur le réseau attentionnel d'alerte laisse donc envisager que les individus dans un état de colère pourraient tirer un plus grand profit d'alertes auditives pour améliorer leur vitesse de réaction. Cette possibilité pourrait être particulièrement intéressante dans le domaine de la conduite automobile pour améliorer la vitesse de réaction des individus, ce qui pourrait leur permettre d'éviter des situations dangereuses. Cependant, la colère ne semble pas avoir d'effets positifs sur la vitesse de réaction en conduite (Voir page 45). Il serait donc possible que cette amélioration de l'efficacité du système d'alerte ne soit plus observable par les temps de réactions dès lors que la tâche est plus complexe. La mesure de l'efficacité du traitement de l'information en conduite devrait donc être effectuée à l'aide d'indicateurs plus sensibles que le temps de réaction. Par exemple, l'utilisation de mesures physiologiques permettrait de mettre en évidence les effets d'alerte, d'orientation et de contrôle exécutif présents dans la tâche d'ANT (Neuhaus et al., 2010). Ce type de mesure pourrait donc être utilisé pour étudier le lien entre colère et attention.

Il est à noter que les différentes techniques possèdent chacune des points forts ainsi que des points faibles. Le choix de la mesure physiologique doit donc être effectué en fonction des objectifs fixés par l'étude.

1. Mesure physiologique de l'attention

Plusieurs techniques d'imagerie cérébrale (e.g. IRMf, TEP) peuvent être utilisées pour observer les structures anatomiques impliquées dans la réalisation d'une tâche attentionnelle. Cependant, leur résolution temporelle étant faible, elles ne permettent pas d'observer finement la dynamique temporelle du traitement attentionnel. Pour cela, il est possible d'avoir recours à l'électroencéphalographie (EEG), qui consiste à mesurer à la surface du scalp l'intensité des

courants électriques émis par des assemblées neuronales. Le principe de base étant que l'activité synaptique des neurones, lorsqu'ils sont synchronisés en assez grand nombre, générera un champ électrique suffisamment important pour traverser la paroi crânienne et être mesurable au niveau du scalp (*voir* Luck, 2014). L'avantage majeur de cette technique est qu'il n'y a quasiment aucun délai entre la génération et la mesure du signal, ce qui rend l'utilisation de l'EEG particulièrement puissante pour observer l'activité physiologique à l'échelle de la milliseconde (Woodman, 2010). Cette finesse d'observation temporelle fait de l'EEG un outil propice à l'étude de la perception et de l'attention. Toutefois, la mesure EEG, qui s'exprime en microvolts, est par définition très sensible aux champs électriques pouvant parasiter le signal enregistré. Par exemple, les appareils électriques placés à proximité du participant, l'activité musculaire ou les clignements des yeux sont autant de sources potentielles de perturbations de l'activité électrique mesurée sur la surface de la tête.

C'est pourquoi, lorsque l'objectif de la mesure EEG concerne la réaction de l'individu face à un stimulus particulier, il ne sera pas possible de se fier uniquement à une occurrence de ce signal. Il est nécessaire de procéder à une présentation répétée du stimulus afin de calculer l'activité électrique moyenne autour de celui-ci, ce qui diminuera par conséquent l'influence des parasites sur le signal. Le signal électrique moyenné après que l'individu a été confronté un grand nombre de fois au stimulus cible porte le nom de potentiel évoqué (PE). Celui-ci se présente sous la forme d'une courbe d'activité électrique (Figure 7). Il est alors possible de comparer l'amplitude et la latence du pic de chaque composante ainsi que leur délai d'apparition afin d'inférer sur l'intensité et la vitesse des différentes phases du traitement de l'information (Luck, 2014).

Ce type d'observation peut être effectué sans même que l'individu n'ait besoin de fournir une réponse. Toutefois, afin de compléter ces observations, il sera nécessaire de les coupler à des mesures comportementales de la performance des individus.

2. Les potentiels évoqués

La méthode des potentiels évoqués s'est révélée être un outil majeur dans l'étude de l'attention et la perception car elle a permis d'observer plus finement l'influence d'un contexte particulier sur le traitement d'un stimulus, et ce, avant même la réponse de l'individu (Hruby & Marsalek, 2003; Luck, 2014; Polich, 2007). Ainsi, les études se basant sur les temps de réponses afin d'inférer sur l'état attentionnel ou la sélection des informations ont pu compléter leur interprétation avec des mesures objectives (Luck, Woodman, & Vogel, 2000). Le signal EEG moyenné sur l'apparition des stimuli suit un pattern précis qui peut être décomposé en différentes phases, aussi appelées composantes (Figure 7).

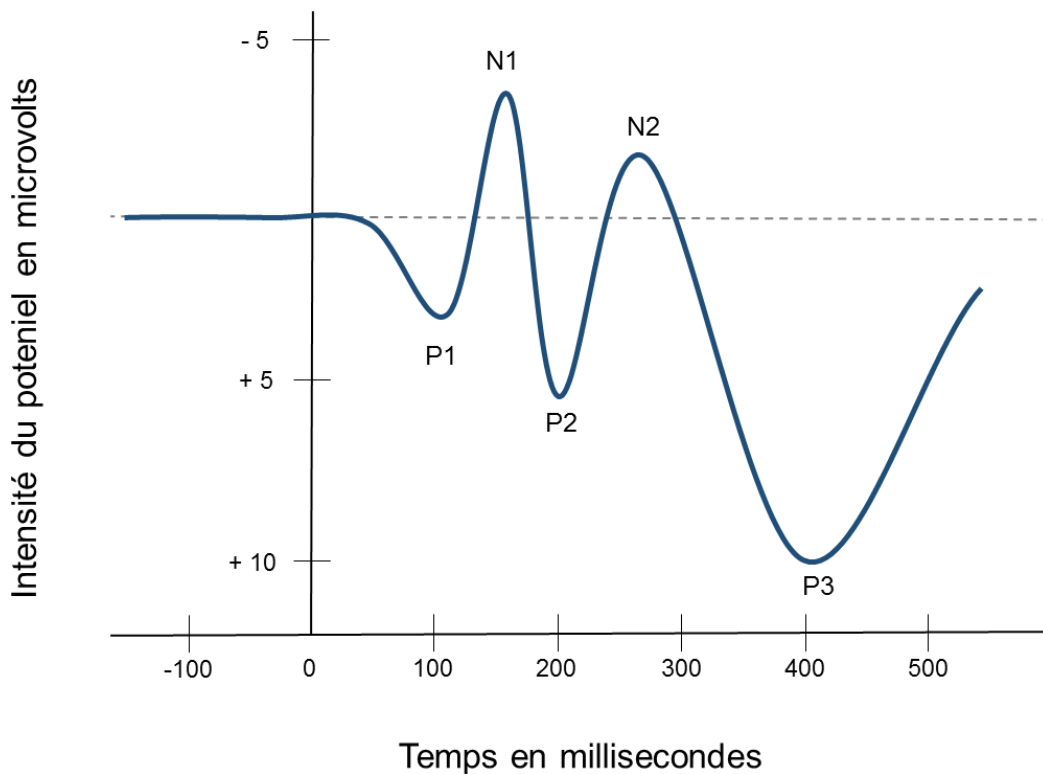


Figure 7 : Représentation théorique d'un potentiel évoqué obtenu en un point du scalp et dont les principales composantes ont été clairement identifiées

Les composantes sont généralement désignées par leur polarité (*i.e.* P pour les composantes positives et N pour les composantes négatives), ainsi que par l'ordre dans lequel elles apparaissent ou par leur latence d'apparition (Luck, 2014). Au fur et à mesure des expérimentations, les chercheurs se sont aperçus que les différentes composantes pouvaient

refléter des étapes précises du traitement de l'information. L'une des premières composantes à avoir été clairement identifiée, à savoir la variation contingente négative (CNV), s'est révélée sensible à l'anticipation d'un stimulus cible par les individus (Walter, Cooper, Aldridge, Mccallum, & Winter, 1964). Classiquement, cette composante est observée lorsqu'un individu a pour consigne de répondre à un stimulus présenté systématiquement après un indice. L'individu aura donc tendance à se préparer au traitement de ce signal, ce qui se traduit par une augmentation de la négativité jusqu'à l'apparition du stimulus cible. Dès lors que la probabilité perçue d'apparition du stimulus cible diminue, il est possible d'observer une diminution de l'amplitude de la CNV (Tecce, 1972).

A partir de la présentation du stimulus cible, l'une des premières composantes communément observée est la N1 qui est définie par un pic d'activité négative survenant généralement entre 75 et 150 ms sur les aires fronto-centrales et temporales supérieures pour la N1 auditive (Luck, 2014). Ce pic se situe entre 150 et 200 ms pour la N1 visuelle, et est observable sur un grand nombre d'électrodes couvrant les aires occipitales. Cette composante reflèterait, entre autres, la focalisation attentionnelle vers la zone de présentation du stimulus (Luck et al., 2000) ainsi que des processus de discrimination (Luck, 2014). Par exemple, l'amplitude des N1 visuelles mesurées pour des participants focalisés sur la partie gauche d'un écran sera plus importante lorsque la cible apparaît à gauche (localisation attendue) que lorsqu'elle apparaît à droite de l'écran (localisation inattendue). De plus, la N1 semble être en partie dépendante de la tâche effectuée par l'individu. En effet, l'amplitude et la latence du pic de la N1 sont plus élevées lors d'une tâche de discrimination que lors d'une tâche de détection simple ne nécessitant pas de discrimination du stimulus (Fort, Besle, Giard, & Pernier, 2005 ; Vogel & Luck, 2000).

Enfin, une troisième composante parmi les plus fréquemment étudiées est la P3, qui prend la forme d'une large composante de polarité positive généralement située entre 300 et 500 ms, et qui atteint son maximum d'activation sur les aires pariétales du scalp (Polich, 2007). La P3 est également connue sous l'appellation de potentiel endogène, car elle reflèterait le traitement cognitif de l'information (voir Hruby & Marsalek, 2003 ; Kok, 2001 pour une revue de la P3). Elle a souvent été mise en évidence par l'utilisation de protocoles de type « oddball task » durant lesquelles une série de stimuli est présentée et l'individu doit émettre une

réponse lorsqu'il détecte un stimulus cible. Traditionnellement, ce type de tâche est composé d'environ 80% d'essais standards, et 20% d'essais comportant le stimulus cible. La P3 n'est généralement ni corrélée aux propriétés physiques du stimulus, ni aux temps de réponses (Hruby & Marsalek, 2003). Cette composante a été par la suite découpée par Squires, Squires, et Hillyard (1975) en deux sous-composantes : la P3a et la P3b (Polich, 2007). Pour distinguer grossièrement ces deux sous-composantes, il est possible d'associer d'un côté la P3a à une réaction face à un stimulus nouveau ou inattendu qui n'a pas forcément d'intérêt pour la tâche en cours. C'est pourquoi il porte parfois le nom de « P3 nouveauté » (Polich, 2007). D'un autre côté, la P3b est fortement liée à la tâche car elle sera évoquée dans les situations où l'individu traite un signal peu fréquent qui nécessite une réponse. Selon Kok (2001), la latence et l'amplitude de la P3 donneraient des indications sur le moment de l'évaluation du stimulus et sur l'intensité du traitement de l'information respectivement. En effet, l'amplitude de la P3 a souvent été liée à l'effort investi volontairement dans le traitement de l'information. Par conséquent, il a pu être observé qu'une augmentation de la difficulté de la tâche pouvait augmenter l'amplitude de la P3 en encourageant les individus à investir plus de ressources dans la tâche. Cependant, il est important de noter que lorsque la tâche atteint un niveau de complexité tel que l'individu ne parvient plus à catégoriser efficacement le stimulus cible, l'amplitude de la P3 tend à diminuer (Luck, 2014).

Ainsi, la forme des PEs peut être modulée par une grande variété de facteurs tels que les propriétés physiques de la cible, la fréquence d'apparition du stimulus, l'orientation attentionnelle de l'individu, la difficulté de la tâche ou l'effort mental. En ce qui concerne l'impact des émotions sur la dynamique attentionnelle, plusieurs études ont mis en évidence une modulation du signal EEG pendant le traitement de stimuli émotionnellement connotés.

3. PEs et émotions

Le traitement d'une information émotionnelle semble causer des modifications pour l'ensemble des composantes des PEs. Par exemple, le traitement d'une image positive ou négative causera une plus grande amplitude du « Late positive potential » (LPP) qui est une composante similaire à la P3 (Codispoti, Ferrari, & Bradley, 2007). Grâce à une tâche de

visionnage répétitif de mêmes images émotionnellement connotées ou neutres, Codispoti et al. (2007) ont pu mettre en évidence que cet effet perdurait même après un grand nombre de répétitions des stimuli émotionnels. Bien que les individus aient montré un phénomène d'habituation à ces stimuli, leur dimension émotionnelle entraînait toujours une amplitude de P3 plus importante. Pour ces auteurs, l'effet observé était dû principalement à l'arousal des images traitées car peu importe la valence de l'image émotionnelle, le pic d'activation était plus important que pour les images neutres. Il a parfois été avancé que plus les composantes sont tardives, plus un stimulus à fort arousal peut impacter leur amplitude (Rozenkrants & Polich, 2008). Des études visant à observer les effets de la valence et de l'arousal sur les PEs ont elles aussi montré que l'arousal impactait préférentiellement les composantes tardives telles que la P3 alors que la valence semble avoir plus d'effets sur les composantes précoces (Rozenkrants & Polich, 2008 ; Van Strien, Langeslag, Strekalova, Gootjes, & Franken, 2009 ; Xu, Zhang, Li, & Guo, 2015). Toutefois, l'effet de la valence n'est pas toujours observable, et ses effets semblent moins importants que ceux évoqués par l'arousal du stimulus (Rozenkrants & Polich, 2008). Il est intéressant de noter que cet effet observé pour le traitement de stimuli connotés semble être cohérent avec les effets obtenus pour l'arousal physiologique de l'individu. L'impact de l'arousal sur la P3 serait explicable grâce aux modèles de l'attention en tant que réservoir de ressources (e.g. Kahneman, 1973) stipulant que l'arousal détermine la quantité de ressources attentionnelles disponibles pour traiter une information (Polich, 2007). Dans un contexte de colère en conduite, il serait envisageable que les individus aient une réaction attentionnelle plus intense en apercevant des éléments pertinents pour la tâche de conduite que lorsqu'ils sont dans un état émotionnel calme. Cette idée pourrait faire écho à l'augmentation de l'activation du réseau attentionnel d'alerte tel que nous l'avons mesuré lors de l'étude précédente.

Afin d'éprouver ces différentes hypothèses, la seconde étude de cette thèse a été menée. Son objectif était d'observer l'influence de la colère sur la performance de conduite et le traitement de l'information en couplant des données physiologiques et comportementales.

4. Problématique et objectifs

Comme nous l'avons vu dans la première étude, la colère, de par l'arousal élevé qu'elle véhicule, semble améliorer l'efficacité du réseau d'alerte (Techer et al., 2015). En conduite, cela pourrait se traduire par une réaction attentionnelle plus intense lors du traitement d'alertes telles que celles prodiguées par des systèmes d'alertes anticollisions. Contrairement à la tâche en laboratoire, la détection des informations en conduite se fait en parallèle de plusieurs tâches automatisées de contrôle du véhicule, correspondant au niveau opérationnel du modèle de Michon (1985). L'amélioration du réseau d'alerte pourrait donc être masquée par les autres facteurs intervenant dans cet environnement plus complexe, rendant plus difficile la mesure de la dynamique attentionnelle par le biais de mesures comportementales. Par conséquent, nous avons décidé de mener une expérimentation utilisant la méthode des PEs.

5. Méthode

a) Poste de conduite

Les mesures EEG étant très sensibles à l'activité musculaire, il a été nécessaire d'adapter un simulateur de conduite afin de limiter les manipulations manuelles (e.g. passage des vitesses), mais aussi les mouvements oculaires des participants.

Le poste de conduite (Figure 8) était composé d'un siège automobile, un écran de 24 pouces, un pédalier et un volant. Afin de ne pas créer d'interférences avec le signal EEG, le véhicule simulé était équipé d'une transmission automatique, et l'expérimentation se déroulait dans l'obscurité. Le siège, ainsi que l'écran étaient fixés sur des rails afin de permettre au participant de choisir la distance siège/volant la plus confortable pour lui, et l'expérimentateur pouvait ensuite ajuster la distance œil/écran afin qu'elle soit fixée à 90cm pour tous les participants.



Figure 8 : Installation des participants lors de l'expérimentation sur simulateur réduit (les flèches blanches indiquent les éléments ajustables du poste de conduite)

La simplicité de ce simulateur a également permis l'observation des effets de la colère à un niveau intermédiaire de réalisme se situant entre la tâche de l'ANT-I et le contexte de conduite plus réaliste d'un simulateur de conduite complet.

La simulation de conduite était basée sur le simulateur de conduite développé par le Laboratoire Exploitation, Perception, Simulations et Simulateurs de conduite (LEPSiS) à l'IFSTTAR. L'environnement sonore de la conduite (e.g., bruit du moteur) était diffusé par des hauts parleurs, et le signal d'alerte anti-collision était traité par une carte-son et des enceintes dédiées. Cette séparation permettait d'éviter que la gestion du bruit de la scène routière par la carte-son principale ne cause des variations dans le délai de présentation de l'alerte. De plus, chaque stimulus cible présenté dans la scène routière était associé à une illumination d'une partie de l'écran non visible pour le participant. Une photodiode posée sur cet endroit de l'écran envoyait alors un signal électrique vers le dispositif d'enregistrement EEG. Cette architecture du matériel de simulation permettait d'obtenir les moments de présentation des

cibles qui soient le plus proche possible de la réalité sensorielle du participant, augmentant ainsi la validité de nos mesures de potentiels évoqués.

b) Electroencéphalographie et traitement des potentiels évoqués

Le recueil de l'électroencéphalogramme (EEG) a été effectué en 34 points du scalp à l'aide du système Biosemi Active Two ® (www.biosemi.com). Trente-deux électrodes actives placées sur un bonnet extensible selon le système international 10-22 ont été utilisées. Deux électrodes additionnelles étaient placées sur les deux mastoïdes. Une électrode supplémentaire placée à la droite de l'œil droit a permis de filtrer les interférences causées par les activations motrices et les clignements des yeux. L'électrode de référence était placée sur le nez, permettant de recueillir un signal faiblement parasité par l'activité musculaire ou corticale. L'enregistrement a été mené avec un taux d'échantillonnage de 1024 Hz, et le signal était filtré afin d'exclure les signaux avec une fréquence supérieure à 100 Hz.

Le recueil des potentiels évoqués (PE) consistait ensuite à moyenner l'activité cérébrale entre - 200 ms et 800 ms pour chaque occurrence du stimulus cible. Après moyennage des PEs, un second filtre a été appliqué afin de conserver le signal dont la fréquence se situait entre 1 et 30 Hz. Le traitement des PEs ainsi que le filtrage digital ont été effectués grâce au logiciel ELAN (Aguera, Jerbi, Caclin, & Bertrand, 2011).

c) Recueil des pensées distractives

A la fin du protocole, les participants devaient indiquer sur une échelle de type lickert en sept points allant de « Pas du tout perturbé » à « Fortement perturbé », à quel point ils avaient été distraits par des pensées internes durant la conduite du scénario expérimental. En complément, ils devaient indiquer l'objet de ces pensées en choisissant la réponse la plus appropriée parmi les quatre propositions suivantes : « Des évènements personnels passés » ; « Des réflexions sur la situation expérimentale en cours » ; « Une planification d'actions futures » ; ou « Aucune des propositions précédentes ».

6. Résultats principaux

Les résultats obtenus dans cette étude révèlent que les participants avaient des variations latérales plus importantes durant la session colère que lors de la session contrôle. De plus, les données électrophysiologiques témoignent d'un impact de la colère sur l'amplitude de la composante N1 visuelle, généralement associée au traitement sensoriel de l'information.

7. Analyses complémentaires

a) Variation contingente négative

Une hypothèse avait également été formulée quant à l'influence de la colère sur la VCN. Pour cette composante, les données ont été recueillies entre -1000ms et 0ms par rapport à l'allumage du feu stop. Le signal a ensuite été corrigé selon un niveau de base établi entre -1000ms et -800ms, puis filtré à 0Hz – 30Hz. La fenêtre d'analyse allait de -650ms à 0ms par rapport à l'apparition de la cible et le signal était enregistré sur l'électrode Cz. L'impact de l'humeur sur la CNV a été testé à l'aide d'une ANOVA à un facteur avec la Session (Contrôle/Colère) en tant que facteur intra-sujet. Aucun effet n'a été révélé par cette analyse ($F < 1$). Lors de la session Colère, la valeur la plus négative de la CNV mesurée était de $-17,81\mu\text{V}$ en moyenne ($E.T. = 7,95$), alors que la moyenne était de $-17,33\mu\text{V}$ ($E.T. = 7,31$) lors de la session Contrôle.

b) Influence du type de pensées distractives

D'autres effets ont été obtenus lors de cette expérimentation mais n'ont pas été reportés dans l'article car : 1) Ils ne s'inscrivent pas directement dans la question de recherche de cet article, et 2) Ils reposent sur une division de notre échantillon en sous-groupes, rendant l'interprétation des résultats sensible au faible nombre de participants. De plus amples travaux seront nécessaires pour confirmer ou infirmer ces résultats.

Les données recueillies concernant la nature des pensées distractives témoignent d'une nette augmentation du nombre de participants ayant été distraits par des pensées à propos d'évènements personnels passés (Figure 9).

La distribution du nombre de participants selon la nature de leurs pensées distractives a été soumise à un test Chi² comparant la session colère et la session contrôle. Cette analyse a révélé que la répartition entre les sessions était significativement différente ($\chi^2(1, N = 66) = 5.14, p < .05, \phi = 0.31$).

Deux groupes ont ainsi été constitués selon le type de pensées distractives reportées durant la session colère. Le premier groupe « Evènements passés » était composé de 14 participants, et le second groupe « Autres pensées » comptait 10 participants.

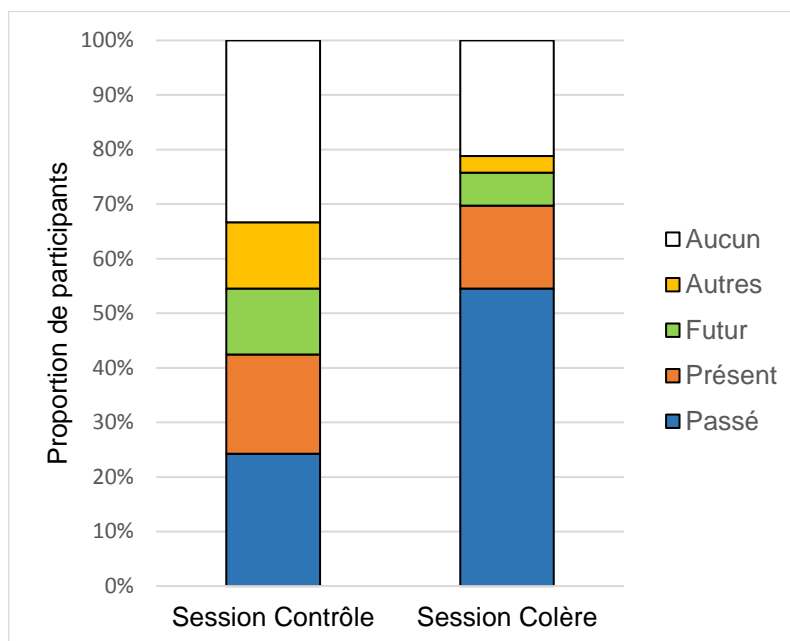


Figure 9 : Répartition des participants selon le type de pensées distractives ressenties durant les deux sessions expérimentales

Pour aller plus loin, les analyses menées sur les PEs ont été conduites à nouveau pour ces deux groupes afin d'étudier les interactions entre la nature des pensées distractives et l'état de colère sur la dynamique attentionnelle. Deux ANOVAs simples à mesures répétées ont été conduites séparément pour chaque groupe (Pensées passées/Pensées autres) sur l'amplitude de la N1 visuelle selon la Session (Contrôle/Colère) en tant que facteur intra-sujet. L'effet de la Session sur l'amplitude de la N1 visuelle a suivi le même schéma pour les deux groupes. Toutefois, cet effet n'était significatif que pour les participants du groupe « Pensées

autres » ($F(1, 9) = 11.23, p < .01, \eta^2 = .555$). Pour ces participants, l'amplitude de la N1 visuelle était moins importante durant la session Colère ($M = -5.93 ; ET = 3.56$) que durant la session Contrôle ($M = -7.55 ; ET = 3.96$).

8. Discussion

A notre connaissance cette étude est la première à avoir concilié la méthode des PEs, l'induction émotionnelle et la conduite simulée au cours d'un même protocole. L'effet observé consistant en une réduction de l'amplitude de la N1 visuelle pourrait être assimilé aux effets précédemment observés pour le mind-wandering (Kam, Dao, Stanculescu, Tildesley, & Handy, 2013 ; Smallwood et al., 2009). Cependant, l'observation d'une augmentation des variations latérales est quant à elle en désaccord avec une telle interprétation. En effet les données de la littérature relèvent généralement une diminution des variations latérales pour les conducteurs en proie au mind-wandering (Bueno et al., 2012 ; He, Becic, Lee, & McCarley, 2011 ; Lemerrier et al., 2014). Alors comment expliquer cet effet qui n'a jamais été observé au préalable dans les études menées sur la conduite automobile ? Il est possible de trouver des pistes d'explications en s'intéressant aux résultats obtenus lors d'autres types de tâches.

Par exemple, Logan et Crump (2009), ont observé les performances pour une tâche de dactylographie chez des professionnels. En leur demandant de se concentrer sur les lettres tapées avec une seule des deux mains, ils ont constaté une perturbation dans la vitesse et la précision de frappe. Leur conclusion est qu'il existe une hiérarchie dans les sous-tâches qui composent une activité complexe. Les éléments les plus simples sont généralement réalisés sans que l'individu y investisse consciemment ses ressources attentionnelles. Cependant, lorsque ces sous-tâches demandant peu d'efforts bénéficient d'une allocation d'attention inhabituellement élevée, la performance obtenue pourrait en être perturbée. Une telle allocation pourrait être à l'origine de l'augmentation des variations latérales correspondant à des micro-régulations de la trajectoire (*voir* Cooper, Medeiros-Ward, & Strayer, 2013). En effet, les modèles capacitifs de l'attention (*Voir* page 13) suggèrent que la quantité de ressources attentionnelles dépend du niveau d'arousal de l'individu. La colère, de par le fort arousal associé, aurait conduit à une quantité plus importante de ressources investies dans le

contrôle de la trajectoire. Les effets de la colère sur la conduite ressembleraient à la fois aux effets présents lors d'épisodes de mind-wandering et de fort arousal.

De plus, de futures expérimentations devront s'intéresser au décours temporel des effets de la colère sur l'attention en conduite. En effet, le découplage perceptuel lié au mind-wandering est un phénomène non continu qui se produit de manière abrupte (Chaparro, 2015). Les effets de la colère pourraient donc alterner entre des phases de découplage perceptuel et des phases de forte sensibilité à l'environnement due au fort arousal. Quoi qu'il en soit, les analyses complémentaires menées ici sur les pensées distractives suggèrent qu'il sera important de tenir compte de la nature du mind-wandering lors des futures études.

Toutefois cette expérimentation a pu présenter quelques limites liées au fait que le recueil des PEs doit être fait dans des conditions particulièrement simples et contrôlées. Cependant, il n'en est pas moins vrai que cette tâche était monotone et répétitive et a pu représenter un contexte favorable au développement de mind-wandering (Berthié et al., 2015). Ainsi, les éventuels effets de la colère sur les performances de suivi de véhicule pourraient ne pas être observés dès lors que l'individu est placé dans une situation plus complexe et moins propice au mind wandering. Cette hypothèse a été testée dans la troisième expérience de cette thèse.

Article soumis à la revue Neuroscience Letters

ATTENTION AND DRIVING PERFORMANCE MODULATIONS
DUE TO ANGER STATE: CONTRIBUTION OF
ELECTROENCEPHALOGRAPHICAL DATA

F. Techer^{1,2}, C. Jallais^{1,3}, Y. Corson², F. Moreau^{1,3}, D. Ndiaye⁴, B. Piechnick^{1,3} and
A. Fort^{1,3}

1: French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks (IFSTTAR), TS2-LESCOT, Bron, France; 2: University of Nantes, France; 3: University of Lyon, France; 4: French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks (IFSTTAR), COSYS-LEPSiS, Bron, France

Driver internal state, including distraction, can have negative impacts on road safety. To mitigate the effects of distraction, several advanced driving assistance systems have been developed. However, the efficiency of several systems which rely on alerting cues, may also be dependent on the driver's internal state. Studies have shown that an anger state can provoke aggressive behavior, impair driving performance and influence attentional processing. However, to our knowledge, no prior studies have assessed the impact of anger on attention while driving with the assistance of an alerting system. Therefore, the aim of this study was to investigate the impact of an anger state on attention and on driving performance while using an alerting system. Event-related potentials were recorded so as to reflect attentional modulations. For this purpose, 33 participants completed a simulated driving scenario once in an anger state and once in a natural mood. Results indicated that anger impacted driving performance and attention, provoking an increase in lateral variations while reducing the amplitude of the visual N1 peak. The observed effects were discussed as a result of high arousal and mind-wandering associated with anger. This kind of physiological data may be used to monitor a driver's internal state and provide specific assistance corresponding to their current needs.

Keywords: Anger; Event-Related Potentials; Visual N1; Lateral variations; Advanced Driving Assistance Systems; Attention

Introduction

Anger, which is a negative and highly arousing emotion, is commonly experienced while driving [1]. A consequence of experiencing this emotional state can be the outward expression of aggression through verbal or behavioral means [2]. Such expression can include the use of one's vehicle to show own frustration to other road users or to frustrate another driver [3]. In its most spectacular form, anger can be expressed through road rage [4], which refers to an intention to physically hurt the source of anger. Furthermore, studies have linked driving anger to traffic rules infringements [5,6], a reduction of lateral control [7], and a reduction of following distances [8]. One frequently reported effect of driving anger is its ability to modulate driving style, leading to higher driving speeds and stronger accelerations [6,7,9].

The impact of anger on driving performance involves more than just behavioral modifications. Several negative effects also occur at a cognitive level, including the tendency to use a heuristic processing style, making drivers rely on superficial cues rather than on the stimuli signification and unlikely to carefully analyze [10]. For example, increased driving speeds caused by anger seem to be predominantly mediated by a situational awareness deficit [9]. Angry drivers are less likely to be aware of critical information or potential hazards on the road.

Although a number of studies have investigated the impacts of anger state on driving behavior, the impact it has on the attentional processing while driving has rarely been studied. However, basic research studies assessing the efficiency of attentional processing have revealed that negative emotions such as anger may not only have detrimental effects on attention. Techer et al. [11], used the Attention Network Test – Interactions (ANT-I) [12] to investigate the impact of anger on attention. The ANT-I is a modified version of the Attention Network Test (ANT) [13] that can be used to study the influence of several contexts on attentional processing of neutral stimuli. This test, based on the model of attentional networks [14], allows the evaluation of the three attention sub-systems: the alerting, the orienting and the executive control networks. Techer et al. [11] found a positive impact of anger on the alerting network, probably attributable to its high level of arousal.

Such effect on attention may also be observed using physiological measures such as the Event Related Potentials (ERP). This electrophysiological technique is based on the observation of averaged brain electrical signals after a repeated stimulus presentation so as to infer on the underlying cognitive processes [15]. According to the ERP literature, the first negative electrical peak after stimulus onset (N1) mainly reflects the perceptual processing stage of a target [15,16]. The amplitude of this component seems partly linked to the quantity of attentional resources allocated to sensorial processing. Additionally, this component is also sensible to the task. Its amplitude and latency are higher during a discrimination task than during a simple detection task [16,17]. For its part, the third main positive peak (P3) is thought to inform on the cognitive processing of information and the inhibition of non-pertinent stimuli or responses [15,18]. During the ANT, both alerting and orienting signals could impact the N1 amplitude [19], the largest amplitude being elicited during trials with alerting and orienting cues. As for P3, changes in amplitude were observed when target stimulus was flanked by incongruent stimuli, suggesting an effect of the executive control network [19]. Thus, changes in the efficiency of one attentional network may be observed with ERP measures.

Modulations of the ERP amplitudes can also be observed during emotional information processing. Literature suggests that the valence dimension of a stimulus seems to affect preferentially the early components [20,21]. For example, unpleasant picture processing can lead to larger P1 amplitude when compared with pleasant picture processing. As for late components, their amplitude can increase when processing highly arousing stimuli [20]. The effects on ERPs provoked by stimulus arousal are also observed during neutral information processing according to the individual's arousal level [18]. It has been interpreted as an arousal-related modulation in the quantity of available attentional resources. Therefore, in a driving context, physiological arousal and negative valence evoked by an angry mood may impact the electrophysiological response of drivers.

To our knowledge, no study has ever measured the impact of an anger state on the ERPs while driving. Additionally, the relationship between anger and the alerting network [11] is of particular interest due to the relative importance of this network during driving. Alerting signals are common and represent critical information for driving safety. Thus, a more efficient alerting network would allow the driver to take

a greater advantage of the numerous alerting signals. However, the ERP technique is particularly sensitive to motor activation, which may be a limitation to its usability in a driving context. For that reason, Bueno et al. [22] developed a simulated driving task (consisting in a motorcycle following paradigm, on a straight rural road) compatible with the ERPs collection. It successfully revealed several effects of a forward collision alerting system as well as cognitive distraction on ERPs. [22]. Thus, the use of this ADAS reduced P3 latency evoked by the motorcycle's braking lights.

