

Projet ANR-09-VTT-04

ATLAS

Impacts des inattentions sur la conduite automobile : approche multidisciplinaire (psychologie cognitive, neuro-physiologie, épidémiologie, mathématique)

Programme VTT 2009

A	IDENTIFICATION.....	2
B	RESUME CONSOLIDE PUBLIC	2
	B.1 Résumé consolidé public en français	2
	B.2 Résumé consolidé public en anglais.....	5
C	MEMOIRE SCIENTIFIQUE	8
	C.1 Résumé du mémoire	8
	C.2 Enjeux et problématique, état de l'art	10
	C.3 Approche scientifique et technique.....	14
	C.4 Résultats obtenus	15
	C.4.1 Volet épidémiologique	15
	C.4.2 Volet expérimental	17
	C.5 Exploitation des résultats.....	23
	C.6 Discussion	23
	C.7 Conclusions.....	24
	C.8 Références.....	25
D	LISTE DES LIVRABLES.....	28
E	IMPACT DU PROJET	29
	E.1 Indicateurs d'impact	29
	E.2 Liste des publications et communications.....	29
	E.2.1 Articles dans revues à comité de lecture international	29
	E.2.2 Articles publiés dans revues à comité de lecture national	30
	E.2.3 Ouvrage ou chapitre d'ouvrage	30
	E.2.4 Articles en préparation	30
	E.2.5 Communications et posters acceptés	30
	E.2.6 Autres éléments de valorisation	32
	E.2.7 Liste des éléments de valorisation	33
	E.3 Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires)	34

A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	ATLAS
Titre du projet	Impacts des inattentions sur la conduite automobile : approche multidisciplinaire (psychologie cognitive, neuro-physiologie, épidémiologie, mathématique)
Coordinateur du projet (société/organisme)	Catherine GABAUDE INRETS - LESCOT
Période du projet (date de début – date de fin)	Oct 2009 – Sept 2013
Site web du projet, le cas échéant	http://www.atlas-projet.org

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	Mme Catherine Gabaude
Téléphone	04 72 14 24 50
Adresse électronique	Catherine.gabaude@ifsttar.fr
Date de rédaction	Septembre 2013

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	IFSTTAR-TS2-LESCOT, A. Fort et C. Gabaude ; Inserm, U897, E. Lagarde ; CNRS CLLE-LTC, C. Lemerrier ; Continental, M. Cour ; Univ Paris X-LM, B. Maury.
---	--

B RESUME CONSOLIDE PUBLIC

B.1 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN FRANÇAIS

Détecter l'inattention au volant : un enjeu de sécurité routière et un défi technologique

En raison de gains substantiels en sécurité routière sur de nombreux facteurs, la part des accidents due aux défauts d'attention augmente. Les partenaires de ce projet ont souhaité confronter leurs connaissances en épidémiologie, sciences cognitives et mathématique afin de préciser les enjeux de sécurité routière et dégager des pistes d'intervention novatrices.

La problématique du projet ATLAS consiste à estimer les sur-risques d'accident liés à différents types de défauts d'attention et à comprendre leurs causes ou origines et leurs conséquences sur la conduite automobile. De nombreuses recherches se sont intéressées à l'impact des distractions au volant mais très peu à l'inattention provoquée par les propres pensées du conducteur. Ce projet propose d'avancer sur ce thème novateur dont la littérature scientifique croît rapidement.

Les résultats épidémiologiques [1][2] montrent que l'attention au volant constitue un gisement de sécurité routière susceptible de faire baisser le nombre des victimes sur nos routes. Les résultats expérimentaux présentent les influences de différents types de contrôle cognitif (contrôle attentionnel, régulation émotionnelle et inhibition comportementale). Différentes stratégies de régulation de l'effort cognitif en conduite automobile ont été décrites. Ce projet a confirmé un fort enjeu de santé publique sur ce thème. Des méthodes innovantes en psychologie expérimentale ont été mises en œuvre et des perspectives pour rendre la conduite moins coûteuse au plan attentionnel sont décrites ainsi qu'un inventaire critique des méthodes permettant de lever de nouveaux verrous technologiques.

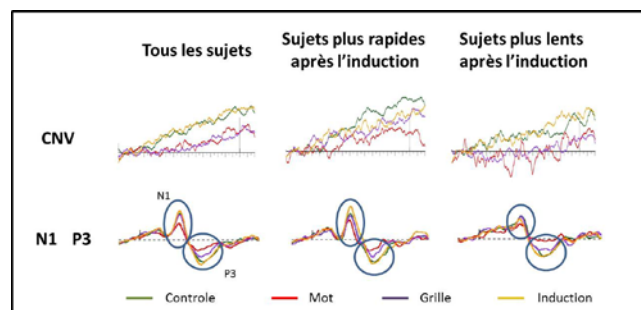
Titre 1 : Identifier les fractions de risque attribuables à différents types de défauts d'attention afin de mieux les prévenir

Les accidents de la circulation sont encore responsables de 4 000 décès chaque année en France. On sait depuis longtemps que l'inattention et la distraction occupent une place importante dans les erreurs et les échecs des interactions entre un conducteur, son véhicule, et son environnement, en particulier lorsque les interactions homme-machine sont médiées au travers de paradigmes d'interfaces peu pervasifs. Ce n'est pourtant que récemment que des travaux de recherche s'emploient à comprendre, à mesurer le rôle de l'inattention et à identifier les solutions technologiques et comportementales qui seraient susceptibles d'améliorer la sécurité routière.

Afin d'identifier les fractions de risque attribuables à différents types de défauts d'attention, un enquête a été menée en milieu hospitalier. 955 conducteurs blessés suite à un accident de la voie publique ont été interrogés suite à leur admission aux urgences du CHU de Bordeaux. Il leur était demandé de rapporter le contenu et l'intensité de leurs pensées dans les instants précédant l'accident. Sur les 453 conducteurs rapportant des pensées vagabondes, le contenu s'est avéré intense ou perturbant pour 121. Ces pensées étaient significativement plus fréquentes chez les conducteurs responsables de l'accident. Il apparaît ainsi qu'un accident sur dix trouve sa cause dans les pensées intrusives du conducteur [1]. Les distractions liées aux événements extérieurs au véhicule et à l'activité du conducteur sont aussi associées à la responsabilité (OR de 3,3 et de 9,6 respectivement). La part attribuable des accidents corporels liés à la distraction externe est estimée à 8 % [2].

Titre 2 : Comprendre l'influence de différents défauts d'attention sur le comportement des conducteurs

Trois formes d'interférence cognitive ont été hiérarchisées selon leurs effets sur le comportement de conduite simulée et sur le traitement de l'information (avec la technique des potentiels évoqués). Les distractions cognitives visuo-spatiales impactent l'anticipation (étudiée à l'aide de la variation contingente négative, CNV) alors que les distractions verbales impactent le traitement de l'information aux étapes du traitement sensoriel et cognitif. Concernant les conducteurs induits en tristesse, soit ils étaient plus rapides (avec une facilitation neuronale sensorielle et cognitive, amplitude des ondes N1 et P3 plus grande) soit plus lents qu'en situation contrôle.



Potentiels évoqués représentant la CNV et les ondes N1 et P3 pour l'ensemble des participants, puis séparément dans deux groupes pour les 4 conditions expérimentales

Des expérimentations menées sur simulateur puis sur route ont montré que : la régulation émotionnelle agit sur l'orientation attentionnelle [3] ; les pensées rétrospectives et prospectives modifient les stratégies oculaires (fixité du regard et augmentation du diamètre pupillaire) [4];

l'augmentation de l'effort cognitif se traduit par une augmentation du rythme cardiaque associée à une diminution de sa variabilité. Cependant, des différences interindividuelles dans la régulation de l'effort cognitif ont été constatées (les conducteurs en état de flow psychologique sont très concentrés et ne déclarent pas d'effort cognitif) [5].



Véhicules instrumentés utilisés pour les expérimentations sur route et en simulateur

Les influences du vagabondage de la pensée sur le risque d'accident et sur le comportement de conduite ont été démontrées, ceci permet d'entrevoir des pistes de recherche et de développement originales

La complémentarité de deux types de méthodes permettant d'analyser l'impact de la distraction cognitive sur l'activité de conduite par des analyses exploratoire et confirmatoire a été discutée. Les méthodes de Géométrie de l'information appliquées aux données de contrôle latéral du véhicule permettent l'identification de seuils au-delà desquels il est probable que le conducteur réalise une activité concurrente à la conduite. Ces critères ne sont cependant pas toujours sensibles en raison de la variabilité des comportements observés. Les données collectées sur autoroute auprès d'une vingtaine de conducteurs en utilisant les paradigmes expérimentaux et les méthodes développés dans ce projet ont été analysées. Les premiers résultats confirment que le contrôle latéral du véhicule est modifié lorsque les conducteurs sont cognitivement distrait (en ligne droite, l'écart-type de l'angle au volant est plus grand et, en courbe, le signal de position sur la voie pourrait être sensible). Les outils mis en œuvre dans ce projet, permettent d'enrichir les données de conduite à l'aide d'une analyse psycho-ergonomique de l'activité. Cette approche est requise afin d'identifier, à partir des données de contrôle latéral, les algorithmes les plus sensibles et spécifiques possibles. Dans les mois à venir, l'activité cardiaque, les vidéos et les déclarations spontanées des conducteurs serviront à mieux renseigner les données avant de tester nos algorithmes. Ce travail sera la première étape vers la mise au point d'un système de supervision du conducteur, contribuant ainsi aux objectifs de réduction de l'insécurité routière. Des nouveaux projets de recherche devront être menés afin d'avancer dans la caractérisation des conducteurs (au travers de la définition de typologies et la définition individualisée de comportements en conduite nominale – comportement de référence).



Comment sortir le conducteur du labyrinthe de ses pensées ?

Par la confrontation de différents points de vue disciplinaires, ce projet a permis des avancées conséquentes sur le thème des défauts d'attention au volant. Nous avons commencé à comprendre les causes et les origines de différents défauts d'attention et leurs

conséquences sur la conduite automobile. Les techniques d'analyse exploratoire de données séquentielles et d'apprentissage supervisé (data-mining) appliquées aux données de conduite collectées sur autoroute vont permettre de rechercher des algorithmes aptes à identifier un conducteur distrait. De nouveaux défis technologiques, constituant à adapter les assistances en fonction de l'état du conducteur, pourront ainsi prochainement être relevés.

De manière plus générale, ces travaux visent à améliorer le contrôle cognitif d'opérateurs placés en situation dynamique. Les résultats de ce projet sont transférables au-delà du domaine de la conduite automobile. Ces résultats novateurs sur l'influence du vagabondage de la pensée sur le contrôle attentionnel en situation dynamique pourront également avoir des implications dans le domaine du transport ferroviaire, aérien, maritime et fluvial, ainsi qu'en sécurité au travail. Ils permettent de faire face à des enjeux sanitaires, économique et sociaux importants en limitant les risques d'accidents. Plusieurs projets de recherche pourront ainsi être proposés pour répondre à de nouveaux défis sociétaux.

Production scientifique

1. Galera et al. (2012). Mind Wandering and Driving. *BMJ* 2012;345:e8105.
2. Bakiri et al. (2013). Distraction and driving: results from a case-control responsibility study of traffic crash injured drivers interviewed at the emergency room. *AAP* 59: 588-592.
3. Pêcher, C., & Lemerrier, C. (2011). The effects of induced sadness on the orienting of attention. ESCOP, 17th Meeting of the European Society for Cognitive Psychology, Donostia-San Sebastián, Spain, 29thSeptember -02ndOctober 2011.
4. Lemerrier et al. (in press). Inattention behind the wheel: How factual internal thoughts impact attentional control on driving. *Safety Science*.
5. Gabaude et al. (2012). Cognitive load measurement while driving. *Human Factors: a view from an integrative perspective*. ISBN 978-0-945289-44-9.

Informations factuelles

Le projet ATLAS est un projet de recherche de développement expérimental coordonné par L'IFSTTAR-TS2-LESCOT. Il associe aussi différents laboratoires (INSERM-U897, CNRS-CLLE-LTC et Univ. Paris X-LM) et Continental. Le projet a commencé en septembre 2009 et a duré 48 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de 713 k€ pour un coût global de l'ordre de 2 240 k€.

