

03

LES CAHIERS DE L'OBSERVATOIRE DU GROUPEMENT Optic 2000

VUE ET AUDITION AU VOLANT

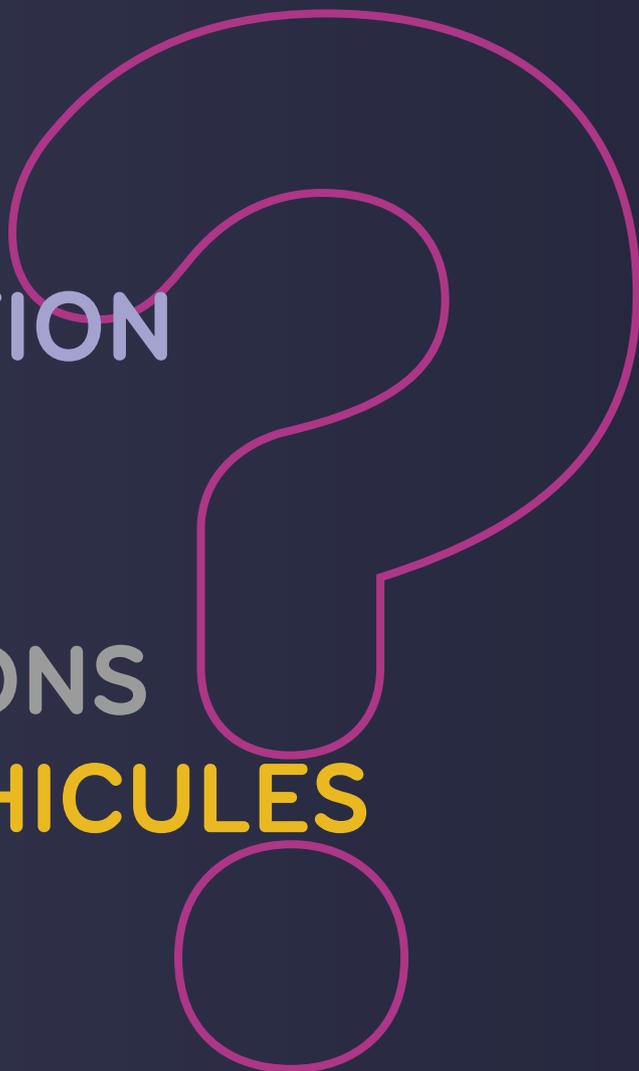
Comprendre et anticiper l'impact du véhicule de demain

OBSERVATOIRE
de la santé
VISUELLE & AUDITIVE





VUE ET AUDITION
AU VOLANT :
QUELLES
RÉPERCUSSIONS
**DANS LES VÉHICULES
DE DEMAIN**



La vision et l'audition sont essentielles pour mener à bien l'activité de conduite. Des sens qui sont aujourd'hui largement aidés par la technologie automobile avec l'émergence des assistances à la conduite. La voiture du futur se profile déjà et promet d'augmenter, puis de remplacer nos performances sensorielles grâce à des systèmes d'analyse et de détection de plus en plus précis. Une mutation rapide est à prévoir, puisqu'en 2035, près de 10 % des véhicules en circulation devraient être complètement autonomes. L'activité de conduite est alors à l'aube d'un changement profond.

Une bonne vision :

un des 3 premiers facteurs de sécurité
au volant selon les Français

57%

des Français imaginent
la voiture du futur
totalement autonome.

Pour cela, l'Observatoire a demandé à cinq experts de décrypter le fonctionnement spécifique de la vision et de l'audition au volant dans les véhicules d'aujourd'hui, et les répercussions à attendre sur la conduite de demain. Ophtalmologiste, ORL, chercheuses en psychologie cognitive spécialisées dans la conduite automobile, ingénieurs engagés dans la conception des véhicules autonomes : leurs analyses, adossées à une enquête d'opinion réalisée auprès de 1001 conducteurs, permettent de dégager des éléments de réponse sur des sujets tels que :

- La place de la vision et de l'audition dans l'activité de conduite.

Ces deux sens ont-ils la même importance ? Quels mécanismes se mettent en place ?

- Troubles visuels et auditifs, déficit d'attention : leur part de responsabilité dans la sécurité.

De quelle manière conduisent les personnes présentant des troubles visuels ou auditifs ? Comment adaptent-ils leur conduite ? Quelle place pour l'attention ?

- L'apport et le fonctionnement des nouvelles technologies dans le confort et la sécurité.

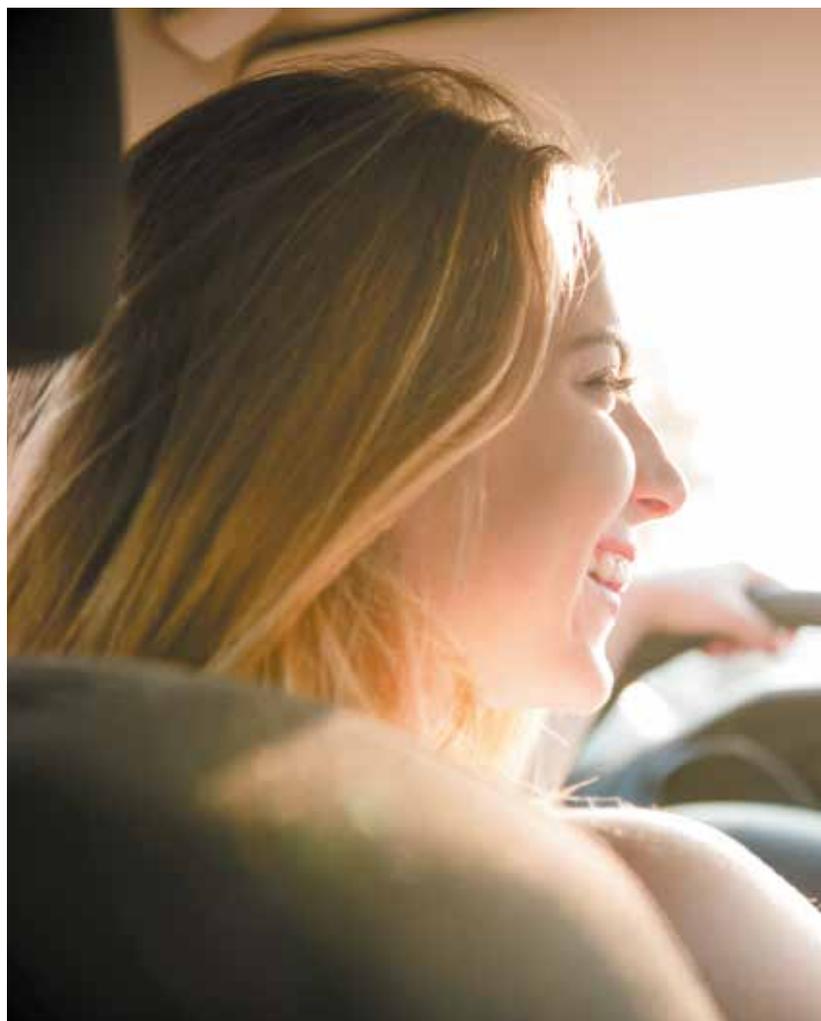
Quels sont ces systèmes d'aides à la conduite ? Quels seront-ils demain ? Comment fonctionneront-ils ? Comment les conducteurs les perçoivent-ils et quelle place pour la personnalisation de ces systèmes, notamment chez les personnes âgées ?