The aim of this present study was to investigate the impact of an anger state on attention while driving, using the ERP technique, and its impact on driving performance while using an alerting system. Anger was expected to influence ERPs following auditory alert and braking light of the leading motorcycle due to increased arousal level and the greater efficiency of the alerting network. Such effect would imply an increase of auditory N1, and visual N1 and P3 amplitudes. Additionally, anger was expected to disrupt driving performance as measured by reaction times, control of speed and lateral position

Method

Participants

Thirty-three participants (19 females) aged between 25 and 40 ($M = 32.3$; $SD = 5.5$) were involved in this study and received a financial compensation. They reported a normal or corrected to normal vision, no neurologic disease and no medical treatment. Every participant was right-handed and had more than three years of driving experience. The research protocol was carried out in accordance with The Code of Ethics of the World Medical Association.

Material

Mood induction and measurement

Two experimental sessions were used. In the Anger session, participants were induced using the autobiographical recall procedure [23]. They had ten minutes to recall and write down a personal event during which they experienced anger, and were

encouraged to provide as many details as they could. In the Control session, participants were not induced in order to keep their natural mood. Mood states were measured using a modified version of the Brief Mood Introspection Scale (BMIS) [24]. The BMIS is a 16-item self-report questionnaire in which each adjective refers either to anger, happiness, sadness or calmness. It is rated on a 7-point scale, providing a score for the valence and the arousal dimensions of the emotional state.

Apparatus

The experimental scenario was presented to participants in a driving simulator composed of a 24" screen, an adjustable car seat, a steering wheel and three pedals.

Electroencephalographic data was collected using the Biosemi ActiveTwo system® sampled at 1024Hz. Electrodes were placed on an electrode cap which was organized according to the international 10-20 system. Two mastoids electrodes were also placed on Ma1 and Ma2, and one EOG electrode was placed near the right eye. The reference electrode was placed on the nose. Event related potentials were extracted offline using the ELAN software [25].

Procedure

Each participant completed an Anger and a Control experimental session. The session order was counterbalanced between the participants. Each session followed the same structure. After completing the informed consent form, the EEG recording apparatus was set on participants. They were seated in the simplified driving simulator at 90cm eye-screen distance and completed a training scenario based on the procedure of Bueno et al. [22], in which they were instructed to follow a motorcycle on a straight rural road. A speed limiter ensured that participants drove at a consistent speed. They were instructed to maintain the accelerator pedal pushed as long as the motorcycle did not brake.

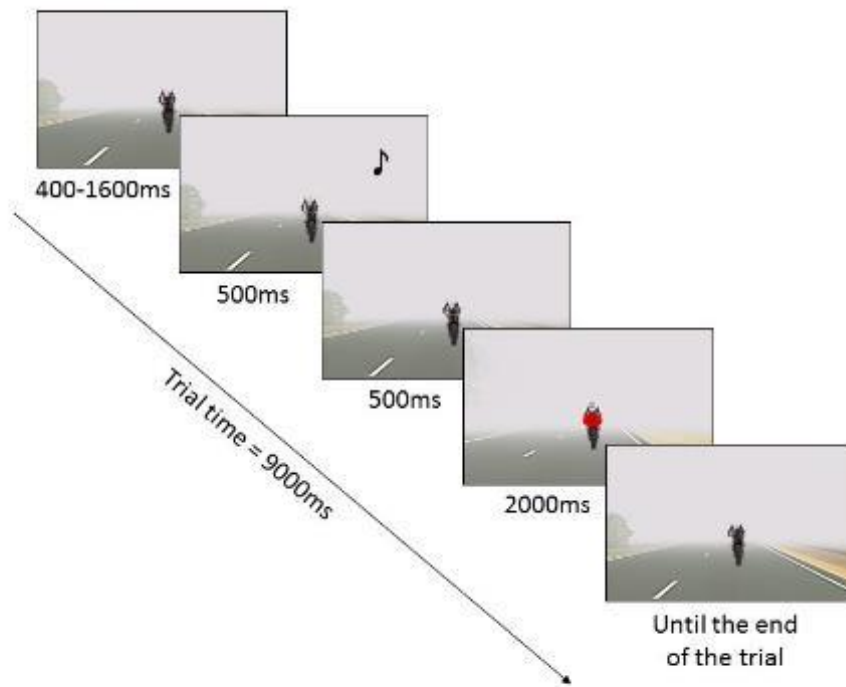


Figure 1: Chronology of one trial of the driving task

Every time they saw the brake lights of the motorcycle, they had to release the accelerator pedal as quickly as they could. They were also asked to adjust their pace in order to keep a safe distance to the lead vehicle. When participants reached the 70km/h speed limit, the first of the 90 trials started. Each trial started by a random duration comprised between 400 and 1600ms. In 80 of the 90 trials, a 500ms alerting auditory signal indicated to the participant that the lead vehicle would brake imminently. In the 10 remaining trials, no alerting signal was displayed. After 500ms, the motorcycle braked for a duration of 2 seconds. In 15 of those trials, the deceleration of the lead vehicle was more important than in the other trials so as to break the monotony of the task and prevent the driver from losing concentration. The brake lights of the motorcycle were lit throughout the 2000ms corresponding to the braking

maneuver. At the end of the trial, the motorcycle accelerated to get back to the initial inter-vehicular distance and participants had to push the accelerator pedal at its maximum again. Between trials, the motorcycle was programmed to keep a distance corresponding to 2 seconds at a 70km/h speed so as to reproduce exactly the same driving conditions for each trial. The next trial started immediately. This trial structure ensured that each participant was placed in a comparable situation with one motorcycle braking on average every nine seconds. To counter the high braking predictability, the random time implemented at the beginning of each trial made the interval between two targets irregular, ranging from 7.8 seconds to 10.2 seconds. After the training scenario and before the Mood Induction Procedure (MIP), participants had to fill in the first BMIS questionnaire, then followed the MIP corresponding to the current session. Finally, after the MIP, they had to fill in the second BMIS followed by the experimental scenario which was identical to the training scenario.

Analyses

Event-related potentials

Each ERP component was recorded at the traditional locations observed in the literature [15]. Auditory N1, visual N1 and visual P3 recordings data was filtered offline at 1Hz – 30Hz, computed on a time window from -200ms to 800ms and baselined from 200ms to 0ms pre-stimulus window.

Auditory N1 analyzed windows ranged from 80ms to 160ms after auditory alert onset at Cz, FC1, FC2 and Fz. Visual N1 window was set from 160ms to 230ms after the braking lights onset and was analyzed on IMA, IMB, P7, P8, PO3, PO4, O1 and O2 sites. Finally, P3 was recorded during the 250ms to 400ms window for Pz, P3, P4, PO3, PO4, O1 and O2 electrode sites.

All ERP analysis were conducted using ELAN software and ERP waves visualization was conducted using ERPA software [25]. For each component, according to its polarity, the most negative or positive value on each electrode site was recorded. Those values were then averaged between electrodes to obtain the maximum or minimum ERP component amplitude. The latencies of negative or positive peaks were recorded and averaged between electrodes to obtain the latency of the ERP component.

Driving performance

Several driving indicators were recorded to analyze driving performance. Response times were calculated as the duration between braking lights onset and participants' reaction. Number of anticipations was also recorded as the number of trials for which participants reacted before the braking lights. Finally, inter-vehicular distance and standard deviation of lateral position were recorded to give an indication of longitudinal and lateral control of participants.

Results

Mood measurement

The emotional state was assessed before and after the MIP of each session. A repeated measure ANOVA was carried out with the Session (Anger/Control) and the Moment (Before/After induction) as within-subject factors, on the mean anger ratings or the mean arousal ratings as dependent variables.

The mean anger ratings analysis revealed a main effect of the Session ($F(1, 32) = 11.08, p < .001, \eta^2 = .258$) and a main effect of the Moment ($F(2, 64) = 25.08, p < .001, \eta^2 = .439$). A significant Session \times Moment interaction was also found ($F(2, 64) = 20.07, p < .001, \eta^2 = .385$). Planned comparisons revealed no difference before induction ($F(1, 32) < 1, n.s., \eta^2 = .002$). After induction, a significant difference was found ($F(1, 32) = 14.75, p < .001, \eta^2 = 0.357$) with a higher anger rating after induction during the Anger session ($M = 2.11, SD = 1.22$) than during the Control session ($M = 1.18, SD = 0.39$).

Similar effects were observed for the mean arousal ratings. The analysis revealed a main effect of the Session ($F(1, 32) = 10.81, p < .01, \eta^2 = .252$) and a main effect of the Moment ($F(2, 64) = 17.22, p < .001, \eta^2 = .350$). A significant Session \times Moment interaction was also found ($F(2, 64) = 6.28, p < .01, \eta^2 = .164$). Planned comparisons revealed no difference before induction ($F(1, 32) = 3.62, n.s., \eta^2 = 0.102$). After induction, a significant difference was found ($F(1, 32) = 16.28, p < .001, \eta^2 = .384$).

with a higher arousal rating after induction during the Anger session ($M = 4.10$, $SD = 0.39$) than during the Control session ($M = 3.80$, $SD = 0.32$).

Table 1

Anger and Arousal mean ratings (SD) before and after induction according to the session

	Anger ratings		Arousal ratings	
	Before	After	Before	After
Anger	1.10 (0.22)	2.11 (1.22)	3.84 (0.27)	4.10 (0.39)
Control	1.09 (0.25)	1.18 (0.39)	3.71 (0.37)	3.80 (0.32)

Driving performance

A one-way ANOVA with repeated measures was carried out with the Session (Anger/Control) as a within-subject factor, on the driving performance indicators (Response times, inter vehicular distance, standard deviation of lateral position and number of anticipations). The analyses only revealed a significant effect of the Session on mean lateral deviations ($F(1, 32) = 4.41$, $p < 05$, $\eta^2 = 0.121$) with more important lateral deviations during the Anger session ($M = 0.351$, $SD = 0.09$) compared to the Control session ($M = 0.324$, $SD = 0.11$).

Event-related Potentials

Due to insufficient data quality for 9 participants, ERPs analyses were carried out on 24 participants. The impact of mood on auditory N1, visual N1 and P3 latencies and amplitudes were tested by repeated measures one-way ANOVAs with Session (Control/Anger) as a within-subject factor. Analyses revealed no significant effect of Session on auditory N1 and P3.

No significant result was revealed by the analysis concerning visual N1 latency. However, analyses revealed a significant effect of Session on visual N1 amplitude ($F(1, 23) = 5.43$, $p < 05$, $\eta^2 = .191$) which was smaller during Anger session than in Control session (Table 2).

Table 2

ERP mean amplitudes and latencies for each measured ERP component according to the session (*= $p < .05$)

	Visual N1		P3		Auditory N1	
	M	SD	M	SD	M	SD
Amplitude						
Anger session	* -7,16	3,67	6,27	3,31	-9,02	4,52
Control session	-8,21	3,73	5,29	3,02	-9,51	5,79
Latency						
Anger session	202,29	19,32	306,95	41,02	119,20	14,08
Control session	203,61	16,95	307,03	33,27	123,89	15,33

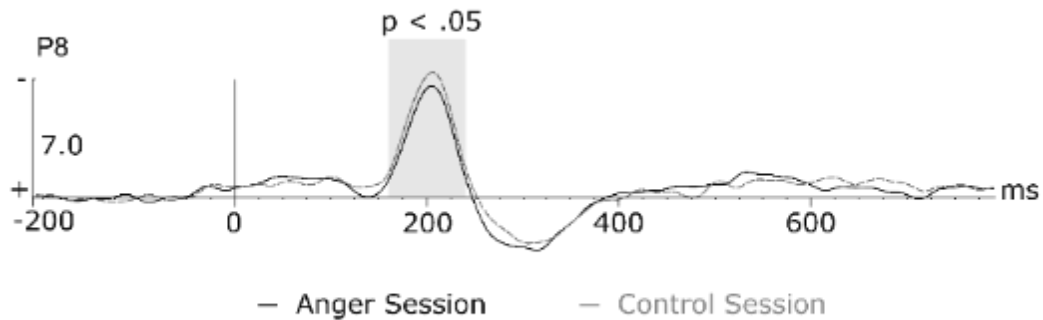


Figure 2: Grand average of the visual ERP on electrode P8 according to the session

Discussion

This study assessed the influence of an anger state on attentional processing while driving, as measured by Event Related Potentials (ERPs) and its impact on driving performance. Anger was expected to influence attentional processes as a result of high levels of arousal and the alerting network efficiency associated therewith [11].

Additionally, anger was expected to alter driving performance by disrupting reaction times as well as control of speed and lateral position.

First of all, results confirm that the MIP was efficient to induce participants in anger since after the MIP, participants reported higher anger and arousal ratings.

However, ERP data did not support our initial hypothesis concerning an increase of the auditory N1, and visual N1 and P3 amplitudes. On the contrary, during the anger session, the amplitude of visual N1 was smaller than in the control session.

The generation of mind wandering (MW) could explain this unexpected result. MW is a reorientation of the attention to internal thoughts not linked to the driving task [26]. According to the literature, a N1 amplitude reduction could be linked with a perceptual decoupling during MW episodes [26–28]. A strong bidirectional relationship exists between negative emotions and MW [26,29]. On the one hand, a negative mood can lead to MW [29] and thinking about negative life events can be used to induce a negative emotional state [23]. On the other hand, the emergence of MW can also depend on the task. Normally, it appears foremost when a task is highly repetitive and monotonous [30], which corresponds to the protocol of the current study. Therefore, it is possible that our monotonous task associated to the autobiographical induction procedure had generated MW. A reduction of the visual N1 amplitude may indicate a reduction of the attention allocated to the sensorial processing of braking lights through an attenuation of sensorial sensitivity [27]. Moreover, the procedure used here was previously developed to show an impact of cognitive distraction on ERPs [22]. These authors observed that a cognitive distraction reduced the visual N1 and P3 amplitudes. However, our participants were not asked to be engaged in a cognitive distraction task and as a result of the fog used in the driving environment, only stimuli used for the following task were displayed on the simulator screen. Therefore, our results seem to be consistent with the idea that drivers were distracted due to their attention being allocated towards internal thoughts.

The presence of MW could also give another point of view to the fact that induced anger in the present experiment did not show the expected effect on the alerting network as observed by Techer et al. [11] using the ANT-I. This task requires a continuous attentional focus which could not be suitable for the generation of MW.

On the contrary, as mentioned above, the driving task used in the present study was monotonous and favorable to MW which could be responsible for the reduced amplitude of visual N1 and for minimizing or suppressing the alerting effect.

The N1 effect may reflect a lack of sensitivity to stimuli present in the environment [27]. Therefore, angry drivers may process critical information in a more superficial way which is consistent with a reactivity reduction in case of unexpected hazards [31].

Concerning the expected effects on driving performance, we observed no effect of anger on response times and speed control. It may be a direct consequence of the highly controlled situation in which participants were placed, reducing the possible sources of variability. However, analyses revealed that participants had a degraded lateral control of their vehicle during the anger session, as indicated by the increased standard deviation of lateral position. Such increase in variations of lane positioning was previously observed for drivers induced in anger by the driving situation [6]. It seems also consistent with the literature stating that angry driving could lead to higher lateral accelerations [7]. In both of these studies, it was interpreted to be a result of drivers engaging in aggressive behaviors to avoid being impeded. However, in our study, the lead motorcycle was not impeding and drivers were instructed to follow it. Therefore, the increased variations in lateral position may be a reflection of changes occurring at an attentional level. As previously mentioned, ERP data suggested that drivers' attention was impacted by anger in a comparable way to mind-wandering. However, if MW was the only factor that had an effect on driving performance, participants should have performed the driving task in a quite different way from those observed here. Indeed, according to the literature, a reduction of standard deviation of lateral position is normally observed during MW episodes or when drivers are involved in some distractive tasks [32,33] and consequently observed during an increase of cognitive workload [34]. This reduction of lateral variations during MW episodes or when cognitive workload increases may indicate that drivers prioritized other driving sub-tasks more demanding than lateral control [34]. Thus, the increased standard deviation of lateral position observed here could not be explained by the MW hypothesis. Then, the other possible explanation could be linked to the high levels of arousal which defines anger. As stated by Logan and Crump [35], when a conscious monitoring of a low-demanding task is possible, the performance obtained for this task

can be disrupted. Thus, if arousal can rise the amount of available attentional resources [36], the participants in the anger session may have allocated attention to their internal thoughts for one part and to a conscious monitoring of the vehicle lateral control for another part. This last can explain the increased variation of lateral position provoked by anger. However, Ünal et al. [37] asked to their participants to listen to music of their choice while performing the same car following task. They observed that a high level of arousal could reduce the standard deviation of lateral position [37]. This effect was found with a musical playlist set up by the participants. Accordingly, it is possible that the increased arousal was associated with a positive mood. Thus, future research should take into account the valence dimension so as to disentangle the effects of moods defined by a similar level of arousal on lateral variations.

Considering the electrophysiological and behavioral results, the effects of anger observed here may not be explained only by the presence of MW episodes or high levels of arousal, but from a combination of these two factors: one having an effect on the sensory processing and the other one on the attentional resources management revealed by the lateral control of the vehicle. Consequently, to identify the effects of a such emotion, several indicators have to be taken into account. Previous studies revealed that perceptual decoupling from visual stimuli is not a continuous phenomenon [27]. That is why drivers may constantly switch between a physiological activity corresponding to aroused states and a perceptual decoupling corresponding to MW. Further research on this topic is needed to better understand the influence of anger which may have a more complex impact on ERPs than expected.

In any case, the results obtained from the present study open new investigation opportunities regarding the impact of emotional states on attention during a driving task. Future studies may focus on the effects of other emotional states in different driving tasks. As an ultimate goal, those results may be used in the design of future driving assistance systems in order to provide support corresponding to drivers' current internal state.

Acknowledgements: Authors want to thank the IFSTTAR-COSYS-LEPSiS team for their support with the driving simulator.

References

- [1] J. Mesken, M.P. Hagenzieker, T. Rothengatter, D. de Waard, Frequency, determinants, and consequences of different drivers' emotions: An on-the-road study using self-reports, (observed) behaviour, and physiology., *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 10 (2007) 458–475.
- [2] M.J.M. Sullman, The expression of anger on the road, *Saf. Sci.* 72 (2015) 153–159. doi:10.1016/j.ssci.2014.08.013.
- [3] J.L. Deffenbacher, D.M. Deffenbacher, R.S. Lynch, T.L. Richards, Anger, aggression and risky behavior: A comparison of high and low anger drivers., *Behav. Res. Ther.* 41 (2003) 701–718.
- [4] M.J.M. Sullman, A.N. Stephens, M. Yong, Anger, aggression and road rage behaviour in Malaysian drivers, *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 29 (2015) 70–82. doi:10.1016/j.trf.2015.01.006.
- [5] S.M. Nesbit, J.C. Conger, A.J. Conger, A quantitative review of the relationship between anger and aggressive driving, *Aggress. Violent Behav.* 12 (2007) 156–176. doi:10.1016/j.avb.2006.09.003.
- [6] A. Stephens, J.A. Groeger, Anger-congruent behaviour transfers across driving situations, *Cogn. Emot.* 25 (2011) 1423–1438. doi:10.1080/02699931.2010.551184.
- [7] E. Roidl, B. Frehse, R. Hoeger, Emotional states of drivers and the impact on speed, acceleration and traffic violations-A simulator study, *Accid. Anal. Prev.* 70 (2014) 282–292. doi:10.1016/j.aap.2014.04.010.
- [8] R.D. Garrity, J. Demick, Relations Among Personality Traits, Mood States, and Driving Behaviors, *J. Adult Dev.* 8 (2001) 109–118. doi:10.1023/A:1026446002317.
- [9] M. Jeon, B.N. Walker, T.M. Gable, The effects of social interactions with in-vehicle agents on a driver's anger level, driving performance, situation awareness, and perceived workload, *Appl. Ergon.* 50 (2015) 185–199. doi:10.1016/j.apergo.2015.03.015.
- [10] J.S. Lerner, L.Z. Tiedens, Portrait of the angry decision maker: how appraisal tendencies shape anger's influence on cognition, *J. Behav. Decis. Mak.* 19 (2006) 115–137. doi:10.1002/bdm.515.

- [11] F. Techer, C. Jallais, A. Fort, Y. Corson, Assessing the impact of anger state on the three Attentional Networks with the ANT-I, *Emot. Wash. DC.* 15 (2015) 276–280. doi:10.1037/emo0000028.
- [12] A. Callejas, J. Lupiàñez, M.J. Funes, P. Tudela, Modulations among the alerting, orienting and executive control networks, *Exp. Brain Res. Exp. Hirnforsch. Expérimentation Cérébrale.* 167 (2005) 27–37. doi:10.1007/s00221-005-2365-z.
- [13] J. Fan, B.D. McCandliss, T. Sommer, A. Raz, M.I. Posner, Testing the Efficiency and Independence of Attentional Networks, *J. Cogn. Neurosci.* 14 (2002) 340–347. doi:10.1162/089892902317361886.
- [14] M.I. Posner, Orienting of attention, *Q. J. Exp. Psychol.* 32 (1980) 3–25.
- [15] S.J. Luck, *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*, MIT Press, Cambridge, MA, US, 2014. <https://mitpress.mit.edu/books/introduction-event-related-potential-technique-0> (accessed May 11, 2016).
- [16] E.K. Vogel, S.J. Luck, The visual N1 component as an index of a discrimination process, *Psychophysiology.* 37 (2000) 190–203. doi:10.1111/1469-8986.3720190.
- [17] A. Fort, J. Besle, M.-H. Giard, J. Pernier, Task-dependent activation latency in human visual extrastriate cortex, *Neurosci. Lett.* 379 (2005) 144–148. doi:10.1016/j.neulet.2004.12.076.
- [18] J. Polich, Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b, *Clin. Neurophysiol. Off. J. Int. Fed. Clin. Neurophysiol.* 118 (2007) 2128–2148. doi:10.1016/j.clinph.2007.04.019.
- [19] A.H. Neuhaus, C. Urbanek, C. Opgen-Rhein, E. Hahn, T.M.T. Ta, S. Koehler, M. Gross, M. Dettling, Event-related potentials associated with Attention Network Test, *Int. J. Psychophysiol.* 76 (2010) 72–79. doi:10.1016/j.ijpsycho.2010.02.005.
- [20] B. Rozenkrants, J. Polich, Affective ERP processing in a visual oddball task: Arousal, valence, and gender, *Clin. Neurophysiol.* 119 (2008) 2260–2265. doi:10.1016/j.clinph.2008.07.213.
- [21] J.W. Van Strien, S.J.E. Langeslag, N.J. Strekalova, L. Gootjes, I.H.A. Franken, Valence interacts with the early ERP old/new effect and arousal with the

- sustained ERP old/new effect for affective pictures, *Brain Res.* 1251 (2009) 223–235. doi:10.1016/j.brainres.2008.11.027.
- [22] M. Bueno, C. Fabrigoule, P. Deleurence, D. Ndiaye, A. Fort, An electrophysiological study of the impact of a Forward Collision Warning System in a simulator driving task, *Brain Res.* 1470 (2012) 69–79. doi:10.1016/j.brainres.2012.06.027.
- [23] C. Jallais, A.-L. Gilet, Inducing changes in arousal and valence: Comparison of two mood induction procedures, *Behav. Res. Methods.* 42 (2010) 318–325. doi:10.3758/BRM.42.1.318.
- [24] Y. Corson, N. Verrier, Emotions and False Memories Valence or Arousal?, *Psychol. Sci.* 18 (2007) 208–211. doi:10.1111/j.1467-9280.2007.01874.x.
- [25] P.-E. Aguera, K. Jerbi, A. Caclin, O. Bertrand, ELAN: A Software Package for Analysis and Visualization of MEG, EEG, and LFP Signals, *Comput. Intell. Neurosci.* 2011 (2011) 1–11. doi:10.1155/2011/158970.
- [26] J. Smallwood, J.W. Schooler, The science of mind wandering: empirically navigating the stream of consciousness, *Annu. Rev. Psychol.* 66 (2015) 487–518. doi:10.1146/annurev-psych-010814-015331.
- [27] R.A.H. Chaparro, Behavioral and neural correlates of spontaneous attentional decoupling: towards an understanding of mind wandering, phdthesis, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2015. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01314225/document> (accessed July 24, 2016).
- [28] J.W.Y. Kam, E. Dao, J. Farley, K. Fitzpatrick, J. Smallwood, J.W. Schooler, T.C. Handy, Slow fluctuations in attentional control of sensory cortex, *J. Cogn. Neurosci.* 23 (2011) 460–470. doi:10.1162/jocn.2010.21443.
- [29] J. Smallwood, A. Fitzgerald, L.K. Miles, L.H. Phillips, Shifting moods, wandering minds: Negative moods lead the mind to wander., *Emotion.* 9 (2009) 271–276. doi:10.1037/a0014855.
- [30] G. Berthié, C. Lemercier, P.-V. Paubel, M. Cour, A. Fort, C. Galéra, E. Lagarde, C. Gabaude, B. Maury, The restless mind while driving: drivers' thoughts behind the wheel, *Accid. Anal. Prev.* 76 (2015) 159–165. doi:10.1016/j.aap.2015.01.005.
- [31] A.N. Stephens, S.L. Trawley, R. Madigan, J.A. Groeger, Drivers Display Anger-Congruent Attention to Potential Traffic Hazards, *Appl. Cogn. Psychol.* 27 (2013) 178–189. doi:10.1002/acp.2894.

- [32] J. He, E. Becic, Y.-C. Lee, J.S. McCarley, Mind Wandering Behind the Wheel Performance and Oculomotor Correlates, *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.* 53 (2011) 13–21. doi:10.1177/0018720810391530.
- [33] C. Lemerrier, C. Pêcher, G. Berthié, B. Valéry, V. Vidal, P.-V. Paubel, M. Cour, A. Fort, C. Galéra, C. Gabaude, E. Lagarde, B. Maury, Inattention behind the wheel: How factual internal thoughts impact attentional control while driving, *Saf. Sci.* 62 (2014) 279–285. doi:10.1016/j.ssci.2013.08.011.
- [34] J.M. Cooper, N. Medeiros-Ward, D.L. Strayer, The Impact of Eye Movements and Cognitive Workload on Lateral Position Variability in Driving, *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.* 55 (2013) 1001–1014. doi:10.1177/0018720813480177.
- [35] G.D. Logan, M.J.C. Crump, The Left Hand Doesn't Know What the Right Hand Is Doing The Disruptive Effects of Attention to the Hands in Skilled Typewriting, *Psychol. Sci.* 20 (2009) 1296–1300. doi:10.1111/j.1467-9280.2009.02442.x.
- [36] D. Kahneman, *Attention and Effort*, Prentice Hall, Londres, 1973.
- [37] A.B. Ünal, D. de Waard, K. Epstude, L. Steg, Driving with music: Effects on arousal and performance, *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 21 (2013) 52–65. doi:10.1016/j.trf.2013.09.004.

C. Effet de la colère générée par la conduite sur la détection de piétons et la performance de suivi de véhicule

L'étude précédente n'a montré aucun impact négatif de la colère sur les temps de réaction au cours d'une tâche de suivi de véhicule dans un environnement particulièrement peu complexe. Cependant, la littérature suggère que cette émotion pourrait perturber la vitesse à laquelle l'individu détecte les informations présentes dans un environnement de conduite plus immersif. En effet, lorsqu'ils sont en état de colère, les individus seraient plus lents à localiser des éléments de la route sur des photos représentant des scènes de conduite (Jallais, Gabaude, & Paire-Ficout, 2014). De plus, ils réagiraient moins vite à la présence de dangers atypiques tels qu'un piéton traversant subitement la route (Stephens et al., 2013). Cependant, cette étude ne permet pas de déterminer si cette augmentation du temps de réaction est réellement due à une baisse de performances attentionnelles ou au fait que la colère réduit la perception des risques (Lerner & Tiedens, 2006; Lerner & Keltner, 2001). Ainsi, il semble nécessaire de poursuivre cette étude en testant les capacités de détection des conducteurs en colère pendant une tâche de conduite réaliste telle qu'un suivi de véhicule. De plus, la situation proposée lors de la deuxième étude de cette thèse (Voir page 62) était particulièrement simple de par les contraintes imposées par la méthode des potentiels évoqués utilisée. Cette simplification a rendu la tâche particulièrement artificielle, ce qui aurait pu masquer l'effet de la colère sur les performances de suivi.

Pour mesurer la performance de conduite de manière approfondie lors d'un suivi de véhicule, la tâche de suivi créée par Brookhuis et al. (1994) semble particulièrement intéressante. Dans cette tâche, le conducteur est placé dans une situation où il doit suivre et reproduire le mieux possible la vitesse d'un véhicule. La comparaison entre ces deux courbes de vitesse permet de calculer trois indicateurs de performance :

- *La Cohérence* est la corrélation entre les deux courbes de vitesse. Elle nous indique avec un score compris entre 0 et 1 comment le participant a reproduit les

changements de vitesse du véhicule à suivre. Ainsi, un score de cohérence de 1 signifierait que le participant a parfaitement reproduit la courbe de vitesse du véhicule à suivre, alors qu'un score proche de 0 indiquerait que la tâche n'a pas été effectuée.

- *Le Modulus* représente la capacité du conducteur à respecter les puissances d'accélération et de freinage du véhicule à suivre. Un modulus supérieur à 1 indique que le participant a amplifié les puissances d'accélération et de freinages, alors qu'un modulus inférieur à 1 indique qu'il les a minimisées. En d'autres termes, le modulus nous indique la tendance du conducteur à sur-réagir ou sous-réagir aux changements de vitesse.
- *Le Délai* est la latence entre les changements de vitesse du véhicule à suivre et la réaction du participant. C'est le temps moyen qui s'écoule entre les changements d'allure du véhicule à suivre et la réaction du conducteur.

Pour évaluer l'impact de la distraction sur la performance de suivi, Ranney et al. (2005) ont demandé à des conducteurs d'effectuer une tâche distractive pendant un suivi de véhicule sur route réelle. Ils ont constaté que l'augmentation de la charge mentale causée par la tâche distractive provoquait chez ces conducteurs une augmentation du temps nécessaire pour réagir aux changements de vitesse du véhicule lièvre. Toutefois, les participants ont compensé cette détérioration de délai en augmentant leur temps inter-véhiculaire (TIV). Par ailleurs, Ünal, de Waard, Epstude, et Steg (2013) ont constaté que l'écoute de musique dans une tâche de conduite monotone avait pour effet d'augmenter le niveau d'arousal ainsi que la performance de conduite. A l'inverse des résultats obtenus pour la charge mentale, les conducteurs écoutant de la musique ont amélioré leur réactivité face aux changements d'allure du véhicule à suivre.

Dans une situation de conduite naturelle, la colère ressentie par un individu peut avoir été induite par des évènements personnels sans lien avec la tâche en cours, mais elle peut aussi être induite par la tâche elle-même (e.g. Jeon et al., 2014). Une des conditions favorisant l'émergence de colère est l'obstruction de la voie par un véhicule circulant trop lentement alors qu'aucun élément extérieur ne justifie ce comportement (Stephens & Groeger, 2012). Dans une telle situation, contrairement à la colère liée à des évènements personnels, la source de

colère continue d'être présente dans l'environnement. Or, un stimulus générateur de colère pourrait favoriser la focalisation attentionnelle par le fort arousal qu'il véhicule (Fox et al., 2001; Harmon-Jones et al., 2013). De plus, les informations négatives dans la scène routière pourraient particulièrement retenir l'attention des conducteurs, mais aussi ralentir la détection de nouvelles informations (Chan & Singhal, 2013).

Du fait des perturbations comportementales et attentionnelles provoquées par la colère, nous pouvons nous questionner sur l'influence qu'elle peut avoir sur la détection de piétons et sur la capacité d'adaptation à la vitesse du trafic lorsqu'une source de colère est présente. Les objectifs de cette étude sont donc de mesurer les effets de la colère sur la performance de conduite à travers la tâche de suivi de véhicule, mais également sur la vitesse de détection de piétons. Les individus en colère ont tendance à adopter un style de conduite plus risqué avec une vitesse plus élevée et des accélérations plus puissantes, ils devraient donc être sujets à une réduction de la cohérence et une augmentation du modulus. En effet, une cohérence réduite révélerait que le groupe en colère a du mal à reproduire la courbe de vitesse du véhicule, et un modulus élevé montrerait qu'ils ont tendance à sur-réagir aux changements d'allure. En ce qui concerne la détection des piétons, les individus en colère devraient les détecter depuis une plus courte distance que les autres participants, et ce d'autant plus lorsque la source de colère est présente dans l'environnement.

1. Méthode

a) Participants

En accord avec les recommandations données dans la littérature, les participants ont été recrutés à l'aide de la Driving Anger Scale (DAS; Villieux & Delhomme, 2007). Soixante-quinze conducteurs (24 à 45 ans ; $M = 31$, $ET = 6$) avec une vision normale et plus de trois ans de permis ont participé à l'expérimentation. Afin de maximiser les effets et la durée de l'induction de colère (voir Stephens et al., 2013), les 50 participants avec les scores les plus élevés à la DAS ont été assignés au groupe Colère et les 25 dont les scores à la DAS étaient les plus faibles ont été placés dans le groupe Contrôle. Après exclusion des participants ayant souffert du mal du simulateur ainsi que des participants n'ayant pas été correctement induits par le

scénario d'induction, 35 participants constituaient notre échantillon. Ils étaient 17 dans le groupe Contrôle et 18 dans le groupe Colère.