B.2 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN ANGLAIS

Detection of inattention at the wheel: a road safety issue and a technological challenge

Due to substantial gains in road safety on many factors, the proportion of accidents due to attention failure increases. The partners of this project wanted to compare their knowledge on epidemiology, cognitive and mathematical sciences to clarify the issues of road safety and identify avenues for innovative actions.

The issue of ATLAS project is to estimate the accident risks related to different types of attention failure and try to understand their causes and origins and their impact on driving. Many researches have focused on the impact of distractions but very little to inattention caused by the driver's own thoughts. This project proposes to advance this innovative theme for which the scientific literature is growing rapidly.

Epidemiological findings ^{[1] [2]} show that attention to driving is a road safety deposit that may reduce the number of casualties on our roads. The experimental results show the influence of

various types of cognitive control (attentional control, emotional control and behavioral inhibition). Different strategies have been described for the control of cognitive effort while driving. This project has confirmed a strong public health issue on this topic. Innovative methods in experimental psychology have been implemented and prospects to make driving less expensive attentional level are described as well as a critical inventory of methods to raise new technological barriers.

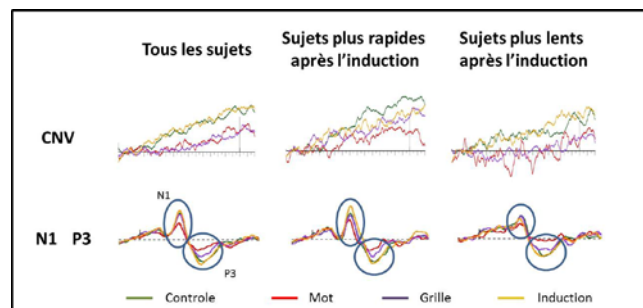
Title 1: Identify the risk fractions attributable to different types of attention failure in order to better prevent them

The traffic accidents are still responsible for 4,000 deaths each year in Franc . It has long been known as inattention and distraction prominently in the errors and failures of interactions between driver, vehicle and the environment, especially when the man-machine interactions are mediated through interfaces paradigms not much pervasive. Yet it is only recently that research worked to understand, measure the role of inattention and identify technological and behavioral solutions that are likely to improve road safety.

To identify attributable risk fractions for different types of failure of attention, a survey was conducted in hospitals. 955 drivers injured in an accident on the highway were interviewed following their admission to the emergency room of the University Hospital of Bordeaux. They were asked to report the content and intensity of their thoughts in the moments before the accident. Of the 453 drivers related to mind wandering, the contents proved intense or disturbing for 121. These thoughts were significantly more frequent among drivers responsible for the accident. It thus appears that an accident on ten is linked with a driver intrusive thought [1]. Distractions related to events outside the vehicle and driver activity are also associated with responsibility (OR 3.3 and 9.6 respectively). Attributable share of casualties related to external distraction is estimated at 8 % [2].

Title 2: Understanding the influence of various failure of attention on driver behavior

Three forms of cognitive interference were prioritized according to their effects on simulated driving behavior and the treatment of information (with the technique evoked potentials). Visuospatial cognitive distractions impacted anticipation (studied using the contingent negative variation, CNV), while verbal distractions impacted the information processing at sensory and cognitive processing steps. Two drivers groups were identified for drivers induced in sadness, either they were faster (with sensory and cognitive neural facilitation, the amplitude of N1 and P3 waves were greater) or slower than in control situation.



Evoked potentials representing the CNV and the N1 and P3 waves for all participants and separately in the two groups identified after sadness induction for the four experimental conditions

Experiments conducted on a simulator and on the road showed that: emotional regulation acts on the attentional orientation [3], retrospective and prospective thoughts change ocular

strategies (eye gaze and increased pupillary diameter) [4], the increase cognitive effort results in increased heart rate associated with a decrease of its variability. However, interindividual differences in the regulation of cognitive effort were recorded (the drivers declaring psychological flow are highly concentrated and do not report cognitive effort) [5].



Instrumented vehicles used for on the road and simulator experiments

The influences of mind wandering on the accident risk and on the driving behavior have been demonstrated, this provides avenues of research and an insight into new original development

The complementarity of the two types of methods to analyze the impact of cognitive distraction on driving activity by exploratory and confirmatory analysis was discussed. Geometry information methods have been used to analyze data applied from the vehicle side to enable the thresholds identification beyond which it is probable that the driver performs driving competing activity. These criteria are not always sensitive because of the variability of observed behaviors. The data collected on highway with twenty drivers using experimental paradigms and methods developed in this project were analyzed. Initial results confirm that the lateral control of the vehicle is changed when the drivers are cognitively distracted (in a straight line, the standard deviation of the steering angle is larger and curved, the road position signal could be sensitive). The tools used in this project will enrich the driving data using a psycho-ergonomic analysis of the activity. This approach is required to identify, from the data side, the most sensitive and specific algorithms. In the coming months, cardiac activity, videos and spontaneous reports of drivers will be used to enrich the data prior to test our algorithms. This will be the first step towards the development of a driver supervision system, thus contributing to the objectives of reducing road accidents. New research projects will be conducted in order to advance in the characterization of drivers (through the definition of the behaviour types and an individualized definition of nominal driving behavior - behavior of reference).



How to remove the driver of the labyrinth of his thoughts ?

By comparing different disciplinary perspectives, this project has allowed substantial progress on the subject of attention failure while driving. We began to understand the causes and origins of various attention failure and their consequences on driving. The exploratory analysis of sequential data and supervised learning techniques (data-mining) applied to the data collected on highway will be helpful to search algorithms able to identify a distracted driver. New technological challenges, consisting in the adaptation of driving assistance depending on the driver state, will soon be addressed.

More generally, this work aims to improve the cognitive control of operators placed in dynamic situation. The results of this project are transferable beyond the realm of driving. These innovative results on the influence of mind wandering on attentional control in dynamic situation may also have implications in the field of rail, air, sea and river, as well as safety. They can cope with major health, economic and social issues in limiting the risk of accidents. Several research projects will thus be available to meet new societal challenges.

C MEMOIRE SCIENTIFIQUE

Mémoire scientifique non confidentiel

C.1 RESUME DU MEMOIRE

En raison de gains substantiels en sécurité routière sur de nombreux facteurs, la part des accidents due aux défauts d'attention augmente et représenterait aujourd'hui un tiers des accidents. La recherche sur les défauts d'attention en conduite automobile est cependant tiraillée entre trois traditions indépendantes (recherche en automatique, en épidémiologie et expérimentale). Les partenaires de ce projet ont souhaité confronter leurs connaissances en épidémiologie, sciences cognitives et mathématique afin de **préciser les enjeux de sécurité routière et dégager des pistes d'intervention novatrices**.

La problématique du projet ATLAS consiste à estimer les sur-risques d'accident liés aux différents défauts d'attention et à comprendre leurs causes ou origines et leurs conséquences sur la conduite automobile. De nombreuses recherches se sont intéressées à l'impact des distractions au volant mais très peu à l'inattention provoquée par les propres pensées du conducteur. Ce projet propose d'avancer sur ce thème pour trois raisons : le risque d'accident s'avère élevé pour les conducteurs connaissant des événements de vie difficiles ; l'inattention est un défaut attentionnel résiduel qu'il sera nécessaire de détecter ; l'allègement de la tâche du conducteur dû à l'introduction d'assistance est susceptible d'augmenter la fréquence des pensées intrusives.

Un premier **volet épidémiologique** a permis d'évaluer le lien entre les pensées intrusives du conducteur et le risque d'être impliqué dans un accident. L'hypothèse étant que cet état devrait augmenter le risque d'être responsable d'un accident. L'objectif a été de déterminer la part des accidents qui leur est attribuable. Des **expérimentations sur simulateur de conduite** ont été menées afin de comprendre l'effet des ruminations et des pensées distrayantes sur les mécanismes d'orientation de l'attention et de hiérarchiser les impacts de plusieurs types d'inattention sur l'activité de conduite (intrusions ou diversions). Les données comportementales et physiologiques ont été collectées pour comprendre les stratégies de gestion des interférences en conduite et identifier leurs causes possibles. Des données de conduite ont été recueillies **sur route** auprès de conducteurs inattentifs afin de rechercher les indicateurs les plus sensibles. L'hypothèse est qu'une activité cognitive entraîne également des modifications dans les activités perceptivo-motrices liées au processus de conduite (exploration visuelles, contrôle de trajectoire, temps de réaction, régulation de la vitesse).

Les résultats épidémiologiques publiés dans le British Medical Journal et dans la revue Accident Analysis and Prevention montrent que l'attention au volant constitue un gisement de sécurité routière susceptible de faire baisser le nombre des victimes sur nos routes ^{[1] [2]}. 955 conducteurs blessés suite à un accident de la voie publique ont été interrogés

au sein du service des urgences du CHU de Bordeaux. Il leur était demandé de rapporter le contenu et l'intensité de leurs pensées dans les instants précédant l'accident. Sur les 453 conducteurs rapportant des pensées vagabondes, le contenu s'est avéré intense ou perturbant pour 121. Ces pensées étaient significativement plus fréquentes chez les conducteurs responsables de l'accident. Il apparaît ainsi qu'un accident sur dix trouve sa cause dans les pensées intrusives du conducteur [1]. Un second article précise que les distractions liées aux événements extérieurs au véhicule et à l'activité du conducteur sont associés à la responsabilité (OR = 3,3 et de 9,6 respectivement). La part attribuable des accidents corporels liés à la distraction externe est estimée à 8 % [2].

Le volet sur simulateur de conduite confirme **une altération de l'orientation attentionnelle** due à l'induction d'un état de tristesse [3]. Les travaux portant sur l'effet de pensées distrayantes (i.e. non liées à des émotions) ont, quant à eux, fait l'objet d'une publication dans Safety Science [4]. Ils mettent en évidence une plus grande fixité oculaire et un accroissement du diamètre pupillaire quand le conducteur est inattentif (i.e. plongé dans le traitement de ses pensées internes). L'analyse confirme que plus les pensées sont intenses plus le comportement de conduite est altéré. Cependant, cette étude met également en lumière le fait que le conducteur « s'autoriserait » à se focaliser sur ces pensées internes lorsque celles-ci n'exigent de traitement cognitif trop important. L'auto-estimation de ses capacités à traiter une information particulière dans un contexte de conduite spécifique serait déterminant pour que les pensées distrayantes soient traitées ou non. Une seconde étude a permis de **hiérarchiser 3 types d'interférence** (ruminations, résolution de problème de nature verbale ou visuo-spatiale) **selon les effets sur le comportement de conduite et sur le traitement de l'information**. Les résultats montrent que les données physiologiques EEG et ECG sont des techniques sensibles pour estimer l'impact de distractions d'ordre cognitif sur certaines étapes du traitement de l'information et sur l'effort cognitif consenti par le conducteur [5]. Les deux tâches de résolutions de problèmes n'ont pas impacté le traitement de l'information aux mêmes étapes : la tâche visuo-spatiale n'impacte que l'anticipation du freinage ; la condition verbale impacte aussi le traitement de l'information aux étapes de traitement sensoriel et cognitifs. Lorsque les conducteurs étaient induits en tristesse, deux stratégies de freinage ont été constatées : pour le groupe présentant un allongement des temps de réponse par rapport à la situation contrôle, aucun impact n'est constaté au niveau neuronal ; pour le second groupe une facilitation neuronale existe. Concernant l'activité cardiaque, l'augmentation de l'effort cognitif se traduit bien par une augmentation du rythme cardiaque associée à une diminution de sa variabilité pour les conditions de résolutions de problèmes. Ce résultat n'a pas été observé pour l'induction en tristesse.