- La nécessaire coopération homme - machine.

Comment trouver un équilibre pour une transition réussie ?

Sommaire

- PAGES 6** **RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE**
« VOIR ET ENTENDRE AU VOLANT
AUJOURD'HUI ET DEMAIN »
OpinionWay
- 10 > 15** **COMPRENDRE LES DIFFÉRENTS**
PARAMÈTRES DE LA VISION AU VOLANT
Dr Jacques Chevaleraud, Ophthalmologiste
- 16 > 21** **LA PLACE DE L'AUDITION DANS LA**
CONDUITE D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN
Dr Mary Daval, ORL
- 22 > 27** **COMPRENDRE L'ACTIVITÉ**
DE CONDUITE AUTOMOBILE
POUR MIEUX APPRÉHENDER LE RÔLE DE
LA VISION ET DE L'AUDITION
Céline Lemerancier, Professeure
en psychologie et ergonomie cognitive
- 28 > 33** **IMPACTS ET ENJEUX DES FUTURS**
VÉHICULES AUTONOMES POUR LA VUE
ET L'AUDITION : LE POINT DE VUE
DES INGÉNIEURS
Emna Ben Sedrine et Mohamed Ibn Kheder,
chargés de recherche chez ALTRAN
- 34 > 39** **LA CONDUITE AUTOMOBILE**
D'AUJOURD'HUI À DEMAIN :
COMMENT LES PERSONNES ÂGÉES
POURRAIENT-ELLES PRENDRE LE VIRAGE ?
Catherine Gabaude et Laurence Paire Ficout,
chargées de recherche à l'IFSTTAR





Dispositif de l'étude : VUE ET AUDITION AU VOLANT

UNE ENQUÊTE AUPRÈS DES AUTOMOBILISTES FRANÇAIS

UNE ENQUÊTE REALISÉE PAR OPINIONWAY AUPRÈS DE :

- 1001 automobilistes via un questionnaire en ligne
- Du 9 au 19 juin 2017

LA RÉFLEXION CROISÉE D'UN GROUPE D'EXPERTS PLURIDISCIPLINAIRES

- Dr Jacques Chevaleraud, ophtalmologiste
- Dr Mary Daval, ORL
- Céline Lemerrier, Professeure en psychologie et ergonomie cognitive
- Emna Ben Sedrine et Mohamed Ibn Kheder, chargés de recherche chez ALTRAN
- Catherine Gabaude et Laurence Paire Ficout, chargées de recherche à l'IFSTTAR

Un Cahier diffusé aux médias, aux professionnels de santé, aux institutions et aux associations concernées, et un site internet dédié :
www.observatoire-groupeoptic2000.fr
qui présentent les résultats complets.

VOIR ET ENTENDRE AU VOLANT AUJOURD'HUI ET DEMAIN



Sur la route, la vision est considérée comme le 3^e facteur de sécurité le plus important

Un véhicule en bon état

Ne pas avoir bu d'alcool

Une bonne vision

2

1

3

L'audition n'arrive qu'en 8^e et dernière position



Les conducteurs identifient plusieurs risques liés à leur vision et à leur audition



VISION

58%

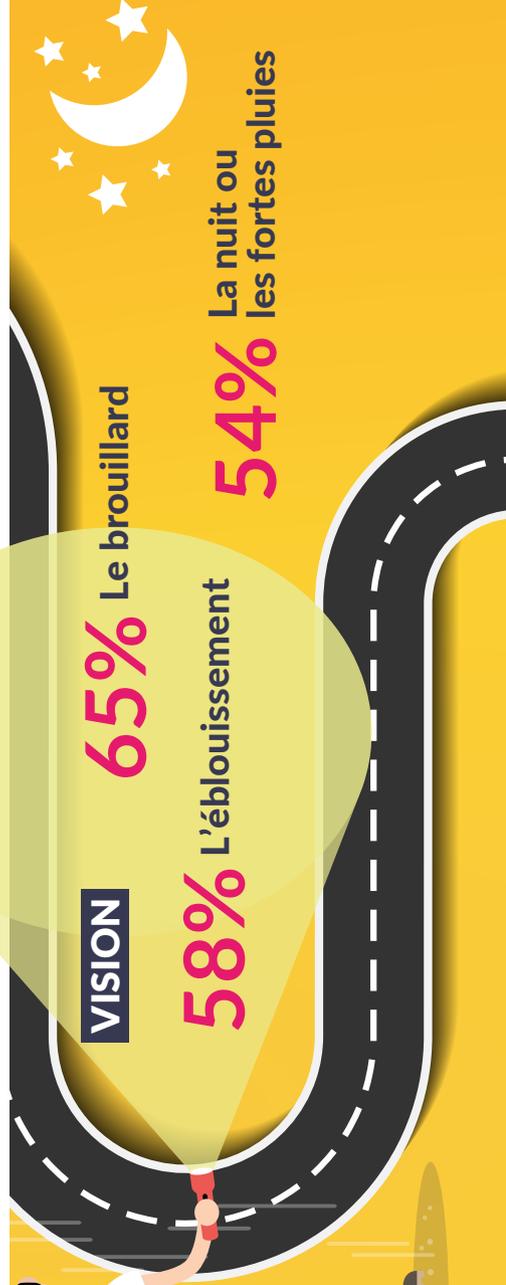
L'éblouissement

65%

Le brouillard

54%

La nuit ou les fortes pluies



Comment mieux prendre en compte la capacité visuelle dans la prévention routière, puisque la majorité des informations nécessaires pour la conduite est fournie essentiellement par ce canal ? Explorer les spécificités des différents paramètres de la vision au volant est indispensable pour être en mesure de les améliorer ou de les remplacer via les nouvelles technologies proposées par les équipementiers et mises en œuvre par les constructeurs dans les véhicules autonomes.

Plusieurs paramètres de la fonction visuelle sont mis en œuvre pour conduire. Ils ne font pas ou peu l'objet d'évaluations spécifiques. En France en effet, le permis de conduire des véhicules légers est délivré à vie, sans

examen médical d'aptitude et sans obligation de contrôle médical par la suite, à l'exception des décisions de retrait. La récupération de l'aptitude est alors soumise à un examen par un médecin agréé. Les affections médicales incompatibles avec l'obtention ou le maintien du permis de conduire, ou entraînant une durée de validité limitée, incluent néanmoins les altérations visuelles selon l'arrêté du 18 décembre 2015.

Un apprentissage à la conduite effectué sur des voitures à doubles commandes précède l'examen d'obtention du permis, car la fonction visuelle, établie préalablement depuis l'enfance, doit être adaptée à une utilisation nouvelle et différente. Elle doit permettre en particulier d'apprécier des distances et

BIOGRAPHIE DE L'EXPERT

Le Docteur Jacques Chevaleraud a mené la plus grande partie de sa carrière en tant que Chef du Service d'Ophtalmologie du Centre Principal d'Expertise du Personnel Navigant de l'Aéronautique, puis comme Consultant des Compagnies aériennes Air Inter, U.T.A et Air Afrique.

Son rôle pour la sélection et la surveillance des personnels est à l'origine de son intérêt pour la conduite automobile.