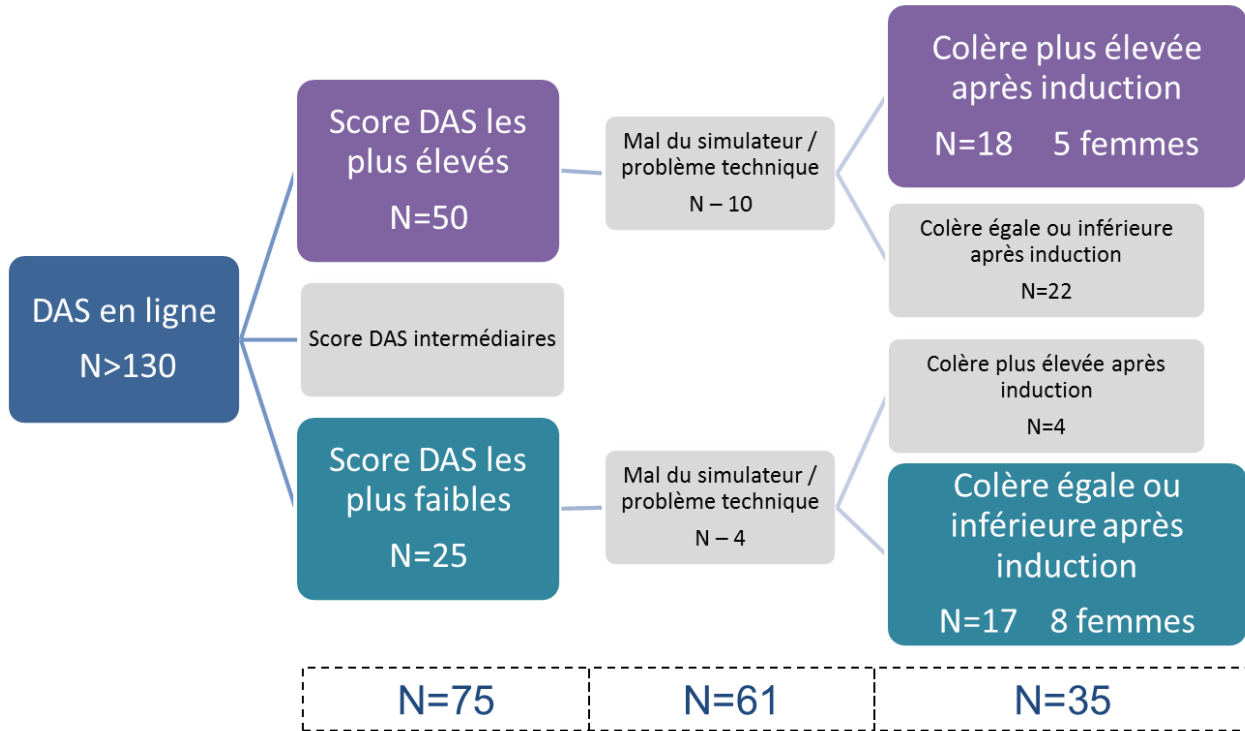


Figure 10 : Différentes étapes de sélection des participants lors de la troisième étude

b) Simulateur de conduite

Un simulateur plus immersif que le précédent (Figure 11), également basé sur le simulateur développé à l'IFSTTAR par le LEPSiS a été utilisé. Il était composé d'une cabine de Peugeot 308 entourée par 8 écrans de 220 cm x 165 cm. Cette installation procurait aux participants un champ de vision de 280° horizontaux et 40° verticaux.

Un écran additionnel de 8 pouces était présent dans l'habitacle, à droite du tableau de bord afin d'afficher un chronomètre permettant aux participants d'avoir un retour sur leur performance.



Figure 11 : Dispositif utilisé pour le simulateur complet

c) Induction et mesure de l'humeur

Pour cette étude, une induction basée sur l'induction de la colère par la tâche de conduite a été utilisée (Stephens & Groeger, 2012). Ainsi, les participants devaient conduire sur un scénario de conduite en ville (durée 15 min) avec la consigne de terminer le parcours le plus rapidement possible en respectant le code de la route. Les participants du groupe Colère ont été entravés dans leur progression par un autre véhicule et étaient soumis à une forte pression temporelle. Au contraire, les participants du groupe Contrôle n'étaient pas gênés et n'avaient pas de contrainte temporelle.

d) Tâches expérimentales

- Suivi de véhicule

Lors d'un autre scénario de conduite (durée : 12 min), les participants avaient pour consigne de suivre et de répliquer la vitesse du véhicule qui les précédait.

- Détection de piétons

De plus, douze piétons étaient positionnés le long de ce parcours et les participants avaient pour consigne de les détecter le plus rapidement possible. Afin de tester l'influence de la colère sur la détection des piétons, avec et sans présence de la source de colère, trois types de piétons ont été créés. La première condition consistait en un piéton seul (Condition A). La deuxième condition correspondait à un piéton placé sur le bord de la route à l'opposé d'un véhicule neutre (Condition B). La troisième condition correspondait à un piéton placé à l'opposé du véhicule ayant servi à induire la colère (Condition C).

e) Procédure

Afin d'estimer les effets de la colère, les participants réalisaient le parcours expérimental 2 fois : une fois avant et une fois après le scénario d'induction (colère ou neutre selon le groupe).

2. Principaux résultats et discussion

Cette étude a permis de révéler un lien entre l'état de colère et les performances obtenues lors d'une tâche de détection de piétons couplée à une tâche de suivi de véhicule. Les résultats indiquent que les conducteurs détectent les piétons seuls (Condition A) depuis une plus longue distance lorsqu'ils sont dans un état de colère que les conducteurs dans une humeur neutre. De plus, les participants du groupe Contrôle ont obtenu un score de délai plus faible, indiquant une amélioration de la réactivité pour la tâche de suivi lors du second scénario expérimental. Cette amélioration de la performance de suivi n'a pas été obtenue pour les participants du groupe Colère. Cependant, nos hypothèses de départ n'ont pas été corroborées par les résultats obtenus. En effet, la colère n'a pas impacté les scores de cohérence et de modulus, et l'analyse des distances de détection ne révèle aucune indication concernant une éventuelle focalisation attentionnelle sur la source de colère.

Les résultats obtenus en termes de performance à la tâche de suivi de véhicule ne correspondent pas à la littérature suggérant que la colère entraîne des perturbations dans le contrôle de la vitesse et de la trajectoire du véhicule (Jeon et al., 2014 ; Stephens & Groeger,

2011 ; Techer, Jallais, Fort, Chanut, et al., 2015). L'augmentation des variations de la position latérale obtenue lors de la deuxième étude n'a pas été répliquée ici. Cette apparente incohérence pourrait suggérer que lorsque l'environnement et la tâche deviennent plus complexes, les conducteurs dans un état de colère suivent une trajectoire plus rectiligne. En effet, la littérature suggère que la charge cognitive pourrait réduire la variabilité de position latérale (Cooper et al., 2013). Une raison à cela pourrait être que le contrôle de la trajectoire, une tâche peu coûteuse en ressources attentionnelles, est effectué de manière automatique par le conducteur (Logan & Crump, 2009). Ce mode de fonctionnement permettrait d'obtenir un haut niveau de performance en investissant un minimum de ressources. En ce qui concerne la vitesse de circulation, les résultats présents dans la littérature reposent sur des tâches de conduite libre plutôt que sur une mesure de l'aptitude à contrôler la vitesse du véhicule. Ainsi, les participants étaient incités à conduire tels qu'ils l'auraient fait dans un contexte naturel (e.g. Jeon et al., 2015), ou en imaginant qu'ils sont en retard pour un rendez-vous (Roidl et al., 2014). Selon Wilde (1998) le style de conduite adopté repose sur un équilibre entre le risque perçu et les objectifs de l'individu. Selon ces deux éléments, l'individu pourra modifier un ensemble de variables correspondant principalement au niveau stratégique de la conduite tel que défini par le modèle de Michon (1985). Le choix de la vitesse de circulation et de la fluidité des accélérations et freinages peut donc être modifié par l'individu pour atteindre un équilibre par rapport aux risques perçus. Cet équilibre peut être modifié par une sous-estimation des risques induite par la colère (Lazarus, 1991 ; Lerner & Tiedens, 2006), ce qui a pu provoquer une conduite dangereuse dans une tâche de conduite libre. Dans notre cas, l'objectif de la tâche étant de reproduire les changements de vitesse du véhicule à suivre, les participants n'avaient pas d'intérêt à rouler plus vite ou à freiner et accélérer de façon plus brutale. Le modèle de l'évaluation considère que la colère apparaît lorsque les objectifs d'un individu sont menacés et qu'il pense avoir les capacités pour affronter cette situation (Voir page 28). Or, durant le scénario expérimental, l'individu ayant pour consigne de suivre et ajuster sa vitesse à celle du véhicule, il ne percevait donc aucune menace pour ses objectifs. La différence de résultats obtenus pourrait donc provenir des différentes motivations générées par notre tâche expérimentale et les tâches utilisées dans la littérature. Pour répondre à cette hypothèse, notre étude pourrait être répliquée sans informer les participants

de la nature de la tâche afin de mesurer leur comportement naturel en situation de suivi. Les résultats obtenus à l'aide des PEs lors d'une situation de suivi (Voir page 71) suggèrent une baisse de ressources attentionnelles investies dans le traitement d'un véhicule à suivre. Dans cette étude, l'absence d'amélioration du délai pour le groupe Colère pourrait être la manifestation comportementale de l'impact de la colère sur les PEs en suivi de véhicule. Toutefois, la situation de double tâche a pu accentuer cet effet constaté par des mesures physiologiques afin de le rendre observable par des variables comportementales.

En ce qui concerne la détection des piétons, nos hypothèses reposaient sur le fait qu'un stimulus générateur de colère pourrait capturer l'attention des conducteurs (Chan & Singhal, 2013 ; Harmon-Jones et al., 2013). De plus, les données de la littérature montrent que les conducteurs ayant été mis en colère par un véhicule gênant réagissent plus tardivement lorsqu'il s'agit d'éviter un danger atypique tel qu'un piéton traversant la route (Stephens et al., 2011). Cependant, Stephens et al. (2011) ont également constaté que les conducteurs, après avoir été induits en colère, cherchaient à éviter de se retrouver gênés par un autre véhicule. Ils tentaient donc de dépasser ou d'éviter tous les véhicules pouvant les mettre à nouveau dans cette situation. Et ce, même si le modèle de véhicule ne correspondait pas à celui utilisé pour l'induction. Un tel effet dans notre expérimentation pourrait expliquer que les deux types de véhicules n'ont pas provoqué de réaction attentionnelle différente pour les participants préalablement induits en colère. Toutefois, dans notre étude, la séparation entre les scénarios a pu pousser les conducteurs à faire une distinction entre les deux situations de conduite, considérant qu'aucun des deux véhicules n'était une source potentielle de colère. Lors du second scénario expérimental, en l'absence de source de colère identifiable, les participants ont eu la possibilité de mettre en place des stratégies de compensations pour ne plus être affectés par la source de colère. Cependant, les conducteurs de notre groupe Colère avaient été sélectionnés pour leur fort trait de colère en conduite. Selon la « State – Trait Anger theory » (Voir page 31) ils devraient donc avoir du mal à réguler leur colère de manière constructive. Il est également envisageable que l'humeur de colère ressentie ait été trop légère pour permettre une identification consciente de la source (Voir page 25). L'amélioration de la distance de détection constatée pour les piétons seuls ne signifie pas nécessairement que les conducteurs seront plus rapides à réagir en situation naturelle. En effet, selon leur gestion des

risques, les conducteurs en colère pourraient être plus lents à prendre la décision d'éviter les piétons malgré une détection plus rapide. Cette hypothèse pourrait être testée par de futures expérimentations afin de différencier le temps requis pour la détection d'un danger, et le temps nécessaire pour adopter un comportement adapté afin de l'éviter.

3. Conclusions

Cette étude est la première à examiner l'influence de la colère sur la performance obtenue lors d'un suivi de véhicule couplé à une tâche de détection de piétons. Elle a permis de révéler un impact positif de la colère sur la détection de certains piétons qui étaient isolés des autres véhicules. Cependant, cette amélioration de performance de détection s'est faite au détriment d'une amélioration de la réactivité pour la tâche de suivi de véhicule. Ces nouvelles connaissances à propos des effets de la colère sur la conduite pourraient être mises à profit, par exemple, lors de la conception d'aides à la conduite afin de tenir compte des besoins spécifiques de l'individu selon son humeur.

Techer Franck^{1,2}, Jallais Christophe¹, Fort Alexandra¹, Chanut Odette¹, Ndiaye Daniel³, Moreau Fabien¹, Hugot Myriam¹, Corson Yves².

1: French institute of science and technology for transport, development and networks (IFSTTAR)-TS2-LESCOT

2: Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire (LPPL – EA 4638) Université de Nantes

3: French institute of science and technology for transport, development and networks (IFSTTAR)-COSYS-LEPSIS

E-mail: franck.techer@ifsttar.fr

Impact of anger induced by the driving task on pedestrian detection and car-following performance

ABSTRACT

In driving, anger seems to promote stronger accelerations and higher speed. Moreover, it is known that anger can cause a focalization towards its source, leading to inattention. The present study aimed to assess the effects of anger on the pedestrian detection, and the car-following performance in a simulated driving environment. We hypothesized that angry drivers would have a reduced car-following performance, and that the distraction elicited by the source of anger could lead to a later pedestrian detection. Contrary to our hypotheses, the anger-inducing vehicle did not alter the distance of pedestrian detection. Moreover, when the pedestrian was alone, the Anger group detected the pedestrians from a longer distance than the Control group. Concerning the car-following task, the Control group improved its reactivity to the lead vehicle speed changes between the first and the second experimental scenarios, whereas the Anger group stagnated to their initial performance. Results are discussed with the hypothesis of a change in the allocation of attention elicited by anger.

Keywords: Inattention, anger, pedestrian detection, emotion, simulated driving, Distraction

INTRODUCTION

Epidemiological studies have revealed that negative emotions while driving are problematic because they can cause a focus on internal thoughts, which can increase the risk of accident (e.g. Galera et al., 2012; Lagarde et al., 2004)

Anger in driving is a commonly-experienced emotion. It can arise from the driving context itself, but also from anger-inducing events prior to driving (e.g. Jeon, Walker, & Yim, 2014). Therefore, anger may either be related or unrelated to the driving task, but it seems to cause the attention to deteriorate in both situations. For example, participants induced in an anger state are slower to localize the elements of a picture representing a driving environment (Jallais, Gabaude, & Paire-Ficout, 2014). In this study, anger induced by a mood induction procedure that was unrelated to the task or the driving context led to a deterioration of the response times. Moreover, simulator studies inducing anger by the driving task found a reduction in the speed of reaction to unexpected hazards (Stephens, Trawley, Madigan, & Groeger, 2013). They concluded that this longer time required to perform corrective actions could be due to a more superficial processing of the driving situation. In their experiment, angry participants had difficulties in anticipating the movements of pedestrians when the visual contact was interrupted by another vehicle. Surprisingly, in spite of being slower to react to those hazards, angry drivers were as efficient as the other drivers in avoiding possible collisions.

Considering that anger is a negative and highly aroused emotion that can provoke an attentional focus on its source (Fox, Russo, Bowles, & Dutton, 2001; Harmon-Jones, Gable, & Price, 2013), we can question an angry driver's ability to detect potential hazards in the presence of the source of the anger.

In addition to its effects on attention, anger can also affect driving behavior. Several studies using questionnaires have revealed that driving in a state of anger can lead to aggressive behavior or transgressions (e.g. Deffenbacher, Lynch, Oetting, & Swaim, 2002). Moreover, aggressive forms of anger expression have also been related to crashes and crash-related situations (Sullman, 2015). However, this kind of study is not designed to provide an objective observation of drivers' behavior. Studies using the driving simulator have confirmed that the driving style may be modified by anger (e.g. Abdu, Shinar, & Meiran, 2012). They have concluded that angry drivers tend to adopt a riskier driving style, but surprisingly, this risky driving did not correlate with the number of collisions. Although no increase in the number of crashes was observed in the simulator studies, they often suggested that anger may lead to a faster speed and stronger accelerations (Mesken, Hagenzieker, Rothengatter, & de Waard, 2007; Roidl, Frehse, & Hoeger, 2014). Thus, anger may not directly impair the ability to avoid hazards, but it may interfere with the driver's ability to control his speed, thereby indirectly affecting the crash hazard. In order to evaluate the effects of anger on the driving performance through adaptation to traffic speed variations, a standardized task that is suitable for driving simulators was chosen.

The car-following task created by Brookhuis, De Waard, and Mulder (1994) consists of following and adjusting speed so as to match that of a lead vehicle (LV). The comparison between the two speed signals provides three indicators of driving performance: *Coherence* is the squared correlation between the two speed signals, thus giving an indication about the general respect of the LV speed curve. *Modulus* represents the amplification factor between

the two speed curves. In other words, modulus provides the tendency of the participant to overshoot or undershoot the speed changes of the LV. *Phase shift / Delay* is the lag between the LV speed changes, and the participant's reactions. It represents the mean amount of time required by the driver, after a change in the LV speed signal, to start adjusting his pace. It should be noted that this car-following task seems reliable for studying the effects of cognitive factors on the driving performance (e.g. Ranney, Harbluk, & Noy, 2005; Ünal, De Waard, Epstude, & Steg, 2013). To our knowledge, several studies have shown that anger may provoke maladaptive driving, but none of them have clearly focused on the ability of angry drivers to adjust their speed to the actual situational traffic speed.

The first aim of this study is to investigate the effects of anger on a pedestrian detection task. As mentioned above, anger may cause a focus on its source (Fox et al., 2001; Harmon-Jones et al., 2013). Thus, angry participants should detect pedestrians from a shorter distance when a source of anger is present. The second aim of the study is to search for an influence of anger on the driving performance, using a car-following task. Given that anger tends to promote a faster speed and more powerful accelerations (Roidl et al., 2014), it is possible that angry drivers would have a reduced coherence and an increased modulus: A reduced coherence would point at a difficulty for the Anger group to reproduce the general speed curve of the lead vehicle. An increased modulus would indicate that the Anger group participants tend to overreact to the speed changes.

METHOD

Participants

Participants were recruited using an online version of the French adaptation of the Driving Anger Scale (DAS; Villieux & Delhomme, 2007). This test was used to evaluate the tendency for an individual to feel angry while driving.

Seventy-five drivers (24 to 45 years; $M = 31$, $SD = 6$) with normal vision and more than three years of driving experience completed the experiment and received financial compensation of 60 Euros. In order to maximize the mood induction, the participants with the highest DAS scores were assigned to the Anger group and the others were assigned to the Control group. To ensure that the emotional state of the two groups was controlled, we only kept the participants who were successfully induced, and who did not suffer from simulator sickness in the final groups. The final Anger group ($M = 29$ yrs, $SD = 7$) was composed of the 18 participants (8 females) who reported an increase in the arousal and the anger ratings after the induction. The Control group ($M = 33$ yrs, $SD = 6$) was composed of the 17 participants (5 females) who did not report more anger or arousal after the induction.

The research protocol was approved by the ethics committee of the French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks (IFSTTAR).

Material

Mood induction procedure (MIP) and measurement

Participants were induced either in anger or in a neutral mood according to their group. A 15-minute Induction scenario was developed, based on the study of Stephens and Groeger (2011). A timer located at the right of the dashboard was programmed to provide negative feedback to the Anger group about the time that they took to finish the Induction drive. They were convinced that they were slower than the average driver in order to increase the time pressure. In addition, they were impeded by an Induction vehicle driving before them around 15 km/h under the authorized speed. At some points of the scenario, anger-inducing events (e.g. a vehicle honking at the participant) were displayed. The control group drove the same scenario with a positive feedback about their completion time, and the Induction vehicle drove at the same speed as the participant, and thus was not perceived as impeding. The anger-inducing events were absent for the control group.

The MIP efficiency was measured using a modified version of the Brief Mood Introspection Scale (BMIS; Mayer & Gaschke, 1988) developed by Corson and Verrier (2007). The BMIS is a 16-item self-report questionnaire in which each adjective is rated on a 7-point scale. The 16 adjectives in this test correspond to 4 adjectives per emotion (*i.e.* anger, happiness, sadness and calmness) and provide a score for the valence and the arousal dimensions of the emotional state.

Car-following

The lead vehicle (LV) speed shifted between .01 and .03 Hz with a 20 km/h amplitude (70 to 90 km/h). Occasionally, the LV kept a 70 or 90 km/h constant speed for 10 seconds. The driving performance was measured using the three car-following indicators (*i.e.* coherence, modulus, delay) and the inter-vehicular time.

Pedestrian detection

Pedestrians to detect were positioned at 60 cm to the left or the right of the roadside. The pedestrian detection performance was measured using the distance of detection.

Apparatus

The experiment took place in the Laboratory for Road Operations, Perception, Simulators and Simulations (LEPSiS) fixed-base car driving simulator at IFSTTAR. This simulator was composed of a Peugeot 308 surrounded by 8 screens (220 cm high x 165 cm wide) providing around a 280° horizontal and 40° vertical field of view. The five screens placed in the front of the vehicle provided the forward view and the three other screens placed at the rear and the right side of the vehicle allowed the participant to see the driving environment through the right and central rear mirrors. A 22" screen placed on the left side of the vehicle allowed the participant to see the environment through the left rear mirror.

Procedure

After completing the informed consent form, participants drove in the Training session in order to familiarize themselves with the driving simulator, the car-following task, and the pedestrian detection task. Afterwards, they completed a first experimental scenario (Experimental 1). This scenario consisted of the car-following task in which they were instructed to follow and adjust their speed to that of the LV, keeping a safe inter-vehicular distance (Brookhuis et al., 1994). In addition to the car-following task, participants had to detect all the pedestrians placed along the road. Those pedestrians could either be placed alone (Condition A), at the opposite side of a neutral vehicle (Condition B), or at the opposite side of the Induction vehicle (Condition C). A total of 12 pedestrians were presented.

After the Experimental 1 scenario, participants drove the Induction scenario corresponding to their group. They were instructed to finish the drive as fast as possible while respecting the traffic laws. Finally, they completed the second experimental scenario (Experimental 2) in which they had to perform the same double-task situation as that performed in the Experimental 1 scenario.

RESULTS

Mood induction procedure

The following analyses were carried out with the 35 participants who were successfully induced, and who did not suffer from simulator sickness (18 in the Anger group and 17 in the Control group).

To ensure that both groups were in a different mood after induction, two repeated measures ANOVAs were carried out with the Group (Anger/Control) as a between-subject factor, the Moment (Before induction/After induction) as a within-subject factor, on the mean anger ratings or the mean arousal ratings as dependent variables (Table 1). Concerning the mean anger ratings, the analysis revealed a main effect of the Group ($F(1, 33) = 6.89$, $\eta^2 = 0.145$, $p < .05$), a main effect of the Moment ($F(1, 33) = 12.81$, $\eta^2 = 0.28$, $p < .01$), and a significant Moment \times Group interaction ($F(1, 33) = 7.88$, $\eta^2 = 0.28$, $p < .01$). Planned comparisons confirmed that both groups did not differ in their anger ratings before induction ($F(1, 33) < 1$, *n.s.*), but the Anger group had higher anger ratings after induction ($F(1, 33) = 7.51$, $\eta^2 = 0.185$, $p < .01$).

Concerning the arousal ratings, the analysis revealed a main effect of the Group ($F(1, 33) = 6.09$, $\eta^2 = 0.156$, $p < .05$), a tendency for the main effect of the Moment ($F(1, 33) = 3.81$, $\eta^2 = 0.10$, $p < .06$), and a significant Moment \times Group interaction ($F(1, 33) = 7.23$, $\eta^2 = 0.18$, $p < .05$). Planned comparisons confirmed that both groups did not differ in their arousal ratings Before induction ($F(1, 33) < 1$, *n.s.*), but the Anger group had higher anger ratings After induction ($F(1, 33) = 11.47$, $\eta^2 = 0.258$, $p < .01$).

Table 1

Mean ratings (SD) for the Valence and the Arousal dimension, Before and After the mood induction procedure, according to the group

	Anger ratings		Arousal ratings	
	Before	After	Before	After
Anger	1,08 (0,21)	2,06 (1,27)	4,08 (0,3)	4,36 (0,44)
Control	1,04 (0,1)	1,16 (0,45)	3,96 (0,44)	3,92 (0,32)

Car-following

A shift score was calculated for each indicator of the driving performance in order to report the differences in driving performance induced by anger. Shift scores were obtained by subtracting the Experimental 1 scores from the Experimental 2 scores (e.g. coherence shift = Experimental 2 coherence – Experimental 1 coherence). Then, four one-way ANOVAs were carried out to test the effect of the Group (Anger/Control) on the four driving performance indicators (Coherence shift, Modulus shift, Delay shift and inter-vehicular time shift).

These analyses revealed an effect of the Group on the Delay shift ($F(1, 33) = 4.66$, $\eta^2 = 0.124$, $p = < .05$). The Control group had a greater Delay shift than the Anger group, showing that they reacted faster to the speed changes of the lead vehicle in the second experimental drive. No significant effect of the Group was found concerning the Coherence shift ($F(1, 33) < 1$, *n.s.*), the Modulus shift ($F(1, 33) < 1$, *n.s.*), and the inter-vehicular time shift ($F(1, 32) = 1.81$, $\eta^2 = 0.052$, $p = .19$).

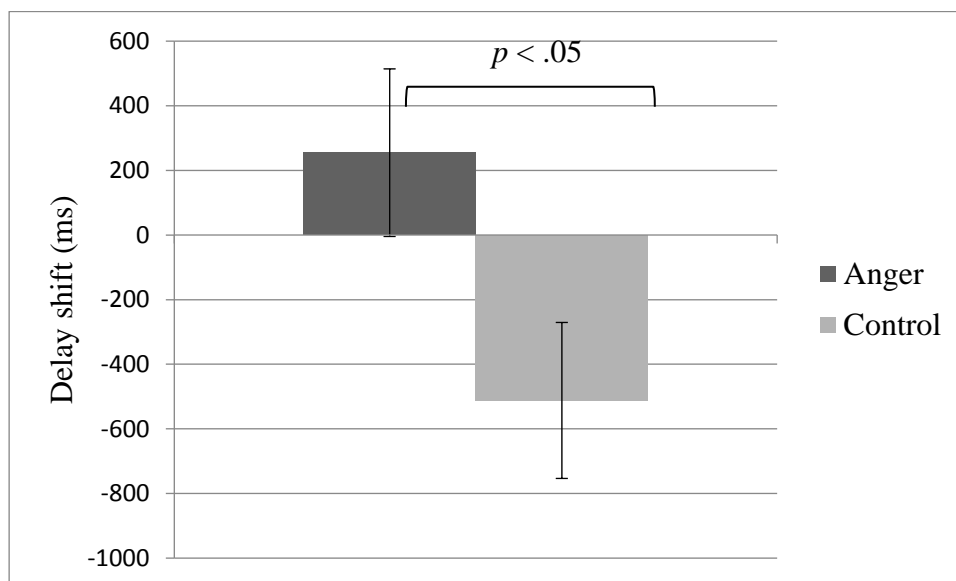


Figure 1: Delay shift (Experimental 2 delay - Experimental 1 delay) for each Group (Anger/Control)

Pedestrian detection

Due to a technical issue, the detection data for one participant from the Control group was not exploitable. Consequently, the following analyses were performed for the 34 remaining participants.

In order to avoid the predictability of the targets, the pedestrians' positioning and the environment was different in each experimental scenario. Thus, several characteristics such as salience, contrast or luminosity, which can impact the detection performance, were not controlled. To avoid a possible biased comparison between the two experimental scenarios, two separate analyses were conducted.

For each Experimental scenario (Experimental 1/Experimental 2), an ANOVA was carried out with the Group (Anger/Control) as a between-subject factor, and the Pedestrian Condition (Condition A: pedestrian alone; Condition B: pedestrian with a neutral vehicle; Condition C: pedestrian with the Induction vehicle) as a within-subject factor. The first analysis with the mean distance of detection on the Experimental 1 scenario as a dependent variable revealed a main effect of the Pedestrian Condition ($F(2, 64) = 9.78, \eta^2 = 0.234, p < .001$). However, no significant effect was found concerning the group ($F(1, 32) < 1, n.s.$). Planned comparisons did not reveal any difference between both groups for the three pedestrian conditions ($F(1, 32) < 1, n.s.$).

The second analysis was carried out with the mean distance of detection on the Experimental 2 scenario as a dependent variable (Figure 2). This analysis revealed no significant effect of the Group ($F(1, 32) = 1.77, n.s.$), and no significant effect of the pedestrian condition ($F(2, 64) < 1, n.s.$). Planned comparisons showed a significant difference in the mean distance of detection between the Anger and the Control groups in the Condition A ($F(1, 32) = 5.99, \eta^2 = 0.158, p < .05$). However, this difference was not significant for the two other pedestrian conditions ($F(1, 32) < 1, n.s.$).

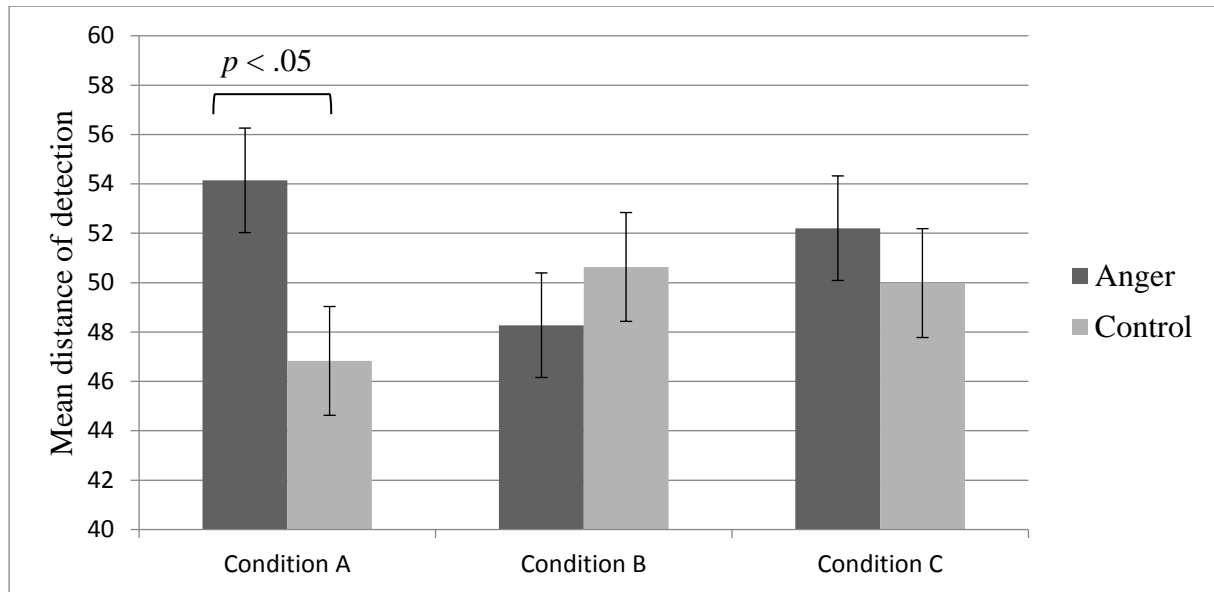


Figure 2: Mean distance of detection for the Experimental 2 scenario according to the Group (Anger/Control), and the Pedestrian condition: Condition A (pedestrians alone), Condition B (pedestrians with a neutral vehicle), and Condition C (pedestrians with the Induction vehicle)

DISCUSSION

In this study, participants were anger-induced using a driving scenario so as to observe the influence of this emotion on the driving performance and pedestrian detection.

Since angry drivers tend to drive at a higher speed and with higher accelerations (Roidl et al., 2014), the initial hypothesis was that anger would cause a coherence reduction and a modulus increase. The absence of expected results may be due to the fact that the mild level of induced anger may have been insufficient to provoke the behavioral modifications observed in literature. However, it has to be noted that with a comparable mood induction procedure (MIP), Stephens et al. (2013) observed significant changes in the driving behavior. Thus, the MIP may not be the main explanation for the absence of expected results. In addition, an unexpected effect of anger on the delay was found. It appears that the Control group had a shorter delay in the Experimental 2 scenario compared to the Experimental 1 scenario. In other words, they were faster to react to the speed changes of the lead vehicle (LV). This improvement in the following performance could reveal a benefit from the training represented by the Experimental 1 scenario. However, the Anger group did not follow the same pattern of results. Their delay was similar in the first and the second experimental scenarios. This could indicate that the Anger group participants may have been less attentive to the speed changes of the LV compared to the Control group. According to the literature about the influence of emotions on attention (e.g. Fox et al., 2001; Harmon-Jones et al., 2013), this effect could be a consequence of the distraction caused by anger, by focusing on internal thoughts irrelevant to the driving task.

Concerning the pedestrian detection task, the source of anger was expected to cause an attentional focus of the Anger group participants on the Induction vehicle. The angry participants were assumed to detect the pedestrians with the Induction vehicle from a shorter distance compared to the Control group. Contrary to this hypothesis, both groups reported similar distances of detection for the pedestrians with a neutral or Induction vehicle, indicating that the type of vehicle had no incidence on the detection performance. The absence of expected results may be related to the fact that the Experimental and the Induction scenarios were split by mood checks. This could have led the participants to believe that the three scenarios were not related. Consequently, they may not have recognized the Induction vehicle in the Experimental scenarios as the source of their anger. However, the results indicate that the detection distance was affected by anger, only when pedestrians were placed alone. Even though the participants of both groups were initially comparable, the Anger group had a significantly higher distance of detection than the Control group in the second experimental scenario for the pedestrians alone.

The results obtained for both tasks may also come from a more heuristic attentional processing style promoted by anger (see Angie, Connelly, Waples, & Kligyte, 2011). On one hand, the speed changes of the LV may have to be more obvious to be noticed by the Anger group, and on the other hand, angry drivers may have focused on the most salient stimulus while seeking pedestrians. Thus, when a vehicle was present, the angry drivers' attention may have been captured by the vehicle which was more conspicuous than the pedestrian.