Une partie de ces résultats est confirmée dans des contextes de conduite simulée plus écologiques en conduisant sur autoroute et sur nationale en présence de trafic [5]. Une analyse de l'activité des conducteurs a mis en évidence deux stratégies différentes de régulation de l'effort cognitif en conduite automobile : certains conducteurs sont plutôt focalisés et motivés lorsqu'ils réalisent la tâche de résolution de problème alors que d'autres semblent plutôt distraits et perturbés. L'Hypothèse de l'existence d'un état de Flow psychologique [6] a été testée, des indicateurs de cet état de flow pourront être recherchés dans le futur. Lorsque les erreurs à la tâche ajoutée et cette typologie de régulation de la charge cognitive sont prises en compte, la variabilité du rythme cardiaque devient un indicateur d'effort cognitif intéressant [7]. A propos de l'analyse du signal cardiaque, des progrès méthodologiques ont été atteints au cours de ce projet [8]. La synchronisation du

recueil des données cardiaques et comportementales va permettre d'étudier la réponse cardiaque évoquée^[9] et ainsi de trouver dans le futur de meilleurs indicateurs de l'effort cognitif. La collecte des données cardiaques sur route a été effectuée avec une excellente synchronisation. Ceci permettra d'évaluer la réponse cardiaque sur des périodes beaucoup plus courtes et ainsi d'identifier de meilleurs indicateurs d'états attentionnels dégradés. Ces données seront analysées et valorisées au cours de l'année à venir.

Les signaux de conduite collectés sur simulateur, en particulier les données d'angle au volant, ont été analysées afin de détecter l'inattention par des méthodes de géométrie de l'information^[10]. La décomposition du signal en ondelette et l'étude des matrices de covariance ont permis de trouver des indicateurs intéressants. Les coefficients d'autocorrélation mesurés sur des portions spécifiques de signal stable et sur des fenêtres de 6 secondes indiquent qu'un signal d'angle au volant moins corrélé en temps et de variance plus élevée semble être un marqueur de l'inattention pour la moitié des conducteurs étudiés.

Les données collectées sur autoroute auprès d'une vingtaine de conducteur en utilisant les paradigmes expérimentaux et les méthodes développés dans ce projet ont été analysées^[11]. Les premiers résultats confirment que le contrôle latéral du véhicule est modifié lorsque les conducteurs sont cognitivement distrait (en ligne droite, l'écart-type de l'angle au volant est plus grand et, en courbe, le signal de position sur la voie pourrait être sensible). Les outils mis en œuvre dans ce projet, permettent d'enrichir les données de conduite à l'aide d'une analyse psycho-ergonomique de l'activité. Cette approche est requise afin d'identifier, à partir des données de contrôle latéral, les algorithmes les plus sensibles et spécifiques possibles. Dans les mois à venir, l'activité cardiaque, les vidéos et les déclarations spontanées des conducteurs serviront à mieux renseigner les données avant de tester nos algorithmes. Ce travail sera la première étape vers la mise au point d'un système de supervision du conducteur, contribuant ainsi aux objectifs de réduction de l'insécurité routière. Des nouveaux projets de recherche devront être menés afin d'avancer dans la caractérisation des conducteurs (au travers de la définition de typologies et la définition individualisée de comportements en conduite nominale – comportement de référence).

Les techniques d'analyse exploratoire de données séquentielles et d'apprentissage supervisé (data-mining) appliquées aux données de conduite collectées vont permettre de rechercher des algorithmes aptes à identifier un conducteur distrait. De nouveaux défis technologiques, constituant à adapter les assistances en fonction de l'état du conducteur, pourront ainsi prochainement être relevés.

C.2 ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART

Les travaux Nord-américains sur les rapports d'accidents estiment que les défauts d'attention sont impliqués dans environ un quart des accidents de la circulation^[6, 7]. Cependant, une étude de grande ampleur ayant enregistré de manière continue les performances de plus de 100 conducteurs pendant 12 mois a montré qu'ils étaient le premier contributeur des accidents^[8, 9]. Dans cette étude, 78% des accidents étaient associés à un défaut d'attention du conducteur dans les 3 secondes précédant l'événement.

Quelques travaux de recherche ont commencé à définir quels pourraient être les indicateurs en temps réel d'un état attentionnel dégradé lors d'un épisode de conduite^[10, 11]. Les sources d'information envisagées sont nombreuses et ces recherches ont toutes pour point commun de ne s'intéresser qu'aux défauts d'attention provoqués par des distractions externes à la

conduite : utilisation du téléphone, de l'équipement radio, CD, GPS. **L'impact potentiel des pensées internes du conducteur reste aujourd'hui un champ de recherche largement inexploré** bien que nous ayons constaté au cours de ce projet une forte augmentation de la littérature en sciences cognitives sur le thème du vagabondage de la pensée (mind wandering). Pourtant, l'étude des facteurs individuels liés aux accidents de la circulation montre un risque d'accident multiplié par 4 dans les périodes de divorce ou de séparation, suggérant que les préoccupations qui en découlent interféreraient avec les activités de conduite ^[12]. On peut ainsi faire l'hypothèse qu'elles sont responsables d'une part importante des accidents car elles sont plus durables et sont un facteur de risque moins facilement identifiable que les distractions par le conducteur. Les pensées internes en conduite automobile sont ainsi probablement un facteur majeur dans la survenue d'accidents et **des gains en sécurité routière pourraient être atteints en cherchant à les identifier afin d'alerter et/ou assister le conducteur**. Même si elles sont difficiles à approcher, certains constructeurs se sont emparés du problème et n'ont pour l'instant pas abouti (Volvo, Daimler-Chrysler). C'est pourquoi les partenaires de ce projet proposent d'avancer dans la caractérisation des effets des pensées internes sur la conduite automobile en alliant différentes disciplines.

Dans le but de construire des systèmes d'assistance adaptatifs la communauté scientifique s'est, depuis une décennie, engagée dans la **catégorisation du comportement du conducteur à partir des données recueillies dans les véhicules**. Face à la complexité de ce type d'analyse (les données de conduite sont bruitées, diversifiées et influencées par de nombreux facteurs), les méthodes classiques d'investigation se sont rapidement révélées inefficaces. Aussi, pour résoudre ce problème, différents modèles mathématiques ont été développés (modèles : contrôle-commande, neuronaux, à base de règle, probabilistes ^[13, 14, 15]). Les modèles actuels permettent de reconnaître le comportement global du conducteur (tourner, doubler...). Pourtant, un des obstacles à une analyse plus fine du comportement est l'absence d'intégration des influences d'origine psychologique sur le comportement dans les modèles. En effet, la reconnaissance de l'état mental du conducteur à partir des données véhicule n'est aujourd'hui que très peu étudiée alors que le facteur humain est un concept clé dans l'étude de l'interaction des comportements humains avec son environnement.

Le projet ATLAS bénéficie de l'expertise acquise au cours du projet DACOTA (ANR-VTT-2005). L'identification des principaux concepts autour de la variation de la charge cognitive a permis de mieux poser les enjeux des recherches sur les défauts d'attention en conduite automobile. Au niveau méthodologique, les chercheurs ont maintenant une meilleure connaissance sur les techniques d'induction de l'inattention et sur l'accidentologie en simulation. Ces trois avancées majeures sont les fondements du projet ATLAS qui s'intègre dans la continuité du travail engagé. Par ailleurs, des travaux ont été conduits récemment par Trent Victor (Volvo) sur l'impact de tâches cognitives sur les comportements oculomoteurs du conducteur étudiés à l'aide d'une paire de caméras embarquées ^[16]. Il s'avère que lors d'une activité cognitive, le regard se porte de manière plus prolongée dans la zone centrale de la route. Enfin, il semble qu'un petit nombre de constructeurs (Volvo, Daimler Chrysler, Toyota) conduisent des travaux liés à nos objectifs mais ces derniers font l'objet d'un secret industriel qui nous empêche d'en connaître le contenu.

Trois développements technologiques importants rendent aujourd'hui possible la recherche de systèmes de détection de l'inattention du conducteur :

- la généralisation de l'électronique embarquée avec la présence dans les véhicules de flux de données (CAN bus) renseignant en temps réel les paramètres du véhicule (angle du volant, régime moteur, freinage, accélération, états des équipements ...)
- la gestion d'un nombre croissant d'informations issues de capteurs dont les coûts de production sont devenus à présent très bas.
- le développement de nouveaux capteurs renseignant directement le comportement du conducteur (caméra pour la position de la tête, du regard, indicateurs de déviation ...).

Même si techniquement il semble envisageable de prévenir l'inattention du conducteur, il est aussi nécessaire de préciser les enjeux de sécurité routière sur ce thème. Les connaissances actuelles montrent que **la part des accidents due aux défauts d'attention augmente et devient une des causes majeures à explorer**. Même s'il est difficile d'évaluer clairement la responsabilité des troubles de l'attention dans la genèse des accidents de la route, les données de l'accidentologie font apparaître qu'environ 1/3 des accidents de la route auraient comme origine un défaut d'attention du conducteur [17, 18, 19, 20, 21, 22]. Ces recherches ne précisent pas les parts des accidents liées à la distraction et à l'inattention des conducteurs. En même temps, la recherche sur les défauts d'attention en conduite automobile est fragmentée car elle est tiraillée entre trois traditions très indépendantes : la recherche expérimentale, les recherches épidémiologiques et la recherche en automatique [23]. On retrouve ainsi différentes disciplines qui concourent à faire progresser la connaissance : des recherches expérimentales dans lesquelles on manipule des facteurs en situation alors que la performance est mesurée sur route ou sur simulateur ; des recherches où l'on étudie le lien entre des caractéristiques des conducteurs et la sur-exposition au risque d'accident et des recherches permettant la définition et l'évaluation de systèmes automatiques qui facilitent ou remplacent une part des tâches du conducteur. Ces résultats sont parfois contradictoires et aucune théorie globale sur l'attention en conduite n'émerge alors que des thèmes communs peuvent être identifiés entre ces différentes disciplines afin d'explorer des pistes novatrices.

De nombreuses recherches se sont intéressées à l'impact des distractions facilement identifiables du fait de la présence d'un événement physique les générant (pour revue [24]) et en particulier à l'impact du téléphone mobile sur l'activité de conduite. Il a été montré que même via l'utilisation d'un kit main libre, une conversation téléphonique altère plus la conduite automobile lorsqu'elle implique une activité cognitive sous-jacente [25]. Sous la pression liée au déploiement de cette technologie et au lobbying de cette industrie de nombreux travaux ont été menés depuis et nous avons recensé depuis 2003 plus d'une vingtaine de nouvelles publications sur cette question du téléphone au volant. Si cette question de la distraction du conducteur liée à l'usage des nouvelles technologies semble pouvoir être résolue par le développement de technologies adaptatives permettant de gérer les entrées des informations distrayantes, **encore trop peu de pistes de recherche sont explorées pour assister le conducteur inattentif ou en prise avec ses préoccupations**. Les solutions technologiques à développer devront répondre à des contraintes différentes. Par ailleurs ces technologies seront un complément indispensable aux technologies d'analyse des distractions, l'inattention étant le défaut résiduel qu'il faudra détecter. Enfin, en assistant de plus en plus le conducteur, il est probable que l'activité de conduite soit génératrice d'inattention [26]. **Ainsi cette question de recherche est essentielle et les retombées économiques et industrielles sont importantes**.

A ce jour, peu de travaux portent sur l'inattention à la conduite provoquée par des pensées internes ^[27] alors que les données épidémiologiques indiquent que l'inattention à la conduite serait une cause plus fréquente d'accident que la distraction : ainsi, pour Brown ^[28], l'inattention est associée en tant que défaillance perceptive à plus de 12 % des accidents dans lequel le conducteur « a regardé mais n'a pas vu » (looked-but-failed-to-see) ; pour le NHTSA ^[6] l'inattention (ou préoccupation) était un facteur impliqué dans 17 % des accidents alors que la distraction ne comptait que pour environ 9 à 13 % ; pour Mosedale ^[18] l'inattention est un facteur contributif dans 18 % des accidents mortels, 20 % des accidents sévères et 25 % de l'ensemble des accidents. **Ainsi l'inattention semble être le principal facteur contributif de la survenue des accidents bien devant la distraction** qui n'interviendrait que dans 6 à 7 % des cas. Pourtant, il faut souligner que dans toutes ces études, les concepts d'inattention et de distractions revêtent des définitions différentes. En faisant clairement la distinction entre inattention et distraction, **on peut ainsi s'interroger sur cette supposée prédominance de l'inattention par rapport à la distraction dans la genèse des accidents et ses possibles causes.** Ceci est vraisemblablement dû au fait que, contrairement aux distractions qui s'avèrent être le plus souvent ponctuelles, une inattention peut durer longtemps voire pendant toute la durée d'un parcours. Ceci est particulièrement vrai pour les inattentions liées à des préoccupations ou des problèmes personnels à résoudre. C'est le cas des ruminations qui peuvent agir comme une tâche secondaire et compromettre la sécurité des conducteurs. En effet, une analyse menée sur la cohorte GAZEL montre un risque d'accident multiplié par 4 dans les périodes de divorce ou de séparation, suggérant que les préoccupations qui en découlent interféreraient avec les activités de conduite ^[12].