Professeur agrégé du Val de Grâce, il a été Professeur titulaire de la Chaire de Chirurgie Spéciale et Physiopathologie sensorielle de l'École d'Application de l'Armée de l'Air. Il a succédé comme Membre du Conseil Médical de la Prévention Routière aux Professeurs Perdriel et Langlois.

des vitesses de rapprochement d'obstacles, mobiles ou fixes, en tenant compte des distances de freinage. La fonction visuelle résulte dans ce cas de l'intégration des informations fournies par des capteurs périphériques. Ces informations sont transmises à des aires corticales et comparées à des données stockées et mémorisées pour obtenir une représentation de l'environnement, permettant ainsi de mettre en œuvre des procédures adaptées à la situation rencontrée. Le traitement de l'information nécessaire à la conduite peut être divisé en trois étapes : une étape sensorielle liée à l'encodage

LE TRAITEMENT DE L'INFORMATION EN TROIS ÉTAPES

- 1 L'importance de l'information initiée par les photorécepteurs, cônes et bâtonnets de la rétine, dépend de leur nombre et de la qualité des pigments qui transforment un stimulus physique en réaction chimique.**
- 2 La réaction chimique se transmet grâce à des neurotransmetteurs vers les cellules bipolaires, puis vers les cellules ganglionnaires.**
- 3 La racine médiane des fibres hémirétines va jouer un rôle dans le repérage des stimuli pénétrant dans le champ visuel, et va commander des mouvements oculaires permettant l'identification et le déplacement afin que l'information soit traitée.**

Les caractéristiques de l'information (forme, taille, couleur, mouvement, vitesse de déplacement...) seraient traitées par des voies spécifiques, sélectionnées avec l'aide de médiateurs chimiques.



« Au volant, l'acuité visuelle mesurée en vision de loin ne doit pas être inférieure à 5/10 en vision binoculaire »

l'action du stimulus physique, se modifient pour créer un influx nerveux qui se propage vers le cortex occipital en franchissant de nombreuses synapses. Pendant la conduite, l'acuité permet la détection et l'identification

rétinien, une étape constituée par un traitement perceptif global réalisé au niveau du cortex global et une dernière étape cognitive qui, après confrontation avec des modèles mémorisés, permet l'identification de la scène et la recherche de la décision adaptée à prendre.

ACUITÉ ET CHAMP VISUEL : DES PARAMÈTRES « NÉCESSAIRES » À LA CONDUITE

Pour l'obtention d'un permis de conduire, l'acuité visuelle mesurée en vision de loin ne doit pas être inférieure à 5/10 en vision binoculaire, sans ou après correction, optique ou chirurgicale. Cette valeur minimale se rapproche des exigences nécessaires

pour conduire. Le résultat de la mesure clinique dépend de plusieurs facteurs. Les uns sont indépendants du sujet examiné et sont liés à la luminance du test utilisé, aux contrastes, aux formes et aux couleurs. Les autres dépendent du récepteur oculaire : la réfraction (émétropie ou amétropie), la surface des pupilles, la puissance de l'accommodation et la transparence des milieux oculaires (cornée, cristallin et vitré). Ils dépendent également de la qualité et de la rapidité des mouvements oculaires et de la qualité de la vision binoculaire influencée par l'état général (fatigue, insomnie, hypoxie...). Ils dépendent enfin de la quantité des cônes centraux et de la réactivité des pigments, qui sous

des obstacles fixes ou mobiles, colorés ou non. La vitesse d'acquisition augmente avec la valeur de l'acuité.

Le rôle du champ visuel est à la fois qualitatif et quantitatif. La qualité est liée à la valeur des seuils de sensibilité, permettant la détection dans toute la surface du champ exploré d'informations de très petites surfaces et de très faibles intensités. L'importance quantitative est liée à la surface rétinienne active qui peut être réduite par :

- **des zones de non-perception systématisées** (quadrantopsies, hémianopsies) fixes et généralement définitives, correspondant à des lésions du nerf optique ou plus postérieures ;
- **des zones de non-perception non systématisées** (scotomes) permanentes et/ou évolutives, secondaires à des

lésions rétinienne d'origine infectieuse ou dégénérative (diabète et dégénérescences maculaires), à des lésions neurologiques (glaucomes) ou à des maladies hérédo-dégénératives (rétinopathies pigmentaires).

Pour conduire avec un minimum de sécurité, le champ visuel horizontal ne doit pas être inférieur à 120° et

« Les mouvements de rotation du cou augmentent la surface utile du champ visuel et la vitesse d'exploration »



à 20° vers le haut et le bas. Aucune anomalie du champ visuel ne doit exister dans un rayon de 20° par rapport à l'axe de fixation. Si l'acuité d'un œil est nulle ou inférieure à 1/10, l'examen du champ visuel de l'autre œil ne doit révéler aucune anomalie.

Les mouvements de rotation du cou augmentent la surface utile du champ visuel et la vitesse d'exploration. La diminution de cette mobilité, fréquente chez les conducteurs âgés, pourrait donc jouer un rôle dans l'augmentation du nombre d'accidents graves constatés aux intersections. La durée d'observation est plus longue avant la prise de décision de franchissement, d'où

la collision due à la négligence d'un véhicule en rapprochement. Le pourcentage d'accidents mortels des auteurs présumés responsables de non-respect de priorité aux intersections augmente de 14% à partir de 45 ans, pour atteindre 25% à partir de 65 ans.

Le phénomène d'éblouissement, de par son apparition brusque, se substitue souvent temporairement aux paramètres nécessaires de la conduite vus précédemment. En effet, de jour comme de nuit, l'éblouissement génère une conséquence immédiate : la perte partielle ou totale de l'information visuelle. Celle-ci est

liée à la modification plus ou moins importante des pigments des cônes et des bâtonnets qui ne peuvent plus transmettre de message utile du fait de la création d'un scotome central étendu et de déficits périphériques. La durée varie en fonction des caractéristiques de la source responsable : puissance, surface, durée, composition spectrale et répétition du phénomène, mais aussi en fonction de l'âge et de l'état vasculaire responsable de l'irrigation de la rétine (vasoconstriction ou vasodilatation). La seconde conséquence est caractérisée par la durée nécessaire à la reconstitution progressive des pigments générant le message sensoriel : elle est liée

également aux caractéristiques optiques des globes oculaires responsables de la qualité de la fonction visuelle précédant l'éblouissement.

D'AUTRES PARAMÈTRES À PRENDRE EN CONSIDÉRATION

Les paramètres complexes

Ils sont à la fois périphériques (acuité visuelle et champ visuel), centraux et psycho-sensoriels. Ils dépendent des qualités optiques du récepteur responsable de la valeur quantitative de l'acuité, en association avec la qualité des milieux transparents et du nombre de photorécepteurs, ainsi que des qualités chimiques intervenant dans le codage et la transmission des informations. La vitesse d'acquisition est variable chez les individus en fonction de l'âge : elle ralentit en fonction de la quantité d'oxygène dans le sang liée à l'hypoxie (pathologies respiratoires, altitude ou addiction tabagique). La vitesse de transmission des influx nerveux est physiologiquement variable et ralentie chez les sujets touchés par des intoxications (alcool, tabac, médicaments...) ou des maladies neuro dégénératives (sclérose en plaque par exemple). L'information arrivée au cortex doit être adaptée à la situation, et pour cela être confrontée à des situations comparables mémorisées, pour décider de la meilleure solution à adopter pour résoudre le problème

posé. Elle découle de la quantité d'informations disponibles en mémoire, liée à l'expérience acquise, et de la rapidité de décision pour la mise en jeu.