In our experiment, we only assessed the distance of detection, but a simple detection does not require a deep processing about the risky dimension of the situation. Stephens et al. (2013) studied the effect of anger on the reaction to unexpected hazards. They observed that angry drivers are slower to react to a jaywalking pedestrian when the visual contact is disrupted. Indeed, drivers experiencing anger may detect the pedestrians from a longer distance, while being slower to consider them as a potential hazard.

To conclude from this experiment, it seems that anger elicited by the driving task can modulate the driving performance and the detection of vulnerable road users such as pedestrians. It would be important to go further and complete the results obtained here with other types of driving tasks. Future studies could also aim at disentangling the effects of anger induced by the driving task and anger induced by other mood induction procedures unrelated to driving such as an autobiographical recall (e.g. Jallais & Gilet, 2010).

BIBLIOGRAPHY

- Abdu, R., Shinar, D., & Meiran, N. (2012). Situational (state) anger and driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 15(5), 575-580.
- Angie, A., Connelly, S., Waples, E., & Kligyte, V. (2011). The influence of discrete emotions on judgement and decision-making: A meta-analytic review. *Cognition & Emotion*, 25(8), 1393-1422. doi:10.1080/02699931.2010.550751
- Brookhuis, K., Waard, D. D., & Mulder, B. (1994). Measuring driving performance by car-following in traffic. *Ergonomics*, 37(3), 427-434. <http://doi.org/10.1080/00140139408963661>
- Corson, Y., & Verrier, N. (2007). Emotions and False Memories Valence or Arousal? *Psychological Science*, 18(3), 208-211. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01874.x>
- Deffenbacher, J. L., Lynch, R. S., Oetting, E. R., & Swaim, R. C. (2002). The driving anger expression inventory: A measure of how people express their anger on the road. *Behaviour Research and Therapy*, 40(6), 717-737.
- Deffenbacher, J., Lynch, R., Oetting, E., & Yingling, D. (2001). Driving anger: Correlates and a test of state-trait theory. *Personality and Individual Differences*, 31(8), 1321-1331.
- 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.
- Galera, C., Orriols, L., M'Bailara, K., Laborey, M., Contrand, B., Ribereau-Gayon, R., ... Lagarde, E. (2012). Mind wandering and driving: responsibility case-control study. *BMJ*, 345(dec13 8), e8105-e8105. <http://doi.org/10.1136/bmj.e8105>
- Harmon-Jones, E., Gable, P., & Price, T. (2013). Does negative affect always narrow and positive affect always broaden the mind? Considering the influence of motivational intensity on cognitive scope. *Current Directions in Psychological Science*, 22(4), 301-307. doi:10.1177/0963721413481353
- Jallais, C., Gabaude, C., & Paire-Ficout, L. (2014). When emotions disturb the localization of road elements: Effects of anger and sadness. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 23, 125-132. <http://doi.org/10.1016/j.trf.2013.12.023>
- Jallais, C., & Gilet, A.-L. (2010). Inducing changes in arousal and valence: Comparison of two mood induction procedures. *Behavior Research Methods*, 42(1), 318-325. <http://doi.org/10.3758/BRM.42.1.318>
- Jeon, M., Walker, B. N., & Yim, J.-B. (2014). Effects of specific emotions on subjective judgment, driving performance, and perceived workload. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 24, 197-209. <http://doi.org/10.1016/j.trf.2014.04.003>
- Lagarde, E., Chastang, J.-F., Gueguen, A., Coeuret-Pellicer, M., Chiron, M., & Lafont, S. (2004). Emotional stress and traffic accidents: the impact of separation and divorce. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 15(6), 762-766.
- Mayer, J. D., & Gaschke, Y. N. (1988). The experience and meta-experience of mood. *Journal of Personality and Social Psychology*, 55(1), 102-111. <http://doi.org/10.1037/0022-3514.55.1.102>
- Mesken, J., Hagenzieker, M. P., Rothengatter, T., & de Waard, D. (2007). Frequency, determinants, and consequences of different drivers' emotions: An on-the-road study using self-reports, (observed) behaviour, and physiology. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(6), 458-475.
- Ranney, T., Harbluk, J., & Noy, Y. (2005). Effects of voice technology on test track driving performance: Implications for driver distraction. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 47(2), 439-454. doi:10.1518/0018720054679515
- Roidl, E., Frehse, B., & Hoeger, R. (2014). Emotional states of drivers and the impact on speed, acceleration and traffic violations-A simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 70, 282-292. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2014.04.010>

- Stephens, A. N., & Groeger, J. A. (2011). Anger-congruent behaviour transfers across driving situations. *Cognition & Emotion*, 25(8), 1423-1438. <http://doi.org/10.1080/02699931.2010.551184>
- Stephens, A., Trawley, S., Madigan, R., & Groeger, J. (2013). Drivers display anger-congruent attention to potential traffic hazards. *Applied Cognitive Psychology*, 27(2), 178-189. doi:10.1002/acp.2894
- Sullman, M. (2015). The expression of anger on the road. *Safety Science*, 72, 153-159. doi:10.1016/j.ssci.2014.08.013
- Ünal, A., de Waard, D., Epstude, K., & Steg, L. (2013). Driving with music: Effects on arousal and performance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 52-65. doi:10.1016/j.trf.2013.09.004
- Villieux, A., & Delhomme, P. (2007). Driving anger scale, french adaptation: further evidence of reliability and validity. *Perceptual and Motor Skills*, 104(3 Pt 1), 947-957.

Discussion générale

L'objectif de cette thèse était d'étudier l'impact de la colère sur la conduite automobile selon une approche différente de celle adoptée dans la majorité des travaux menés jusqu'à présent. Si l'effet de la colère sur la conduite a été principalement observé par son influence au niveau du style de conduite et l'agressivité (e.g. Abdu et al., 2012 ; Deffenbacher et al., 2003 ; Jeon et al., 2015 ; Roidl et al., 2014), il existait un manque de connaissances quant à son impact sur l'attention en conduite. Or, certaines modifications du style de conduite semblent provenir directement d'une perception biaisée de l'environnement (e.g. Jeon et al., 2015). Cependant, la littérature comporte peu d'expérimentations basées sur l'induction d'un état de colère afin d'en observer l'influence sur le traitement d'informations neutres. Une telle étude était selon nous un prérequis nécessaire afin de mieux appréhender les effets de la colère sur l'attention dans un environnement de conduite qui comporte une majorité de stimuli neutres.

La première étape de cette thèse a donc consisté à combler ce vide en proposant une étude basée sur le modèle des réseaux attentionnels (Voir page 16). Cette étude a permis d'observer, grâce à la tâche informatisée de l'Attention Network Test-Interactions (Callejas et al., 2005) la façon dont un état de colère induit pouvait impacter l'efficacité des réseaux d'alerte, d'orientation et de contrôle exécutif. A notre connaissance, c'est la première fois que ce test est utilisé pour étudier l'influence de l'état de colère sur les réseaux attentionnels. Il a permis de révéler une amélioration de l'efficacité du réseau d'alerte pour les participants induits en colère.

Lors d'une seconde étude, un protocole a été développé afin d'observer la façon dont l'influence de la colère sur l'attention se manifesterait en conduite. Cependant, certaines modifications dans le traitement de l'information ne peuvent être inférées directement par les données comportementales. Plus particulièrement, le décours temporel du traitement d'une information critique nécessite l'utilisation d'une technique avec une excellente résolution temporelle. Nous avons ainsi apporté les premières connaissances concernant l'impact des états émotionnels sur les Potentiels Evoqués (PEs) par des stimuli neutres durant une tâche

de conduite. Des variations dans l'activité électrique cérébrale ont pu être interprétées comme une diminution des ressources attentionnelles investies dans le traitement de l'information d'une manière similaire à un épisode de mind-wandering.

Enfin, une troisième étude a été menée dans le but d'observer de quelle manière la colère impactait l'attention lors d'une tâche de conduite complexe avec un environnement simulé plus réaliste. La littérature faisant état d'une réaction plus lente pour les conducteurs en état de colère à des dangers atypiques (Stephens et al., 2013), il était intéressant de s'intéresser à l'origine de cet effet. Cette dernière expérimentation visait à évaluer les capacités d'un conducteur en colère à détecter des piétons placés en périphérie de la scène de conduite, avec ou sans la présence de la source de colère. Cette tâche de détection était accomplie en même temps qu'une tâche de suivi de véhicule développée par Brookhuis et al. (1994). A notre connaissance, l'évaluation des effets de la colère sur les performances de conduite à l'aide de chacune de ces deux tâches n'avait jamais été décrite auparavant. Cette étude a montré que la colère pouvait parfois améliorer la distance de détection de piétons, et qu'elle impactait également la réactivité des conducteurs.

Les résultats collectés au cours des expérimentations composant ce travail de thèse apportent principalement de nouvelles connaissances concernant l'influence de la colère sur l'attention, mais aussi sur la performance de conduite.

A. Influence de la colère sur le fonctionnement attentionnel

L'état de colère, en dehors d'un contexte de conduite, a provoqué une amélioration de l'efficacité du réseau d'alerte (Techer et al., 2015). L'origine de cet effet a été attribuée à une interaction entre les structures anatomiques impliquées dans la gestion du niveau d'arousal (Berridge, 2008) et les structures du réseau d'alerte (Fan et al., 2002 ; Posner & Petersen, 1990). En effet, le niveau de noradrénaline, neurotransmetteur principal des structures impliquées dans le réseau d'alerte, est également corrélé au niveau d'arousal. Cette relation pourrait provenir principalement du locus coeruleus, importante structure noradrénergique, à

la fois impliquée dans la modulation de l'arousal et dans le réseau d'alerte. Il est par ailleurs intéressant de constater que la joie peut également provoquer cette amélioration de l'alerte grâce à son fort arousal (Voir annexe 2). La dimension d'arousal du modèle de Russell (1980) semble donc particulièrement importante pour l'efficacité du réseau d'alerte.

Cette augmentation de l'arousal et du taux de noradrénaline favoriserait une sensibilité accrue à l'environnement (Ax, 1953 ; Coccaro et al., 1991). Elle pourrait ainsi également expliquer le résultat observé dans la 3^{ème} étude de cette thèse, à savoir l'amélioration de la distance de détection de piétons. Un tel résultat, apparemment bénéfique pour la performance de conduite, est tout de même à l'opposé de la baisse de réactivité des conducteurs en colère suite à l'apparition de dangers atypiques (Stephens et al., 2013). Cependant, les situations proposées par ces deux études ne sont pas strictement comparables compte tenu du caractère dangereux représenté par les piétons. L'étude menée par Stephens et al. (2013) permettait d'observer la performance de conduite selon la capacité à anticiper et éviter les dangers. Une telle tâche nécessitait alors l'anticipation des situations à risques, la détection des informations, leur catégorisation en tant que danger potentiel, et enfin, l'adoption d'un comportement adapté à la situation. D'un autre côté, la tâche proposée lors de notre troisième expérimentation ne nécessitait qu'une détection rapide de piétons statiques en périphérie de l'environnement de conduite (Ax, 1953 ; Coccaro et al., 1991 ; Stemmler et al., 2007).

Cependant, les données physiologiques récoltées lors de la seconde étude ne montrent pas de correspondance entre l'effet de la colère et les effets de l'arousal reportés dans la littérature. A plusieurs reprises, l'arousal a été associé à une augmentation de l'amplitude des composantes tardives des PEs (e.g. Rozenkrants & Polich, 2008). Comment expliquer que l'arousal accompagnant la colère n'a pas provoqué d'augmentation de l'amplitude de la composante P3 dans notre étude ?

Une réponse à cette question pourrait venir du fait que les émotions négatives, telles que la colère, représentent un contexte favorable à l'apparition du mind-wandering (Smallwood et al., 2009), et ceci, particulièrement dans les contextes monotones (Berthié et al., 2015). Il est donc probable que les participants aient été plus sujets au mind-wandering dans la deuxième étude que dans les autres. En effet, le recueil des PEs nous a contraint à utiliser une tâche et

un scénario de conduite très simples et monotones. En revanche, les deux autres études nécessitaient une mobilisation attentionnelle plus importante. Le mind-wandering provoquerait un découplage perceptif qui serait responsable d'une réduction de l'amplitude des composantes N1 et P3 (Chaparro, 2015 ; Smallwood & Schooler, 2015). Il est donc envisageable que la colère, de par le mind-wandering qu'elle induirait, soit à l'origine d'une réduction des ressources attentionnelles allouées au traitement sensoriel (diminution de l'amplitude de la N1 visuelle) du feu stop lors du suivi de véhicule dans notre deuxième étude. Quant à l'absence d'effet de la colère sur la P3, elle pourrait venir des effets opposés de l'arousal et du mind-wandering qui augmentent ou réduisent respectivement l'amplitude de la P3. De plus, le rappel autobiographique semble également favorable à une focalisation de l'attention vers des pensées relatives aux situations évoquées durant l'induction. Il est donc important de noter que les effets observés dans notre deuxième étude pourraient ne pas être retrouvés dans des contextes de conduite ne favorisant pas le développement de mind-wandering.

De plus, notre seconde étude semble révéler un effet particulièrement intéressant de la nature des pensées distractives sur la dynamique attentionnelle. Selon Smallwood et O'Connor (2011) les humeurs négatives seraient fortement associées à des pensées tournées vers le passé alors que les émotions positives pourraient favoriser les pensées tournées vers le futur. En quoi la nature des pensées internes serait un sujet d'étude important pour les facteurs humains en conduite ? La tendance de certaines émotions à susciter une projection dans le temps pourrait être un facteur crucial permettant de comprendre l'influence des émotions sur la conduite (Smallwood & O'Connor, 2011).

B. Colère et performances de conduite

Les données physiologiques de notre deuxième étude ayant montré une ressemblance entre les effets de la colère et ceux du mind-wandering, il était alors envisageable que le comportement des conducteurs suive la même tendance. C'est notamment ce qui a pu se produire concernant la réactivité (délai) pour la tâche de suivi de véhicule de notre dernière

étude. En effet, les participants qui n'ont pas été induits en colère ont montré une amélioration de l'indice de performance « délai » entre le premier et le second scénario. Cet effet pourrait être lié à un apprentissage ou une familiarisation avec la tâche. Dans ce cas, pourquoi les conducteurs induits en colère n'ont pas bénéficié de ce gain de réactivité ? Une explication possible serait que si les conducteurs en colère sont en proie au mind-wandering comme pour la seconde étude, il est possible que l'allocation de ressources attentionnelles vers les pensées internes ait détérioré l'apprentissage de la tâche. Malheureusement, aucune mesure concernant le mind-wandering n'a été incluse dans cette étude. De futures recherches seront nécessaires afin de comprendre si ces résultats sont bien imputables à l'apparition de mind-wandering.

Lors de la situation simple de suivi de moto, la colère a provoqué une augmentation de la variabilité latérale. Un tel effet serait cohérent avec les impacts précédemment reportés pour la colère (Roidl et al., 2014). Cependant, celui-ci va à l'encontre de l'interprétation qui a été formulée à propos d'une influence négative du mind-wandering induit par la colère. En effet, les données de la littérature montrent en général que le mind-wandering ou l'augmentation de la charge mentale provoquent une trajectoire plus linéaire (Bueno et al., 2012 ; Navarro et al., 2016 ; Smallwood & Schooler, 2015). Or le phénomène de mind-wandering ne serait pas continu. Il apparaîtrait et disparaîtrait de manière abrupte (Chaparro, 2015). Par ailleurs, il est possible qu'une augmentation de l'arousal provoquée par la colère ait pu augmenter la quantité de ressources attentionnelles disponibles (voir page 11). Par conséquent, dès lors qu'ils n'étaient pas focalisés sur leurs pensées internes, les conducteurs de la session colère auraient pu allouer une partie de leur attention au traitement conscient de la position latérale. Ce contrôle conscient de la position, habituellement effectué de manière automatique, a pu perturber la trajectoire des participants (Logan & Crump, 2009). Si la colère accentue les déviations latérales du fait d'une augmentation des ressources attentionnelles, pourquoi cet effet n'a donc pas été retrouvé dans la troisième étude de cette thèse ?

Une explication possible pourrait provenir du niveau de difficulté des tâches de conduite employées dans les 2 études. En effet, la situation de conduite dans la troisième étude qui combinait une situation de suivi complexe à une tâche de détection de piétons était plus

complexe que celle utilisée dans notre seconde étude reposant sur une tâche extrêmement simple, assistée par des aides à la conduite. Dans cette situation plus complexe, les conducteurs auraient investi leurs ressources attentionnelles en priorité vers la tâche de suivi et la détection de piétons, effectuant le contrôle de la trajectoire de manière plus automatique (Logan & Crump, 2009). Des recherches supplémentaires seront nécessaires pour tester cette hypothèse

Cependant, un autre questionnement subsiste. Pourquoi ces deux études ont-elles révélé des effets différents de la colère sur la conduite ? Il est possible que la colère induite par un rappel autobiographique provoque plus de ruminations qu'une colère induite par la tâche de conduite. La différence pourrait donc venir des méthodes d'induction utilisées qui auraient impacté les déviations latérales de manière inégale. De futures recherches pourraient donc s'attacher à étudier les différentes formes d'induction de colère en lien ou non avec l'environnement de conduite.

C. Colère et aides à la conduite

Dans une situation complexe, il serait intéressant de tester l'effet des différentes formes d'aides à la conduite. En effet, une partie des résultats de cette thèse pointe indirectement l'importance de prendre en compte l'état émotionnel du conducteur lors de la conception des véhicules et des différentes formes d'aides à la conduite.

La majorité des systèmes d'assistance à la conduite (habituellement désignés sous l'appellation « Advanced Driving Assistance Systems », ou ADAS) actuellement commercialisés reposent sur les modèles capacitifs de l'attention (Kahneman, 1973 ; Wickens, 2002). Ainsi, ces systèmes considèrent que tant que la situation de conduite requiert une quantité de ressources attentionnelles inférieures à la capacité du conducteur, la tâche sera forcément effectuée d'une manière optimale (Young & Stanton, 2002a). C'est pour cette raison que l'objectif visé par la majorité des ADAS consiste en une réduction de la complexité de la tâche. Les ADAS reposent parfois sur une automatisation de sous-tâches (Parasuraman,

2000 ; Parasuraman & Riley, 1997), et parfois sur une indication donnée au conducteur pour améliorer sa réactivité. Cependant, une simplification excessive de la tâche pourrait également provoquer un état de sous-charge cognitive propice au MW qui serait aussi néfaste que la surcharge cognitive en termes de sécurité routière (Young & Stanton, 2002b). Or, l'efficacité des ADAS reposant sur des alertes données au conducteur pourrait être réduite dès lors que l'individu est perturbé par des pensées distractives (Bueno et al., 2012 ; Fort et al., 2015). En effet, ces alertes nécessitent également la disponibilité des ressources attentionnelles afin d'être traitées, et donc, d'être utiles dans la réduction des risques. C'est pourquoi des études devraient être menées afin d'investiguer les possibles interactions entre les émotions et les ADAS.

Les résultats de notre deuxième étude semblent indiquer que dans un contexte extrêmement simple de suivi de véhicule, un ADAS reposant sur une alerte auditive n'a pas d'impact particulier sur la réactivité des conducteurs dans un état de colère. Cependant, des études ayant pour objectif de comparer les situations avec ou sans alerte permettraient d'aller plus en profondeur afin de mieux argumenter cette interprétation. En revanche, une augmentation de la variabilité de position latérale ainsi qu'une émergence de pensées distractives concernant des événements passés ont été observées. Cette émergence de pensées distractives a pu être corroborée par une réduction de l'amplitude des composantes sensorielles des PEs, traduisant une baisse des ressources attentionnelles investies dans le traitement de la cible. Il semble donc important de continuer à étudier la façon dont les émotions peuvent interagir avec différents types d'ADAS, mais aussi dans des environnements et des situations de conduite dont la complexité varie.

Perspectives et applications possibles

Ce travail de thèse a permis d'apporter de nouvelles connaissances concernant l'impact de la colère sur la performance de conduite par le biais de modifications dans l'attention et le traitement de l'information. Les études menées ont notamment montré que la colère peut avoir un impact bénéfique sur certains facteurs tels que l'efficacité du réseau d'alerte ou la distance de détection de piétons. Cependant, elle favorise également l'apparition de pensées distrayantes concernant des événements passés, provoque une augmentation des déviations latérales dans certaines situations, et semble perturber la réactivité lors d'une tâche de suivi complexe couplée à une tâche de détection.

Les modifications dans la performance de conduite ne reflètent pas forcément une augmentation de la prise de risques ou une conduite agressive. Par exemple, une vitesse de circulation plus élevée pourrait simplement venir d'une mauvaise conscience de la situation (Jeon et al., 2015). Que faut-il tirer des résultats observés dans cette thèse ? Il faut noter que la colère apparaît comme un facteur particulièrement complexe du fait de ses différents effets sur la cognition et la conduite. D'un côté elle peut provoquer des bénéfices attentionnels liés à un niveau d'arousal élevé, mais elle peut également provoquer des réactions comparables au mind-wandering. Même au cours d'une seule situation de conduite, nous avons pu constater que la colère provoque des modifications du comportement apparemment contraires à la réaction physiologique mesurée par les PEs. L'étude du lien entre colère et attention en conduite est donc loin d'être aboutie de par le grand nombre de facteurs entrant en jeu durant une conduite dans un état de colère.

D'une manière plus générale, les émotions négatives semblent impacter l'attention, notamment parce qu'elles favorisent l'apparition de mind-wandering (Smallwood et al., 2009). C'est probablement une des raisons pour lesquelles le fait de traverser des événements de vie difficiles peut augmenter fortement le risque d'accident (Lagarde et al., 2004). Cependant, au-delà de constater les effets des émotions négatives sur l'attention, et par conséquent sur la sécurité routière, il est intéressant de se questionner sur les possibilités de réduire de tels

risques. Il serait notamment intéressant que le conducteur puisse être aidé par un système d'assistance à la conduite (ADAS) afin de compenser les perturbations attentionnelles qu'il traverse.

A. Réduction des effets négatifs des émotions sur la performance de conduite

Une application de ce type de travaux serait de contribuer à améliorer la conception d'ADAS afin de contrecarrer les effets négatifs des émotions sur l'activité de conduite. Ce type d'amélioration pourrait suivre deux tendances principales : 1) Une aide à la régulation émotionnelle ; 2) Une amélioration de la conscience de la situation.

1. Régulation émotionnelle

D'un côté, il est donc question d'identifier les états émotionnels représentant un danger pour la sécurité routière et proposer aux conducteurs de l'aide pour recouvrer une humeur plus « neutre », correspondant au centre du circumplex de Russell (1980). Selon le « process-model » de la régulation émotionnelle (Witte, 1992), il est possible de combattre l'apparition ou la persistance d'un état émotionnel en modifiant l'interaction entre l'individu et son environnement. Cette vision, directement inspirée du modèle de l'évaluation (Voir page 28) considère qu'une situation peut provoquer différents états émotionnels selon les motivations de l'individu. En considérant qu'il est impossible de modifier directement la situation de conduite, l'objectif de ce type d'ADAS serait de modifier la manière dont l'individu appréhende son environnement. Par exemple, lors d'une situation génératrice de colère telle qu'un véhicule lui faisant une queue de poisson, il serait possible que le système donne des messages au conducteur pour le pousser à réévaluer la situation. Notamment, des messages visant à dédramatiser la situation. Le but étant de convaincre le conducteur que cette situation était involontaire et moins dangereuse que ce qu'il a perçu (Harris & Nass, 2011). Les systèmes reposant sur une aide à la régulation émotionnelle se sont déjà avérés efficaces pour améliorer la performance de conduite, réduire l'apparition d'émotions négatives, et

parfois réduire la charge mentale (Harris & Nass, 2011 ; Jeon et al., 2015). Cependant, ce type d'intervention comporte un challenge technique car le système doit être capable d'identifier en temps réel les événements qui auraient pu effrayer ou irriter le conducteur et d'identifier en temps réel l'état émotionnel effectif du conducteur.

D'autres méthodes d'aide à la régulation émotionnelle consistent à augmenter le confort du conducteur. Par exemple, le véhicule pourrait créer une atmosphère agréable à travers un éclairage coloré ou la lecture d'une musique appréciée du conducteur. Cependant, la plus grande critique qui peut être faite à ces systèmes est qu'ils ne sont valables que pour combattre les effets des émotions négatives. En effet, quelques rares études montrent que certaines émotions positives comme la joie peuvent également affecter l'attention (Techer, Michael, Vurpas, Pierson, et al., 2015), et donc, la performance de conduite. Toutefois, il est peu probable que les constructeurs automobiles prennent la décision d'intégrer des systèmes d'aides capables de réduire l'humeur positive de leurs utilisateurs. Une telle méthode, bien qu'intéressante, semble tout de même insuffisante pour améliorer l'interaction entre les différentes émotions et la performance de conduite. Une autre approche prometteuse ayant le mérite d'être applicable pour toutes les émotions consiste à délivrer au conducteur les informations critiques afin qu'il ait pleinement conscience de son environnement.

2. Amélioration de la conscience de la situation

En considérant que plusieurs erreurs de conduite telles qu'une vitesse excessive puissent être expliquées par une mauvaise conscience de la situation (Jeon et al., 2014, 2015), un des objectifs des ADAS pourrait être d'aider le conducteur à prendre en compte toutes les informations critiques. Cependant, comme nous l'avons évoqué plusieurs fois, ce type d'intervention ne sera efficace que si le conducteur a suffisamment de ressources pour tenir compte de cette information additionnelle. De plus, des paramètres telles que le délai de délivrance de l'alerte pourrait aussi impacter l'efficacité de l'ADAS (Navarro et al., 2016). Selon le type de perturbations provoquées par chaque état émotionnel, ces paramètres sont susceptibles de varier afin de correspondre aux besoins du conducteur. Enfin, selon les forces

et les faiblesses suscitées par chaque état émotionnel, certaines informations données par le système pourraient être superflues et provoquer une surcharge cognitive.

Les deux types principaux d'interventions énoncés précédemment peuvent également être utilisés de manière complémentaire afin d'obtenir une efficacité optimale de l'ADAS. Cependant le point commun à ces différents types de systèmes est qu'ils ne constitueront une aide à la conduite optimale que lorsqu'ils seront capables de répondre aux besoins des différents états émotionnels du conducteur. En partant du principe que l'état émotionnel peut varier au cours de la tâche de conduite, l'ADAS idéal devrait être capable de déterminer l'état émotionnel du conducteur en temps réel.

B. Challenges scientifiques et techniques

En se référant aux exemples cités dans la littérature (Lazarus, 1991, 2001) et sur ce travail de thèse, il est possible de se rendre compte que chaque état émotionnel peut impacter la conduite et l'attention de façon spécifique. Par exemple, la colère provoque des effets négatifs tels qu'une perception biaisée des risques (Lerner & Tiedens, 2006) ainsi qu'une augmentation de la vitesse de circulation. Elle peut également avoir des effets positifs sur l'attention (Techer, Jallais, Fort, & Corson, 2015). Par conséquent, un ADAS idéal pourrait s'appuyer sur les effets positifs d'une émotion afin d'en combattre les aspects négatifs pour la conduite.

De plus, le système idéal devrait également adapter les conditions de transmission des messages. Par exemple, dans le cas d'une interface vocale, les conducteurs joyeux semblent tirer plus de bénéfice de messages enregistrés avec une voix énergique. Au contraire, les conducteurs en colère seraient plus enclins à coopérer avec un système utilisant des messages vocaux plus calmes et discrets (Nass et al., 2005). La voie qui semble la plus prometteuse dans le domaine est de réussir à adapter les caractéristiques de l'ADAS afin de créer chez le conducteur la volonté de coopérer avec le système (Jeon et al., 2015). Toutefois,

une adaptation du système aux différents états émotionnels ne pourrait pas exister tant que l'ADAS ne sera pas capable d'inférer l'état du conducteur en temps réel.

Selon Lazarus (1991) chaque état émotionnel contient une motivation à effectuer certains types d'actions ainsi qu'un pattern d'activation physiologique spécifique. En se basant sur une telle conception des émotions, le recueil simultané d'un ensemble de variables physiologiques et comportementales serait une méthode appropriée pour en déduire l'état du conducteur. Une fusion de variables telles que le rythme cardiaque, la respiration, la conductance de la peau ou la température corporelle semble être la piste la plus prometteuse dans l'identification objective de l'état émotionnel du conducteur (Deffenbacher et al., 2003 ; Mesken et al., 2007 ; Stemmler et al., 2007).

Il existe deux approches principales dans l'identification de l'état émotionnel par le biais de variables objectives. Certaines méthodes visent à positionner l'état du conducteur sur des axes continus tels que le niveau de valence ou d'arousal. Selon Wei, Chen, Liu, et Yang (2016), à partir d'une analyse de marqueurs physiologiques tels que la conductance de la peau, il serait possible d'en inférer l'activation des systèmes appétitifs ou défensifs. L'activation de ces systèmes serait un reflet de la valence émotionnelle alors que l'arousal serait traduit simplement par l'intensité de leur activation. Une approche complémentaire consiste à catégoriser l'état dans lequel se trouve l'individu afin de comprendre l'émotion discrète qu'il ressent. C'est notamment tout l'intérêt de mesures reposant sur une analyse de l'expression faciale (Ekman et al., 1983). Ainsi, la fusion de ces différents types de mesures pourrait permettre une catégorisation relativement fiable des émotions ressenties par le conducteur. Certains auteurs tels que Kreibig (2010) ont d'ores et déjà effectué un recensement des différentes modifications physiologiques en lien avec différentes émotions discrètes. Par exemple, la colère serait associée entre autres à une augmentation du rythme cardiaque, une diminution de la variabilité du rythme cardiaque, et une augmentation de la fréquence respiratoire. De plus, cette thèse a également permis de montrer pour la première fois un impact de la colère sur l'activité électrique cérébrale en conduite simulée. Comment mesurer ce type de données en conduite ? Plusieurs systèmes reposant sur des capteurs intégrés dans les volants ou dans les sièges des véhicules sont utilisables. De plus, une forte

émergence des capteurs intégrés dans des vêtements ou accessoires tels que des montres pourraient également convenir pour le recueil de telles données. En ce qui concerne l'activité cérébrale, des dispositifs tels que les casques Emotiv (emotiv.com) permettraient un recueil facilité des données, bien que leur viabilité pourrait encore être améliorée. En plus de simplement être utilisés pour l'étude de l'influence des émotions sur la conduite, le développement d'une identification des émotions possède aussi un fort intérêt commercial. En effet, l'identification des émotions ressenties au volant permettrait de se rendre compte de façon objective si les interactions avec les systèmes ou si certains événements de conduite sont associés à des émotions positives ou négatives.

L'identification de l'état interne du conducteur, tant en termes d'inattention ou de distraction qu'en tant qu'état émotionnel apparaît donc comme une première étape indispensable pour l'amélioration de l'acceptabilité et de l'efficacité des ADAS.

C. Enjeux à long terme

Avec le développement des véhicules autonomes, le rôle du conducteur subira une révolution afin de passer d'un opérateur actif à un superviseur. Cela résoudrait-il les problèmes de sécurité routière associés aux facteurs humains ? La réponse est probablement non. Tout d'abord, parce que seuls les véhicules autonomes du plus haut niveau d'automatisation seront capables de se passer de la supervision humaine sur la totalité du trajet. Pour tous les autres niveaux d'automatisation, une surveillance du conducteur sera requise pour gérer les éventuelles défaillances. Dans l'éventualité d'une reprise en main, les conducteurs doivent avoir une pleine conscience de la situation ainsi qu'une quantité suffisante de ressources attentionnelles disponibles pour gérer la situation. Or, il en va de même pour ces situations que pour l'utilisation d'ADAS. Là encore, les conducteurs pourraient se trouver dans une situation de sous-charge cognitive ou en proie au mind-wandering. L'apparition d'émotions pourrait alors décupler le risque d'être indisponible pour la supervision du système. De plus, l'individu n'étant pas aux commandes de son véhicule, il ne pourra pas toujours éviter les situations frustrantes lorsque sa progression est entravée par un autre usager de la route.