Les inattentions ont tendance à apparaître lorsque la tâche à exécuter est routinière et ne semble pas exiger une attention soutenue de l'opérateur. Dans le cadre de la conduite automobile, et même si cette hypothèse reste à confirmer, une inattention est donc plus susceptible d'intervenir sur des trajets quotidiens et dans des situations monotones. Il nous semble intéressant de distinguer différentes formes d'inattention n'ayant pas forcément les mêmes implications au niveau sécuritaire afin de hiérarchiser leurs impacts et formuler différentes hypothèses sur les causes de ces interférences ^[29] :

- Les pensées ruminatives qui relèvent de préoccupations et de problèmes personnels ayant une valence émotionnelle négative pour le conducteur (ex. pourquoi veut-il rompre avec moi ? ...).
- Les pensées distractives ^[30] qui correspondent à des résolutions de problèmes et qui ne présentent pas de valence émotionnelle pour le sujet (ex : organiser son planning). Elles peuvent correspondre à la remémoration de souvenirs de choses/d'évènements passés ou à venir.
- les pensées distractives visuo-spatiales qui correspondent à des résolutions de problèmes d'ordre visuo-spatial sans valence émotionnelle (ex. tâche de l'île imaginaire ^[31] qui s'apparente à une tâche de planification d'itinéraire en conduite automobile).

Du point de vue comportemental, il a été montré que les tâches cognitives s'accompagnent d'une plus grande fixité du regard dans la partie centrale de la route ^[16, 32, 33]. Ce résultat peut indiquer une augmentation de la sélectivité des informations en vision centrale en vue de l'action et/ou une diminution du pouvoir d'appel des cibles périphériques, mais aussi une dégradation de la prise d'information nécessaire à une conduite sécuritaire. On le voit, il

existe déjà des résultats qui montrent qu'une activité cognitive entraîne une modification des activités motrices liées à la perception. De la même façon, notre hypothèse est qu'une activité cognitive entraîne également des modifications dans les activités motrices liées au processus de conduite : contrôle et correction de trajectoire, temps de réaction, temps de réalisation ... A partir d'analyse de données véhicule certaines équipes ont obtenus des résultats intéressants.

Afin de promouvoir le développement de technologies adaptatives, une première équipe s'est fixé pour objectif de créer des modèles d'évaluation de la distraction cognitive du conducteur afin de diminuer la perturbation attentionnelle due à la présence des systèmes embarqués^[34]. Deux techniques d'apprentissage supervisé ont été utilisées pour identifier la distraction du conducteur (machine à vecteur de support et réseau Bayésien) et ont obtenu des résultats encourageants. On peut cependant regretter que ces travaux ne portent que sur l'évaluation de la distraction et non des inattentions. De plus, les données utilisées dans ce type d'approche sont recueillies en situation de conduite normale et non au cours d'expérimentations durant lesquelles la distraction ou l'inattention sont des variables indépendantes prises en considération. Pourtant, une telle démarche devrait permettre le développement d'algorithmes plus robustes.

Concernant l'analyse des effets liés à des facteurs endogènes, c'est à dire propres au conducteur on commence à trouver des travaux intéressants qui portent sur l'impact des émotions sur la conduite automobile^[35]. Certaines émotions apparaissent dans des situations de conduite typiques, comme par exemple la colère lorsque le conducteur est gêné dans sa progression. Le recours à l'analyse de paramètres physiologiques, comme les variations du rythme cardiaque dans cette étude, a permis une meilleure interprétation des données véhicule. En revanche la technique d'analyse des expressions faciales n'a pas montré de résultats probants. Cette piste de recherche mérite cependant d'être approfondie car des systèmes experts semblent capables de décrypter les états émotionnels.

Enfin, à part les travaux de Yulan Liang et al^[34] portant sur la distraction, à notre connaissance très peu d'équipes se sont fixé pour tâche de modéliser et de prédire les états attentionnels du conducteur à partir des données véhicules. Cette tâche nécessite une complexification des modèles mathématiques élaborés en travaillant sur des dépendances à long terme entre les données comportementales de conduite et les données physiologiques. Pour cela, **une approche multidisciplinaire est nécessaire.**

C.3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

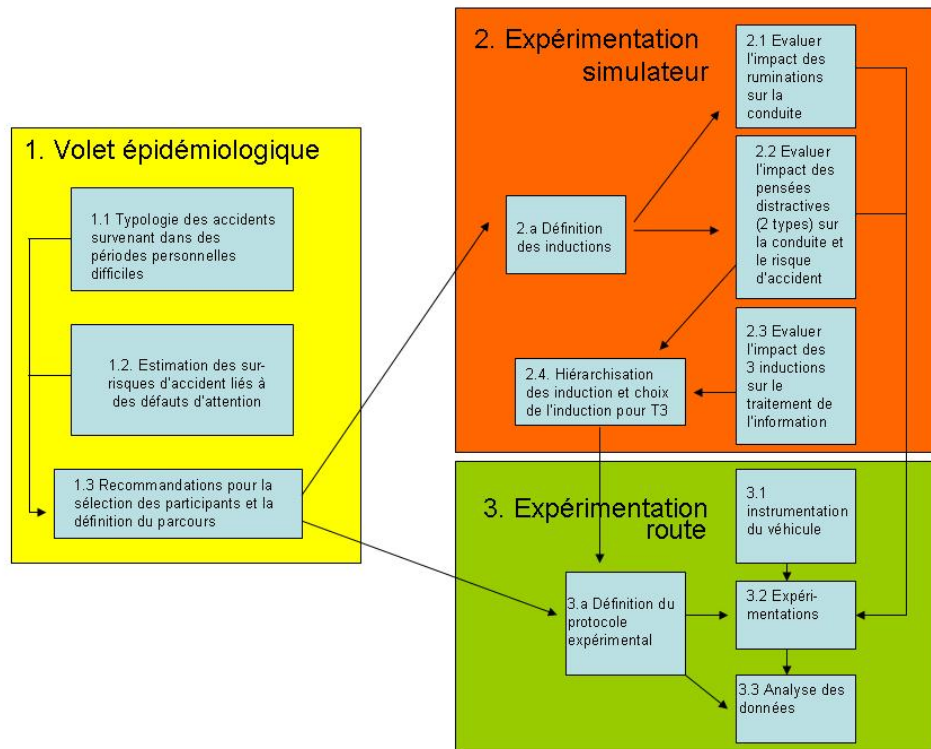
L'objectif principal a été d'évaluer l'impact des pensées internes sur le comportement de conduite (prise et traitement de l'information, comportement en situation normale et comportement face au risque) afin d'extraire des données véhicules des indices qui permettront à terme de détecter en temps réel les défauts d'attention du conducteur.

Le projet était organisé en trois tâches :

- Le volet épidémiologique (T1) a tenté de définir la typologie dominante des accidents liés à l'inattention et a permis d'estimer les sur-risques d'accident dus à la distraction et l'inattention.
- Des expérimentations sur simulateur de conduite (T2) ont permis, à l'aide de mesures physiologiques, de hiérarchiser les impacts de trois types d'inattention sur l'activité de conduite (induite à l'aide de ruminations, pensées distractives verbales et pensées

distractives visuo-spatiales) et de contribuer à identifier des indicateurs d'états attentionnels dégradés.

- En dernier lieu, suite à l'installation de technologies développées par Continental, une expérimentation sur route (T3) a permis de collecter des données auprès de conducteurs inattentifs et d'étudier comment les indices obtenus sur simulateur se comportent en conduite réelle.



Liens entre les trois principaux volets du projet ATLAS

Plusieurs espaces de travail collaboratif ont été mis à disposition des partenaires : un site web a été mis en place et alimenté au cours du projet (<http://atlas-projet.org/>), un site ftp a aussi été ouvert et hébergé par l'Ifsttar afin de permettre l'échange de gros fichiers de données entre partenaires.

C.4 RESULTATS OBTENUS

Un bilan synthétique des résultats obtenus est produit à l'aide des résumés des principales productions du projet.

C.4.1 VOLET EPIDEMIOLOGIQUE

Les résultats épidémiologiques^{1,2} montrent que l'attention au volant constitue un gisement de sécurité routière susceptible de faire baisser le nombre des victimes sur nos routes.

C.4.1.1 Vagabondage de la pensée et conduite automobile

Malgré les progrès réalisés en sécurité routière le nombre de vies sauvées est plafonné dans les pays développés. Afin d'examiner de nouvelles idées sur les facteurs de causalité potentiels et les cibles d'interventions, nous avons étudié l'association entre le vagabondage de la pensée (mind wandering) et l'accident de la circulation routière. Nous avons effectué

une étude de cas-témoins en responsabilité auprès de 954 conducteurs entrés aux services des urgences dans le département de la Gironde suite à un accident de la route. Le vagabondage intense de la pensée était un facteur de risque statistiquement significatif pour être responsable de l'accident routier (24% des responsables par rapport à 13% des non responsables ; ORa = 1,84 [1,26 à 2,68] ; fraction attribuable de 11%) après ajustement sur la distraction externe et une gamme de facteurs de confusion potentiels, y compris la consommation d'alcool , la consommation de médicaments psychotropes , la somnolence et la valence émotionnelle. Le vagabondage de la pensée au volant, au travers de défaillances attentionnelles envers des stimuli externes peut compromettre la capacité d'intégrer des informations routières mettant en péril la sécurité routière. Des pistes d'interventions novatrices devraient être expérimentées afin d'aborder la question du vagabondage de la pensée dans la survenue d'accident.

Ce travail a fait l'objet d'une publication dans le British Medical Journal ((livrable ANR-ATLAS n°1.2).

C.4.1.2 Distraction et conduit automobile: résultats d'une étude cas-témoin menée auprès de conducteurs admis en service d'urgence

Contexte : l'utilisation du téléphone au volant est associée aux accidents, mais beaucoup distractions externes restent à étudier.

Objectif : évaluer le risque associé à détournement de l'attention en raison d'événements imprévus ou tâches secondaires au volant.

Matériel et méthode : étude cas-témoins en responsabilité. Population, patients admis au CHU de Bordeaux (France) entre Avril 2010 et Août 2011. Participants, 955 conducteurs blessés présentant à la suite de l'accident de véhicule à moteur. Variable principale : responsabilité de l'accident ; variables d'exposition : distraction extérieure , consommation d'alcool, consommation de médicaments psychotropes, privation de sommeil ; facteurs de confusion potentiels : caractéristiques sociodémographiques et caractéristiques d'accident.

Résultats : au-delà facteur de risque classique associée à la responsabilité, les résultats montrent que les événements gênants à l'intérieur du véhicule (ramasser un objet), la distraction due à l'activité du conducteur (fumer une cigarette) et les événements distrayants survenus à l'extérieur sont associés à une augmentation de probabilité d'être responsable de l'accident. Ces facteurs liés à la distraction ont représenté 8 % des accidents de la route.

Limites : auto-évaluation rétrospective de la responsabilité.

Conclusions : Une inattention peut comporter davantage de risques que prévu. Nos résultats soutiennent de récents efforts de recherche pour détecter les périodes de vulnérabilité de conduite liés à l'inattention.

Ce travail a fait l'objet d'une publication dans Accident Analysis and Prevention (livrable ANR-ATLAS n°1.3).

C.4.1.3 Résumé sur la tentative d'exploration d'une typologie dominante des accidents liés à l'inattention

Dans le projet, nous avons recherché s'il existait une typologie dominante des accidents liés à l'inattention, plus particulièrement aux pensées internes. Pour cela, la typologie des accidents survenant dans les périodes personnelles difficiles, telles que les divorces, a été

comparée à celles des accidents survenus en dehors de ces périodes dans le fichier de la cohorte Gazel. Parmi les facteurs individuels ont été pris en compte les événements potentiellement stressants, qu'ils concernent directement le sujet ou non. Les événements propres au sujet sont le divorce ou la séparation, le départ d'enfant, un achat important, une hospitalisation.