Les paramètres variables

La variabilité est essentiellement dépendante de l'âge du conducteur. Les performances diminuent parallèlement à la baisse des seuils de perception (acuité, vitesse de perception, vitesse de récupération après éblouissement). De plus, la vitesse de perception diminue en fonction de l'allongement du temps de progression de l'influx nerveux, mais essentiellement du fait des phénomènes psycho-sensoriels retardant la prise de décision et la réaction motrice nécessaire.

Les paramètres fragiles

Par ailleurs, les causes de fragilité sont multiples. Elles sont physiologiques, notamment liées au vieillissement. Elles sont parfois pathologiques, secondaires à des pathologies générales comme le diabète, responsable actuellement de 5 % des cas de déficiences visuelles. Les causes les plus fréquentes restent les amétropies non ou mal corrigées (15% de la population en âge de conduire), les glaucomes dans 7% des cas et les dégénérescences maculaires pour les sujets de plus de 80 ans. Elles peuvent être secondaires à des addictions à l'alcool, au tabac

Paramètres fragiles



ou à des psychotropes, dont la persistance des effets secondaires est plus prolongée sur les fonctions sensorielles que sur la fonction cognitive. Elles sont parfois liées à des traitements médicamenteux multiples et associés, prescrits par des soignants pas toujours ou mal informés.

LES AIDES APPORTÉES À LA CONDUITE

L'allongement de la durée de vie, l'augmentation du nombre des véhicules, de tailles et de performances différentes, ainsi que les dangers de la circulation, ont conduit les utilisateurs, ceux qui les soignent (médecins et paramédicaux) ainsi que les équipementiers et les constructeurs à rechercher des aides à la conduite.

Le rôle des professionnels de santé

Les médecins doivent tenir compte des effets secondaires de leurs prescriptions, des thérapeutiques en cours et des automédications. Ils doivent, avec les opticiens, convaincre leurs patients conducteurs de vérifier la persistance de l'adéquation de leurs corrections optiques avec la conduite, et de les utiliser pour cela. De par le secret médical, ils doivent s'efforcer de les dissuader de conduire lorsqu'ils estiment qu'ils sont devenus dangereux pour eux-mêmes et pour les autres.

Le rôle des équipementiers

L'aide apportée à la fonction visuelle des conducteurs par les équipementiers est notamment importante dans le domaine de l'éclairage. Les ampoules récentes au xénon remplacent celles à filament, améliorant la puissance et la portée des phares. Certaines optiques de phares peuvent d'ailleurs effectuer un

« Des dispositifs infrarouges détectent et signalent la présence d'obstacles, avant qu'ils ne soient perçus par le conducteur »

découpage de la route afin de ne pas éblouir les autres conducteurs. Ces équipements compensent en grande partie les problèmes liés à l'éblouissement de nuit. En effet, l'acuité visuelle et le champ visuel sont de fait moins impactés par des éclairages adaptés. Cet éclairage s'adapte également aux personnes âgées touchées par des troubles visuels et plus sensibles encore au phénomène d'éblouissement. De même, des dispositifs infrarouges (caméras thermiques inspirées de la recherche militaire) détectent et signalent la présence d'obstacles, avant qu'ils ne soient perçus par le conducteur. Cela lui permet d'anticiper la présence de ces obstacles et d'être donc plus vigilant et alerte.

Le rôle des constructeurs

La course lancée par les constructeurs automobiles pour mettre en circulation des véhicules autonomes s'accélère. Actuellement, seule l'Allemagne en Europe a légiféré pour conditionner la circulation de ce type

de véhicule à la présence à bord d'un conducteur. Dans l'hypothèse où un passager devrait intervenir, comment peut-on appréhender la vigilance d'un conducteur dans ce type de véhicule ? L'homme d'aujourd'hui est-il prêt, par ailleurs, à abandonner sa responsabilité à un robot pour arbitrer dans des situations complexes ? —

- Corbe C., Menu J.P., Chaine G. - Traité d'optique physiologique et clinique - Doin Editeurs, 1993.
- Darras C. - Élément et réflexions d'optique physiologique - Editions ERA, 1995.
- Hamard H., Corbe C. - L'organisation cognitive de la vision. Intérêt de sa prise en compte pour la conduite automobile. - Revue de gériatrie 36,6, 2011, 347, 355.
- Remond AL., Bodaghi - Conduite automobile et troubles de la vision. La revue du praticien, 67, 2017, 767, 777.
- Robert PY. - Déficiences visuelles. Rapport Société Française d'Ophtalmologie, 2017.
- Observatoire national interministériel de la sécurité routière.



LA PLACE DE L'AUDITION DANS LA CONDUITE D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN.

Par Dr Mary Daval

L'audition n'est pas un sens primordial pour la conduite automobile mais reste une aide précieuse en cas de situation d'urgence. La surdité n'est pas un frein légal à la conduite.

Au volant, le port d'écouteurs et un fort volume sonore sont reconnus comme les principaux comportements à risque liés à l'audition.

Ils sont d'ailleurs interdits par la loi.

En effet, les bruits dans l'habitacle peuvent masquer les signaux d'alerte mais aussi diminuer les capacités d'attention. Avec la généralisation des technologies embarquées, l'audition sera de moins en moins décisive pour conduire en toute sécurité.

Conduit-on vraiment « à l'oreille » ? Pour conduire en toute sécurité, il faut percevoir correctement son environnement pour s'y adapter. Le premier sens sollicité est bien évidemment la vision. L'audition, elle, vient en complément. Elle permet de recueillir des informations utiles, comme les recommandations des systèmes GPS, sans avoir à quitter la route des yeux. Elle permet aussi de suivre le régime du moteur pour passer les vitesses, de détecter des pannes... et reste un vrai plaisir pour les aficionados de bruits de moteur. Elle est surtout utile dans les situations d'urgence : klaxon, sirènes, bruit de moteur dans l'angle mort, freinage d'urgence... L'enquête réalisée en 2017 par l'Institut OpinionWay montre que peu de conducteurs considèrent l'audition comme un facteur important pour une bonne conduite : ils ne sont que 8% à la placer dans le top 3. Quelle est donc la place de l'audition dans la conduite d'aujourd'hui ? Et dans celle de demain ?

LA SURDITÉ N'EST PAS UN FREIN LÉGAL À LA CONDUITE

L'audition n'est pas un facteur limitant à l'obtention du permis de conduire ni à son maintien pour les conducteurs de véhicules du groupe léger (A, B, E) selon l'arrêté du 18

décembre 2015. D'un point de vue légal, et concernant les véhicules du groupe « léger », même les personnes atteintes de surdité profonde, et communiquant grâce à la langue des signes, ont le droit de passer le permis sans restriction de validité. Leur véhicule doit seulement être équipé de rétroviseurs bilatéraux (mention obligatoire sur le permis de conduire), ce qui est, dorénavant, la

« Même les personnes atteintes de surdité profonde (...) ont le droit de passer le permis sans restriction de validité »

norme pour la plupart des véhicules. La situation est différente pour les conducteurs de véhicules du groupe « lourd » (transports en commun et poids lourds). Les surdités profondes ne pouvant pas être corrigées par appareillage auditif sont jugées incompatibles avec la conduite. Pour les autres types de surdités, la limite de référence est de 35 dB, au-delà de laquelle l'autorisation est accordée si l'audition est ramenée à ce seuil grâce à un appareil auditif ou une intervention chirurgicale. Par ailleurs, les rétroviseurs bilatéraux restent obligatoires.