Bibliographie

- Abdu, R., Shinar, D., & Meiran, N. (2012). Situational (state) anger and driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 15(5), 575-580.
- Aguera, P.-E., Jerbi, K., Caclin, A., & Bertrand, O. (2011). ELAN: A Software Package for Analysis and Visualization of MEG, EEG, and LFP Signals. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2011, 1-11. <http://doi.org/10.1155/2011/158970>
- American Psychiatric Association, & American Psychiatric Association (Éd.). (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5* (5th ed). Washington, D.C: American Psychiatric Association.
- Angie, A. D., Connelly, S., Waples, E. P., & Kligyte, V. (2011). The influence of discrete emotions on judgement and decision-making: A meta-analytic review. *Cognition & Emotion*, 25(8), 1393-1422. <http://doi.org/10.1080/02699931.2010.550751>
- Ax, A. F. (1953). The Physiological Differentiation between Fear and Anger in Humans. *Psychosomatic Medicine*, 15(5), 433-442.
- Bard, P. (1934). Emotion: I. The Neuro-humoral Basis of Emotional Reactions. In *A handbook of general experimental psychology* (p. 264-311). Worcester, MA, US: Clark University Press.
- Berridge, C. W. (2008). Noradrenergic modulation of arousal. *Brain Research Reviews*, 58(1), 1-17. <http://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2007.10.013>
- Berthié, G., Lemerrier, C., Paubel, P.-V., Cour, M., Fort, A., Galéra, C., ... Maury, B. (2015). The restless mind while driving: drivers' thoughts behind the wheel. *Accident; Analysis and Prevention*, 76, 159-165. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2015.01.005>
- Bodenhausen, G. V., Sheppard, L. A., & Kramer, G. P. (1994). Negative affect and social judgment: The differential impact of anger and sadness. *European*

- Journal of Social Psychology*, 24(1), 45-62.
<http://doi.org/10.1002/ejsp.2420240104>
- Brewer, D., Doughtie, E. B., & Lubin, B. (1980). Induction of mood and mood shift. *Journal of Clinical Psychology*, 36(1), 215-226
- Broadbent, D. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press.
- Brookhuis, K., Waard, D. D., & Mulder, B. (1994). Measuring driving performance by car-following in traffic. *Ergonomics*, 37(3), 427-434.
<http://doi.org/10.1080/00140139408963661>
- Bueno, M., Fabrigoule, C., Deleurence, P., Ndiaye, D., & Fort, A. (2012). An electrophysiological study of the impact of a Forward Collision Warning System in a simulator driving task. *Brain Research*, 1470, 69-79.
<http://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.06.027>
- Callejas, A., Lupiàñez, J., Funes, M. J., & Tudela, P. (2005). Modulations among the alerting, orienting and executive control networks. *Experimental Brain Research*, 167(1), 27-37. <http://doi.org/10.1007/s00221-005-2365-z>
- Cannon, W. B. (1987). The James-Lange theory of emotions: a critical examination and an alternative theory. By Walter B. Cannon, 1927. *The American Journal of Psychology*, 100(3-4), 567-586.
- Carver, C. S., & Harmon-Jones, E. (2009). Anger is an approach-related affect: Evidence and implications. *Psychological Bulletin*, 135(2), 183-204.
<http://doi.org/10.1037/a0013965>
- Chan, M., & Singhal, A. (2013). The emotional side of cognitive distraction: Implications for road safety. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 147-154.
<http://doi.org/10.1016/j.aap.2012.04.004>
- Chaparro, R. A. H. (2015). *Behavioral and neural correlates of spontaneous attentional decoupling: towards an understanding of mind wandering* (phd thesis). Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.
- Chaplin, W. F., John, O. P., & Goldberg, L. R. (1988). Conceptions of states and traits: dimensional attributes with ideals as prototypes. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(4), 541-557.
- Cherry, E. C. (1953). Some Experiments on the Recognition of Speech, with One and with Two Ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 25(5), 975.
<http://doi.org/10.1121/1.1907229>

- Clark, D. M. (1983). On the induction of depressed mood in the laboratory: Evaluation and comparison of the velten and musical procedures. *Advances in Behaviour Research and Therapy*, 5(1), 27-49. [http://doi.org/10.1016/0146-6402\(83\)90014-0](http://doi.org/10.1016/0146-6402(83)90014-0)
- Coccaro, E. F., Lawrence, T., Trestman, R., Gabriel, S., Klar, H. M., & Siever, L. J. (1991). Growth hormone responses to intravenous clonidine challenge correlate with behavioral irritability in psychiatric patients and healthy volunteers. *Psychiatry Research*, 39(2), 129-139. [http://doi.org/10.1016/0165-1781\(91\)90082-Z](http://doi.org/10.1016/0165-1781(91)90082-Z)
- Codispoti, M., Ferrari, V., & Bradley, M. M. (2007). Repetition and Event-related Potentials: Distinguishing Early and Late Processes in Affective Picture Perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(4), 577-586. <http://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.4.577>
- Cohen, N., Henik, A., & Mor, N. (2011). Can Emotion Modulate Attention? Evidence for Reciprocal Links in the Attentional Network Test. *Experimental Psychology (formerly Zeitschrift für Experimentelle Psychologie)*, 58(3), 171-179. <http://doi.org/10.1027/1618-3169/a000083>
- Cooper, J. M., Medeiros-Ward, N., & Strayer, D. L. (2013). The Impact of Eye Movements and Cognitive Workload on Lateral Position Variability in Driving. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 55(5), 1001-1014. <http://doi.org/10.1177/0018720813480177>
- Corson, Y. (2002). Variations émotionnelles et mémoire : principaux modèles explicatifs. *L'année psychologique*, 102(1), 109-149. <http://doi.org/10.3406/psy.2002.29585>
- Corson, Y., & Verrier, N. (2007). Emotions and False Memories Valence or Arousal? *Psychological Science*, 18(3), 208-211. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01874.x>
- Deffenbacher, J. L., Deffenbacher, D. M., Lynch, R. S., & Richards, T. L. (2003). Anger, aggression and risky behavior: A comparison of high and low anger drivers. *Behaviour Research and Therapy*, 41(6), 701-718.
- Deffenbacher, J. L., Filetti, L. B., Lynch, R. S., Dahlen, E. R., & Oetting, E. R. (2002). Cognitive-behavioral treatment of high anger drivers. *Behaviour Research and Therapy*, 40(8), 895-910. [http://doi.org/10.1016/S0005-7967\(01\)00067-5](http://doi.org/10.1016/S0005-7967(01)00067-5)

- Deffenbacher, J. L., Lynch, R. S., Oetting, E. R., & Swaim, R. C. (2002). The Driving Anger Expression Inventory: A measure of how people express their anger on the road. *Behaviour Research and Therapy*, *40*(6), 717-737.
- Deffenbacher, J. L., Oetting, E. R., & Lynch, R. S. (1994). Development of a driving anger scale. *Psychological Reports*, *74*(1), 83-91.
- Deffenbacher, J. L., Oetting, E. R., Thwaites, G. A., Lynch, R. S., Baker, D. A., Stark, R. S., ... Eiswerth-Cox, L. (1996). State-Trait Anger Theory and the utility of the Trait Anger Scale. *Journal of Counseling Psychology*, *43*(2), 131-148. <http://doi.org/10.1037/0022-0167.43.2.131>
- Ebe, K., Itoh, K., Kwee, I. L., & Nakada, T. (2015). Covert effects of « one drink » of alcohol on brain processes related to car driving: An event-related potential study. *Neuroscience Letters*, *593*, 78-82. <http://doi.org/10.1016/j.neulet.2015.03.020>
- Ekman, P., Levenson, R. W., & Friesen, W. V. (1983). Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. *Science (New York, N.Y.)*, *221*(4616), 1208-1210.
- Endsley, M. R., & Kiris, E. O. (1995). The Out-of-the-Loop Performance Problem and Level of Control in Automation. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *37*(2), 381-394. <http://doi.org/10.1518/001872095779064555>
- 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. <http://doi.org/10.3758/BF03203267>
- Eyben, F., Wöllmer, M., Poitschke, T., Schuller, B., Blaschke, C., Färber, B., & Nguyen-Thien, N. (2010). Emotion on the Road—Necessity, Acceptance, and Feasibility of Affective Computing in the Car. *Advances in Human-Computer Interaction*, *2010*, 1-17. <http://doi.org/10.1155/2010/263593>
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the Efficiency and Independence of Attentional Networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(3), 340-347. <http://doi.org/10.1162/089892902317361886>
- Fessler, D. M. T. (2010). Madmen: An Evolutionary Perspective on Anger and Men's Violent Responses to Transgression. In M. Potegal, G. Stemmler, & C.

- Spielberger (Éd.), *International Handbook of Anger* (p. 361-381). Springer New York.
- Finucane, A. M. (2011). The effect of fear and anger on selective attention. *Emotion*, 11(4), 970-974. <http://doi.org/10.1037/a0022574>
- Forgas, J. P. (1995). Mood and judgment: the affect infusion model (AIM). *Psychological Bulletin*, 117(1), 39-66.
- Fort, A., Besle, J., Giard, M.-H., & Pernier, J. (2005). Task-dependent activation latency in human visual extrastriate cortex. *Neuroscience Letters*, 379(2), 144-148. <http://doi.org/10.1016/j.neulet.2004.12.076>
- Fort, A., Bueno M., Fabrigoule, C., Navarro, J., Ndiaye, D., Jallais, C. (2015) Efficacité des alertes signalant un risque de collision chez le conducteur distrait. *Recherche Transports Sécurité*, 33: 87-93.
- 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.
- Galera, C., Orriols, L., M'Bailara, K., Laborey, M., Contrand, B., Ribereau-Gayon, R., ... Lagarde, E. (2012). Mind wandering and driving: responsibility case-control study. *BMJ*, 345(dec13 8), e8105-e8105. <http://doi.org/10.1136/bmj.e8105>
- Gilet, A.-L. (2008). Procédures d'induction d'humeurs en laboratoire : une revue critique. *L'Encéphale*, 34(3), 233-239. <http://doi.org/10.1016/j.encep.2006.08.003>
- Gilet, A.-L., & Jallais, C. (2012). Mood's influence on word associations: Disentanglement of the effects of valence and arousal. In *Attention, Representation, and Human Performance: Integration of Cognition, Emotion, and Motivation* (p. 77-92). Psychology Press.
- Gotlib, I. H., Krasnoperova, E., Yue, D. N., & Joormann, J. (2004). Attentional Biases for Negative Interpersonal Stimuli in Clinical Depression. *Journal of Abnormal Psychology*, 113(1), 127-135. <http://doi.org/10.1037/0021-843X.113.1.121>
- Harmon-Jones, E., Gable, P. A., & Price, T. F. (2013). Does Negative Affect Always Narrow and Positive Affect Always Broaden the Mind? Considering the Influence of Motivational Intensity on Cognitive Scope. *Current Directions in*

- Psychological Science*, 22(4), 301-307.
<http://doi.org/10.1177/0963721413481353>
- Harris, H., & Nass, C. (2011). Emotion regulation for frustrating driving contexts (p. 749). ACM Press. <http://doi.org/10.1145/1978942.1979050>
- He, J., Becic, E., Lee, Y.-C., & McCarley, J. S. (2011). Mind Wandering Behind the Wheel Performance and Oculomotor Correlates. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 53(1), 13-21.
<http://doi.org/10.1177/0018720810391530>
- Herbert, C., Kissler, J., Junghöfer, M., Peyk, P., & Rockstroh, B. (2006). Processing of emotional adjectives: Evidence from startle EMG and ERPs. *Psychophysiology*, 43(2), 197-206. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00385.x>
- Hoel, J., Jaffard, M., Boujon, C., & Van Elslande, P. (2011). Different forms of attentional disturbances involved in driving accidents. *IET Intelligent Transport Systems*, 5(2), 120. <http://doi.org/10.1049/iet-its.2010.0109>
- Holland, A. C., & Kensinger, E. A. (2010). Emotion and autobiographical memory. *Physics of Life Reviews*, 7(1), 88-131.
<http://doi.org/10.1016/j.plrev.2010.01.006>
- Hruby, T., & Marsalek, P. (2003). Event-related potentials - the P3 wave. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 63(1), 55-63.
- Huertas, F., Zahonero, J., Sanabria, D., & Lupiáñez, J. (2011). Functioning of the attentional networks at rest vs. during acute bouts of aerobic exercise. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 33(5), 649-665.
- Isen, A. M. (1987). Positive affect, cognitive processes, and social behavior. In L. Berkowitz (Éd.), *Advances in experimental social psychology*, Vol. 20. (p. 203-253). San Diego, CA US: Academic Press.
- Ishigami, Y., & Klein, R. M. (2010). Repeated measurement of the components of attention using two versions of the Attention Network Test (ANT): Stability, isolability, robustness, and reliability. *Journal of Neuroscience Methods*, 190(1), 117-128. <http://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2010.04.019>
- Jallais, C., Gabaude, C., & Paire-Ficout, L. (2014). When emotions disturb the localization of road elements: Effects of anger and sadness. *Transportation*

- Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 23, 125-132.
<http://doi.org/10.1016/j.trf.2013.12.023>
- Jallais, C., & Gilet, A.-L. (2010). Inducing changes in arousal and valence: Comparison of two mood induction procedures. *Behavior Research Methods*, 42(1), 318-325. <http://doi.org/10.3758/BRM.42.1.318>
- James, W. (1884). II.—What is an emotion? *Mind*, os-IX(34), 188-205.
<http://doi.org/10.1093/mind/os-IX.34.188>
- Jeon, M., Walker, B. N., & Gable, T. M. (2015). The effects of social interactions with in-vehicle agents on a driver's anger level, driving performance, situation awareness, and perceived workload. *Applied Ergonomics*, 50, 185-199.
<http://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.03.015>
- Jeon, M., Walker, B. N., & Yim, J.-B. (2014). Effects of specific emotions on subjective judgment, driving performance, and perceived workload. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 24, 197-209. <http://doi.org/10.1016/j.trf.2014.04.003>
- Jiang, J., Sclaro, A. J., Bailey, K., & Chen, A. (2011). The effect of music-induced mood on attentional networks. *International Journal of Psychology*, 46(3), 214-222. <http://doi.org/10.1080/00207594.2010.541255>
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Londres: Prentice Hall.
- Kam, J. W. Y., Dao, E., Stanciulescu, M., Tildesley, H., & Handy, T. C. (2013). Mind Wandering and the Adaptive Control of Attentional Resources. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(6), 952-960. http://doi.org/10.1162/jocn_a_00375
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38(3), 557-577.
<http://doi.org/10.1017/S0048577201990559>
- Krauth-Gruber, S., & Ric, F. (2000). Affect and Stereotypic Thinking: A Test of the Mood-and-General-Knowledge Model. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 26(12), 1587-1597. <http://doi.org/10.1177/01461672002612012>
- Kreibig, S. D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: A review. *Biological Psychology*, 84(3), 394-421.
<http://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.03.010>

- Lagarde, E., Chastang, J.-F., Gueguen, A., Coeuret-Pellicer, M., Chiron, M., & Lafont, S. (2004). Emotional stress and traffic accidents: the impact of separation and divorce. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, *15*(6), 762-766.
- Lange, C. G., & Haupt, I. A. (1922). The emotions. In C. G. Lange & W. James (Éd.), *The emotions, Vol. 1* (p. 33-90). Baltimore, MD, US: Williams & Wilkins Co.
- Lazarus, R. S. (1991). Progress on a cognitive-motivational-relational theory of emotion. *American Psychologist*, *46*(8), 819-834. <http://doi.org/10.1037/0003-066X.46.8.819>
- Lazarus, R. S. (2001). Relational meaning and discrete emotions. In K. R. Scherer, A. Schorr, & T. Johnstone (Éd.), *Appraisal processes in emotion: Theory, methods, research*. (p. 37-67). New York, NY US: Oxford University Press.
- Lemercier, C., Pêcher, C., Berthié, G., Valéry, B., Vidal, V., Paubel, P.-V., ... Maury, B. (2014). Inattention behind the wheel: How factual internal thoughts impact attentional control while driving. *Safety Science*, *62*, 279-285. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.08.011>
- Lerner, J. S., & Tiedens, L. Z. (2006). Portrait of the angry decision maker: how appraisal tendencies shape anger's influence on cognition. *Journal of Behavioral Decision Making*, *19*(2), 115-137. <http://doi.org/10.1002/bdm.515>
- Lerner, & Keltner, D. (2001). Fear, anger, and risk. *Journal of Personality and Social Psychology*, *81*, 146-159.
- Logan, G. D., & Crump, M. J. C. (2009). The Left Hand Doesn't Know What the Right Hand Is Doing The Disruptive Effects of Attention to the Hands in Skilled Typewriting. *Psychological Science*, *20*(10), 1296-1300. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02442.x>
- Luck, S. J. (2014). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique* (MIT Press). Cambridge, MA, US.
- Luck, S. J., Woodman, G. F., & Vogel, E. K. (2000). Event-related potential studies of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(11), 432-440. [http://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01545-X](http://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01545-X)

- Macleod, J. W., Lawrence, M. A., McConnell, M. M., Eskes, G. A., Klein, R. M., & Shore, D. I. (2010). Appraising the ANT: Psychometric and theoretical considerations of the Attention Network Test. *Neuropsychology*, *24*(5), 637-651. <http://doi.org/10.1037/a0019803>
- Martin, M. (1990). On the induction of mood. *Clinical Psychology Review*, *10*(6), 669-697. [http://doi.org/10.1016/0272-7358\(90\)90075-L](http://doi.org/10.1016/0272-7358(90)90075-L)
- Mayer, J. D., Allen, J. P., & Beauregard, K. (1995). Mood inductions for four specific moods: A procedure employing guided imagery vignettes with music. *Journal of Mental Imagery*, *19*(1-2), 151-159.
- Mayer, J. D., & Gaschke, Y. N. (1988). The experience and meta-experience of mood. *Journal of Personality and Social Psychology*, *55*(1), 102-111. <http://doi.org/10.1037/0022-3514.55.1.102>
- McConnell, M. M., & Shore, D. I. (2011). Upbeat and happy: Arousal as an important factor in studying attention. *Cognition & Emotion*, *25*(7), 1184-1195. <http://doi.org/10.1080/02699931.2010.524396>
- Mesken, J., Hagenzieker, M. P., Rothengatter, T., & de Waard, D. (2007). Frequency, determinants, and consequences of different drivers' emotions: An on-the-road study using self-reports, (observed) behaviour, and physiology. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *10*(6), 458-475.
- Michon, J. A. (1985). A Critical View of Driver Behavior Models: What Do We Know, What Should We Do? In L. Evans & R. C. Schwing (Éd.), *Human Behavior and Traffic Safety* (p. 485-524). Boston, MA: Springer US.
- Nass, C., Jonsson, I.-M., Harris, H., Reaves, B., Endo, J., Brave, S., & Takayama, L. (2005). Improving automotive safety by pairing driver emotion and car voice emotion (p. 1973). ACM Press. <http://doi.org/10.1145/1056808.1057070>
- Navarro, J., Yousfi, E., Deniel, J., Jallais, C., Bueno, M., & Fort, A. (2016). The impact of false warnings on partial and full lane departure warnings effectiveness and acceptance in car driving. *Ergonomics*, *0*, 1-30. <http://doi.org/10.1080/00140139.2016.1158323>
- Neuhaus, A. H., Urbanek, C., Opgen-Rhein, C., Hahn, E., Ta, T. M. T., Koehler, S., ... Dettling, M. (2010). Event-related potentials associated with Attention Network Test. *International Journal of Psychophysiology*, *76*(2), 72-79. <http://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.02.005>

- Pacheco-Unguetti, A. P., Acosta, A., Callejas, A., & Lupiáñez, J. (2010). Attention and Anxiety Different Attentional Functioning Under State and Trait Anxiety. *Psychological Science*, 21(2), 298-304. <http://doi.org/10.1177/0956797609359624>
- Parasuraman, R. (2000). *The Attentive Brain*. MIT Press.
- Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 39(2), 230-253. <http://doi.org/10.1518/001872097778543886>
- Pêcher, C., Lemerrier, C., & Cellier, J.-M. (2009). Emotions drive attention: Effects on driver's behaviour. *Safety Science*, 47(9), 1254-1259. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.03.011>
- Pêcher, C., Lemerrier, C., & Cellier, J.-M. (2011). The influence of emotion on driving behavior. In *Traffic psychology: An international perspective* (Nova Science Publishers, p. 145-158). NY: D. Hennessy.
- Pêcher, C., Quaireau, C., Lemerrier, C., & Cellier, J.-M. (2011). The effects of inattention on selective attention: How sadness and ruminations alter attention functions evaluated with the Attention Network Test. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 61(1), 43-50. <http://doi.org/10.1016/j.erap.2010.10.003>
- Pignatiello, M. F., Camp, C. J., & Rasar, L. A. (1986). Musical mood induction: an alternative to the Velten technique. *Journal of Abnormal Psychology*, 95(3), 295-297.
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 118(10), 2128-2148. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3-25.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42. <http://doi.org/10.1146/annurev.ne.13.030190.000325>

- Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annual Review of Psychology*, *58*, 1-23. <http://doi.org/10.1146/annurev.psych.58.110405.085516>
- Ranney, T. A., Harbluk, J. L., & Noy, Y. I. (2005). Effects of Voice Technology on Test Track Driving Performance: Implications for Driver Distraction. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *47*(2), 439-454. <http://doi.org/10.1518/0018720054679515>
- Regan, M. A., Hallett, C., & Gordon, C. P. (2011). Driver distraction and driver inattention: Definition, relationship and taxonomy. *Accident Analysis & Prevention*, *43*(5), 1771-1781. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2011.04.008>
- Roca, J., Fuentes, L. J., Marotta, A., Lopez-Ramon, M. F., Castro, C., Lupianez, J., & Martella, D. (2012). The effects of sleep deprivation on the attentional functions and vigilance. *Acta Psychologica*, *140*(2), 164-176.
- Roidl, E., Frehse, B., & Hoeger, R. (2014). Emotional states of drivers and the impact on speed, acceleration and traffic violations-A simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, *70*, 282-292. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2014.04.010>
- Rozenkrants, B., & Polich, J. (2008). Affective ERP processing in a visual oddball task: Arousal, valence, and gender. *Clinical Neurophysiology*, *119*(10), 2260-2265. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.07.213>
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, *39*(6), 1161. <http://doi.org/10.1037/h0077714>
- Russell, J. A., Weiss, A., & Mendelsohn, G. A. (1989). Affect Grid: A single-item scale of pleasure and arousal. *Journal of Personality and Social Psychology*, *57*(3), 493-502. <http://doi.org/10.1037/0022-3514.57.3.493>
- Samyn, V., Roeyers, H., Bijttebier, P., & Wiersema, J. R. (2013). Attentional Networks in Boys With ADHD or Autism Spectrum Disorder and the Relationship With Effortful Control. *Journal of Attention Disorders*. <http://doi.org/10.1177/1087054712473183>
- Sears, C. R., Thomas, C. L., LeHuquet, J. M., & Johnson, J. C. S. (2010). Attentional biases in dysphoria: An eye-tracking study of the allocation and disengagement of attention. *Cognition & Emotion*, *24*(8), 1349-1368. <http://doi.org/10.1080/02699930903399319>

- Smallwood, J., Fitzgerald, A., Miles, L. K., & Phillips, L. H. (2009). Shifting moods, wandering minds: Negative moods lead the mind to wander. *Emotion*, 9(2), 271-276. <http://doi.org/10.1037/a0014855>
- Smallwood, J., & O'Connor, R. C. (2011). Imprisoned by the past: Unhappy moods lead to a retrospective bias to mind wandering. *Cognition and Emotion*, 25(8), 1481-1490. <http://doi.org/10.1080/02699931.2010.545263>
- Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2015). The science of mind wandering: empirically navigating the stream of consciousness. *Annual Review of Psychology*, 66, 487-518. <http://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015331>
- Spielberger, C. D. (2010). State-Trait Anxiety Inventory. In I. B. Weiner & W. E. Craighead (Éd.), *The Corsini Encyclopedia of Psychology*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc
- Squires, N. K., Squires, K. C., & Hillyard, S. A. (1975). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 38(4), 387-401. [http://doi.org/10.1016/0013-4694\(75\)90263-1](http://doi.org/10.1016/0013-4694(75)90263-1)
- Stemmler, G., Aue, T., & Wacker, J. (2007). Anger and fear: Separable effects of emotion and motivational direction on somatovisceral responses. *International Journal of Psychophysiology*, 66(2), 141-153. <http://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2007.03.019>
- Stephens, A., & Groeger, J. A. (2009). Situational specificity of trait influences on drivers' evaluations and driving behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(1), 29-39.
- Stephens, A., & Groeger, J. A. (2011). Anger-congruent behaviour transfers across driving situations. *Cognition & Emotion*, 25(8), 1423-1438. <http://doi.org/10.1080/02699931.2010.551184>
- Stephens, A., & Groeger, J. A. (2012). Driven by Anger: The Causes and Consequences of Anger during Virtual Journeys. In *Advances in Traffic Psychology* (p. 3-15). Ashgate.
- Stephens, A. N., Trawley, S. L., Madigan, R., & Groeger, J. A. (2013). Drivers Display Anger-Congruent Attention to Potential Traffic Hazards. *Applied Cognitive Psychology*, 27(2), 178-189. <http://doi.org/10.1002/acp.2894>

- Sullman, M. J. M. (2015). The expression of anger on the road. *Safety Science*, 72, 153 -159. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.013>
- Sullman, M. J. M., Stephens, A. N., & Yong, M. (2015). Anger, aggression and road rage behaviour in Malaysian drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 29, 70-82. <http://doi.org/10.1016/j.trf.2015.01.006>
- Sutherland, G., Newman, B., & Rachman, S. (1982). Experimental investigations of the relations between mood and intrusive unwanted cognitions. *The British Journal of Medical Psychology*, 55(Pt 2), 127-138.
- Tecce, J. J. (1972). Contingent negative variation (CNV) and psychological processes in man. *Psychological Bulletin*, 77(2), 73-108. <http://doi.org/10.1037/h0032177>
- Techer, F., Jallais, C., Fort, A., Chanut, O., Ndiaye, D., Moreau, F., ... Corson, Y. (2015). Focused on the source of anger: what about the detection of pedestrians? Présenté à ECTRI's Young Researchers Seminar, Rome, Italy.
- Techer, F., Jallais, C., Fort, A., & Corson, Y. (2015). Assessing the impact of anger state on the three Attentional Networks with the ANT-I. *Emotion (Washington, D.C.)*, 15(3), 276-280. <http://doi.org/10.1037/emo0000028>
- Techer, F., Michael, G., Vurpas, M., Pierson, Y., Fort, A., & Jallais, C. (2015, septembre). *Impact of anger and happiness on the attentional networks*. Présenté à 19th Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Paphos, Cyprus.
- Teyssaire, J. P. (2003). *Obscure clarté, éveil des fleurs et brume*. Origins : Honey-B Publishing.
- Thayer, R. (1989). *The biopsychology of mood and arousal*. Oxford University Press.
- Treisman, A. M. (1964). Verbal cues, language, and meaning in selective attention. *The American Journal of Psychology*, 77, 206-219.
- Treisman, A. M. (1969). Strategies and models of selective attention. *Psychological Review*, 76(3), 282-299. <http://doi.org/10.1037/h0027242>
- Ünal, A. B., de Waard, D., Epstude, K., & Steg, L. (2013). Driving with music: Effects on arousal and performance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 52-65. <http://doi.org/10.1016/j.trf.2013.09.004>

- Underwood, G., Chapman, P., Wright, S., & Crundall, D. (1999). Anger while driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *2F*(1), 55-68.
- Van Strien, J. W., Langeslag, S. J. E., Strekalova, N. J., Gootjes, L., & Franken, I. H. A. (2009). Valence interacts with the early ERP old/new effect and arousal with the sustained ERP old/new effect for affective pictures. *Brain Research*, *1251*, 223-235. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.11.027>
- Velten, E. (1968). A laboratory task for induction of mood states. *Behaviour Research and Therapy*, *6*(4), 473-482.
- Villieux, A., & Delhomme, P. (2007). Driving Anger Scale, French adaptation: further evidence of reliability and validity. *Perceptual and Motor Skills*, *104*(3 Pt 1), 947-957.
- Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology*, *37*(2), 190-203. <http://doi.org/10.1111/1469-8986.3720190>
- Walter, W. G., Cooper, R., Aldridge, V. J., Mccallum, W. C., & Winter, A. L. (1964). Contingent negative variation: an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. *Nature*, *203*, 380-384.
- Watson, D., & Clark, L. A. (1997). Measurement and mismeasurement of mood: recurrent and emergent issues. *Journal of Personality Assessment*, *68*(2), 267-296. http://doi.org/10.1207/s15327752jpa6802_4
- Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, *54*(6), 1063-1070. <http://doi.org/10.1037/0022-3514.54.6.1063>
- Watson, D. W., & Clark, L. (1994). The PANAS-X: Manual for the Positive and Negative Affect Schedule-expanded form. Consulté à l'adresse https://www.researchgate.net/publication/240322066_The_PANAS-X_Manual_for_the_Positive_and_Negative_Affect_Schedule-expanded_form
- Wei, J., Chen, T., Liu, G., & Yang, J. (2016). Higher-order Multivariable Polynomial Regression to Estimate Human Affective States. *Scientific Reports*, *6*, 23384. <http://doi.org/10.1038/srep23384>

- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159-177. <http://doi.org/10.1080/14639220210123806>
- Wilde, G. (1998). Risk homeostasis theory: an overview. *Injury Prevention*, 4(2), 89-91.
- Williams, J. M. G. (Éd.). (1997). *Cognitive psychology and emotional disorders* (2nd ed). Chichester ; New York: Wiley.
- Wilson, M., Smith, N. C., Chattington, M., Ford, M., & Marple-Horvat, D. E. (2006). The role of effort in moderating the anxiety – performance relationship: Testing the prediction of processing efficiency theory in simulated rally driving. *Journal of Sports Sciences*, 24(11), 1223-1233. <http://doi.org/10.1080/02640410500497667>
- Witte, K. (1992). Putting the fear back into fear appeals: The extended parallel process model. *Communication Monographs*, 59(4), 329-349. <http://doi.org/10.1080/03637759209376276>
- Wong, I. Y., Mahar, D., & Titchener, K. (2015). Driven by distraction: investigating the effects of anxiety on driving performance using the Attentional Control Theory. *Journal of Risk Research*, 18(10), 1293-1306. <http://doi.org/10.1080/13669877.2014.919516>
- Woodman, G. F. (2010). A Brief Introduction to the Use of Event-Related Potentials (ERPs) in Studies of Perception and Attention. *Attention, perception & psychophysics*, 72(8). <http://doi.org/10.3758/APP.72.8.2031>
- Xu, H., Zhang, Q., Li, B., & Guo, C. (2015). Dissociable Effects of Valence and Arousal on Different Subtypes of Old/New Effect: Evidence from Event-Related Potentials. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00650>
- Yanko, M. R., & Spalek, T. M. (2014). Driving With the Wandering Mind: The Effect That Mind-Wandering Has on Driving Performance. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 56(2), 260-269. <http://doi.org/10.1177/0018720813495280>
- Young, M. S., & Stanton, N. A. (2002a). Attention and automation: New perspectives on mental underload and performance. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 178-194. <http://doi.org/10.1080/14639220210123789>

Young, M. S., & Stanton, N. A. (2002b). Malleable Attentional Resources Theory: A New Explanation for the Effects of Mental Underload on Performance. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 44(3), 365-375. <http://doi.org/10.1518/0018720024497709>

Annexes

A. Annexe 1 : BMIS, questionnaire de mesure de l'humeur

La version modifiée par Corson et Verrier (2007) de la Brief Mood Introspection Scale utilisée pour les expérimentations de cette thèse est la suivante :

Votre tâche consiste à entourer le chiffre pour exprimer à quel point chaque adjectif décrit votre humeur actuelle.

Vous sentez-vous

	Pas du tout	Moyennement	Tout à fait
Joyeux	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
Furieux	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
Hostile	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
Plein d'entrain	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
Cafardeux	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
Paisible	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
Malheureux	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
Détendu	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
Calme	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
Enjoué	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
Enragé	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
Serein	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
Déprimé	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
Heureux	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
En colère	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		
Triste	1-----2-----3-----4-----5-----6-----7		

B. Annexe 2 : Affect Grid, questionnaire de mesure de l'humeur

Voici une grille composée de 81 cases. Vous devez faire une croix DANS UNE SEULE CASE afin de nous indiquer comment vous vous sentez en ce moment.

Nous nous intéressons à deux types de ressenti :

- Le premier représente votre état d'humeur (êtes-vous heureux ou triste) représenté sur l'axe gauche-droite,
- le second votre degré d'excitation, d'énergie représenté sur l'axe haut-bas.

Vous devez vous servir des 2 axes en même temps et mettre une croix à l'intersection de votre ressenti.

Exemples : si vous vous sentez plutôt 1) Heureux et plein d'énergie, vous aurez tendance à mettre une croix dans la partie haut-droite de la grille, 2) Heureux mais calme, vous aurez tendance à mettre une croix dans la partie droite et centrale selon l'axe haut-bas ; 3) Triste et plein d'énergie, vous devriez mettre une croix dans la zone située en haut à gauche de la grille.

TRES FORTE EXCITATION

T								J
R								O
I								Y
S								E
T								U
E								X

TRES FAIBLE EXCITATION

C. Annexe 3 : Article en préparation

La première étude de cette thèse ayant révélé une influence de la colère sur les réseaux attentionnels, un encadrement d'étudiants inscrits en Master 1 à l'Université Lyon 2 a permis de tester l'influence de la tristesse et la joie en utilisant la même méthode. Cette expérimentation a également donné lieu à un article qui sera soumis à la revue Emotion.

Title: Effect of sadness and happiness on the attentional networks: difficulties to disengage attention

Jallais Christophe, French institute of science and technology for transport, development and networks (IFSTTAR)-TS2-LESCOT, Cité des Mobilités, 25 Avenue François Mitterrand, 69675 Bron Cedex, France.

Techer Franck, French institute of science and technology for transport, development and networks (IFSTTAR)-TS2-LESCOT, Cité des Mobilités, 25 Avenue François Mitterrand, 69675 Bron Cedex, France.

Fort Alexandra, French institute of science and technology for transport, development and networks (IFSTTAR)-TS2-LESCOT, Cité des Mobilités, 25 Avenue François Mitterrand, 69675 Bron Cedex, France.

Yannick Pierson, Université de Lyon, Université Lyon 2, Laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs (EA 3082) and LabEx Cortex (ANR-11-LABX-0042), 5 avenue Pierre Mendès-France, 69676 Bron Cedex, France.

Margaux Vurpas, Université Lyon 2, Laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs (EA 3082) and LabEx Cortex (ANR-11-LABX-0042), 5 avenue Pierre Mendès-France, 69676 Bron Cedex, France.

George A. Michael, Université de Lyon, Université Lyon 2, Laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs (EA 3082) and LabEx Cortex (ANR-11-LABX-0042), 5 avenue Pierre Mendès-France, 69676 Bron Cedex, France.

Corresponding author: Jallais Christophe, IFSTTAR, Cité des Mobilités, 25 Avenue François Mitterrand, 69675 Bron Cedex, France; christophe.jallais@ifsttar.fr; +33(0)4.78.65.68.87.

Abstract: According to the attention network theory, attention could be defined by three distinct networks: alerting, orienting and executive control. The aim of this research was to study the influence of two emotional states, happiness and sadness, on these networks using the Attention Network Test – Interactions (ANT-I). Participants were induced in happiness or sadness using the autobiographic recall procedure, or in a neutral mood. The main result shows that, although the two emotional states are opposed in terms of valence and arousal, they both share similar effects on the orienting network. This result can be interpreted as a difficulty to disengage attention due to these emotions. This study enlightens the interaction between emotion and the functioning of the attentional system while processing neutral stimuli.