On remarque que les caractéristiques associées à la survenue d'un accident en période difficile sont peu nombreuses même en analyse univariée. Cela peut éventuellement être expliqué par un manque de puissance (dans le groupe des sujets accidentés en période difficile), par exemple, lorsque l'on étudie l'événement divorce, nous n'avons que 22 accidents survenus en période difficile, contre 994 survenus en dehors de période difficile.

Si l'on s'intéresse particulièrement aux données de description, on constate des différences importantes, selon la période de survenue, mais qui ne sont pas significatives au test du Chi-deux, au seuil de 0,05 %. Les p-values de ces différences valent 0,1 lorsqu'il s'agit de variables binaire et sont encore plus élevées lorsqu'il s'agit de variables avec plusieurs modalités.

Qu'il s'agisse des données descriptives ou des résultats des analyses multivariées, on remarque que les 3 événements étudiés n'ont pas de caractéristiques communes. On peut donc considérer que les accidents survenus pendant ces événements ont des typologies propres à chacun des événements.

Ces travaux ont été présentés dans un rapport ANR (livrable ANR-ATLAS n°1)

C.4.1.4 Les personnes souffrant d'un Trouble de déficit de l'attention / hyperactivité ont un plus fort risque d'être responsable d'un accident

La troisième partie de l'exploitation des données épidémiologiques recueillies a porté sur l'identification de populations présentant des susceptibilités plus grandes à l'inattention et à la distraction induisant une vulnérabilité accrue face au risque d'accident de la circulation. Plus spécifiquement, l'hypothèse était que les personnes souffrant d'un Trouble de déficit de l'attention / hyperactivité (TDAH) étaient celles pour lesquelles les facteurs inattention et distractions seraient associés de manière plus forte avec le risque d'être responsable d'un accident de la route. L'analyse multivariable sur 777 sujets montre une augmentation significative du risque d'être responsable pour les expositions à la distraction externe (OR=1,61 [1,11-2,35]), à l'inattention (OR=2,43 [1,53-3,87]) et au trouble déficit de l'attention/hyperactivité (OR=2,17 [1,21-3,88]). L'évaluation des interactions a permis de mettre en évidence un effet plus important de la distraction externe sur l'augmentation du risque d'être responsable chez les sujets atteints de trouble déficit de l'attention/hyperactivité (OR=6,25 [2,19-17,87]). La proportion attribuable de cas dus à l'interaction a été estimée à 68 %. Un tel résultat n'était pas observé pour l'inattention. Il semble donc important de mieux prendre en compte le trouble déficit de l'attention/hyperactivité en améliorant le dépistage et la prise en charge mais aussi en sensibilisant les patients au sur-risque potentiel d'accidents.

Afin de valoriser ce travail, un article est en cours de rédaction.

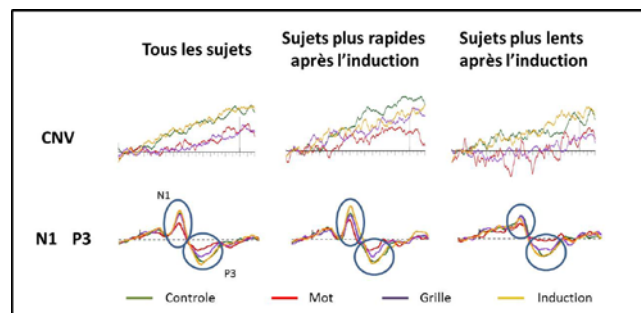
C.4.2 VOLET EXPERIMENTAL

Les résultats expérimentaux présentent les influences de différents types de contrôle cognitif (contrôle attentionnel, régulation émotionnelle et inhibition comportementale) sur le comportement de conduite automobile. Différentes stratégies de régulation de l'effort cognitif en conduite automobile ont été décrites.

Des méthodes innovantes en psychologie expérimentale ont été mises en œuvre. Nous avons proposé de développer une méthodologie spécifique permettant de **hiérarchiser les effets de différents défauts d'attention à partir des résultats obtenus via l'étude des potentiels évoqués**. A cette fin, des paramètres comportementaux et physiologiques ont été collectés en situation de conduite simulée.

C.4.2.1 Hiérarchisation des défauts d'attention

Trois formes d'interférence cognitive ont été hiérarchisées selon leurs effets sur le traitement de l'information (avec la technique des potentiels évoqués) et les conséquences sur le comportement en conduite simulée ont été analysées. Les distractions cognitives visuo-spatiales impactent l'anticipation (étudiée à l'aide de la variation contingente négative, CNV) alors que les distractions verbales impactent le traitement de l'information aux étapes du traitement sensoriel et cognitif. Concernant les conducteurs induits en tristesse, deux typologies de conducteurs ont été identifiées soit ils étaient plus rapides (avec une facilitation neuronale sensorielle et cognitive, l'amplitude des ondes N1 et P3 étant plus grande) soit plus lents qu'en situation contrôle.



Potentiels évoqués représentant la CNV (en Cz, électrode localisée sur le vertex) et les ondes N1 et P3 (en PO4, électrode localisée sur le cortex pariétal postérieure) pour l'ensemble des participants, puis séparément dans deux groupes identifiés suite à l'induction en tristesse pour les 4 conditions expérimentales

Un rapport ANR a été produit (livrable ANR-ATLAS n°2.2)

C.4.2.2 Recherche d'indicateurs de charge mentale au niveau cardiaque

Conduire est une activité complexe qui exige une bonne gestion des ressources attentionnelles, un contrôle cognitif et une prise de décision efficaces. De nombreuses études ont cherché à comprendre l'interférence d'une tâche ajoutée, et en particulier si les conducteurs ont assez de capacité de réserve pour accomplir une tâche supplémentaire ou si l'effort mental demandé altère la performance de conduite.

Cette étude vise à analyser la relation entre l'effort mental et la performance de conduite et à identifier les indicateurs d'effort mental à partir de trois mesures différentes enregistrées à l'aide d'un simulateur : activité cardiaque, performance de conduite et données subjectives de charge mentale (DALI, Driving Activity Load Index).

Trois conditions ont été conçues pour faire varier l'effort mental du conducteur : conduire comme unique tâche (situation de contrôle), conduite tout en résolvant deux tâches cognitives différentes (résolution d'énigmes verbales ou visuo-spatiales).

Les résultats montrent que, bien que la variabilité de la fréquence cardiaque ne semble pas assez sensible pour refléter l'effort mental dans les études en simulation de conduite, le rapport HF/LF pourrait être utilisé comme un indicateur de l'investissement du participant dans la tâche. En outre, le DALI semble utile pour identifier la variation de l'effort mental

entre les tâches verbales et visuo- spatiales. Enfin, la détection de l'effort mental à partir de la variabilité de la position sur la voie semble être encourageante. Ce travail a fait l'objet d'une publication en chapitre d'ouvrage⁵.

C.4.2.3 Influence du flow psychologique sur la gestion de tâches cognitives secondaires : un approche comparant les mesures d'effort mental subjectif et objectif

Le flow est un état d'attention sans effort qui s'appuie sur des mécanismes différents de ceux qui sont impliqués dans l'attention au cours de l'effort mental. Les résultats préliminaires précédents ont indiqué qu'il existe deux stratégies de régulation de la charge cognitive : Lors de la résolution d'énigmes, certains participants semblent plus focalisés sur la conduite et d'autres plus distraits et mal à l'aise. Dans cette étude complémentaire, nous faisons l'hypothèse que la propension au flow psychologique des conducteurs peut influencer leurs choix en matière de stratégies de régulation de la charge cognitive. La prédisposition au Flow est associée à la personnalité.

En prenant en compte la prédisposition au Flow psychologique des conducteurs, cette étude vise à identifier les indicateurs de l'effort mental de trois mesures différentes enregistrées sur un simulateur de voiture : activité cardiaque, la performance de conduite et des données subjectives.

Une expérience a été menée avec 23 conducteurs (âge moyen 26 ans) dans les conditions expérimentales évoquées précédemment. La propension au Flow a été évalué avec une version française du « Swedish flow Proneness Questionnaire ». L'effort mental a été mesuré par la variabilité du rythme cardiaque.

Une corrélation négative entre la prédisposition au Flow et l'effort mental subjectif a été observée. Toutefois, la propension au Flow n'a eu aucun effet sur la variabilité du rythme cardiaque. Les stratégies de régulations utilisées par les conducteurs sur l'autoroute et les routes secondaires semblent différentes.

Ce travail a fait l'objet d'une communication à la conférence internationale « Driver Distraction and Inattention 2013 ».

C.4.2.4 Résultats portant sur des avancées méthodologiques

D'un point de vu méthodologique, nous avons aussi levé un certain nombre de verrous dans **l'étude de l'impact de la régulation émotionnelle par le conducteur**. Nous souhaitons pouvoir étudier un état émotionnel qui soit a priori le même chez tous les conducteurs. Nous avons donc opté pour l'utilisation de méthodes d'induction émotionnelle. Une première méthode d'induction a donc été sélectionnée dans le cadre des travaux sur l'influence des pensées émotionnelles. La procédure de Meyer offrant les meilleures garanties de modifications de l'état émotionnel des individus (tout en limitant le caractère parfois invasif de l'induction émotionnelle telle que rencontrée pour des procédures telles que le rappel autobiographique) a été retenue. Cependant, comme toute méthode d'induction, il est à rappeler que la durée de son action n'excède pas 15 minutes (expliquant en partie la difficulté à pouvoir l'évaluer dans un contexte de conduite sur route réelle).

Une seconde méthode d'induction a également été utilisée dans le cadre des travaux portant cette fois sur les pensées distractives, c'est-à-dire les pensées dont la valence émotionnelle est neutre. Il s'agissait là encore d'étudier précisément l'effet de telles pensées sur le comportement de conduite. L'induction de pensées distractives consiste en l'étude de paires

d'items (une image + une intention ou un mot) pour un rappel futur. Notons que cette consigne n'est indiquée aux participants qu'une fois : en introduction à cette phase d'induction. A l'issue de cette induction, les conducteurs réalisent alors un parcours routier simulé sur lequel se trouve des panneaux présentant des images (précédemment vues ou nouvelles). Nous avons alors considéré que la période englobant les panneaux routiers étaient des périodes durant lesquelles les conducteurs pensaient à autre chose...Autre chose que nous pouvions évaluer en fonction de leur réaction aux informations présentées. Nous avons ainsi développé une méthode d'induction de pensées distractives permettant de déterminer précisément sur un parcours routier simulé à la fois le contenu des pensées distractives du conducteur mais également le laps de temps durant lequel le conducteur les traite. Par ailleurs, nous avons développé une mesure off-line du mind-wandering au volant, consistant en un questionnaire administré aux conducteurs juste après un trajet routier. Cette nouvelle mesure off-line présente l'avantage certain d'être non invasif, de n'ajouter aucune interférence dans l'activité de conduite.

C.4.2.5 L'inattention au volant: Comment les pensées factuelles internes impactent le contrôle attentionnel en conduite automobile

Généralement défini comme "des pensées sans rapport avec la tâche", l'état de mind-wandering est une des causes invoquée d'inattention sur la tâche en cours. Ce concept inclut l'ensemble des pensées qu'elles soient inconscientes, émotionnelles (ruminatives) ou distractives. Certains chercheurs se sont intéressés à l'étude des pensées ruminatives dans le contexte quotidien de conduite automobile, et ont montré leur effet délétère sur la focalisation attentionnelle au volant. Bien que plus fréquentes au volant, aucune étude ne s'est encore centrée sur des pensées distractives. Le but de cette étude est de déterminer comment ce type de pensées influence le comportement de conduite. Les participants de notre étude ont été subit une induction aux pensées distractives (de souvenirs du passé et du futur), consistant en l'encodage (durant une phase dite d'étude) de couples image/mot (des pensées rétrospectives) et l'image/intention (pensées prospectives).