BIOGRAPHIE DE L'EXPERT

Mary Daval est chirurgien ORL à la Fondation Rothschild spécialisée dans les troubles de l'audition et la chirurgie de l'oreille. C'est en 2010 qu'elle obtient son diplôme d'État de Docteur en Médecine et son diplôme d'Études Spécialisées d'Oto-Rhino-Laryngologie et Chirurgie Cervico-Faciale.

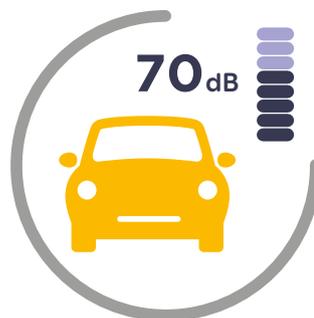
QUELLES SONT LES DÉFAILLANCES AUDITIVES OU LES NUISANCES SONORES SUSCEPTIBLES DE PERTURBER LA CONDUITE DES VÉHICULES D'AUJOURD'HUI ?

Une surdité bilatérale diminue globalement la perception des sons extérieurs, notamment les signaux d'alerte. Une surdité unilatérale n'est pas non plus anodine car elle empêche de localiser correctement l'origine des sons. La baisse d'audition est plus fréquente après 50 ans avec l'apparition de la presbycusie, constat que l'on retrouve dans l'étude OpinionWay. Mais le vieillissement touche également

la vision. Tous âges confondus, environ 20% des patients ont à la fois un problème d'audition et de vision. Or une atteinte polysensorielle, audition et vision, augmenterait le risque d'accident de la route¹ si elle n'est pas correctement prise en charge. D'où l'importance des dépistages chez un professionnel de santé.

D'autres facteurs impliquant l'audition peuvent perturber la conduite. Ceux reconnus par l'échantillon de Français interrogés dans le cadre de l'enquête sont le port d'oreillettes ou d'écouteurs, cité en premier dans 48% des cas, et un volume élevé de la musique ou de la radio dans l'habitacle. On aurait pu ajouter les bruits internes (bruit du moteur, des roues...) propres aux véhicules anciens et/ou mal insonorisés. En effet, tous ces facteurs peuvent masquer « physiquement » les sons extérieurs, en particulier les signaux d'alerte. En fonction de leur intensité et de leur durée, ce sont également des facteurs de stress² qui peuvent nuire à la sécurité routière. De plus, les méfaits sur l'oreille d'une écoute prolongée de sons forts, dont la musique, sont connus depuis

Volume enregistré dans une voiture



longtemps. Ils sont responsables de l'apparition d'acouphènes et de surdité. Le volume sonore enregistré à l'intérieur de l'habitacle se situerait, pour la plupart des automobiles, au-delà de 70 dB³, avant même d'avoir allumé la radio. Cette exposition au bruit peut avoir des retentissements auditifs (surdité, acouphènes...) en cas d'exposition prolongée et régulière comme cela peut être le cas pour

certains professionnels de la route conduisant des véhicules bruyants (par exemple les routiers)⁴.

L'usage prolongé d'oreillettes ou d'écouteurs a un impact encore plus négatif sur l'audition car le dispositif est placé très près du tympan. Le volume de sortie des baladeurs musicaux est limité à 100 dB par la loi. Or, une écoute supérieure à 5 minutes à ce niveau sonore est préjudiciable pour l'audition. De plus, oreillettes en place, il est très difficile de retrouver l'origine d'un son extérieur (perte de la stéréophonie).

Enfin, tous ces bruits (téléphone, GPS) viennent diminuer les capacités d'attention du conducteur^{5,6}. Le cerveau est obligé de faire deux tâches en même temps, ce qui lui est impossible sans en placer une sur « pilote automatique ». C'est pour cela qu'il est si dangereux de téléphoner au volant.

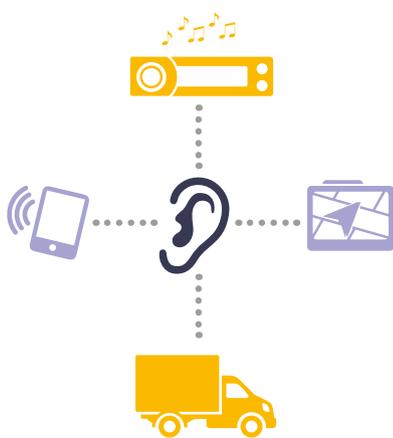
La majorité des personnes interrogées reconnaissent l'intérêt de mesures pratiques pour diminuer les risques sur la route, liés aux nuisances sonores. 45% d'entre elles déclarent

QU'EST-CE QU'UNE SURDITÉ ?

En ORL, est considérée comme sourde toute personne entendant moins bien, c'est-à-dire ayant une perte auditive supérieure à 20 décibels (dB). Ensuite, différents stades sont définis en fonction de la perte, le dernier étant la surdité profonde où, schématiquement, aucune parole ni aucun son ne sont perçus par l'oreille. Si cette surdité survient avant l'apprentissage du langage oral et qu'elle n'est pas corrigée, la parole ne se développe pas et ces personnes peuvent recourir à la langue des signes. La cause la plus fréquente de surdité en France est liée au vieillissement de l'oreille et s'appelle la presbycusie.

limiter le volume de la musique dans leur véhicule. La loi française, elle aussi, prend en compte ces risques pour la conduite. Un volume sonore trop élevé dans l'habitacle peut être sanctionné en vertu des articles R48-2 du Code de la Santé publique et R412-6 du Code de la Route, sans qu'un seuil chiffré ne soit déterminé. De plus, l'usage du téléphone tenu en main est interdit depuis 2003. Il en est de même pour les oreillettes et écouteurs depuis le 1^{er} juillet 2015. Cependant, l'effet sur l'attention n'est pas pleinement pris en compte puisque les dispositifs intégrés au véhicule ou au casque des motards sont toujours autorisés⁶.

Facteurs de risque au volant



ET DEMAIN : UNE VOITURE SILENCIEUSE, UNE FONCTION AUDITIVE ACCESSOIRE ?

Les différentes réglementations imposent aux constructeurs de concevoir des véhicules de plus en plus silencieux afin de limiter au maximum la pollution sonore. Cette pollution sonore, perçue de l'extérieur mais aussi de l'intérieur des véhicules, est une source indéniable de stress³. L'exposition au bruit est connue pour favoriser les insomnies et le risque de maladies cardiovasculaires (hypertension, infarctus, accidents vasculaires)⁷. Le silence à l'intérieur de l'habitacle est donc un critère de confort que recherchent les utilisateurs.