Keywords: Attention Network Test Interaction; Sadness; Happiness; Alerting; orienting network

Introduction

According to the human model of attention (Fan, McCandliss, Sommer, Raz, and Posner, 2002; Posner and Petersen, 1990), attention is composed of three distinct networks: alerting, orienting and executive control. Alerting could be defined as achieving and maintaining a highly intensive attentive state to process environmental stimulation. Orienting is responsible for the selection of relevant information from sensory inputs and the inhibition of irrelevant ones by shifting attention from one location to another. The executive control involves mechanisms for monitoring and resolving conflicts among thoughts, feelings and responses (Posner & Rothbart, 2007).

In order to test the relation between the three components, Fan, et al. (2002) built the Attention Network Test (ANT) which assesses the efficiency of each attentional network at the same time. Several studies used the ANT so as to test the effects of emotions on the attentional networks. For example, Pêcher et al. (2011) revealed that sadness could lead to negative impacts on the orienting network. But Finucane et al. (2010) did not observe any effects of sadness nor happiness on any of the three networks. Both studies used neutral stimuli and the ANT. The reliability of this test is not questioned but Callejas, Lupiàñez, Funes, and Tudela (2005) pointed out a confused interaction between alerting and orienting networks because of the use of same cues conditions to the scores calculation. Thus, they developed a modified version of the ANT, the Attention Network Test – Interaction, (ANT-I) to evaluate independently these two attentional networks. Techer et al. (2015) used the ANT-I to examine the effects of anger on attention and revealed effects of this high level arousing emotion on the alerting network. According to Thayer (1989), a high level of arousal can improve the sensitivity to the environment by implying a cognitive and physiological excitation. In addition, Pacheco-Unguetti & Parmentier (2015) found that happiness could lead to an increased deviance distraction, and therefore explained their results as a difficulty to disengage attention from an irrelevant stimulus.

To our knowledge, happiness and sadness have not been yet tested in order to reveal attentional effects using the ANT-I. The aim of this study is to assess the effects of both these emotions on the processing of neutral stimuli using the ANT-I. Since happiness is defined as an emotion linked to a high level of arousal, we expected a positive effect of this emotion on the alerting network and a negative one on the orienting network. According to the results obtained by Pêcher et al. (2011) using the

ANT, negative effects on the orienting network were also expected concerning sadness.

Method

Participants

Eighty-two volunteers (aged from 23 to 44 years) were involved in this study and were randomly assigned into one of three experimental groups. The Happiness group was composed of 19 participants ($M = 28.5$ years, $SD = 6.4$; 13 female). Twenty-three participants were induced in sadness (Sadness group, $M = 28.1$, $SD = 6.6$; 18 female) and 21 in a neutral mood (Control group, $M = 30$; $SD = 4.7$; 15 female). The research protocol was approved by the ethics committee of the French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks (IFSTTAR).

Mood induction

Participants were induced either in happiness, sadness or a neutral mood. In order to induce the two emotions, the autobiographical recall procedure was used (*see* Jallais & Gilet, 2010). Participants had to recall and write down the happiest/saddest event (according to their experimental group) they experienced in their life. They were encouraged to provide as many details as they could. They were given 10 minutes to perform this task. In the control group, participants were asked to listen to music (Teyssaire, 2003) during 10 minutes (*see* Jallais & Gilet, 2010).

In order to evaluate the arousal and valence dimensions, participants were asked to fill a modified version of the Brief Mood Introspection Scale (BMIS; Mayer & Gaschke, 1988) developed by Corson and Verrier (2007). This version consists in a 16-item self-report adjective check-list in which each adjective is rated on a 7-point scale. Among all adjectives, four describe happiness, four denote sadness, four denote anger and four denote serenity. Therefore, it is possible to assess the valence (by averaging the scores for adjectives denoting happiness and by averaging the scores obtained for adjectives denoting sadness) and the arousal (by averaging adjectives denoting a high level and a low level of arousal separately) dimensions.

ANT-I

Apparatus and Stimuli

We used the ANT-I paradigm, previously developed by Callejas et al. (2005) and used by Techer et al. (2015). A 17" computer screen and the OpenSesame program (Mathôt, Schreij, & Theeuwes, 2012) were used in this study. All responses were collected with an external numeric pad, and auditory stimuli were delivered to the participants through headphones.

Design

A fixation cross (0.44° of angular size from a viewing distance of 53 cm) was presented at the center of the screen during the whole experiment. The trials always started with a random time between 400 to 1600 ms, then an auditory alert (2000 Hz) lasting 50 ms was presented in only half of the trials (tone vs no tone conditions). Following this auditory alert and after a 400 ms period, in two thirds of the trials, an orienting cue (0.32° asterisk) lasting for 100 ms was presented at 1.03° above or below the fixation point. Finally, after a 100 ms period, a row of arrows (each was 0.55° long and was separated from the adjacent ones by a 0.06° empty space) appeared and was composed of a central target flanked by four items (two on each side). The four flankers could either point in the same direction (*i.e.* congruent trials), in the opposite direction (*i.e.* incongruent trials) of the target central arrow, or being replaced by horizontal lines (*i.e.* neutral trials). The target could be displayed at the same location as the orienting cue for one third of the trials (cued-location condition) or at the opposite location for one third of the trials (uncued-location condition). In the remaining trials, no orienting cue was presented (no cue condition). The target arrow was displayed until the response was given, or for a maximum of 1700ms. The fixation point was displayed until the trial reached 4150 ms, making impossible for the participants to anticipate the beginning of each new trial.

The 18 possible conditions of 2 auditory alert (tone; no tone) \times 3 orienting cue (cued-location; no cue; uncued-location) \times 3 congruency (congruent; incongruent; neutral) were presented randomly, and repeated 8 times each, giving a total of 144 trials.

Task and procedure

Participants were asked to respond as fast and as accurately as possible by indicating the direction the central arrow pointed at using the keypad (“4” for left and “6” for right) with the left hand for 'left' responses and the right hand for 'right' responses.

Participants were facing the computer screen and were told to keep their eyes on the fixation point during the whole session. They started by a 20-trials training session, then were asked to fill in the first BMIS questionnaire so as to evaluate their mood state (Moment 1). Afterwards, they were induced according to their respective mood group and completed a second mood assessment before the experimental task (Moment 2).

Results

Scores of valence and arousal are presented in table 1.

Valence assessment

Firstly, an ANOVA on the 3 (Mood) X 2 (Moment) X 2 (Adjectives) was carried out with Mood (Happiness, Sadness and Control) as inter-subject factor, Moment (Moment 1 and Moment 2), and Adjectives (denoting happiness and sadness) as within-subject factors. The Mood X Moment X Adjectives interaction reached significance ($F(2, 60) = 31.98, p < .0001, \eta^{2p} = .52$).

Planned comparisons showed that the happiness group mean ratings for adjectives denoting happiness increased between the first and the second mood check ($F(1, 60) = 11.09, p < .01, \eta^{2p} = .16$), while the sadness group showed a decrease in the score of these adjectives ($F(1, 60) = 27.43, p < .0001, \eta^{2p} = .31$). The control group did not show any statistical differences ($F(1, 60) = 1.58, ns$). Comparisons within the second set of BMIS revealed that the happiness group showed higher scores for these adjectives than the sadness group ($F(1, 60) = 39.73, p < .0001, \eta^{2p} = .40$), but no differences were observed comparing to the control group ($F < 1, ns$).

Table 2: Mean (standard deviations) ratings of adjectives denoting Sadness and Happiness, and arousal level according to the moment of administration for each of the three mood groups

	Moment 1			Moment 2		
	Adjectives denoting happiness	Adjectives denoting sadness	Arousal	Adjectives denoting happiness	Adjectives denoting sadness	Arousal
Happiness group	4.38 (1.17)	1.53 (0.78)	3.81 (0.30)	5.21 (1.13)	1.38 (0.67)	4.00 (0.27)
Sadness group	4.43 (1.05)	1.22 (0.45)	4.05 (0.42)	3.12 (1.28)	3.10 (1.46)	3.51 (0.53)
Control group	5.54 (0.78)	1.21 (0.50)	4.02 (0.34)	5.24 (0.71)	1.14 (0.30)	3.79 (0.26)

Concerning the adjectives denoting sadness, the analysis revealed higher scores from the first to the second set of BMIS for the sadness group ($F(1, 60) = 116.07, p < .0001, \eta^{2p} = .66$). These scores did not change concerning the happiness group ($F < 1, ns$) and the control group ($F < 1, ns$). Comparisons within the second assessment of the BMIS revealed that the scores obtained for the sadness group were higher than those obtained in the happiness and control groups (respectively, $F(1, 60) = 32.21, p < .0001, \eta^{2p} = .35$; $F(1, 60) = 44.09, p < .0001, \eta^{2p} = .42$).

Arousal assessment

An ANOVA on the 3 (Mood) X 2 (Moment) was carried out with mood as inter-subject factor, moment as within subject factor, and the BMIS mean ratings for arousal as dependent variable (see Table 1). The analysis revealed a significant interaction between Mood and Moment ($F(1, 60) = 24.99, p < .0001, \eta^{2p} = .45$). Planned comparisons showed that the Happiness group's ratings increased from the first to the second mood check ($F(1, 60) = 6.26, p < .05, \eta^{2p} = .10$), while a decrement was observed for the sadness and the control groups (respectively, $F(1, 60) = 60.04, p < .0001, \eta^{2p} = .50$; $F(1, 60) = 10.42, p < .0001, \eta^{2p} = .15$). No differences between the happiness and the control groups for the first arousal rating ($F(1, 60) = 3.61, p < .06, \eta^{2p} = .06$), and for the second mood check ($F(1, 60) = 3.11, p < .08, \eta^{2p} = .05$) were found. At the first assessment, the arousal scores obtained for the sadness group were higher than those obtained for the happiness group ($F(1, 60) = 4.89, p < .05, \eta^{2p} = .08$) but were lower at the second assessment ($F(1, 60) = 17.09, p < .01, \eta^{2p} = .23$). Finally,

the sadness and the control groups did not differ in their ratings at the first assessment ($F < 1$, ns), but the ratings were higher for the control than the sadness groups at the second one ($F(1, 60) = 5.74$, $p < .05$, $\eta^{2p} = .09$).

ANT-I

Response times analysis

Following Callejas et al. (2005), a comparison between neutral and congruent trials was carried out with an ANOVA in order to decide whether they should be included in further analyses or not. The analysis revealed no difference ($F < 1$, ns), therefore, neutral trials were discarded from further analyses.

Response Times (RTs)

RTs faster or slower than 2 SDs from the mean per participant were filtered out. They represented less than 3% of the trials. A 3 (Mood) X 2 (Auditory alert) X 3 (Orienting cue) X 2 (Congruency) ANOVA was carried out with Mood (Happiness/Sadness/Control) as a between-subjects factor and Auditory alert (tone/no tone), Orienting cue (cued-location/uncued-location/no cue), and congruency (congruent/incongruent) as within subject factors.

The main effects of Auditory alert ($F(1, 60) = 25.52$, $p < .0001$, $\eta^{2p} = .29$), Orienting cue ($F(2, 120) = 188.98$, $p < .0001$, $\eta^{2p} = .76$) and Congruency factors ($F(1, 60) = 316.75$, $p < .0001$, $\eta^{2p} = .84$) were statistically significant, RTs being faster in the tone than in the no tone condition, and in the congruent than in the incongruent condition. Planned comparisons showed that RTs were faster in the cued-location than in the no cue condition ($F(1,60) = 227.61$, $p < .0001$, $\eta^{2p} = .79$), and the uncued-location condition ($F(1,60) = 337.99$, $p < .0001$, $\eta^{2p} = .85$). We did not observe any statistical differences concerning the no cue and uncued-location conditions ($F < 1$, ns). No significant main effect of mood was found (see Table 2).

Table 3 : Mean correct reaction times in milliseconds (SD) obtained for the three groups as a function of Auditory signal, Orienting cue and Congruency

		Happiness		Sadness		Control	
		Tone	No Tone	Tone	No Tone	Tone	No Tone
Cued location	Congruent	471 (60)	482 (65)	484 (50)	502 (70)	490 (113)	496 (111)
	Incongruent	581 (75)	591 (70)	604 (106)	633 (74)	589 (123)	600 (118)
No cue	Congruent	523 (63)	585 (87)	546 (60)	577 (93)	535 (148)	571 (137)
	Incongruent	641 (38)	685 (106)	691 (103)	706 (140)	651 (134)	659 (119)
Uncued location	Congruent	534 (61)	544 (76)	538 (59)	564 (72)	539 (116)	527 (98)
	Incongruent	690 (84)	685 (99)	716 (111)	729 (95)	675 (137)	675 (137)

The interactions between auditory alert and orienting cue ($F(2, 120) = 7.66$, $p < .0001$, $\eta^{2p} = .12$), and between orienting cue and congruency ($F(2, 120) = 18.26$, $p < .001$, $\eta^{2p} = .24$) were significant. No significant interactions were found however between auditory alert and congruency ($F(1, 60) = 1.62$, $p = .21$, $\eta^{2p} = .02$), nor between auditory alert, orienting and congruency ($F(2, 120) = 2.48$, $p = .08$, $\eta^{2p} = .04$).

Complementary analysis

Three separate one-way ANOVAs were carried out to test the effect of mood on the attentional networks scores (*see* Callejas et al., 2005). The alerting network score was calculated by subtracting the RTs obtained in the tone from those in the no tone conditions, only considering the no cue condition (Happiness: $M = 53$, $SD = 38$; Sadness = 23, $SD = 62$; Control: $M = 22$, $SD = 49$). The orienting network score was calculated by subtracting the RTs in the cued-location from those in the uncued-location conditions (Happiness: $M = 82$, $SD = 31$; Sadness = 81, $SD = 35$; Control: $M = 60$, $SD = 30$). The executive control network score was calculated by subtracting the RTs in the congruent from those in the incongruent conditions (Happiness: $M = 123$, $SD = 59$; Sadness = 23, $SD = 66$; Control: $M = 115$, $SD = 41$).

These analyses revealed no effect of Mood on the alerting score ($F(2, 60) = 2.32, ns$). Planned comparisons showed however some marginal effects: the Happiness group seemed to have higher alerting scores than both the control and the Sadness groups (respectively, $F(1, 60) = 3.56, p = .06, \eta^2p = .06$ and $F(1, 60) = 3.57, p = .06, \eta^2p = .06$). A significant effect of Mood was found concerning the orienting score ($F(1,60) = 3.01, p <.05, \eta^2p = .10$). The analyses revealed that the Happiness and the Sadness groups had higher scores than the control group (respectively, $F(1, 60) = 4.50, p =.02, \eta^2p = .07$; $F(1, 60) = 4.49, p =.02, \eta^2p = .07$). Finally, no significant effect of Mood on the executive control score was obtained ($F(2, 60) = 1.57, ns$). Planned comparisons did not reveal any further effect.

Discussion

This study aimed at disentangling the effects of two opposed emotions, happiness and sadness, on the attentional networks of alerting, orienting and executive control. To do so, participants were successfully induced into one of the two emotions, and a third control group was induced in neutral mood. As expected, the Mood Induction Procedure was efficient since positive valence and the arousal dimensions increased for the Happiness group, whilst negative valence increased and arousal decreased for the Sadness group. Although, even if the MIP succeeded to induce participants in happiness, the MIP did not show any difference between the control and the Happiness groups after the second valence assessment but only a trend for the second arousal assessment. It seemed that the participants of the control group were happy enough at the beginning of the experiment and the MIP did not succeed to induce the happy group participants in a happiest emotion than the control one. These results confirmed the difficulty to induce positive mood states in laboratory (Jallais & Gilet, 2010; Westermann, et al., 1996). Nevertheless, the results obtained here for these two groups differed as far as their performance at the ANT-I was concerned, revealing that the MIP succeeded in the mood coloration of the attentional networks.

Indeed, the analysis revealed similar effects on the attentional networks according to the emotions. Both Sadness and Happiness groups showed some effects on the orienting scores. The analyses conducted here suggest that the effects on the orienting scores were due to a difficulty to disengage attention from one location to move it toward another. Similar effects were mentioned by Pacheco-Unguetti et al. (2010) about the impact of anxiety (trait vs state) on the attention networks using the

ANT-I. They concluded that state anxiety altered the alerting and orientation networks in a positive way, whereas the trait anxiety negatively impacted the executive network. The effect of a high arousing emotion, such as happiness, was also expected here. Both state anxiety and happiness share high levels of arousal that could slow down attentional disengagement (Vogt et al., 2008), altering therefore the orienting network. Pacheco-Unguetti & Parmentier (2015) found similar effects of happiness on deviance distraction. Their participants showed difficulties to disengage attentional resources from deviant stimuli revealing impacts on the orienting network. But, Techer et al. (2015) did not report any effect of anger on the orienting network despite anger being a high arousing emotion. In addition, sadness led here to similar effects on the orienting. Therefore, the interpretation that changes in orienting are solely linked to the level of arousal independently of the level of valence (Vogt et al., 2008) is not satisfying and should be reconsidered.

Moreover, after inducing a sadness state to participants, Pêcher et al. (2011) observed that this negative mood dealt with negative effects on the orienting network. Our results corroborate these studies on several points. Thus, even if Pêcher et al. used the ANT instead of the ANT-I, a difficulty in the attentional disengagement during this mood state was also observed here. But Finucane et al. (2010) did not observe any influence of happiness and sadness on the orienting network. These authors used the ANT and discussed about the difficulty to induce mild emotions in laboratory. It could be possible that our Mood Induction Procedure (MIP) was more efficient than the technique used by those authors. The MIP used here was the autobiographical recall which is defined by Jallais & Gilet (2010) as the best MIP to induce sadness. Finucane et al. (2010) used images taken from the IAPS (International Affective Picture Systems, Lang, Bradley, & Cuthbert, 2005). This could explain the different results obtained between the studies. It could be possible that the sadness induced was stronger. The fact that the BMIS was used here to assess the MIP efficiency and that Finucane et al. used the PANAS –X make the results difficult to compare. Nonetheless, the importance of the choice of the MIP in a laboratory study has to be well thought in order to maximize the chance to obtain strong effects.

One possible explanation of the effects obtained on the orienting network could deal with the anatomy and chemical modulators involved in the attention networks. The orienting network is associated with the superior parietal lobe and temporal

parietal junctions (Corbetta & Shulman, 2002) and is modulated by acetylcholine (Posner and Rothbart, 2007). The production of this modulator is common to both happiness and sadness (e.g., Janowsky, El-Yousef, Davis, 1974; Hoebel, Rada, Mark, & Pothos, 1999). Further studies should take into account this modulator to better understand attentional disorders of the orienting network.

The analysis revealed also a trend for happiness to impact the alerting network. This result, even if the statistical difference did not reach the threshold, was not so surprising since similar results were observed using the ANT-I after an anger induction (Techer et al., 2015). This facilitating effect on alerting was explained by the high level of arousal when angry. Arousal is, by definition, high during happiness. The problem is that inducing happiness is more difficult than inducing sadness (Finucane et al. 2010 ; Gilet, 2008). In their study, Finucane et al. (2010) indicated how difficult it was to elicit increased levels of happiness just because individuals are fairly happy (Diener & Diener, 1996) and that attempting to distinguish happy participants from those in the control group could be unsuccessful (e.g., Gasper, 2004). However, even if both studies worked on mild happiness, it is nevertheless true that the results obtained here revealed a trend to impact the alerting network. One could just think of how a higher level of happiness could have on this attentional network. Once again, the use of the ANT-I instead of the ANT could explain the difference of the results obtained in both studies. One of the aims of the ANT-I which is to separate the items used to test the alerting network from the other networks, is then reinforced. Once again, the importance of the MIP is enhanced since it was not efficient enough to induce high levels of arousal so as to reveal stronger effects of happiness on alerting.

These results could help to better understand the interactions between emotions and attention even in the processing of neutral stimuli. These results could enhance the difficulties observed in more applied domains like driving. Driving is a complex activity that requires visual attentional resources. Difficulties in the management and in the allocation of these resources could lead to hazard and accident (Galéra, et al., 2012). Understanding the complex links between emotions and attention could therefore help to improve the design of driving assistance systems and traffic safety.

Bibliography

- Callejas, A., Lupiàñez, J., Funes, M. J., & Tudela, P. (2005). Modulations among the alerting, orienting and executive control networks. *Experimental Brain Research*, *167*(1), 27-37. doi:10.1007/s00221-005-2365-z
- Corbetta, M., Shulman, G.L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*, 201-215. DOI: 10.1038/nrn755
- Corson, Y., & Verrier, N. (2007). Emotions and False Memories Valence or Arousal? *Psychological Science*, *18*(3), 208-211. doi:10.1111/j.1467-9280.2007.01874.
- Diener, E., & Diener, C. (1996). Most people are happy. *Psychological Science*, *7*, 181-185.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the Efficiency and Independence of Attentional Networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(3), 340-347. doi:10.1162/089892902317361886
- Finucane, A.M., Whiteman, M.C., & Power, M. (2010). The effect of happiness and sadness on alerting, orienting, and executive attention. *Journal of Attention Disorders*, *13*(6), 629-639.
- Galera, C., L. Orriols, L., M'Bailara, K., Laborey, M., Contrand, B., Ribéreau-Gayon, R., Masson, F., Bakiri, S., Gabaude, C., Fort, A., Maury, B., Lemercier, C., Cours, M., Bouvard, M.-P., & Lagarde, E. (2012). Mind wandering and driving: responsibility case-control study. *British Medical Journal*, *345*, 1-7.
- Gasper, K. (2004). Do you see what I see? Affect and visual information processing. *Cognition and Emotion*, *18*, 405-421.
- Gilet, A.-L. (2008). Mood induction procedure: a critical review. *L'Encéphale*, *34*(3), 233-239.
- Hoebel, B. G., Rada, P. V., Mark, G. P., & Pothos, E. N. (1999). Neural systems for reinforcement and inhibition of behavior: Relevance to eating, addiction, and depression. In D. Kahneman, E. Diener, & N. Schwarz (Eds.), *Well-being: The foundations of hedonic psychology* (pp. 558–572). New York: Russell Sage Foundation.
- Jallais, C., & Gilet, A.-L. (2010). Inducing changes in arousal and valence: Comparison of two mood induction procedures. *Behavior Research Methods*, *42*(1), 318-325. doi:10.3758/BRM.42.1.318

- Janowsky, D.S., El-Yousel, M.K., & Davis, J.M. (1974). Acetylcholine and depression. *Psychosomatic Medicine*, 36(3), 248-257.
- Lang, P.J, Bradley, M.M, Cuthbert B.N. (2005). *International Affective Picture System (IAPS): Affective ratings pictures and instruction manual* (Tech. Rep. A-6). Gainesville: University of Florida.
- 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. doi:10.3758/s13428-011-0168-7
- Mayer, J.D., & Gaschke, Y. N. (1988). The experience and meta-experience of mood. *Journal of Personality and Social Psychology*, 55(1), 102-111. doi:10.1037/0022-3514.55.1.102
- Pacheco-Unguetti, A.P., Acosta, A., Callejas, A., & Lupiáñez, J. (2010). Attention and Anxiety Different Attentional Functioning Under State and Trait Anxiety. *Psychological Science*, 21(2), 298-304. doi:10.1177/0956797609359624
- Pacheco-Unguetti, & J.M., Parmentier, F. (2015). Happiness increases distraction by auditory deviant stimuli. *British Journal of Psychology*. doi: 10.1111/bjop.12148
- Pêcher, C., Quaireau, C., Lemerrier, C., & Cellier, J.-M. (2011). The effects of inattention on selective attention: How sadness and ruminations alter attention functions evaluated with the Attention Network Test. *European Review of Applied Psychology*, 61(1), 43-50. doi:10.1016/j.erap.2010.10.003
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42. doi:10.1146/annurev.ne.13.030190.000325
- Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annual Review of Psychology*, 58, 1-23. doi:10.1146/annurev.psych.58.110405.085516
- Teyssaire, J. P. (2003). *Obscure clarté, éveil des fleurs et brume*. Origins: Honey-B Publishing.
- Techer, F., Jallais, C., Fort, A., & Corson, Y. (2015). Assessing the impact of anger state on the three attentional networks with the ANT-I. *Emotion*, 15(3), 276-280.

- Thayer, R. (1989). *The biopsychology of mood and arousal*. Oxford University Press.
- 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*, 8(6), 880-885.
- Westermann, R., Spies, K., Stahl, G. (1996). Relative effectiveness and validity of mood induction procedures: a meta-analysis. *European Journal of Social Psychology*, 26, 557-580.

D. Annexe 4 : Chapitre d'ouvrage

Suite au colloque Risques Routiers et Transports Durables organisé par l'université d'Angers, un chapitre d'ouvrage a été rédigé pour présenter les premiers résultats obtenus lors de la troisième étude de cette thèse. Les données concernant la distance de détection des piétons n'étaient alors pas encore traitées.

La colère, source d'insécurité routière ?

Techer Franck^{1,2}, Jallais Christophe¹, Fort Alexandra¹, Chanut Odette¹, Ndiaye Daniel³,
Moreau Fabien¹, Hugot Myriam¹, Corson Yves².

1: Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR)-TS2-LESCOT

2: Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire (LPPL – EA 4638), Université de Nantes

3: Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR)-COSYS-LEPSIS

Introduction

La colère est une émotion négative définie par un fort arousal (*i.e.*, elle provoque un état d'activations psychologique et physiologique intenses). C'est également une émotion fréquemment ressentie en conduite (Sullman, 2006 ; Underwood, Chapman, Wright, & Crundall, 1999). Une des raisons à cela est qu'elle peut être causée par un événement sans rapport avec la conduite, mais aussi par un événement provenant directement de la tâche de conduite (*e.g.*, Jeon, Walker, & Yim, 2014). La colère serait à l'origine de plusieurs modifications comportementales et attentionnelles chez les conducteurs.

D'une part, l'utilisation de questionnaires a permis de révéler des corrélations entre la colère ressentie et l'apparition de comportements agressifs, ainsi qu'une augmentation du nombre d'infractions déclarées (*e.g.*, Deffenbacher, Lynch, Oetting, & Swaim, 2002). De plus, le fait d'exprimer sa colère de manière agressive pourrait provoquer une augmentation de la fréquence d'accidents ou de situations accidentogènes (Sullman, 2015). Les études sur simulateur de conduite ont confirmé que cette émotion pouvait modifier le style de conduite en entraînant une vitesse plus élevée et des puissances d'accélération plus fortes (Roidl, Frehse, & Hoeger, 2014a). Elle peut également favoriser une augmentation de la prise de risques, à travers une réduction du temps inter-véhiculaire (TIV), et une augmentation des infractions au code de la route (*e.g.*, Abdu, Shinar, & Meiran, 2012).

D'autre part, il a été démontré que les émotions peuvent moduler les capacités attentionnelles des conducteurs. Chan et Singhal (2013) ont étudié l'impact des informations émotionnelles sur les performances attentionnelles en conduite simulée. Le long du parcours sur lequel les participants roulaient, des panneaux publicitaires étaient présents. Sur chacun d'eux était inscrit un mot qui pouvait être : un nom d'animal (*e.g.*, oiseau), un mot neutre (*e.g.*, pied), un mot émotionnel positif (*e.g.*, plage) ou un mot émotionnel négatif (*e.g.*, cancer). Les participants avaient pour consigne de détecter le plus rapidement possible les noms d'animaux, tout en prêtant attention aux dangers potentiels présents sur la route. Ils n'étaient prévenus qu'à la fin du scénario qu'ils devaient effectuer une tâche de rappel libre de tous les mots qu'ils avaient vus sur les panneaux publicitaires. Les auteurs ont constaté que les participants rappelaient un plus grand nombre de mots émotionnels négatifs que de mots

neutres. De plus, leurs résultats indiquent que la vitesse de détection des mots cibles était plus lente lorsqu'ils étaient présentés après des mots négatifs qu'après des mots positifs. Ils en ont conclu que les informations émotionnelles négatives dans la scène routière pouvaient particulièrement retenir l'attention des conducteurs. De plus, il a été montré que les informations émotionnelles avec un fort arousal, telles qu'un stimulus générateur de colère, sont des stimuli ayant tendance à capturer l'attention (Fox, Russo, Bowles, & Dutton, 2001 ; Harmon-Jones, Gable, & Price, 2013). Toutefois, les stimuli connotés ne sont pas la seule source possible d'émotions. L'individu lui-même peut se trouver dans un état émotionnel n'ayant pas de lien avec la situation de conduite. Par exemple, Jallais, Gabaude, et Paire-Ficout (2014) ont constaté que l'état de colère, sans rapport avec la tâche en cours, ralentissait de manière globale la vitesse avec laquelle les participants détectaient les éléments d'une photographie de scène routière (e.g., feu tricolore, piéton, voiture, ou marquage au sol). Lorsque la colère est générée par la tâche de conduite, Stephens, Trawley, Madigan, et Groeger (2013) ont constaté que les participants induits étaient plus lents que les autres pour effectuer des actions correctives (e.g., freiner ou braquer le volant) permettant d'éviter les dangers atypiques tels que des piétons traversant subitement. Les auteurs suggèrent que ces temps de réaction plus longs pourraient être dus à un traitement plus superficiel et un manque d'anticipation du déplacement des piétons.

Du fait des perturbations comportementales et attentionnelles provoquées par la colère, nous pouvons nous questionner sur l'influence qu'elle peut avoir sur la capacité d'adaptation à la vitesse du trafic. Pour cela, la tâche de suivi de véhicule créée par Brookhuis, Waard, et Mulder (1994) semble particulièrement intéressante. Dans cette tâche, le conducteur est placé dans une situation où il doit suivre et reproduire le mieux possible la vitesse d'un véhicule. La courbe de vitesse du véhicule à suivre est définie au préalable, et l'expérimentation permet de recueillir celle du participant (Figure 1). La comparaison entre ces deux courbes de vitesse nous permet de calculer trois indicateurs de performance. *La Cohérence* est la corrélation entre les deux courbes de vitesse. Elle nous indique avec un score compris entre 0 et 1 comment le participant a reproduit les changements de vitesse du véhicule à suivre. Ainsi, un score de cohérence de 1 signifierait que le participant a parfaitement reproduit la courbe de vitesse du véhicule à suivre, alors qu'un score proche de 0 indiquerait que la tâche n'a pas

été effectuée. *Le Modulus* représente la capacité du conducteur à respecter les puissances d'accélération et de freinage du véhicule à suivre. Un modulus supérieur à 1 indique que le participant a amplifié les puissances d'accélération et de freinages, alors qu'un modulus inférieur à 1 indique qu'il les a minimisées. En d'autres termes, le modulus nous indique la tendance du conducteur à sur-réagir ou sous-réagir aux changements de vitesse. *Le Délai* est la latence entre les changements de vitesse du véhicule à suivre et la réaction du participant. C'est le temps moyen qui s'écoule entre les changements d'allure du véhicule à suivre et la réaction du conducteur.

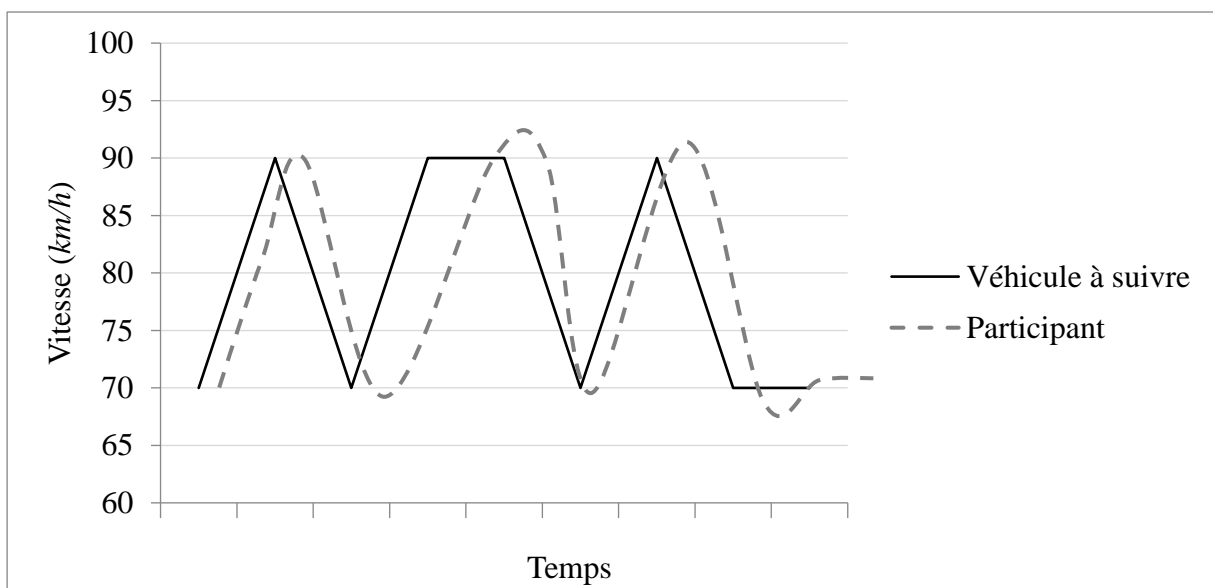


Figure 1 : Exemple de courbe de vitesse recueillie pour un participant effectuant la tâche de suivi de véhicule, comparée à la courbe de vitesse du véhicule à suivre.