Les participants étaient ensuite invités à réaliser un parcours de de conduite simulée sur un circuit autoroutier. Sur ce circuit, de manière aléatoire apparaissaient sur des panneaux routiers les images encodées. Ces images servaient d'indices de rappel des mots ou intentions précédemment encodées. Les conducteurs devaient se rappeler le mot ou l'intention associée à l'image dès qu'ils le voyaient, exigeant une auto-activation de ces pensées par les participants. Les résultats montrent que les pensées distractives engendrent une dégradation des micro-régulations sur la vitesse et la position latérale. Par ailleurs, un rétrécissement du balayage visuel de la scène de conduite est observé. Enfin, les participants ont déclaré une augmentation de leur charge de travail mentale alors qu'ils traitaient les pensées distractives. Les aspects théoriques et méthodologiques de l'étude sont discutés au regard de la littérature sur le mind-wandering et la distraction en conduite.

Ce travail a fait l'objet d'une publication dans la revue Safety Science (livrable ANR-ATLAS n°2.6).

C.4.2.6 Impact de la tristesse et des pensées ruminatives induites sur le contrôle attentionnel en conduite automobile

Bien que largement soupçonnée d'altérer les fonctions cognitives, très peu d'études se sont intéressées à l'effet de l'émotion (en particulier négative) sur le contrôle attentionnel. L'étude présente met précisément en question le rôle de la tristesse induite (par imagination) sur

l'orientation couverte de l'attention visuo-spatiale. En particulier, nous nous sommes intéressées à l'effet de l'état émotionnel et des ruminations sur les effets de facilitation/inhibition spatiales.

Après une induction émotionnelle neutre ou triste, les participants ont exécuté la tâche d'orientation exogène de Posner. Les participants exécutaient alors la tâche tout en écoutant ou non un extrait musical triste. La présence de musique durant la tâche attentionnelle avait pour objet le renforcement de l'état émotionnel triste, induisant des ruminations chez les participants. L'analyse des temps de réaction en condition d'induction émotionnelle neutre et sans renforcement musical réplique les résultats classiquement observés : l'indiçage valide conduit à une facilitation des temps de réponse, alors que l'indiçage non valide conduit à un effet d'inhibition. Dans la condition où les participants écoutaient de la musique triste tout en réalisant la tâche d'orientation, on observe une disparition des effets d'inhibition, et un maintien des effets de facilitations. Dans la condition où les participants subissaient une induction émotionnelle triste puis réalisaient la tâche en écoutant de la musique triste, les effets de facilitation et d'inhibition disparaissent enfin. En accord avec la littérature sur l'émotion et la cognition, les résultats sont compatibles avec l'idée que l'émotion de tristesse altérerait le contrôle d'attentionnel, en particulier la capacité à orienter son attention vers une cible externe.

Ces travaux ont fait l'objet d'un rapport ANR (livrable ANR-ATLAS n°2).

C.4.2.7 Enquête sur l'apparition d'épisodes de vagabondage de la pensée en conduite automobile

Des recherches récentes ont clairement montré que l'inattention du conducteur a un effet indiscutable sur la sécurité routière. On considère l'inattention comme la conséquence d'une modification du focus de l'attention de la tâche en cours vers les pensées internes du sujet. Cet état d'inattention provoqué par des divagations de l'esprit est également connu sous le nom de mind-wandering (MW). A ce jour, la seule étude portant sur l'effet du mind-wandering au volant est celle menée en épidémiologie par Galéra et al. (2012) qui a montré un sur-risque d'accident associé à l'état de divagation de l'esprit.

Le but de l'étude présente est d'examiner la question du mind-wandering « ordinaire » (n'ayant pas conduit à un accident de la route), par le biais d'un questionnaire interrogeant les conducteurs sur leurs pensées et l'effet de leur traitement durant leur dernier trajet automobile. L'ensemble des participants ont été recrutés via internet (sur des réseaux sociaux dévolus à la passation d'expériences). Le questionnaire passé en ligne s'intéressait aux sections suivantes (1) caractéristiques personnelles (2) contexte dans lequel le MW arrive (3) la conscience des épisodes de MW et finalement (4) les caractéristiques des pensées.

Les résultats ont révélé que le MW a affecté 85.2 % des conducteurs, durant 34.74 % de leur trajet. Par ailleurs, les contextes que favorisent le MW sont des situations dans lesquelles la tâche de conduite ne nécessite pas une charge mentale importante : comme des trajets familiers, sur autoroute, monotones, ou quand les conducteurs sont seuls dans leur voiture. Les pensées traitées ont tendance à impliquer des préoccupations privées, neutres, et liées à un contenu présent ou futur. Enfin, les conducteurs rapportent avoir rapidement pris conscience de leur état de MW.

Cette étude suggère que le MW est un état fonctionnel permettant, entre autre, de résoudre des problèmes actuels. Des travaux futurs devront se concentrer sur cette question critique de MW au volant afin d'identifier les problèmes de sécurité que cet état engendre, et fournir en conséquence des solutions appropriées.

Ce travail a été valorisé par la soumission d'un article à la revue Transportation Research Part F, il est actuellement en révision.

Pour la première fois, **une base de données en conduite réelle incluant les paramètres véhicule et des indicateurs d'attention du conducteur a été élaborée et partagée dans le but d'étudier les liens potentiels entre ces deux catégories de variables.** Le projet a ainsi été conçu pour permettre l'identification de nouveaux indicateurs lié à l'inattention des conducteurs dont le traitement permettra d'élaborer, à partir des données véhicule, un diagnostic robuste de l'inattention au volant.

C.4.2.8 Détection de l'inattention au volant par des méthodes de géométrie de l'information

Dans le cadre du mémoire de Master d'Olivier Letellier sous l'encadrement de Bertrand Maury, des travaux portant sur la détection de l'inattention au volant par des méthodes de géométrie de l'information ont été présentés. Les théories mathématiques relatives à l'espace des vecteurs gaussiens centrés, la métrique de Fischer, les processus ARMA et les matrices de Toeplitz ont été explorées. Les méthodes de Géométrie de l'information appliquées aux données de contrôle latéral du véhicule permettent l'identification de seuils au-delà desquels il est probable que le conducteur réalise une activité concurrente à la conduite. Ces critères ne sont cependant pas toujours sensibles en raison de la variabilité des comportements observés. A l'issue de cette étude, il semble difficile d'imaginer un dispositif unique et utilisant uniquement les données du véhicule pour détecter l'inattention chez tous les conducteurs. En effet, nous avons pu constater que sur un même trajet, non seulement les conducteurs adoptent des stratégies assez différentes pour maintenir leur trajectoire, mais qu'en plus ils ne réagissent pas du tout de la même façon aux tâches ajoutées. Si nous avons une certitude au terme de cette étude, c'est que ce sujet de l'inattention au volant, extrêmement riche et complexe, favorisant l'approche pluridisciplinaire et aux enjeux très importants, a de beaux jours devant lui.

Ces travaux ont fait l'objet d'un rapport ANR (livrable ANR-ATLAS n°2.5).

C.4.2.9 Inattention au volant : recueil et analyse de données comportementales sur route ouverte

Au cours des 4 derniers mois du projet, une expérimentation a été menée sur route ouverte. Ce travail aurait dû être mené au cours de la troisième année du projet, mais en raison du refus de promotion de l'étude expérimentale sur route par le CNRS ce travail a pris un énorme retard. Les partenaires ont souhaité pallier cette forte déconvenue et l'Ifsttar-Lescot a pris en charge ces expérimentations. Des données comportementales ont été collectées sur autoroute auprès d'une vingtaine de conducteur en utilisant les paradigmes expérimentaux et les méthodes développés dans ce projet. Elles ont été sommairement analysées. Les premiers résultats confirment que le contrôle latéral du véhicule est modifié lorsque les conducteurs sont cognitivement distrait (en ligne droite, l'écart-type de l'angle au volant est plus grand et, en courbe, le signal de position sur la voie pourrait être sensible). Les outils mis en œuvre dans ce projet, permettent d'enrichir les données de conduite à l'aide d'une analyse psycho-ergonomique de l'activité. Cette approche est requise afin d'identifier, à partir des données de contrôle latéral, les algorithmes les plus sensibles et spécifiques possibles. Dans les mois à venir, l'activité cardiaque, les vidéos et les déclarations spontanées des conducteurs serviront à mieux renseigner les données avant de tester nos algorithmes.

Ce travail sera la première étape vers la mise au point d'un système de supervision du conducteur, contribuant ainsi aux objectifs de réduction de l'insécurité routière. Un rapport a été produit (livrable ANR-ATLAS n°3).

C.5 EXPLOITATION DES RESULTATS

En raison de la réalisation tardive de l'expérimentation sur autoroute, des retards ont été pris dans l'exploitation de ces données. Dans l'année à venir, les partenaires du projet vont poursuivre leur collaboration. Un avenant à l'accord de consortium est en cours de rédaction. Ces données pourront être exploitées sans aide financière supplémentaire.

Les premiers résultats présentés dans ce rapport permettent d'ores et déjà d'éclairer la décision publique. La Délégation à la Sécurité et à la Circulation Routière a été informée des résultats de nos études.

Ces premiers résultats sont encourageants mais pas suffisants pour permettre une détection à l'aveugle des états du conducteur ; la démarche de recherche des futurs indicateurs sera bien entendu focalisée sur cette détection. En effet dans la cadre d'une automatisation partielle d'un véhicule, la composante humaine est toujours la moins bien connue alors que l'homme est souvent à la source des problèmes de sécurité. Il paraît donc très important de se donner les moyens de mieux connaître le conducteur et ses états internes. Cette connaissance permettra d'adapter au mieux les interfaces de conduite en tenant compte du conducteur.

Compte tenu du potentiel d'innovation de nos travaux et des nouvelles orientations prises par BPI France, les partenaires de ce projet vont s'atteler à promouvoir nos travaux dans les différentes régions susceptibles de proposer de nouvelles collaborations permettant un élargissement de notre consortium. Les fonds régionaux d'innovation pourraient nous permettre de prolonger ces travaux.

C.6 DISCUSSION

A l'exception d'un objectif ambitieux, les principaux objectifs du projet ont été atteints. Nous avons pu estimer les sur-risques d'accident liés aux différents défauts d'attention et comprendre leurs causes ou origines et leurs conséquences sur la conduite automobile. Nous n'avons pas pu trouver un indicateur sensible et robuste à partir des données de contrôle latéral ou longitudinal, mais cette vision nous a permis d'identifier les situations de conduite pour lesquelles différents indicateurs doivent être recherchés. Nous avons ainsi pu recueillir des données pour ces différentes situations (cf. Livrable ANR n°3) la recherche d'indicateurs pourra être menée dans l'année à venir. Deux élèves de l'X nous apporteront leur concours.

Le recours à l'analyse de données électrophysiologiques a été précieux. Il nous a permis de mieux identifier les mécanismes cognitifs en cause dans la survenue de défauts d'attention. L'anticipation et le traitement sensoriel sont altérés par la distraction cognitive dans les phases précoces du traitement du signal. L'analyse de la variabilité du rythme cardiaque sur des fenêtres temporelles longues ne s'est pas avérée suffisamment sensible pour détecter de l'inattention à la conduite. La collecte de données cardiaques synchronisées avec précision ouvre de nouvelles perspectives d'analyse avec la technique de la réponse cardiaque évoquée (Lawrence et al, 2009). Deux stagiaires de Master en Sciences Cognitives analyseront les données collectées sur route dans le courant de l'année à venir. Au niveau Européen, le projet HARKEN (<http://harken.ibv.org/>) s'attèle à contrôler l'état du conducteur à l'aide de

signaux physiologiques liés à la respiration et à l'activité cardiaque afin de limiter l'hypovigilance des conducteurs. Il réunit des entreprises et des centres de recherche qui produisent des composants et capteurs de biomonitoring. Les signaux physiologiques sont recueillis à l'aide de capteurs placés dans la ceinture de sécurité et dans le tissu recouvrant le siège. Le principe est d'utiliser des données de vibrations et des artefacts redondants afin d'améliorer la qualité des données recueillies en développant des filtres adaptatifs. Les premiers résultats obtenus sont encourageants et nous pourrions nous inspirer des futurs challenges que l'équipe va relever pour tenter de détecter l'inattention.