Toutefois, l'insonorisation ne doit pas empêcher d'entendre les signaux d'alerte. Comment maintenir un niveau de sécurité suffisant si tous les véhicules sont silencieux ? C'est déjà le problème qui se pose avec les véhicules électriques⁸, et en particulier les deux-roues lorsqu'ils sont cachés dans l'angle mort. Ce risque lié aux deux-roues est d'ailleurs largement reconnu par les personnes interrogées dans l'étude OpinionWay : 66% le placent dans le top 3 des risques pour la conduite alors que les véhicules électriques sont encore très minoritaires. C'est ici qu'entrent en jeu les récentes innovations technologiques, dont le détecteur d'angle mort et le système anticollision.

QUELQUES CHIFFRES SUR L'AUDITION DES AUTOMOBILISTES FRANÇAIS

- **4 conducteurs sur 10 ont déjà bénéficié d'un test auditif, qui date de plus d'un an dans 61% des cas.**
- **1/4 des automobilistes français déclare souffrir de symptômes ORL (baisse d'audition, acouphènes, hyperacousie).**
- **16% d'entre eux sont appareillés.**
- **Parmi ceux qui portent quotidiennement leurs aides auditives, 74% les portent systématiquement pour conduire, reconnaissant implicitement l'utilité d'une bonne audition dans cette situation.**

Sondage OpinionWay pour l'Observatoire de la santé visuelle et auditive, 2017.

Même si ces équipements ne sont pas encore d'utilisation courante, on peut imaginer qu'ils le seront de plus en plus à l'avenir. Tant que ces systèmes sont passifs, l'audition reste utile si le signal d'avertissement est sonore. Dès qu'ils deviennent actifs et que le véhicule réagit de manière autonome, l'audition devient accessoire. Tous ces équipements permettront de pallier l'absence de perception des signaux extérieurs, qu'elle soit liée

à une audition défaillante ou à une insonorisation complète de l'habitacle.

Si nous nous projetons plus loin et nous intéressons aux véhicules « *mindless* » (conduite totalement assistée), l'audition deviendra tout à fait inutile pour la conduite puisque le véhicule percevra seul les situations dangereuses et y réagira en conséquence. Restera toujours la problématique du piéton, qui lui utilise largement son audition. Certes, son usage de la route est limité mais il restera toujours l'acteur le plus vulnérable. La généralisation de véhicules silencieux lui imposera d'être extrêmement vigilant avant de traverser la route car il ne pourra pas

« Tant que ces systèmes d'assistance sont passifs, l'audition reste utile si le signal d'avertissement est sonore. Dès qu'ils deviennent actifs et que le véhicule réagit de manière autonome, l'audition devient accessoire »

se fier uniquement à son ouïe pour estimer l'approche d'un véhicule⁸. Conserver un bruit de moteur, même limité, restera peut-être une nécessité en termes de sécurité routière. —



- 1 • Ivers et al. Sensory impairment and driving : the Blue Mountains Eye Study. Am J Public Health. 1999.
- 2 • Schnell et al. The effects of exposure to environmental factors on Heart Rate Variability : An ecological perspective. Environ Pollut. 2013.
- 3 • Li et al. Impacts of pavement types on in-vehicle noise and human health. J Air Waste Manag Assoc. 2016.
- 4 • Alizadeh et al. Noise-induced hearing loss in bus and truck drivers in Mazandara province, 2011. Int J Occup Saf Ergon. 2016.
- 5 • Strayer et al. Assessing Cognitive Distraction in the Automobile. Hum Factors J Hum Factors Ergon Soc. 2015.
- 6 • Steinborn et al. Phone Conversation while Processing Information : Chronometric Analysis of Load Effects in Everyday-media Multitasking. Front Psychol. 2017.
- 7 • Münzel et al. Cardiovascular effects of environmental noise exposure. Eur Heart J. 2014 Apr ; 35(13) : 829-36.
- 8 • Ashmead et al. Auditory Perception of Motor Vehicle Travel Paths. Hum Factors J Hum Factors Ergon Soc. 2012.

COMPRENDRE L'ACTIVITÉ DE CONDUITE AUTOMOBILE POUR MIEUX APPRÉHENDER LE RÔLE DE LA VISION ET DE L'AUDITION.

L'activité de conduite est une activité perceptivo-attentionnelle complexe et dynamique. Elle regroupe trois tâches principales : la navigation, le guidage et l'identification des risques. Les études portant sur l'effet de dégradations sensorielles visuelles et auditives montrent une dégradation de la performance de conduite. Des études montrent parallèlement que les déficits perceptivo-attentionnels influent négativement sur la

performance de conduite
et sur le risque d'accident.

Par Pr Céline Lemerrier

90 % à 95% des accidents de la route seraient la conséquence

d'une erreur humaine, impliquant potentiellement une altération ou un dysfonctionnement de la vision, de l'audition et des processus attentionnels mis en œuvre par le conducteur¹. Le présent article présente l'état des connaissances sur l'impact des dégradations sensorielles et perceptives (visuelles et auditives) sur le comportement du conducteur. S'il est entendu qu'un déficit sensoriel mineur impacte en partie la sécurité du conducteur, de ses passagers et des autres acteurs de la route, il s'avère que les déficits perceptifs, impliquant l'attention du conducteur, seraient également responsables de comportements altérés voire inadaptes sur la route.

DÉFICITS SENSORIELS VISUELS ET AUDITIFS : QUEL EFFET SUR LE COMPORTEMENT DU CONDUCTEUR ET SUR LE RISQUE D'ACCIDENT ?

Les altérations de la vision, qu'elles soient liées à des accidents ou le plus souvent à l'avancée en âge, entraînent une dégradation du traitement sensoriel des informations visuelles. Avec quel impact sur la conduite automobile ?

Une diminution de la performance de conduite a été observée chez les

BIOGRAPHIE DE L'EXPERT

Céline Lemerrier est professeure des universités en psychologie et ergonomie cognitive à l'Université Toulouse Jean Jaurès depuis 2015. Par ailleurs, elle exerce ses travaux de recherche au sein du laboratoire CLLE (UMR CNRS 5263) équipe LTC sur la thématique de l'attention dans les activités humaines complexes, en particulier le domaine de la conduite automobile depuis 2000.

En 2001, elle prend la responsabilité du plateau technique « simul'auto » de la MSHS de Toulouse, constitué d'un simulateur de conduite sur base statique auquel sont associés des matériels de mesures physiologiques (EOG, ECG, RED, NIRS, caméra thermique). Elle collabore avec des constructeurs, des équipementiers et des start-up dont l'activité gravite autour de la conduite automobile, et participe au développement d'interfaces innovantes, utiles, utilisables et acceptables.

individus présentant respectivement une acuité visuelle dégradée, un champ visuel rétréci, une sensibilité aux contrastes altérée ou une stéréo-acuité du conducteur altérée. Ainsi par exemple, les personnes dont l'acuité visuelle est mal corrigée ont tendance à rouler plus lentement, à identifier plus tardivement des informations présentées sur des panneaux routiers ou encore à mettre plus de temps à réagir (freiner par exemple) à un événement survenant sur la route. Sur la base de la performance de conduite, on serait tenté de considérer cette dégradation sensorielle comme critique dans le maintien de l'activité de conduite.

On peut néanmoins noter que des troubles du champ visuel sont identifiés comme pouvant être la cause de collision sur la route. Dans le même temps, l'expérience tend à montrer que les personnes atteintes de déficits sensoriels visuels abandonneraient

progressivement la conduite automobile, privilégiant durant la période intermédiaire des parcours familiers, de jour, par relatif beau temps, dans des contextes de faible affluence.