Pour évaluer l'impact de la distraction sur la performance de suivi, Ranney, Harbluk, et Noy (2005) ont demandé à des conducteurs d'effectuer une tâche distractive pendant un suivi de véhicule sur route réelle. Ils ont constaté que l'augmentation de la charge mentale causée par la tâche distractive provoquait chez ces conducteurs une augmentation du délai, indiquant que les conducteurs étaient plus lents à réagir aux changements de vitesse. Toutefois, ils ont compensé la détérioration du délai en augmentant leur temps inter-véhiculaire (TIV). Il semble donc que les conducteurs puissent adopter certains comportements afin de maintenir une

conduite sécuritaire lorsque la situation est trop exigeante en termes de ressources attentionnelles. Par ailleurs, Ünal, de Waard, Epstude, et Steg (2013) ont demandé à des participants de compléter une tâche de suivi monotone, dans un environnement visuel peu stimulant. Les participants devaient conduire sans musique ou avec une musique de leur choix. Les auteurs ont constaté que l'écoute de musique avait pour effet d'augmenter le niveau d'arousal de leurs participants. Les résultats montrent que l'arousal induit de cette manière est bénéfique pour la performance de conduite lors d'une tâche monotone. Les conducteurs écoutant de la musique ont obtenu de meilleurs scores pour le délai, indiquant qu'ils réagissaient plus rapidement aux changements d'allure du véhicule à suivre.

L'objectif principal de cette étude est donc de mesurer les effets de la colère sur la performance de conduite à travers la tâche de suivi de véhicule. Les individus en colère ont tendance à adopter un style de conduite plus risqué avec une vitesse plus élevée et des accélérations plus puissantes (Abdu et al., 2012 ; Roidl et al., 2014). Pour cette raison, nous supposons qu'ils seront sujets à une réduction de la cohérence et une augmentation du modulus. En effet, une cohérence réduite révélerait que le groupe en colère a du mal à reproduire la courbe de vitesse du véhicule, et un modulus élevé montrerait que les individus en colère ont tendance à sur-réagir aux changements d'allure. Un objectif secondaire à cette étude est d'étudier l'impact de la colère sur la capacité à détecter les dangers périphériques tels que des piétons. Toutefois, les résultats de la tâche de détection ne seront pas présentés dans ce chapitre.

Méthode

Participants

Les participants ont été recrutés à l'aide d'un questionnaire de sélection en ligne, correspondant à l'adaptation française de la Driving Anger Scale (DAS ; Villieux & Delhomme, 2007). La DAS est un questionnaire permettant de mesurer le trait de colère en conduite, c'est-à-dire, la propension d'un individu à ressentir de la colère en conduisant (Deffenbacher et al., 2002 ; Stephens & Groeger, 2009).

Soixante-quinze conducteurs (24 à 45 ans ; $M = 31$, $ET = 6$) avec une vision normale et plus de trois ans de permis ont participé à l'expérimentation en échange d'une compensation de 60€. Afin de maximiser l'efficacité de notre procédure d'induction en colère, les 50 participants avec les scores les plus élevés à la DAS ont été affectés au groupe Colère tandis que les 25 participants avec les scores les plus faibles à la DAS ont constitué le groupe Contrôle. Après exclusion de 14 participants ayant souffert du mal du simulateur, 61 participants constituaient notre échantillon (40 dans le groupe Colère et 21 dans le groupe Contrôle).

Matériel

- Induction et mesure de l'humeur

Les participants ont été induits soit en colère, soit dans une humeur neutre en fonction du groupe auquel ils appartenaient. Un scénario d'induction a été développé en se basant sur l'étude de Stephens et Groeger (2011). Avec cette méthode, les auteurs ont obtenu des effets qui persistaient pendant plus de quinze minutes après l'induction. La consigne était de terminer le parcours le plus rapidement possible, tout en respectant le code de la route. Un chronomètre présent dans la voiture était programmé pour donner aux participants du groupe Colère un feedback négatif sur leur temps. Ainsi, ils étaient convaincus d'être plus lents que la moyenne afin d'intensifier la pression temporelle. De plus, ils étaient gênés par un 4x4 roulant à 15km/h en dessous de la limite autorisée afin que la colère générée soit dirigée vers ce véhicule. A certains moments du scénario, des événements générateurs de colère étaient présents (e.g., comportement agressif d'un autre usager envers le participant). Le groupe Contrôle a conduit sur le même scénario en recevant un feedback positif sur son temps. Le 4x4 roulait à la même vitesse que le participant et n'était donc pas considéré comme gênant. Pour le groupe Contrôle, aucun événement générateur de colère n'était présenté.

L'efficacité de la procédure d'induction a été mesurée en utilisant une version modifiée du Brief Mood Introspection Scale (BMIS ; Mayer & Gaschke, 1988), adaptée par Corson et

Verrier (2007). Ce questionnaire introspectif est composé de 16 adjectifs que les participants doivent noter sur une échelle en 7 points en fonction de ce qu'ils ressentent sur le moment. Les 16 adjectifs renvoient à 4 émotions (*i.e.*, Colère, Tristesse, Joie, Sérénité) et les notes données pour chacun de ces adjectifs permettent d'obtenir des scores de valence et d'arousal, les deux dimensions principales d'un état émotionnel.

- Suivi de véhicule

Les participants avaient pour consigne de suivre et répliquer la vitesse du véhicule qui les précédait. Ce véhicule modifiait son allure à une fréquence pseudo-aléatoire entre .01 et .03 Hz, soit entre 0.6 et 2.4 changements d'allure par minute, avec une amplitude de 20 km/h (entre 70 et 90 km/h). Par moment, il gardait une vitesse constante de 70 ou 90 km/h pendant 10 secondes. La performance de suivi de véhicule a été mesurée à l'aide des trois indicateurs de suivi de véhicule (*i.e.*, cohérence, modulus et délai) ainsi que le temps inter-véhiculaire (TIV). Douze piétons étaient positionnés le long de ce parcours, et les participants avaient pour consigne de les détecter le plus rapidement possible, tout en complétant la tâche de suivi.

- Apparatus

L'expérimentation s'est déroulée dans le simulateur de conduite à base fixe du Laboratoire Exploitation, Perception, Simulateurs et Simulations (LEPSiS). Ce simulateur est composé d'une Peugeot 308 entourée par 8 écrans (220 cm de haut × 165 cm de large) offrant un champ de vision horizontal de 280°, et vertical de 40°. Cinq écrans placés en face de la voiture permettaient d'obtenir la vision de devant. Les trois autres écrans placés à la droite et à l'arrière permettaient aux participants d'avoir la vision grâce aux rétroviseurs latéral droit et central. Un écran de 22 pouces placé sur la gauche du véhicule permettait au conducteur de voir l'environnement de conduite à l'aide du rétroviseur gauche.

Procédure

Après avoir rempli le formulaire de consentement éclairé, les participants ont effectué une session d'entraînement afin de se familiariser avec le simulateur, la tâche de suivi et la tâche de détection de piétons. Par la suite, ils ont conduit sur un premier scénario expérimental de 12 minutes (Expérimental 1). Dans ce scénario les participants étaient en situation de double tâche : la tâche de suivi de véhicule couplée à la tâche de détection de piétons. Après le scénario Expérimental 1, les participants ont conduit sur le scénario d'induction correspondant à leur groupe (Colère ou Contrôle) pendant 15 minutes. Pour finir, ils ont conduit sur le deuxième scénario expérimental de 12 minutes (Expérimental 2) dans lequel ils devaient compléter à nouveau les deux tâches du scénario Expérimental 1.

Résultats

Induction

Les résultats du BMIS ont montré une efficacité de l'induction très variable selon les individus. Afin de mesurer les effets réellement imputables à l'état émotionnel des participants, les analyses statistiques ont été menées uniquement avec les participants du groupe Colère ayant obtenu une augmentation de leurs scores de valence (*i.e.*, note moyenne attribuée aux adjectifs renvoyant à la colère) et d'arousal (*i.e.*, note moyenne attribuée aux adjectifs définissant l'arousal) après l'induction (Valence moyenne colère = 2.06, *ET* = 1.27 ; Arousal moyen = 4.36, *ET* = 0.44). Pour le groupe Contrôle, les participants inclus dans les analyses sont ceux qui ont obtenu des scores équivalents ou une diminution de leurs scores de valence et d'arousal après l'induction neutre (Valence moyenne colère = 1.16, *ET* = 0.45 ; Arousal moyen = 3.92, *ET* = 0.32).

Les analyses suivantes ont été menées avec les 35 participants qui ont été correctement induits. Ainsi, le groupe Colère était composé de 18 participants (*M* = 29 ans, *ET* = 7 ; 8 femmes), et le groupe Contrôle de 17 participants (*M* = 33 ans, *ET* = 6 ; 5 femmes).

Performance de suivi

Les résultats obtenus pour chaque indicateur de la performance de conduite sont présentés dans le tableau 1. Afin de ne pas tenir compte des différences inter-individuelles présentes au

scénario Expérimental 1, un score d'évolution a été calculé pour chaque indicateur de la performance de conduite (Figure 1).

Tableau 1

Moyenne (ET) obtenue pour chaque indicateur de performance par les deux groupes, selon le scénario expérimental

	Expérimental 1		Expérimental 2	
	Colère	Contrôle	Colère	Contrôle
Cohérence	0,834(0,10)	0,829(0,09)	0,862(0,09)	0,872(0,09)
Modulus	0,944(0,15)	0,928(0,15)	0,924(0,15)	0,857(0,23)
Délai (en ms)	2537(907)	3015(994)	2792(885)	2503(552)
TIV (en ms)	1639(482)	1690(323)	1690(369)	1747(329)

Ces scores d'évolution ont été obtenus par la soustraction des scores du scénario Expérimental 1 aux scores du scénario Expérimental 2 (e.g., évolution de la cohérence = cohérence de Expérimental 2 – cohérence de Expérimental 1). Par la suite, 4 ANOVAs à un facteur ont été menées pour tester les effets de l'induction sur les scores d'évolution des quatre indicateurs de performance de conduite (évolution de la cohérence, du modulus, du délai, et du TIV). Ces analyses ont mis en évidence un effet principal de l'induction sur le score d'évolution du délai ($F(1, 33) = 4.66$, $MSE = 5.13$, $p < .05$). Le groupe Contrôle a montré une diminution du délai entre Expérimental 1 et Expérimental 2 alors le groupe Colère a conservé un délai similaire pendant le deuxième scénario expérimental. Aucun effet significatif n'a été trouvé pour l'évolution de la cohérence, ($F < 1$), du Modulus ($F < 1$), et du TIV ($F < 1$).

Discussion

Le but de cette étude était d'évaluer l'influence de la colère sur la capacité d'adaptation à la vitesse du trafic.

Comme suggéré par Stephens et al. (2013), nous avons décidé de recruter nos participants en fonction de leur trait de colère en conduite afin de maximiser l'efficacité de l'induction. En effet, les individus ayant un fort trait de colère en conduite ressentiraient plus facilement cette émotion que les autres, même dans des situations peu génératrices de colère (Deffenbacher et al., 2002 ; Stephens & Groeger, 2009). Malgré cela, la procédure d'induction n'a pas eu l'efficacité escomptée chez certains participants. A l'avenir, l'induction de la colère pourrait s'effectuer en combinant l'induction par la situation de conduite, et une procédure d'induction classique telle que le rappel autobiographique (*voir* Jallais & Gilet, 2010).

L'hypothèse initialement émise selon laquelle l'induction causerait une diminution de la cohérence et une augmentation du modulus n'a pas été confirmée. Cette hypothèse a été formulée à partir de plusieurs effets observés dans la littérature. En effet, des études utilisant des questionnaires, mais aussi de la conduite réelle ou simulée ont montré que la colère peut induire une vitesse plus élevée ainsi que des accélérations et freinages plus brusques (*e.g.*, Abdu et al., 2012 ; Deffenbacher et al., 2002 ; Roidl, Frehse, & Hoeger, 2014b ; Stephens & Groeger, 2012). Cependant, ces études n'utilisaient pas une tâche de suivi de véhicule. Par exemple, Roidl et al. (2014) ont mesuré les performances de conduite alors que leurs participants conduisaient avec une consigne induisant une pression temporelle (*i.e.*, conduire comme s'ils étaient en retard). La consigne était alors propice à l'émergence d'une plus grande prise de risques de la part des conducteurs éprouvant de la colère. Or, dans notre étude, il leur était explicitement demandé de s'adapter à la vitesse du véhicule à suivre. Par conséquent, il est envisageable que les effets de la colère sur la vitesse et les puissances d'accélérations puissent être modulés par les objectifs que les conducteurs tentent d'atteindre.

Concernant le délai, les analyses ont révélé que le groupe Contrôle a obtenu un score de délai plus faible pendant le scénario Expérimental 2 comparé au scénario Expérimental 1. En d'autres termes, ils étaient plus rapides à réagir face aux changements d'allure du véhicule à suivre lorsqu'ils complétaient la tâche pour la deuxième fois. Ceci pourrait indiquer un effet d'apprentissage. L'absence d'amélioration du délai constatée pour notre groupe Colère pourrait indiquer que l'induction a modifié le fonctionnement attentionnel de ces participants, ne leur permettant pas de bénéficier de cet effet d'apprentissage. Deux effets possibles sur

l'attention pourraient expliquer ces résultats : une diminution des ressources attentionnelles disponibles, ou une modification dans la façon dont les conducteurs ont alloué leurs ressources aux différentes tâches. D'une part, la colère peut avoir diminué la quantité de ressources attentionnelles disponibles pour analyser la scène de conduite. En effet, ces conducteurs pourraient avoir été distraits par une rumination de leur colère (Denson, 2013). De plus, la colère peut provoquer un ralentissement de la vitesse de traitement de l'information (e.g., Jallais et al., 2014). L'apparition de ruminations ainsi qu'un ralentissement du traitement cognitif pourraient donc perturber la détection des informations, au point de causer une augmentation du délai. D'autre part, la faible quantité de ressources attentionnelles encore disponibles pour analyser la scène de conduite auraient pu être détournées de la tâche de suivi. La consigne de détection aurait pu entraîner, pour les participants en colère, une focalisation sur l'exploration de l'environnement de conduite. Une mobilisation prioritaire de l'attention sur la détection des piétons pourrait avoir diminué la quantité de ressources attentionnelles disponibles pour le suivi. Lors de cette expérimentation, nous avons également recueilli les données oculométriques et les vitesses de détection de piétons. De futures analyses sur ces données nous permettront de savoir si la colère représente un risque de collisions à cause de la distraction qu'elle provoque, ou si elle entraîne une modification de la façon dont les conducteurs utilisent leurs ressources attentionnelles.

Ranney et al. (2005), ont constaté que les conducteurs distraits ont eu tendance à mettre en place des stratégies telles qu'une augmentation du TIV permettant de compenser leur manque de réactivité. Toutefois, il n'existait pas de différence significative entre nos deux groupes concernant l'évolution du TIV. Dans une situation où le véhicule à suivre freinerait brusquement, les participants du groupe Colère, qui n'ont pas amélioré leur délai, seraient probablement plus lents à réagir que les participants du groupe Contrôle. De plus, les deux groupes ont montré évolution similaire de leur TIV. Les conducteurs du groupe Colère seraient alors dans une situation plus dangereuse, notamment avec un plus grand risque de collision par l'arrière. Il est intéressant de noter, que les collisions par l'arrière représentaient un tiers des accidents aux Etats-Unis en 2010 (NHTSA, 2012). Ce sont en majorité des accidents causés par l'inattention du conducteur qui surviennent lorsqu'il ne parvient pas à adapter sa vitesse à la celle du trafic, ou lorsqu'il ne perçoit pas le ralentissement du véhicule qui le

précède (Baldock, Long, Lindsay, & McLean, 2005). Il semble donc nécessaire de continuer les recherches afin de comprendre le lien possible entre la colère et ce type de collisions.

L'utilisation d'un simulateur de conduite dans notre étude peut avoir réduit la perception du risque chez les conducteurs. En effet, sur route réelle, Ranney et al. (2005) avaient constaté l'augmentation du TIV comme mécanisme de compensation à un délai faible. En dehors de tout débat sur l'immersion dans un simulateur de conduite, nous pouvons nous demander si les résultats de notre étude pourraient être répliqués en la menant sur route réelle, à l'instar de Brookhuis et al. (1994). Ces résultats pourraient nous donner un indice sur la capacité de ces conducteurs à percevoir les dangers dans une situation de conduite, sachant que la colère tend à amplifier à tort l'optimisme des individus (Lerner & Tiedens, 2006).

Pour conclure, la colère au volant soulève plusieurs questions relatives à la sécurité routière, notamment celles de la réactivité et de la perception des risques. Toutefois, la performance de conduite, telle que mesurée dans notre étude, ne nous permet pas de démontrer clairement que la colère serait une source d'insécurité routière. Il semble nécessaire de poursuivre les recherches afin de mieux comprendre l'impact potentiel de la colère sur la sécurité routière.

Bibliographie

- Abdu, R., Shinar, D., & Meiran, N. (2012). Situational (state) anger and driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 15(5), 575–580.
- Baldock, M., Long, A., Lindsay, V., & McLean, A. (2005). *Rear end crashes* (No. CASR018). Adelaide: Centre for Automotive Safety Research.
- Brookhuis, K., Waard, D. D., & Mulder, B. (1994). Measuring driving performance by car-following in traffic. *Ergonomics*, 37(3), 427–434. doi:10.1080/00140139408963661
- Chan, M., & Singhal, A. (2013). The emotional side of cognitive distraction: Implications for road safety. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 147–154. doi:10.1016/j.aap.2012.04.004
- Corson, Y., & Verrier, N. (2007). Emotions and False Memories Valence or Arousal? *Psychological Science*, 18(3), 208–211. doi:10.1111/j.1467-9280.2007.01874.x

- Deffenbacher, J. L., Lynch, R. S., Oetting, E. R., & Swaim, R. C. (2002). The Driving Anger Expression Inventory: A measure of how people express their anger on the road. *Behaviour Research and Therapy, 40*(6), 717–737.
- Denson, T. F. (2013). The Multiple Systems Model of Angry Rumination. *Personality and Social Psychology Review, 17*(2), 103–123. doi:10.1177/1088868312467086
- 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.
- Harmon-Jones, E., Gable, P. A., & Price, T. F. (2013). Does Negative Affect Always Narrow and Positive Affect Always Broaden the Mind? Considering the Influence of Motivational Intensity on Cognitive Scope. *Current Directions in Psychological Science, 22*(4), 301–307. doi:10.1177/0963721413481353
- Jallais, C., Gabaude, C., & Paire-ficout, L. (2014). When emotions disturb the localization of road elements: Effects of anger and sadness. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 23*, 125–132. doi:10.1016/j.trf.2013.12.023
- Jallais, C., & Gilet, A.-L. (2010). Inducing changes in arousal and valence: Comparison of two mood induction procedures. *Behavior Research Methods, 42*(1), 318–325. doi:10.3758/BRM.42.1.318
- Jeon, M., Walker, B. N., & Yim, J.-B. (2014). Effects of specific emotions on subjective judgment, driving performance, and perceived workload. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 24*, 197–209. doi:10.1016/j.trf.2014.04.003
- Lerner, J. S., & Tiedens, L. Z. (2006). Portrait of the angry decision maker: how appraisal tendencies shape anger's influence on cognition. *Journal of Behavioral Decision Making, 19*(2), 115–137. doi:10.1002/bdm.515
- Mayer, J. D., & Gaschke, Y. N. (1988). The experience and meta-experience of mood. *Journal of Personality and Social Psychology, 55*(1), 102–111. doi:10.1037/0022-3514.55.1.102
- NHTSA. (2012). *Traffic Safety Facts 2010: a compilation of motor vehicle crash data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System* (Tech. Rep. No. DOT HS 811659). Washington, DC, USA: U.S National Highway Traffic Safety Administration.

- Ranney, T. A., Harbluk, J. L., & Noy, Y. I. (2005). Effects of Voice Technology on Test Track Driving Performance: Implications for Driver Distraction. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 47(2), 439–454. doi:10.1518/0018720054679515
- Roidl, E., Frehse, B., & Hoeger, R. (2014a). Emotional states of drivers and the impact on speed, acceleration and traffic violations-A simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 70, 282–292. doi:10.1016/j.aap.2014.04.010
- Roidl, E., Frehse, B., & Hoeger, R. (2014b). Emotional states of drivers and the impact on speed, acceleration and traffic violations-A simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 70, 282–292. doi:10.1016/j.aap.2014.04.010
- Stephens, A. N., & Groeger, J. A. (2009). Situational specificity of trait influences on drivers' evaluations and driving behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(1), 29–39.
- Stephens, A. N., & Groeger, J. A. (2012). Driven by Anger: The Causes and Consequences of Anger during Virtual Journeys. In *Advances in Traffic Psychology* (pp. 3–15). Ashgate.
- Stephens, A. N., Trawley, S. L., Madigan, R., & Groeger, J. A. (2013). Drivers Display Anger-Congruent Attention to Potential Traffic Hazards. *Applied Cognitive Psychology*, 27(2), 178–189. doi:10.1002/acp.2894
- Sullman, M. J. M. (2006). Anger amongst New Zealand drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9(3), 173–184.
- Sullman, M. J. M. (2015). The expression of anger on the road. *Safety Science*, 72, 153–159. doi:10.1016/j.ssci.2014.08.013
- Ünal, A. B., de Waard, D., Epstude, K., & Steg, L. (2013). Driving with music: Effects on arousal and performance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 52–65. doi:10.1016/j.trf.2013.09.004
- Underwood, G., Chapman, P., Wright, S., & Crundall, D. (1999). Anger while driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2F(1), 55–68.
- Villieux, A., & Delhomme, P. (2007). Driving Anger Scale, French adaptation: further evidence of reliability and validity. *Perceptual and Motor Skills*, 104(3 Pt 1), 947–957.

E. Annexe 5 : Article de conférence

Suite au Young Researchers Seminar organisé par la European Conference of Transport Research Institutes, un article a été rédigé pour présenter l'ensemble des résultats obtenus lors de la troisième étude de cette thèse.

Techer Franck^{1,2}, Jallais Christophe¹, Fort Alexandra¹, Chanut Odette¹, Ndiaye Daniel³, Moreau Fabien¹, Hugot Myriam¹, Corson Yves².

1: French institute of science and technology for transport, development and networks (IFSTTAR)-TS2-LESCOT

2: Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire (LPPL – EA 4638) Université de Nantes

3: French institute of science and technology for transport, development and networks (IFSTTAR)-COSYS-LEPSIS

E-mail: franck.techer@ifsttar.fr

Are car-following performance and pedestrian detection altered by anger?

Introduction

Negative emotions while driving are problematic because they could cause a focus on internal thoughts rather than on the driving task, increasing the risk of accident (e.g. Galera et al., 2012 ; Lagarde et al., 2004). Epidemiologic studies showed that drivers going through a divorce or a separation have a higher risk to be involved in serious traffic accidents (Lagarde et al., 2004). The drivers from this experiment can be assumed to have experienced negative emotions as a consequence of their separation. They may also have been distracted by their thoughts, which is a potential factor increasing the risk of serious accident. Galera et al. (2012) studied a population of drivers admitted to emergencies due to a road accident, and those who reported to be highly distracted by their thoughts were more likely to be responsible for the accident. According to those studies, experiencing a negative emotion like anger while driving could increase the risk of accident because of the attentional disruptions provoked by negative emotions.

It is especially interesting to study anger, since it is a commonly experienced emotion behind the wheel. It should be noted that anger can arise from the driving context itself, but also from an anger-inducing event prior to the driving task (e.g. Jeon, Walker, & Yim, 2014). Therefore, anger could either be related or unrelated to the driving task and deteriorate the attention in both situations. For example, participants induced in an anger state are slower to localize the elements of a picture representing a driving environment (Jallais, Gabaude, and Paire-ficout, 2014). In this study, anger was induced by a mood induction procedure that was not related to the task or the driving context, and led to a deterioration of the response speed. Besides, simulator studies that induced anger by the driving task found a reduction of speed in the reaction to unexpected hazards (Stephens, Trawley, Madigan, & Groeger, 2013). They underlined that this longer time necessary to perform corrective actions could be due to a more superficial processing of unexpected events. In this experiment, angry participants had troubles to follow the movements of pedestrians when the visual contact was interrupted by another vehicle. Surprisingly, in spite of being slower to react to those hazards, angry drivers were as efficient as the other drivers to avoid the possible collisions.

Considering that anger is a negative and highly aroused emotion eliciting a strong approach behavioural response and an attentional focus on its source (Fox, Russo, Bowles, & Dutton, 2001; Harmon-Jones, Gable, & Price, 2013), we can question the angry driver's ability to detect the potential hazards in the presence of the source of their anger. They may focus on the source of anger at the expense of seeking potential hazards.

In addition to its effects on attention, anger can also affect the driving behavior. Several studies using retrospective surveys revealed that driving in an anger state can lead to aggressive behaviors or transgressions (e.g. Deffenbacher, Lynch, Oetting, & Swaim, 2002). Moreover, questionnaire studies have shown that aggressive forms of anger expression were related to crashes and crash related situations (Sullman, 2015). However, this kind of study is not designed to provide an objective observation of the drivers' behavior. Studies using the driving simulator confirmed that the driving style could be modified by anger (e.g. Abdu, Shinar, & Meiran, 2012). They concluded that angry drivers tend to adopt a riskier driving style (faster speed, inter-vehicular time reduction, traffic laws infractions) but surprisingly, this risky driving was not correlated with the number of collisions. Although no increase in the number of crashes were observed in the simulator studies, they often suggested that anger may lead to

a faster speed and stronger accelerations (Mesken, Hagenzieker, Rothengatter, & de Waard, 2007; Roidl, Frehse, & Hoeger, 2014). For this reason, we suppose that anger may not directly impair the ability to avoid hazards, but it may interfere with the driver ability to control his speed, thereby indirectly affecting the crash hazard. To our knowledge, several studies have shown that anger may provoke maladaptive driving, but none of them clearly focused on the ability of angry drivers to adjust their speed to the actual situational traffic speed. In order to evaluate the effects of anger on the driving performance through the adaptation to the traffic speed variations, we need to use a task providing indicators of the driving performance on the basis of a realistic and standardized task suitable for driving simulators.

The car-following task created by Brookhuis, De Waard, and Mulder (1994) represents a mainstream situation in which the driver has to follow and adjust his speed so as to match a lead vehicle's (LV) speed, thus maintaining a constant inter-vehicular distance. The speed curve of the experimental vehicle is defined beforehand, and the comparison between the two speed signals provides three indicators of driving performance: *Coherence* is the squared correlation between the two speed signals, thus giving an indication about the general respect of the LV speed curve. *Modulus* represents the amplification factor between the two speed curves. In other words, modulus provides the tendency of the participant to overshoot or undershoot the speed changes of the LV. *Phase shift / Delay* is the lag between the LV speed changes, and the participant reactions. It represents the mean amount of time required by the driver, after a change in the LV speed signal, to start adjusting his pace. It should also be noted that the car-following task has been used in different contexts and seems reliable to reveal the effects of multiple kinds of contexts on the driving performance.

Among the different uses of the car-following task, the effect of mental effort on car-following performance has been studied. Ranney, Harbluk, and Noy (2005) found that the car-following performance could be reduced by a high mental effort. In their experiment, interacting with an in-vehicle computer while completing the car-following task provoked an increase in the delay, indicating that the drivers were slower to react to the speed changes of the LV. When their mental effort increased, the drivers completing a dual task automatically extended their inter-vehicular distance in order to cope with the deterioration of delay. On the other hand, Ünal, de Waard, Epstude, and Steg (2013) showed that in a monotonous task, the mild arousal induced by music could improve the following performance. In their experiment, drivers had a better latency to speed changes when they listened to music in a monotonous and highly predictable environment. Consequently, we think that anger, by the high arousal it provokes, could impact the car-following performance, particularly in a high demanding situation like a double task. Moreover, we found no study using the car-following task to report an effect of anger on the driving performance.

The objective of this study is twofold. On one hand, we will investigate the effects of anger on a pedestrian detection task. As mentioned above, anger could cause a focus on its source (Fox, Russo, Bowles, & Dutton, 2001; Harmon-Jones, Gable, & Price, 2013). Thus, the angry participants should be less efficient to detect the pedestrians when a source of anger is present. On the other hand, we will search for an influence of anger on the driving performance, using a car-following task. Given that anger tends to promote a faster speed and more powerful accelerations (Roidl et al., 2014), we suppose that the angry drivers would have a reduced coherence and an increased modulus: A reduced coherence would point at a difficulty for the Anger group to reproduce the general speed curve of the LV. An increased

modulus would indicate that the Anger group participants tend to overreact to the speed changes.

Method

Participants

Participants were recruited using an online preliminary questionnaire corresponding to the French adaptation of the Driving Anger Scale (DAS; Villieux & Delhomme, 2007).

Seventy-five drivers (24 to 45 years; $M = 31$, $SD = 6$) with normal vision and more than three years of driving experience completed the experiment and received a 60 Euros financial compensation. The 50 participants with the highest DAS scores were assigned to the Anger group and the others were assigned to the Control group. After removing 14 participants due to simulator sickness, a total of 61 participants (40 in Anger group; 21 in Control group) remained.

The research protocol was approved by the ethic committee of the French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks (IFSTTAR).

Material

- *Mood induction (MIP) and measurement*

Participants were induced either in anger or in a neutral mood according to their group. A 15 minutes induction scenario was developed, based on the study of Stephens and Groeger (2011). A timer present in the car was programmed to provide to the Anger group a negative feedback about the time that they took to finish the Induction drive. They were convinced to be slower than the average driver in order to increase the time pressure. In addition, they were impeded by an anger-inducing vehicle driving before them around 15km/h under the authorized speed. At some points of the scenario, anger inducing events (e.g. a vehicle honking at the participant) were displayed. The control group drove the same scenario with a positive feedback about their completion time, and the anger-inducing vehicle drove at the same speed as the participant, thus was not perceived as impeding. Finally, the anger inducing events were absent for the control group.

The MIP efficiency was measured using a modified version of the Brief Mood Introspection Scale (BMIS; Mayer & Gaschke, 1988) developed by Corson and Verrier (2007). The BMIS is a 16-item self-report questionnaire in which each adjective is rated on a 7-point scale. The 16 adjectives in this test correspond to 4 adjectives per emotion (i.e. anger, happiness, sadness and calmness) and provide a score for the valence and the arousal dimensions of the emotional state.

- *Car-following*

The lead vehicle (LV) speed was shifting between .01 and .03 Hz with 20 km/h amplitude (70 to 90 km/h). Occasionally, the LV kept a 70 or 90km/h constant speed for 10 second. The driving performance was measured using the three car-following indicators (i.e. coherence, modulus, phase shift) and the inter-vehicular time.

- *Pedestrian detection*

In the detection task, pedestrians were positioned at 60cm at the left or the right side of the road. They were always placed behind voluminous objects like houses, trees or bus shelters in order to be visible from a 3 second distance approximately. The pedestrian detection performance was measured using the response times and the distance of detection

- *Apparatus*

The experiment took place in the Laboratory for Road Operations, Perception, Simulators and Simulations (LEPSiS) fixed-base car driving simulator at IFSTTAR. This simulator was composed of a Peugeot 308 surrounded by 8 screens (220 cm high × 165cm wide) providing around 280° horizontal and 40° vertical field of view. The five screens placed in the front of the vehicle provided the forward view and the three others screens placed at the rear and the right side of the vehicle allowed the participant to see the driving environment through the right and central rear mirrors. A 22" screen placed on the left side of the vehicle allowed the participant to see the environment through the left rear mirror.

Procedure

After completing the informed consent form, participants drove the Training session in order to familiarize themselves with the driving simulator, the car-following task, and the pedestrian detection task. Afterwards, they completed a first experimental scenario (Experimental 1). This scenario consisted of the car-following task in which they were instructed to follow and replicate the vehicle speed of the car in front of them (Brookhuis et al., 1994). In addition to the car-following task, participants had to detect all the pedestrians placed along the road. Those pedestrians could either be placed alone (Pedestrian), at the opposite side of a neutral vehicle (Pedestrian-Neutral), or at the opposite side of the anger-inducing vehicle present in the Induction scenario (Pedestrian-Anger). A total of 12 pedestrians were presented, but the participants were not informed about this number.

After the Experimental 1 scenario, participants drove the induction drive according to their group. They were instructed to finish the track as fast as possible while respecting the traffic laws.

Finally, they completed the second experimental scenario (Experimental 2) in which they had to complete the double task situation performed in the Experimental 1 scenario one more time.

Results

- *Mood induction*

The Anger group was composed of the participants with the highest DAS scores in order to maximize the effects of anger induction. Nevertheless, the mood induction led to a high variability of effects between the participants. Therefore, we decided to continue the analysis only for those participants in the Anger group who reported an increase in the arousal and the anger ratings (Mean anger ratings = 2.06, Mean arousal ratings = 4.36) and with the participants in the Control group who did not report more anger or arousal after the induction (Mean anger ratings = 1.16, Mean arousal ratings = 3.92).

The following analyses were carried out with the 35 participants who were successfully induced, and who did not suffer from simulator sickness. The Anger group was composed of

18 participants ($M = 29$ years, $SD = 7$; 8 females), and 17 participants formed the Control group ($M = 33$ years, $SD = 6$; 5 females).

- *Car-following performance*

A shift score was calculated for each indicator of the driving performance in order to report the differences in driving performance induced by the induction scenario. Shifts scores were obtained by subtracting the Experimental 1 scores from the Experimental 2 scores (e.g. coherence shift = Experimental 2 coherence – Experimental 1 coherence). Then, four one-way ANOVAs were carried out to test the effect of the Group (Anger/Control) on the four driving performance indicators (Coherence shift, Modulus shift, Delay shift and inter-vehicular time shift).

These analyses revealed an effect of the Group on the Delay shift $F(1, 33) = 4.66$, $\eta^2 = 0.124$, $p < .05$. The Control group had a greater Delay shift than the Anger group, showing that they reacted faster to the speed changes of the lead vehicle in the second experimental drive. No significant effect of the Group was found concerning the Coherence shift ($F(1, 33) < 1$, *n.s.*), the Modulus shift ($F(1, 33) < 1$, *n.s.*), and the TIV shift ($F(1, 32) = 1.81$, $\eta^2 = 0.052$, $p = .19$).