Dans la même veine, le Projet Européen Have-It (<http://www.haveit-eu.org>) s'est attelé à contrôler les états d'alerte et d'attention du conducteur en se focalisant sur la détection des états de somnolence et de distraction à l'aide de mesure directes (fermeture des paupières) et indirectes (performances de conduite). Le concept général d'évaluation de l'état du conducteur n'est pour l'instant orienté que vers la détection de la fatigue et de la distraction. Aucun projet n'a à ce jour porté sur la détection de l'inattention produite par le vagabondage de la pensée.

La confrontation de différentes disciplines au sein du projet ATLAS s'est avérée très enrichissante. Les méthodes mathématiques et le traitement du signal nous ont permis de cerner les indicateurs les plus sensibles en visualisant des traces. Nous avons utilisé des méthodes complémentaires permettant d'analyser l'impact de la distraction cognitive sur l'activité de conduite par des analyses exploratoire et confirmatoire. Les travaux que nous allons mener via des approches probabilistes en statistiques vont permettre de rechercher des similitudes et des variations dans les données. Les résultats obtenus avec des méthodes utilisées en intelligence artificielle comme l'analyse exploratoire des données séquentielles apporteront un éclairage complémentaire. La confrontation de ces travaux sera source de sérendipité.

Ce projet a aussi permis de mieux approcher l'intrication de l'affectif et du cognitif. Nous avons montré qu'un état de tristesse montre un envahissement de la cognition du conducteur (l'état de tristesse engendre des ruminations et le conducteur a du mal à en sortir). Alors que pour le vagabondage de la pensée, il semble que les conducteurs gèrent de manière plus efficace les tâches cognitives complémentaires (ils s'estiment capable de mener deux tâches cognitives concurrentes – conduire et réfléchir - et si nécessaire, ils abandonnent facilement le traitement de ces pensées moins envahissantes). Concernant les travaux relatifs aux émotions et à l'attention, de nombreuses questions ne sont pas encore résolues : à quelle étape joue l'émotion ? à quel degré ? (centration ou digression). Il est fort probable qu'il soit démontré dans les années à venir que les distractions cognitives peuvent aussi avoir des influences positives sur la régulation émotionnelle.

C.7 CONCLUSIONS

Par la confrontation de différents points de vue disciplinaires, ce projet a permis des avancées conséquentes sur le thème des défauts d'attention au volant. Nous avons commencé à comprendre les causes et les origines de différents défauts d'attention et leurs conséquences sur la conduite automobile. Les techniques d'analyse exploratoire de données séquentielles et d'apprentissage supervisé (data-mining) appliquées aux données de conduite collectées sur autoroute vont permettre de rechercher des algorithmes aptes à identifier un conducteur distrait. De nouveaux défis technologiques, constituant à adapter

les assistances en fonction de l'état du conducteur, pourront ainsi prochainement être relevés.

Ce projet a confirmé un fort enjeu de sécurité routière et de santé publique sur ce thème. Nous avons pu préciser les enjeux de sécurité routière liés à la détection de la multi activité au volant de ceux liés à la détection du vagabondage de la pensée du conducteur. Ces résultats montrent que, sur la question de l'identification en temps réel d'état attentionnel dégradé, il est nécessaire d'engager des recherches innovantes sur la question du vagabondage de la pensée. Dans un numéro récent de *pour la science* (n°431, septembre 2013), il est mentionné qu'une équipe de l'université d'Harvard, a pu démontrer (en déclenchant artificiellement les vagabondages de l'esprit et en les étudiant par imagerie cérébrale), que l'esprit vagabonderait presque la moitié du temps. Ceci confirme l'existence de nouveaux enjeux scientifiques majeurs sur cette question. Des travaux doivent encore être menés afin d'avancer dans la caractérisation des conducteurs (au travers de la définition de typologies ou la définition individualisée de comportements en conduite nominale – comportement de référence). Au niveau international, au cours de ces 4 dernières années, plusieurs équipes de recherche en transport se sont attaqués à cette question (Marieke Martens TNO et Jibo He University of Illinois at Urbana-Champaign), des collaborations intéressantes pourront être envisagées.

De manière plus générale, ces travaux visent à améliorer le contrôle cognitif d'opérateurs placés en situation dynamique. Les résultats de ce projet sont transférables au-delà du domaine de la conduite automobile. Ces résultats novateurs sur l'influence du vagabondage de la pensée sur le contrôle attentionnel en situation dynamique pourront également avoir des implications dans le domaine du transport ferroviaire, aérien, maritime et fluvial, ainsi qu'en sécurité au travail. Ils permettent de faire face à des enjeux sanitaires, économique et sociaux importants en limitant les risques d'accidents. Plusieurs projets de recherche pourront ainsi être proposés pour répondre à de nouveaux défis sociétaux.

C.8 REFERENCES

1. Galéra C, 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 MP, Lagarde E. Mind Wandering and Driving: responsibility case-control study. *BMJ* 2012 Dec 13;345:e8105. doi: 10.1136/bmj.e8105.
2. Bakiri S, Galéra C, Lagarde E, Laborey M, Contrand B, Ribéreau-Gayon R, Salmi LR, Gabaude C, Fort A, Maury B, Lemercier C, Cours M, Bouvard MP, Orriols L. Distraction and driving: Results from a case-control responsibility study of traffic crash injured drivers interviewed at the emergency room. *Accid Anal Prev*, 2013 Jun 10;59C:588-592. doi: 10.1016/j.aap.2013.06.004.
3. Pêcher, C. & Lemercier, C. Induced sadness and spatial attention: Evidence for a deficit in the orienting of attention related to sadness. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (under revision).
4. Lemercier, C., Pêcher, C., Berthié, G., Valéry, B., Vidal, V., Paubel, P-V., Cour, M., Fort, A., Galéra, C., Gabaude, C., Lagarde, E., & Maury, B. (2014). Inattention behind the wheel: How factual internal thoughts impact attentional control on driving. *Safety Science*, 62, 274-285.
5. Gabaude, C., Baracat, B., Jallais, C., Bonniaud, M., Fort, A. (2012). Cognitive load measurement while driving. In D. de Waard, K. Brookhuis, F. Dehais, C. Weikert, S.

- Röttger, D. Manzey, S. Biede, F. Reuzeau, and P. Terrier (Eds.) (2012). Human Factors: a view from an integrative perspective. Proceedings HFES Europe Chapter Conference Toulouse, 67-80. ISBN 978-0-945289-44-9. Available from <http://hfes-europe.org>.
6. Hendricks, D.L., J.C. Fell, and M. Freedman. The Relative Frequency of Unsafe Driving Acts in Serious Traffic Crashes. 2001, National Highway Traffic Safety Administration: Washington D.C.
 7. Wang, J.S., R.R. Knippling, and M.J. Goodman. The role of driver inattention in crashes; new statistics from the 1995 crashworthiness data system. in 20th annual proceedings of the association for the advancement of automotive medicine. 1996. Vancouver, British Columbia.
 8. Dingus, T.A., et al., The 100-car naturalistic driving study; Phase II- Results of the 100-car field experiment. Contract No. DTNH22-00-C-07007 (Task Order No. 06). 2004, Blacksburg, VA: Virginia Tech Transportation Institute.
 9. Klauer, S.G., et al., The Impact of Driver Inattention on Near-Crash/Crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data. 2006, Virginia Tech Transportation Institute. p. 226.
 10. Theeuwes, J. and R. Godijn, Attentional and oculomotor capture, in Attraction, distraction, and action: Multiple perspectives on attentional capture, C. Folk and B. Gibson, Editors. 2001, Elsevier: Amsterdam. p. 121-149.
 11. Victor, T., System and method for monitoring and managing driver attention loads. 2002: USA.
 12. Lagarde, E., et al., Emotional stress and traffic accidents: the impact of separation and divorce. *Epidemiology*, 2004. 15(6): p. 762-6.
 13. Pentland, A. and A. Liu, Modeling and prediction of human behavior, *Neural Computation*, 1999. 11 p. p229-242
 14. Kumagai, et al. Prediction of driving behavior through probabilistic inference in The Eight International Conference On Engineering Application Of Neural Networks. 2003.
 15. Dapzol, N., Analyse de l'activité de conduite par les chaînes de Markov cachées et les modèles de ruptures multiphasiques : méthodologie et applications. Thèse de mathématiques appliquées Université Claude Bernard . (2006)
 16. Victor, T., Keeping eye and mind on the road. . 2006, Dissertation presented at Uppsala University.
 17. Harbluk, J.L., Y.I. Noy, and M. Eizenman, The Impact of Cognitive Distraction on Driver Visual Behaviour and Vehicle Control. Transport Canada. 2002. p 26.
 18. Mosedale, J., A. Purdy, and E. Clarkson, Contributory factors to road accidents. , ed. T.s.R.S.D.f. Transport. 2005.
 19. Ranney, T.A., et al., NHTSA driver distraction Research : past, present, and future. . 2000.
 20. Stutts, J., et al., The role of driver distraction in traffic crashes., ed. A.F.f.T. Safety. 2001.
 21. Van Eslande, P., et al., De la vigilance à l'attention: déclinaison des problèmes liés à l'état psychophysiologique et cognitif du conducteur, et analyse de leur influence sur les mécanismes d'accidents. 2005, NRETS/DRA.
 22. Wang, J.-S., R.R. Knippling, and M.J. Goodman, The role of driver inattention in crashes: New statistics from the 1995 Crashworthiness Data System, 1996: p. 377-392.
 23. Trick, L., Enns, J., Mills, J., and Vavrik, J. (2004). Paying attention behind the wheel: a framework for studying the role of attention in driving. *Theor. Issues in Ergon. Sci.*, 5 (5), 385-424.

24. Regan, M. A., Young, K. L. and Lee, J. D. (Eds). (sous presse). Driver distraction: Theory, Effects and Mitigation. CRC Press, Florida, USA.
25. Strayer, D.L., Drews, F.A., & Johnston, W.A. (2003). Cell Phone-Induced Failures of Visual Attention During Simulated Driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9 (1), 23-32.
26. Stanton, N., and Young, M. (1998). Vehicle automation and driving performance, *Ergonomics*, 41, 1014-1028.
27. Lemerrier, C. & Cellier, J-M. (2008). Les défauts de l'attention en conduite automobile: Inattention, distraction et interférence. *Le Travail Humain*, 71 (3), 271-296.
28. Brown, J., A review of the "Looked But Failed To See" accident causation factor, D.o. transport., Editor. 2001: London.
29. Recarte, M.A. and Nunes, L.M. (2000) Effects of verbal and spatial-imagery tasks on eye fixations while driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6(1), 31-43.
30. Crawford, J.R., Henry, J.D., Ward, A.L., Blake, J., 2006. The prospective and retrospective memory questionnaire (PRMQ): latent structure, normative data and discrepancy analysis for proxy-ratings. *British Journal of Clinical Psychology* 45, 83-104.
31. Kosslyn, S. M., Ball, T. M., and Reiser, B. J. (1978) Visual images preserve metric spatial information: Evidence from studies of image scanning. *Journal of Experiment Psychology: Human Perception and Performance*, 4(1), 47-60.
32. Recarte, M.A. and L.M. Nunes, Mental workload while driving: effects on visual search, discrimination, and decision making. *J Exp Psychol Appl*, 2003. 9(2): p. 119-37.
33. Harbluk, J.L., et al., An on-road assessment of cognitive distraction : Impacts on drivers' visual behavior and braking performance *Accid Anal Prev* 39, 2007: p. 372-379.
34. Liang, Y., Reyes, M. L. and Lee, J. D., (2007) Real-time detection of driver distraction using Support Vector Machines. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, No. 2, 340-350.
35. Mesken, J., Hagenzieker, M., Rothengatter, T. and de Waard, D. (2007). Frequency, determinants, and consequences of different driver's emotions: an on-the-road study using self-reports, (observed) behaviour, and pshysiology. *Transportation Research part F*, 10, 458-475.