L'audition, bien que moins sollicitée que la vision au volant, reste un sens utile au conducteur car il lui permet de recueillir des informations sur son environnement proximal ou encore sur le bon fonctionnement de son véhicule. Cependant, à condition d'aménager son véhicule pour pallier ce déficit, une personne atteinte d'un trouble sévère de l'audition (allant jusqu'à la surdité profonde ou totale) peut conduire. Finalement, très peu d'études ont été menées sur l'effet de la perte auditive sur la performance au volant et le risque d'accident, et leurs résultats vont dans le sens d'une absence d'effet.

En résumé, les déficits sensoriels ont une place importante dans

les performances de conduite. Parallèlement, l'activité de conduite implique le traitement attentif de l'ensemble des stimuli de la route, et c'est donc aussi et surtout dans l'altération de l'attention que l'explication des dégradations du comportement en conduite est à rechercher.

« Une diminution de la performance de conduite a été observée chez les individus présentant respectivement une acuité visuelle dégradée et un champ visuel rétréci »

L'ATTENTION, VRAI CARBURANT DE LA CONDUITE AUTOMOBILE ?

L'attention est ce qui sélectionne l'information pertinente de l'information non pertinente à l'activité humaine. Elle est aussi la ressource nécessaire au fonctionnement du système de traitement de l'information — ressource distribuée en fonction des buts de la tâche, des buts

du sujet humain, des caractéristiques intrinsèques et extrinsèques au sujet. Dans le cadre de la conduite automobile, les caractéristiques intrinsèques au conducteur seront par exemple son niveau d'expertise, son âge, ses motivations et émotions ressenties. Les caractéristiques extrinsèques seront les conditions de conduite : la météo, le type de route, l'état de la chaussée, le moment de la journée, les tâches annexes à l'activité de conduite, et les caractéristiques du véhicule.

DES ALTÉRATIONS DE L'ATTENTION FACTEURS DE PHÉNOMÈNES SENSORIELS LOURDS DE CONSÉQUENCES

L'interférence, liée à la réalisation par le conducteur d'une tâche

annexe, peut impliquer l'utilisation d'un système embarqué comme le téléphone mobile. La distraction est une orientation exogène de l'attention associée à l'apparition subite d'un événement non pertinent mais prégnant dans l'environnement, comme un ballon traversant la chaussée. L'inattention est une orientation endogène de l'attention associée aux traitements de pensées internes : ces pensées ne sont généralement pas liées à la conduite en cours et s'imposent au conducteur.

Ces défauts de l'attention au volant entraînent une dégradation de la perception du conducteur. On pourra ainsi observer une altération du traitement des informations

QU'EST-CE QUE CONDUIRE ?

La conduite automobile est un processus plus complexe qu'il n'y paraît. Quelques principes structurants :

- **Au volant, l'activité du conducteur consiste en trois tâches principales : le guidage (contrôle du positionnement latéral et longitudinal), la navigation (contrôle de son trajet) et l'identification des risques sur la route.**
- **La conduite mobilise deux fonctions essentielles et spécifiques : la perception et l'attention. Au niveau perceptif, la vision et l'audition sont les deux canaux sensoriels les plus sollicités. Au niveau cognitif, l'attention permet le traitement du flux continu d'informations différentes issues de l'environnement routier et du véhicule.**
- **Deux types de comportements sont étudiés en conduite : la performance de conduite et le risque d'accident. La performance de conduite est évaluée dans le cadre d'études expérimentales sur route réelle, circuits fermés, ou sur simulateur de conduite. Le risque d'accident fait l'objet d'études épidémiologiques, basées sur des rapports d'accidents ou sur l'analyse de questionnaires complétés par des conducteurs.**



« On observe une altération du traitement des informations périphériques sur la scène routière quand le conducteur est impliqué dans une conversation téléphonique »

périphériques sur la scène routière lorsque le conducteur est, par exemple, fortement impliqué dans une conversation téléphonique au volant. Par ailleurs, en fonction de son niveau d'expertise au volant, le conducteur n'aura pas tout à fait le même comportement visuel. Avec l'expérience, le conducteur favorisera peu à peu dans la scène routière les informations les plus utiles à son activité.

LA QUESTION DU CHAMP VISUEL UTILE

En situation de conduite, l'information fovéale est située dans l'espace visuel avant du conducteur, espace comportant l'ensemble des informations essentielles à la conduite. Le conducteur va disposer, par exemple, d'informations relatives à la distance qui le sépare du véhicule qui le précède, afin d'ajuster en

continu l'inter-distance et de prévoir une action de freinage éventuelle. Les informations de la zone périphérique du champ visuel utile peuvent néanmoins être pertinentes et cruciales pour la conduite, par exemple un chien survenant par la droite du véhicule.

L'EFFET TUNNEL

Un rétrécissement du champ visuel utile, appelé « effet tunnel », est

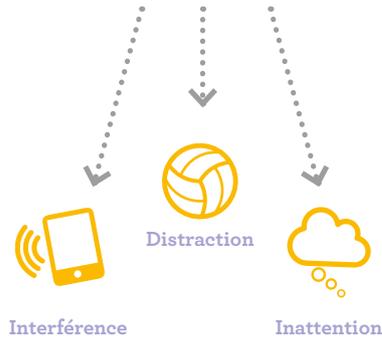
observé lorsque le flux d'informations de l'environnement semble trop dense pour être traité dans son intégralité par le conducteur.

L'attention visuelle privilégierait les informations en vision centrale et tenterait d'ignorer (ou d'inhiber) délibérément les informations en vision périphérique, tel le focal d'un appareil photographique. Ainsi, l'accroissement des nouvelles informations à traiter en vision centrale (vitesse accrue) ou d'une tâche ajoutée au volant (conversation téléphonique) induit une surcharge de traitement attentionnelle, propice à la négligence des informations situées en vision périphérique. Ce qui peut, dans les cas les plus extrêmes, entraîner un accident.

LE BALAYAGE STRATÉGIQUE DE LA SCÈNE VISUELLE

S'intéresser aux mouvements oculaires s'avère très utile s'agissant de l'étude du comportement du conducteur au volant. En effet, sur la simple observation du balayage visuel de la scène routière de conducteurs, on est en mesure de distinguer les conducteurs novices des conducteurs experts. Alors que les novices réalisent des fixations nombreuses et de courte durée sur l'ensemble des éléments fixes et mobiles de la scène routière, les conducteurs experts réalisent des fixations moins nombreuses et de plus longue durée dans des zones identifiées intégrant des éléments

Altération de l'attention



pertinents au guidage du véhicule. Par ailleurs, les conducteurs novices ont une étendue du champ visuel réduite à la zone proximale et centrale de l'axe du véhicule, alors que les conducteurs experts ont un champ visuel plus étendu vers l'horizon avant. Le balayage visuel de la scène routière est considéré comme stratégique et plus efficace chez le conducteur expert, puisque ce dernier sélectionne dans son environnement les zones les plus critiques pour son activité et ignore celles qui le sont moins. Le conducteur novice n'ayant été confronté qu'à un petit nombre de situations de conduite, il n'a pas constitué de base de connaissances suffisante pour développer une stratégie, entraînant un comportement de balayage intégral et donc peu efficace de la scène routière.