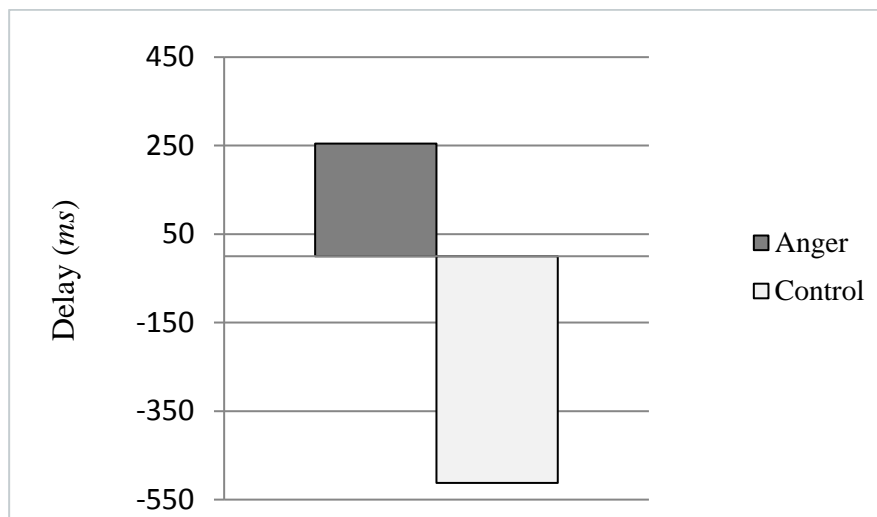


Figure 1: Delay shift (Experimental 2 delay - Experimental 1 delay) for each induction Group (Anger/Control)

- *Pedestrian detection performance*

Due to a technical issue, the detection data for one participant from the Control group was not exploitable. Consequently, the following analyses were performed for the 34 remaining participants.

In order to avoid the predictability of the targets, the pedestrian detection task was not the same in both experimental scenarios letting the comparison between them impossible. Thus, separate analyses for both scenarios were conducted.

Response Time

For each Experimental scenario (Experimental 1/Experimental 2) an ANOVA was carried out with the Group (Anger/Control) as a between subject factor and pedestrian condition (Pedestrian/Pedestrian Neutral/Pedestrian Anger).

The first analysis was carried out with the mean response times (RT) of the Experimental 1 scenario as a dependent variable, and revealed a main effect of the pedestrian condition ($F(2, 64) = 4.61, \eta^2 = 0.126, p < .05$), and no significant effect of the Group ($F(1, 32) < 1, n.s.$). Planned comparisons showed that the mean RT of the pedestrian-neutral ($M = 1460\text{ ms}$) was shorter than the mean RT of the pedestrian-anger ($M = 1735\text{ ms}$), $F(1, 32) = 4.50, \eta^2 = 0.123, p < .05$, and tended to be shorter than the mean RT of the pedestrian ($M = 1593$), $F(1, 32) = 3.69, \eta^2 = 0.004, p = .06$. The difference between the mean RT of the pedestrian-anger and the pedestrian was not significant ($F(1, 32) < 1, n.s.$).

The second analysis was carried out with the mean RT of the Experimental 2 scenario as a dependent variable. This analysis revealed no significant effect of the Group ($F(1, 32) = 2.39, \eta^2 = 0.001, n.s.$), and no significant effect of the pedestrian condition ($F(2, 64) < 1, n.s.$).

- *Distance of detection*

The same analyses performed for the RT were carried out for the distance of detection. The first analysis with the mean distance of detection of the Experimental 1 scenario as a dependent variable revealed a main effect of the pedestrian condition $F(2, 64) = 9.78, \eta^2 = 0.234, p < .001$. However, no significant effect were found concerning the group ($F(1, 32) < 1, n.s.$). Planned comparisons showed that the mean distance of detection of the pedestrian-neutral ($M = 49\text{ m}$) was longer than the mean RT of the pedestrian ($M = 39\text{ m}$), $F(1, 32) = 5.66, \eta^2 = 0.150, p < .05$. Other planned comparisons were not significant ($F(1, 32) < 1, n.s.$).

The second analysis was carried out with the mean distance of detection of the Experimental 2 scenario as a dependent variable (Figure 2). This analysis revealed no significant effect of the Group ($F(1, 32) = 1.77, \eta^2 = 0.002, n.s.$), and no significant effect of the pedestrian condition ($F(2, 64) < 1, n.s.$). Planned comparisons showed a significant difference in the mean distance of detection between the Anger and the Control group when the pedestrian was placed alone ($F(1, 32) = 5.99, \eta^2 = 0.158, p < .05$). However, this difference was not significant for the Pedestrian Neutral condition ($F(1, 32) < 1, n.s.$), and the Pedestrian Anger condition ($F(1, 32) < 1, n.s.$).

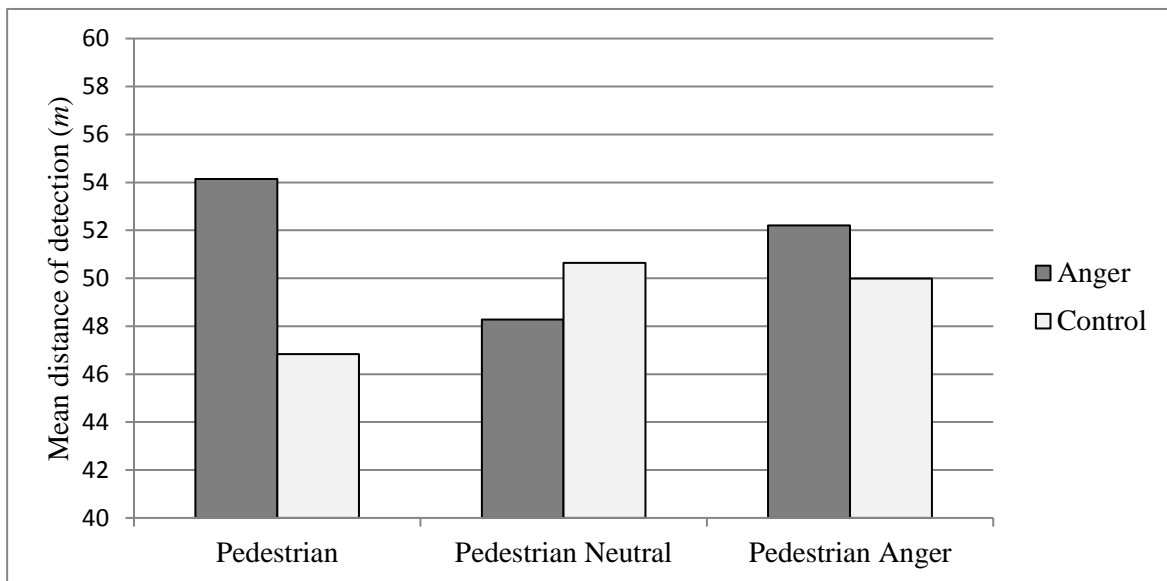


Figure 2: Delay shift (Experimental 2 delay - Experimental 1 delay) for each induction Group (Anger/Control)

Discussion

In this research, participants were induced in anger using a driving scenario so as to study its influence on driving performance and pedestrian detection.

As suggested by Stephens et al. (2013), we decided to recruit our participants according to their trait-anger while driving. Despite that, the anger ratings were not homogeneous for the participants induced in anger. The MIP seemed to be efficient to increase the anger valence and the arousal for 18 participants, but the remaining participants did not report a significant increase in the ratings for both dimensions concurrently. When debriefing with the rest of the Anger group participants who did not experience anger, some mentioned that they could not get angry because of the lack of realism of the driving simulator. Some participants even admitted that they did not take the timer into account because they knew that they were too slow to finish under the suggested time. These results could mean that in a situation where there is no chance of success, some of the drivers with a high trait-anger used efficient coping strategies to avoid the apparition of anger. However, this interpretation would not be consistent with the fact that trait-anger is negatively correlated with the adaptive/constructive behavior (Deffenbacher, Lynch, Oetting, & Yingling, 2001). Future researches may try to combine classical anger induction procedures and the anger-evoking scenarios in order to report a more powerful induction.

However, with the objective of studying the influence of an anger-state evoked by the driving situation, we decided to select only the participants who reported a noteworthy induction. Our

two groups composed in this way were significantly different in the valence and the arousal ratings, thus we were able to perform the statistical analyses.

Initially, we expected the anger induction to cause a reduction in coherence and an increase of the modulus because the angry drivers tend to drive at a higher speed and with higher accelerations (Roidl et al., 2014). Our hypotheses were not supported. A possible explanation is that the anger induced may have not reach a sufficient level to provoke the behavioral modifications observed in the literature (e.g. Abdu et al., 2012; Mesken et al., 2007; Roidl et al., 2014)

However, an interesting effect of the induction on the delay was found. It appears that the Control group had a shorter delay in the Experimental 2 compared to the Experimental 1 scenario. In other words, they were faster to react to the speed changes of the lead vehicle (LV). This improvement in the following performance could reveal a benefit from the training represented by the Experimental 1 scenario. However, the Anger group did not follow the same pattern of results. Their delay was similar when the first and the second experimental scenario are compared. This may indicate that the Anger group participants could be less attentive to the speed changes of the LV compared to the Control group. According to the literature about the influence of emotions on the attention (e.g. Fox et al., 2001; Harmon-Jones et al., 2013), this effect could be a consequence of the distraction evoked by anger. This lack of improvement for the Anger group participants could also reveal that angry drivers prioritized the pedestrian detection task at the expense of the car-following performance. The results obtained for the detection task could help to decide the most probable interpretation. If the Anger group detected the pedestrians slower and from a shorter distance than the Control group, we may explain their car-following performance by a distraction provoked by anger. On the contrary, if the Anger group detected the pedestrians faster and from a longer distance, we would conclude that they may have prioritized the detection task.

Concerning the pedestrian detection task, we assumed that in the presence of the source of anger, the Anger group participants would have a focus on the anger-inducing vehicle. We predicted that the angry participants would have detected the pedestrians in the Pedestrian-Anger condition in a slower time and from a shorter distance compared to the Control group. Our hypotheses were not supported. Moreover, no significant effects were revealed by the analyses carried out on the response times whereas an effect was found concerning the distance of detection. The analyses performed on the distance of detection for the various pedestrian conditions did not provide any evidence of a distraction induced by the anger-inducing vehicle. Contrary to our hypotheses, both groups reported similar distances of detections in the Pedestrian-Neutral and the Pedestrian-Anger conditions, indicating that the type of vehicle had no incidence on the detection performance. A first possible explanation is that the participants did not assume that the vehicle, in the Pedestrian Anger condition, was the same as in the Induction scenario. The fact that the Experimental scenarios and the Induction scenarios were split by the mood check may have indicated to the participants that the three scenarios were not related. Consequently, they may not have associated the Anger vehicle in the Experimental scenarios as the source of their anger. Another possible explanation is that in those two conditions the vehicle may have represented a cue inciting the drivers to search for the targets. Therefore, both groups could have been in a high state of preparation to detect the pedestrians facing a vehicle.

Finally, we noticed that the detection distance was affected by the anger induction only when pedestrians were placed alone. Even though they were initially comparable, the Anger group

had a significantly longer distance of detection than the Control group in the second experimental scenario. According to the hypothesis mentioned above, this enhanced detection for pedestrians presented alone could indicate that the Anger group participants focused uppermost on the detection task rather than the car-following. When the pedestrian was alone, the attentional resources that were not invested in the car-following task could have been exploited to seek the pedestrians. One possible explanation is that anger seems to promote heuristic processing (see Angie, Connelly, Waples, & Kligyte, 2011 for a meta-analysis). Thus, the Anger group could take more time to notice that the lead vehicle modified its pace because the speed change may have to be more important to be noticed. Stephens et al. (2013) studied the effect of anger on the detection of unexpected hazards. They concluded that angry drivers are slower to break or avoid a pedestrian jaywalking when the vision was disrupted. In our experiment, we only assessed the detection performance, but this task does not require a further processing about the risky dimension of the situation. Indeed, drivers experiencing anger may detect the pedestrians from a longer distance while being slower to consider them as a potential hazard. Future studies could confirm this hypothesis by requiring the participants to detect the pedestrians as fast as they can, and to brake only if they consider it as hazardous.

Conclusion

The study presented here provided new elements helping to understand the relationship between anger, driving performance, and pedestrian detection. Our experiment placed the drivers in an environment requiring to follow traffic speed changes of a lead car while being cautious about pedestrians. It seems that drivers experiencing anger tended to detect the pedestrians from a longer distance when the pedestrians were presented alone. This result could indicate that the Anger group was more concentrated on the pedestrian detection at the detriment of the reactivity to the speed changes of the lead vehicle. Future studies could be designed so as to reveal a possible prioritization of the pedestrian detection to the expense of the adaptation to the traffic speed variations.

- Abdu, R., Shinar, D., & Meiran, N. (2012). Situational (state) anger and driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *15*(5), 575-580.
- Angie, A., Connelly, S., Waples, E., & Kligyte, V. (2011). The influence of discrete emotions on judgement and decision-making: A meta-analytic review. *Cognition & Emotion*, *25*(8), 1393-1422. doi:10.1080/02699931.2010.550751
- Brookhuis, K., Waard, D. D., & Mulder, B. (1994). Measuring driving performance by car-following in traffic. *Ergonomics*, *37*(3), 427-434. <http://doi.org/10.1080/00140139408963661>
- Deffenbacher, J. L., Lynch, R. S., Oetting, E. R., & Swaim, R. C. (2002). The driving anger expression inventory: A measure of how people express their anger on the road. *Behaviour Research and Therapy*, *40*(6), 717-737.
- Deffenbacher, J., Lynch, R., Oetting, E., & Yingling, D. (2001). Driving anger: Correlates and a test of state-trait theory. *Personality and Individual Differences*, *31*(8), 1321-1331.
- 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.
- Galera, C., Orriols, L., M'Bailara, K., Laborey, M., Contrand, B., Ribereau-Gayon, R., ... Lagarde, E. (2012). Mind wandering and driving: responsibility case-control study. *BMJ*, *345*(dec13 8), e8105-e8105. <http://doi.org/10.1136/bmj.e8105>
- Harmon-Jones, E., Gable, P., & Price, T. (2013). Does negative affect always narrow and positive affect always broaden the mind? Considering the influence of motivational intensity on cognitive scope. *Current Directions in Psychological Science*, *22*(4), 301-307. doi:10.1177/0963721413481353
- Jeon, M., Walker, B. N., & Yim, J.-B. (2014). Effects of specific emotions on subjective judgment, driving performance, and perceived workload. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *24*, 197-209. <http://doi.org/10.1016/j.trf.2014.04.003>
- Lagarde, E., Chastang, J.-F., Gueguen, A., Coeuret-Pellicer, M., Chiron, M., & Lafont, S. (2004). Emotional stress and traffic accidents: the impact of separation and divorce.

Epidemiology (Cambridge, Mass.), 15(6), 762-766.

Mesken, J., Hagenzieker, M. P., Rothengatter, T., & de Waard, D. (2007). Frequency, determinants, and consequences of different drivers' emotions: An on-the-road study using self-reports, (observed) behaviour, and physiology. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(6), 458-475.

Roidl, E., Frehse, B., & Hoeger, R. (2014). Emotional states of drivers and the impact on speed, acceleration and traffic violations-A simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 70, 282-292. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2014.04.010>

Stephens, A., Trawley, S., Madigan, R., & Groeger, J. (2013). Drivers display anger-congruent attention to potential traffic hazards. *Applied Cognitive Psychology*, 27(2), 178-189. doi:10.1002/acp.2894

Sullman, M. (2015). The expression of anger on the road. *Safety Science*, 72, 153-159. doi:10.1016/j.ssci.2014.08.013

Ünal, A., de Waard, D., Epstude, K., & Steg, L. (2013). Driving with music: Effects on arousal and performance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 52-65. doi:10.1016/j.trf.2013.09.004

Villieux, A., & Delhomme, P. (2007). Driving anger scale, french adaptation: further evidence of reliability and validity. *Perceptual and Motor Skills*, 104(3 Pt 1), 947-957.

F. Annexe 6 : Article de conférence

A l'occasion de la European Conference on Human Centered Design for Intelligent Transport Systems se déroulant les 30 juin et 01 juillet 2016 plusieurs études (dont les deux premières de cette thèse) ont été présentées. Par la suite, un article de conférence a été rédigé.

ANGER AND DRIVING: TOWARDS THE ADAPTATION OF ADAS

F. Techer, C. Jallais, Y. Corson, and A. Fort

ABSTRACT: Anger is a commonly reported emotion in driving. It can lead to many behavioural modifications. Like other negative emotions, anger may promote attentional failures in driving which are attributable to mind-wandering. Besides positive expected impacts, advanced driving assistance systems (ADAS), can also increase cognitive underload and reduce available attentional resources. Consequently, the detrimental effects of negative emotions may get even more threatening to road safety when driving with ADAS. A better comprehension of emotions in driving would allow an adaptation of ADAS to reach an optimal level of performance.

INTRODUCTION

This paper briefly summarises current concerns about anger and advanced driving assistance systems (ADAS) and the main solutions considered by researchers.

ANGER AND DRIVING

Anger is a frequently reported emotion while driving (1,2). Its impact on driving is not necessarily detrimental. Conjointly with a negative effect on the reactivity to traffic speed changes, it may improve the detection of pedestrians (3). However, anger increases the propensity of risk taking and number of infractions (4–8). It also adversely impacts the longitudinal and lateral control of the vehicle (9–11). Concerning the attentional dimension of driving, anger promotes a more superficial processing of the environment and a reduction of the attentional breadth (12), leading to stereotypical judgements, slower reaction to unexpected hazards, and a reduction in the situation awareness (6,13,14). According to Jeon and colleagues (9), the reduction of situational awareness may be the main factor explaining the effect of anger on excessive speeds. Additionally, anger promotes the emergence of ruminations (15) which means that the attentional resources of the drivers will often be directed towards internal thoughts unrelated to driving. Consequently, anger appears as a complex

issue for road safety because of its various effects on behaviour and cognition during the driving task.

NEGATIVE EMOTIONS AND ATTENTIONAL RESSOURCES WHILE DRIVING WITH ADAS

NEGATIVE EMOTIONS AND ATTENTIONAL DYNAMIC

The allocation of attentional resources on self-generated thoughts is commonly designated as “Mind-wandering”. Epidemiological studies about mind-wandering seem to be consistent about the hazardousness of this attentional state. For example, amongst a population of patients admitted in an emergency department due to a car crash, reported mind-wandering was the best predictor of the accident responsibility (16). Detrimental effects of mind-wandering on road safety may be explained because it is accompanied by perceptual decoupling, which means that attentional processes are not the reflect of sensory input (13). Mind-wandering seems to be particularly associated with negative moods (13,17). This is probably one of the reasons explaining the correlation between the occurrence of negative life events such as divorces or separations, and the prevalence of accidents (18). Altogether, studies suggest that negative emotions may be a threat to road safety because of the engendered attentional perturbations. Based on this statement, it seems clear that interaction between emotions and other sources of attentional perturbation should be taken seriously while designing future driving assistance systems.

IMPACT OF ADAS ON ATTENTIONAL RESOURCES

So far, most driving assistances focused on the task complexity reduction so as to increase available attentional resources in case of emergency situations, thus facilitating crash avoidance (19). Often, they opted for an automation of driving sub-tasks, which means that the vehicle was able to perform several tasks previously performed by the driver (20). This can lead to cognitive underload. Unfortunately, cognitive underload is as detrimental to the driving performance as cognitive overload. This counter-intuitive issue could be explained by considering that the quantity of available attentional resources is partly function of the task demands (21). However, for a benefit from informative ADAS such as forward collision warnings, attentional resources have to be available to process information given by the system (22).

Considering the impact of negative emotions on attentional resources in driving, the use of ADAS may not be as profitable as expected. Future studies should investigate about the way emotions interact with ADAS while driving.

IMPACT OF EMOTIONS WHILE DRIVING WITH ADAS

On this topic, Techer and colleagues (in preparation) assessed the impact of an angry state

on driving performance and attention when driving on car simulator with a forward collision warning system during a monotonous driving task. Reaction times, several behavioural metrics and electrophysiological data were recorded. Results revealed that an anger state impaired lateral control and impacted the nature of self-generated thoughts. Event-related potentials revealed that the nature of self-generated thoughts modified the attentional processing of target stimuli. This study contributes to a better comprehension of the influence of an anger state on attentional processing while driving with ADAS. It is important to keep studying how emotional states impact the attention and driving performance in order to prepare the introduction of future driving automation systems.

REDUCING THE DETRIMENTAL EFFECTS OF EMOTIONS ON DRIVING PERFORMANCE

Intuitively, two types of actions have been considered to reduce the effects of emotions on driving performance.

EMOTION REGULATION

On one hand, if a particular emotional state is a threat to road safety, a possible action might be to encourage drivers and help them to recover a more neutral mood. Most of the propositions about emotion regulation are based on the “process model” of emotion regulation (23). Since it is not always possible to change the driving environment, cognitive “reappraisal-down” is believed to be more appropriate strategy in order to prevent the apparition of irritability (24). This strategy consists of convincing the driver that the frustrating event which occurred was unintentional and less hazardous than perceived. However, for an increased efficiency, this method requires that the reappraisal message is displayed during a short time before or after the critical event. Emotion regulation have been found to be efficient to improve driving performance, avoid or reduce negative moods, and even reduce perceived workload (9,24). Another possible strategy of emotion regulation is to improve driver’s comfort, like creating an enjoyable atmosphere through coloured lights or playing music appreciated by the driver when he is in a bad mood. However, this implies that in-vehicle systems are able to discriminate different emotions.

SITUATIONAL AWARENESS IMPROVEMENT

On the other hand, an important proportion of driving errors such as speeding may be accountable to an impaired situational awareness (9). Thus, systems might provide useful information about critical events in order to raise drivers’ situational awareness, and thereby allow them to cope more efficiently with hazardous situations. Variables such as alerting systems reliability or timing of alert may impact the ADAS efficiency (25). Thus, it is conceivable that when attention is disrupted by emotional state, the optimal timing of alert may

change. Therefore, future ADAS may need to be adapted to cope with a particular emotional state's weaknesses or strengths. For example, a shorter delay between critical events and alerts would allow an earlier reaction to hazards through an improved situational awareness. This type of intervention can be applied for negative as much as positive states. However, each emotional state may impair a specific dimension of the driving performance. Ideally, future systems may only provide information corresponding to the weaknesses of driver's current state. Again, this kind of intervention requires that the system is aware of driver's emotional state.

Emotional regulation and situational awareness improvement strategies may also be complementary for ADAS efficiency improvement.

COMPLEMENTARY INTERVENTIONS

Jeon et al. (9) decided to evaluate the usefulness of an in-vehicle agent to improve driving performance of drivers accumulating integral and incidental anger induction. The in-vehicle agent using a speech-based interface provided either situational awareness or emotion regulation prompts. Both types of intervention efficiently improved driving performance and situational awareness, but the situational awareness agent was evaluated as more useful and friendly. Moreover, the in-vehicle agent reduced perceived workload for both groups. Further analyses revealed that this perceived workload reduction was due to scores decreases in different sub-dimensions of the perceived workload scale, which could be useful to adapt the agent to driver's specificities. Those two kinds of interventions seem to be complementary in order to adapt to drivers' specificities and current states.

However, despite promising experimental results, several improvements might be important for the conception of future driving assistance systems.

MAJOR IMPROVEMENT FOR FUTURE ADAS

SPECIFICITIES OF VARIOUS EMOTIONAL STATES

In driving, anger, happiness, and fear do not impact the driving performance and the attention in a same manner (10,26). Different moods may also positively affect a number of attentional variables. For example, previous research revealed that anger improves the pedestrian detection (3). Apart from a driving context, anger also increases the alerting network efficiency (27). Consequently, future systems should provide appropriate information in order to cope with the particular attentional needs of the driver, while taking advantage of the positive side of emotional states.

Moreover, according to the driver's current mood, the system should adjust the conditions of information transmission. For example, in the case of a speech-based interface, the characteristics of the system's voice may play an important role in the driver-car cooperation. Happy drivers seem to take a better advantage of an energetic speech system, while angry drivers will better cooperate with a more subdued system (28). Critical information presented in a style adapted to drivers' mood would promote human-car cooperation which may help

reaching an optimal level of performance.

However, emotional states, unlike personality traits, are able to change during the driving task. Therefore, another major issue is to be able to monitor in real time the emotional state of the driver. This issue may be reached by taking into account physiological and behavioural measures.

ONLINE DETECTION OF INTERNAL STATES

According to Lazarus (26), each emotional state contains an action tendency which goes along with a specific pattern of physiological activation. Consistently with this idea, merging a set of physiological variables seems to be an appropriate method towards the inference of driver's internal state. Several studies investigated about the physiological response associated with emotional states using variables such as heart rate, respiration, skin conductance or body temperature (1,5,29). For example, fear and anger, which are two negative and highly arousing emotions, seems to be distinguishable on the basis of the physiological patterns provoked (29). Physiological patterns have also been identified for mind-wandering using electroencephalography methods (27), revealing that perceptual decoupling occurring in mind-wandering is observable at a cortical level.

Taken together, the identification of emotional states and possible mind-wandering associated may be the first step towards an adaptation of ADAS.

FUTURE ISSUES

With the development of autonomous vehicles, technology will completely redefine the driver's role from an operator to a supervisor required to take over the car for emergency purposes. In the occurring of an urgent takeover, drivers should have an optimal situation awareness and enough cognitive resources to deal with the emergency manoeuvre. Thus, the effects of emotions on attention in driving will remain an important concern for road safety.

According to existing literature, four major axis have to be investigated in order to prevent potential threats for future road safety.

- Understand how various discrete emotional states affect driving performance and attentional processing of a driving situation.
- Further investigate about the impact of mind-wandering considering the nature of self-generated thoughts.
- Develop accurate real time monitoring of internal states including mind-wandering.
- Prepare future adaptive assistance systems able to identify critical information in the driving environment and deliver it in the more appropriate conditions corresponding to the driver current state.
- Investigate about optimal thresholds of alerting systems according to each emotional state in order to promote situational awareness.

BIBLIOGRAPHY

1. Mesken J, Hagenzieker MP, Rothengatter T, de Waard D. Frequency, determinants, and consequences of different drivers' emotions: An on-the-road study using self-reports, (observed) behaviour, and physiology. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav.* 2007;10(6):458-75.
2. Underwood G, Chapman P, Wright S, Crundall D. Anger while driving. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav.* 1999;2F(1):55-68.
3. Techer F, Fort A, Corson Y, Jallais C. Driving in an anger state: Impact on the car-following performance and the pedestrian detection. Oral presentation présenté à: 4th International Conference on Driver Distraction and Inattention; 2015 nov; Sydney, Australia.
4. Abdu R, Shinar D, Meiran N. Situational (state) anger and driving. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav.* 2012;15(5):575-80.
5. Deffenbacher JL, Deffenbacher DM, Lynch RS, Richards TL. Anger, aggression and risky behavior: A comparison of high and low anger drivers. *Behav Res Ther.* 2003;41(6):701-18.
6. Stephens A, Groeger JA. Anger-congruent behaviour transfers across driving situations. *Cogn Emot.* 2011;25(8):1423-38.
7. Stephens A, Groeger JA. Driven by Anger: The Causes and Consequences of Anger during Virtual Journeys. In: *Advances in Traffic Psychology.* Ashgate; 2012. p. 3-15.
8. Sullman MJM. The expression of anger on the road. *Saf Sci.* 2015;72:153-9.
9. Jeon M, Walker BN, Gable TM. The effects of social interactions with in-vehicle agents on a driver's anger level, driving performance, situation awareness, and perceived workload. *Appl Ergon.* sept 2015;50:185-99.
10. Jeon M, Walker BN, Yim J-B. Effects of specific emotions on subjective judgment, driving performance, and perceived workload. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav.* 2014;24:197-209.
11. Roidl E, Frehse B, Hoeger R. Emotional states of drivers and the impact on speed, acceleration and traffic violations-A simulator study. *Accid Anal Prev.* 2014;70:282-92.
12. Angie AD, Connelly S, Waples EP, Kligyte V. The influence of discrete emotions on judgement and decision-making: A meta-analytic review. *Cogn Emot.* 2011;25(8):1393-422.
13. Smallwood J, Schooler JW. The science of mind wandering: empirically navigating the stream of consciousness. *Annu Rev Psychol.* 2015;66:487-518.
14. Stephens AN, Trawley SL, Madigan R, Groeger JA. Drivers Display Anger-Congruent Attention to Potential Traffic Hazards. *Appl Cogn Psychol.* 2013;27(2):178-189.
15. Denson TF. The Multiple Systems Model of Angry Rumination. *Personal Soc Psychol Rev.* 2013;17(2):103-23.
16. Galera C, Orriols L, M'Bailara K, Laborey M, Contrand B, Ribereau-Gayon R, et al. Mind wandering and driving: responsibility case-control study. *BMJ.* 2012;345(dec13 8):e8105-e8105.
17. Smallwood J, Fitzgerald A, Miles LK, Phillips LH. Shifting moods, wandering minds: Negative moods lead the mind to wander. *Emotion.* 2009;9(2):271-6.

18. Lagarde E, Chastang J-F, Gueguen A, Coeuret-Pellicier M, Chiron M, Lafont S. Emotional stress and traffic accidents: the impact of separation and divorce. *Epidemiol Camb Mass.* 2004;15(6):762-6.
19. Young MS, Stanton NA. Attention and automation: New perspectives on mental underload and performance. *Theor Issues Ergon Sci.* 2002;3(2):178-94.
20. Parasuraman R, Riley V. Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. *Hum Factors J Hum Factors Ergon Soc.* 1997;39(2):230-53.
21. Young MS, Stanton NA. Malleable Attentional Resources Theory: A New Explanation for the Effects of Mental Underload on Performance. *Hum Factors J Hum Factors Ergon Soc.* 2002;44(3):365-75.
22. Bueno M, Fabrigoule C, Deleurence P, Ndiaye D, Fort A. An electrophysiological study of the impact of a Forward Collision Warning System in a simulator driving task. *Brain Res.* 2012;1470:69-79.
23. Gross JJ. The emerging field of emotion regulation: An integrative review. *Rev Gen Psychol.* 1998;2(3):271-99.
24. Harris H, Nass C. Emotion regulation for frustrating driving contexts. In ACM Press; 2011. p. 749.
25. Navarro J, Yousfi E, Deniel J, Jallais C, Bueno M, Fort A. The impact of false warnings on partial and full lane departure warnings effectiveness and acceptance in car driving. *Ergonomics.* 2016;0:1-30.
26. Jallais C, Gabaude C, Paire-Ficout L. When emotions disturb the localization of road elements: Effects of anger and sadness. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav.* 2014;23:125-32.
27. Techer F, Jallais C, Fort A, Corson Y. Assessing the impact of anger state on the three Attentional Networks with the ANT-I. *Emot Wash DC.* juin 2015;15(3):276-80.
28. Nass C, Jonsson I-M, Harris H, Reaves B, Endo J, Brave S, et al. Improving automotive safety by pairing driver emotion and car voice emotion. In ACM Press; 2005. p. 1973.
29. Stemmler G, Aue T, Wacker J. Anger and fear: Separable effects of emotion and motivational direction on somatovisceral responses. *Int J Psychophysiol.* nov 2007;66(2):141-53.

Thèse de Doctorat

Franck TECHER

Impact de la colère sur l'attention, le traitement de l'information et les performances en conduite simulée

Impact of anger on attention, information processing and performances in a simulated driving environment

Résumé

La colère est une émotion négative pouvant être à l'origine d'une conduite agressive, une sous-estimation des risques et un non-respect des règles du code de la route. Certaines de ces modifications pourraient être liées à une mauvaise perception de l'environnement ou une forme de distraction liée à la colère. L'objectif de cette thèse était d'étudier l'influence de la colère sur l'attention ainsi que sa répercussion sur les performances de conduite.

La première étude de cette thèse a montré que la colère peut améliorer l'efficacité du réseau attentionnel d'alerte. Cette amélioration du réseau d'alerte ayant été observée lors d'une tâche informatisée, une seconde expérimentation a permis de tester l'existence d'un tel effet lors une tâche de conduite simulée à l'aide de mesures comportementales et électroencéphalographiques. Les résultats indiquent que la colère a perturbé le contrôle de la trajectoire et réduit l'attention investie dans le traitement sensoriel de l'information. Enfin, la dernière étude, également sur simulateur, a révélé que la colère pouvait perturber la réactivité lors d'une tâche de suivi de véhicule, tout en ayant un impact positif sur la détection de piétons.

Les résultats de cette thèse renforcent l'intérêt de prendre en considération l'état interne du conducteur lors de la conception de véhicules ou d'aides à la conduite.

Mots clés : Colère, Attention, Conduite simulée, Emotions, Traitement de l'Information

Abstract

Anger is an emotional state that may lead to an aggressive behavior, a reduction of risk perception and an increase of driving offences. Some of these effects may be imputable to an impaired perception or a distraction related to anger. The aim of this thesis was to study the influence of anger on attention and its impacts on driving performances.

The first study revealed that anger may improve the alerting network efficiency as measured with a computer task. A second experimentation aimed at observing the presence of such effect during a simulated driving task, using behavioral and electroencephalographic data. Results indicate that anger disrupted lateral control while reducing the attentional resources invested in sensorial processing of information. Finally, the third study, also on simulator, showed that anger may alter the reactivity during a car-following situation, while positively impacting pedestrian detection.

These thesis results may confirm the importance to consider driver's internal state when designing future vehicles or assistance systems.

Keywords: Anger, Attention, Simulated driving, Emotions, Attentional processing