D LISTE DES LIVRABLES

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
28/04/10		Premier rapport d'avancement	Rapport	Tous	
28/09/11		Deuxième rapport d'avancement	Rapport	Tous	
??/07/12		Troisième rapport d'avancement	Rapport	Tous	
19/04/10	1	Typologie des accidents survenant dans des périodes difficiles	Rapport	Partenaires 2 (E. Lagarde)	
19/03/12	1.2	Estimation des sur-risques liés aux défauts d'attention	Publication	Tous (E. Lagarde)	Article publié
31/07/12	1.3	Application et validation de la responsabilité en sécurité routière	Publication	Tous (E. Lagarde)	Article publié
19/09/11	2	Impact de la tristesse et des pensées ruminatives induites sur les processus attentionnels	Rapport	Partenaire 3 (C. Lemerrier)	
03/12/12	2.2	Hierarchisation des tâches secondaires et choix pour la Tache 3	Rapport	Partenaire 1 (A. Fort)	
23/04/12	2.3	Mise à disposition d'une base de données comportementales recueillies sur simulateur	Données	Partenaire 1 (C. Gabaude)	
30/11/11		Mise à disposition d'une plateforme logicielle permettant la visualisation et l'analyse des données de conduite	Logiciel	Partenaire 1 (C. Gabaude)	
08/08/12	2.4	Etat de l'art, bilan scientifique et technique en cours de projet	Rapport	Partenaire 1 (C. Gabaude)	Compte rendu intermédiaire à 30 mois
15/09/12	2.5	Choix des indices d'inattention	Rapport	Partenaire 5 (B. Maury)	Mémoire de Master O. Letellier
10/09/13	2.6	Etude de l'impact des pensées distractrices sur la focalisation attentionnelle du conducteur sur la scène routière	Publication	Partenaire 3 (C. Lemerrier)	Article publié
17/06/13	3	Protocole expérimental et premiers résultats de l'Etude sur route	Rapport	Partenaire 1 (C. Gabaude)	
15/11/13		Rapport final	Rapport	Tous	

E IMPACT DU PROJET

E.1 INDICATEURS D'IMPACT

Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)

		Publications multipartenaires	Publications monopartenaires
International	Revue à comité de lecture	3 (acceptées) 1 (en révision) 2 (en préparation)	
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage		2 (acceptés)
	Communications (conférence)	5	1
France	Revue à comité de lecture		1
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage		
	Communications (conférence)	4	1
Actions de diffusion	Articles vulgarisation	2 (publiés)	
	Conférences vulgarisation		2 (Predit)
	Autres		1 (audition Assemblée Nationale)

Autres valorisations scientifiques (à détailler en O)

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	
Brevet internationaux en cours d'obtention	
Brevets nationaux obtenus	
Brevet nationaux en cours d'obtention	
Licences d'exploitation (obtention / cession)	1 (2011, interface logicielle BIND, Bonard A. & Sornette D.)
Créations d'entreprises ou essaimage	
Nouveaux projets collaboratifs	1 (2013, PIAAC, porteur E. Lagarde, financement Fondation sécurité routière)
Colloques scientifiques	1 (ICDDI – International Conference on Driver Distraction and Inattention, le projet ATLAS a été présenté à toutes les éditions – 2009, 2011, 2013)
Autres (préciser)	

E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

E.2.1 ARTICLES DANS REVUES A COMITE DE LECTURE INTERNATIONAL

- Galéra C, 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 MP, Lagarde E. Mind Wandering and Driving: responsibility case-control study. *BMJ* 2012 Dec 13;345:e8105. doi: 10.1136/bmj.e8105.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23241270>

- Bakiri S, Galéra C, Lagarde E, Laborey M, Contrand B, Ribéreau-Gayon R, Salmi LR, Gabaude C, Fort A, Maury B, Lemerrier C, Cours M, Bouvard MP, Orriols L. Distraction and driving: Results from a case-control responsibility study of traffic crash injured drivers interviewed at the emergency room. *Accid Anal Prev*, 2013 Jun 10;59C:588-592. doi: 10.1016/j.aap.2013.06.004.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23969270>
- Pêcher, C. & Lemerrier, C. Induced sadness and spatial attention: Evidence for a deficit in the orienting of attention related to sadness. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (under revision).
- Lemerrier, C., Pêcher, C., Berthié, G., Valéry, B., Vidal, V., Paubel, P-V., Cour, M., Fort, A., Galéra, C., Gabaude, C., Lagarde, E., & Maury, B. (2014). Inattention behind the wheel: How factual internal thoughts impact attentional control on driving. *Safety Science*, 62, 274-285.

E.2.2 ARTICLES PUBLIES DANS REVUES A COMITE DE LECTURE NATIONAL

- Gabaude, C. (2010). Les défauts d'attention au volant : définitions, état des connaissances et pistes de recherches pour la prévention des risques routiers. *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement*, 3(71), 533-536.

E.2.3 OUVRAGE OU CHAPITRE D'OUVRAGE

- Gabaude, C., Baracat, B., Jallais, C., Bonniaud, M., Fort, A. (2012). Cognitive load measurement while driving. In D. de Waard, K. Brookhuis, F. Dehais, C. Weikert, S. Röttger, D. Manzey, S. Biede, F. Reuzeau, and P. Terrier (Eds.) (2012). *Human Factors: a view from an integrative perspective*. Proceedings HFES Europe Chapter Conference Toulouse, 67-80. ISBN 978-0-945289-44-9. Available from <http://hfes-europe.org>.
- Gabaude, C., Cerf, J.E., Jallais, C., Douissembekov, E., Paire-Ficout, L., Michael, G. (2011). Effects of aging and cognitive distraction on the setting of the salience-relevance balance in visual search. *Driver Distraction and Inattention Conference*, Gothenburg, Sweden, September 5-7th, 18 p.

E.2.4 ARTICLES EN PRÉPARATION

- El Farouki, K. , Contrand, B. , Ribéreau-Gayon, R., Salmi, L.R., Gabaude, C., Fort, A., Maury, B., Lemerrier, C., Cour, M., Bouvard, M.P., Orriols, L., Lagarde, E., Galéra, C. (in press). Attention Deficit Hyperactivity Disorder and distraction on the wheel: results from a case-control responsibility study of traffic crash injured drivers interviewed at the emergency room (en préparation).
- Labeye, E., Gauthier, S., Fort, A., Jallais, C., Maury, B., Lemerrier, C., Cour, M., Lagarde, E., Gabaude, C. Measuring being lost in thought : an exploratory on road study, (en préparation).

E.2.5 COMMUNICATIONS ET POSTERS ACCEPTÉS

- Bakiri S, Galéra C, Lagarde E, Laborey M, Contrand B, Ribéreau-Gayon R, Salmi LR, Gabaude C, Fort A, Maury B, Lemerrier C, Cours M, Bouvard MP, Orriols L.

Distraction and driving: results from the epidemiology task of the ATLAS project: a casecontrol responsibility study of traffic crash injured drivers interviewed at the emergency room. 3rd International Conference Driver Distraction and Inattention. Gothenburg, Sweden 4-6 September 2013 (oral communication).

- Baracat, B., Fort, A., Gabaude, C. Assessment of cognitive load induced by a dual task using cardiac and GSR measures. Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Annual Meeting, Toulouse, octobre 2012 (poster).
- Fort, A., Gabaude, C., Pêcher, C., Jallais, C., Baracat, B. (2013). Défauts d'attention en conduite automobile simulée : approche comportementale et électrophysiologique. Congrès de la Société Française de Psychologie, Lyon, France, 11-13 septembre 2013.
- Gabaude, C., Cerf, J.E., Jallais, C., Douissembekov, E., Paire-Ficout, L., Michael, G. (2011). Effects of aging and cognitive distraction on the setting of the salience-relevance balance in visual search. Driver Distraction and Inattention Conference, Gothenburg, Sweden, September 5-7th 2011.
- Gabaude, C., Rolland, V., Carrotte, A., Jallais, C., Fort, A., Baracat, B., Michael, G.A. (2013). Influence of psychological flow on the management of cognitive secondary tasks while driving: an approach comparing subjective and objective mental effort measurement. Driver Distraction and Inattention Conference, Gothenburg, Sweden, September 4-6th 2013.
- Gabaude, C., Rolland, V., Carrotte, A., Jallais, C., Fort, A., Baracat, B., Michael, G.A. (2013). Influence du flow psychologique sur la gestion des tâches cognitives en conduite automobile : approche comparée des mesures subjective et objective de l'effort mental. Congrès de la Société Française de Psychologie, Lyon, France, 11-13 septembre 2013.
- Galéra C, Gabaude C, Maury B, Lemerrier C, Salmi LR, Lagarde E. Vagabondage des pensées et risqué d'accident de la route. Congrès ADELFF SFSP. Bordeaux, France; 17-19 October 2013 (poster).
- Galéra C, Gabaude C, Maury B, Lemerrier C, Salmi LR, Lagarde E. Mind wandering and driving. Eunethydis 23rd Network Meeting. Prague, Czech Republic; 3-4 October 2013 (poster).
- Lagarde E, Gabaude C, Maury B, Lemerrier C, Salmi LR, Galéra C. Mind wandering and driving. Safety 2012 World Conference. Wellington, New-Zealand; 1-4 October 2012 (poster).
- Lemerrier, C., Pêcher, C., Berthié, G. (2013). Inattention au volant : impact des pensées distrayantes sur le comportement attentionnel. Congrès de la Société Française de Psychologie, Lyon, France, 11-13 septembre 2013.
- Pêcher, C., & Lemerrier, C. (2011). The effects of induced sadness on the orienting of attention. ESCOP, 17th Meeting of the European Society for Cognitive Psychology, Donostia-San Sebastián, Spain, 29thSeptember -02ndOctober 2011.

E.2.6 AUTRES ELEMENTS DE VALORISATION

- Gabaude, C., Fatigue et défauts d'attention comme facteurs de risque d'accident (participation à une table ronde organisée par la commission d'enquête parlementaire sur la sécurité routière de l'Assemblée nationale).
- Gabaude, C., Lagarde E., Fort A., Lemercier C., Cour M., Maury B. (2013). ATLAS : Impact des inattentions sur la conduite automobile. Carrefour Final PREDIT4, Paris, 7-8 octobre 2013 (poster).
- Gabaude C., Lagarde E., Fort A., Lemercier C., Pêcher C., Cour M., Maury B. Comment reconnaître un conducteur inattentif ? - Vers la détection temps réel des états attentionnels dégradés, Carrefour mi parcours PREDIT4, Bordeaux, 10-12 mai 2010 (poster).
- Deniaud, C. (2011). Les distractions cognitives : impact de deux types de tâches cognitives sur l'activité de conduite. Rapport de stage pour l'obtention du diplôme de Master d'Ergonomie de l'Université Paris Sud 11, 127 p.
- Letellier O. (2012). Détection de l'inattention au volant par des méthodes de géométrie de l'information. Mémoire de master de mathématiques, Université Orsay Paris Sud, septembre 2012, 53 p.
- Rolland, V. (2013). Evaluation et gestion de l'effort mental en situation de conduite automobile. Mémoire de première année de Master en Sciences humaines et Sociales, mention : Sciences Cognitives. Université Lyon2, IFSTTAR-LESCOT, Bron, France, 47 p.
- Bakiri S . Méthode de la responsabilité en épidémiologie des accidents de la circulation : validation et application à l'étude de l'impact des activités annexes à la conduite susceptibles d'altérer l'attention. Mémoire du Master Sciences, Technologies, Santé : Mention Santé Publique – Spécialité Épidémiologie, juin 2012. 85 p.
- EL Farouki, K . Distractions et risque d'accidents de la circulation : le rôle des troubles psychiatriques. Mémoire du Master Sciences, Technologies, Santé : Mention Santé Publique – Spécialité Épidémiologie, juin 2013. 67 p.

E.2.7 LISTE DES ELEMENTS DE VALORISATION

Logiciels et tout autre prototype

Mise à disposition d'une plateforme logicielle permettant l'accès, la visualisation, l'enrichissement et l'extraction de données comportementale de conduite (interface logicielle BIND, A. Bonnard et D. Sornette ; IFSTTAR, Lescot).

Lancement de nouveau projet

Afin de prolonger le volet épidémiologique de l'étude ATLAS, le projet PIAAC a été préparé. Il est financé par la Fondation pour la Sécurité Routière sur une durée de trois ans. Son objectif est d'évaluer les évolutions de l'usage des nouvelles TIC au volant et leur impact sur le risque d'accident.

Développement d'un nouveau partenariat

Une collaboration avec l'université d'Albi a été mise en place afin d'identifier des indicateurs cardiaques plus robustes pour explorer les états attentionnels dégradés.