L'AVEUGLEMENT INATTENTIONNEL (AI)

Il faut ajouter à cela des résultats qui semblent confirmer le fait que la charge mentale — l'effort que le conducteur doit produire pour mener à bien son activité de conduite — entraîne une dégradation non seulement du traitement des informations périphériques mais également des informations en zone fovéale. L'AI est ce phénomène très particulier qui consiste à ne pas percevoir un objet pourtant prégnant en vision centrale. En conduite, des conversations téléphoniques de moins de 30 secondes au volant entraînent un aveuglement inattentionnel aux informations présentes sur les panneaux routiers². Par ailleurs, lorsque le conducteur suit de manière attentive un événement perceptif particulier — comme une flèche de couleur bleue à chaque intersection lui indiquant vers quelle voie tourner — il tend à être AI aux événements d'une autre couleur. Ainsi, Most et Astur (2007)³ ont montré qu'un conducteur entrain en collision avec une moto empruntant la même intersection que lui dans 37% des cas lorsque celle-ci était d'une autre couleur que celle qu'il suivait, et dans seulement 7% des cas lorsque la moto était de la même couleur.

Bien percevoir et être attentif sont déterminants pour mener à bien l'activité

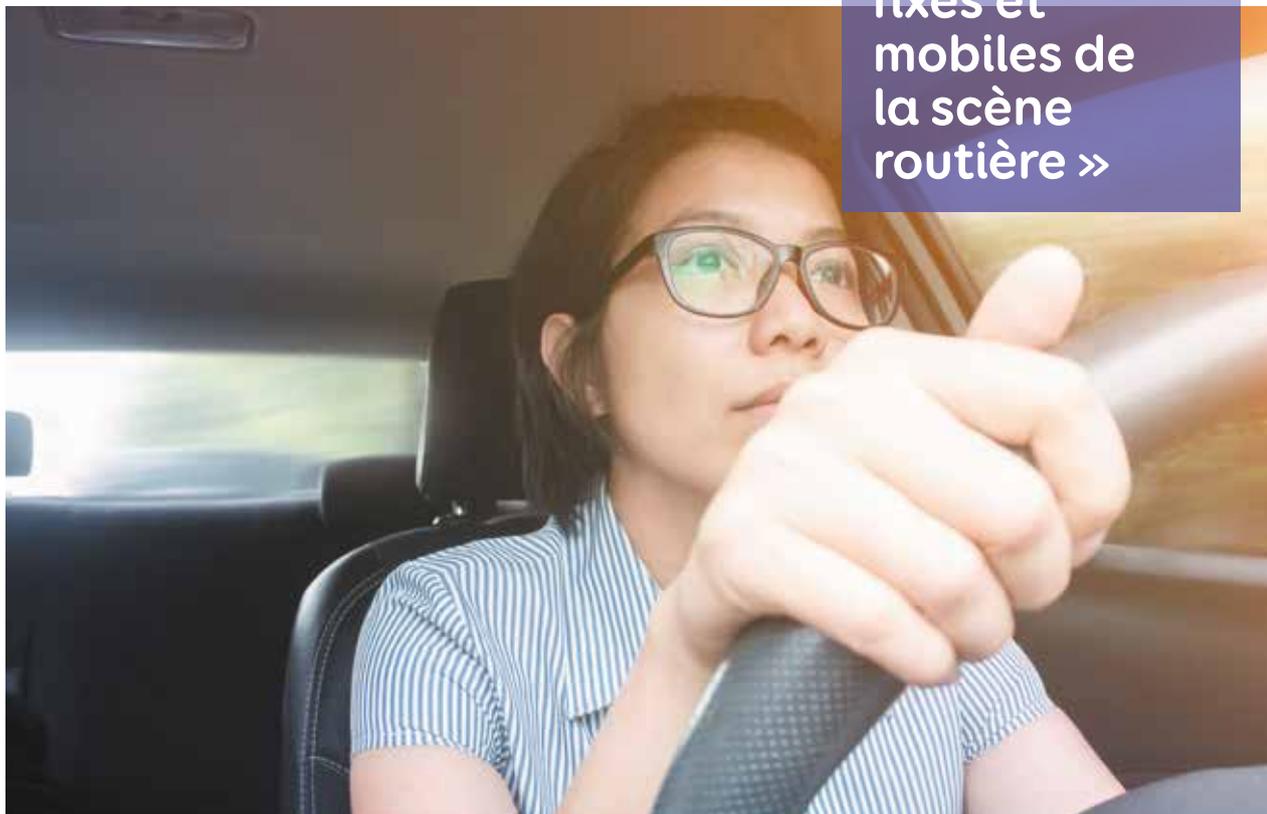
de conduite aujourd'hui. Dans un avenir proche, la voiture que nous promettent les constructeurs prendra en charge les trois tâches du conducteur sur des périodes plus ou moins longues. Il s'agira alors de penser la façon dont le système, lorsqu'il ne pourra plus conduire de manière autonome, accompagnera l'humain pour reprendre à la fois le contrôle attentionnel et perceptif sur l'activité de conduite. —

1 • Rumar, K. (1985). The role of perceptual and cognitive filters in observed behaviour. In L. Evans and R. C. Schwing (Eds.), *Human Behaviour and Traffic Safety*. 151-165, Plenum Press, New York.

2 • Lemerrier, C., Tardieu, J., Gaillard, P., & Paubel, P.-V. (2016). Regarder sans voir : impact de conversations téléphoniques courtes sur l'attention visuelle en conduite simulée. *Recherche, Transports Sécurité*, 2016 (1-2), 59 - 65.

3 • Most S.B., Astur R.S. (2007). Feature-based attentional set as a cause of traffic accidents. *Visual Cognition*, 15(2), 125-132.

« Les novices réalisent des fixations nombreuses et de courte durée sur l'ensemble des éléments fixes et mobiles de la scène routière »



IMPACTS ET ENJEUX DES FUTURS VÉHICULES AUTONOMES POUR LA VUE ET L'AUDITION : LE POINT DE VUE DES INGÉNIEURS.

Les systèmes d'aide à la conduite ADAS (Advanced Driving Assistance Systems) sont en pleine évolution. Ils sont actuellement présents dans des véhicules de plusieurs constructeurs automobiles. L'objectif majeur d'un système ADAS est préventif. Il permet d'éviter un accident ou une situation dangereuse, et le cas échéant, d'en minimiser les conséquences. Un système ADAS englobe un ensemble d'expertises : la mécanique, l'électricité, l'électronique et le contrôle-commande autour de fonctionnalités visuelles et auditives.

Ces fonctionnalités sont souvent classées en deux catégories :

- Celles destinées à surveiller le conducteur (son état, sa santé), mesurer sa vigilance et améliorer son confort ;
- Celles destinées à améliorer la perception qu'a le conducteur de son environnement extérieur, pour respecter le code de la route et éviter la collision avec les obstacles. Ces dernières fonctionnalités servent aussi à rendre le véhicule intelligent voire autonome.

Par **ALTRAN**

Le secteur de l'automobile fait face à une véritable révolution, à la fois technologique et sociétale. En 2035, près de 10% des véhicules devraient être autonomes et la croissance du nombre de données dans les véhicules est fulgurante. Les voitures sont devenues des mines d'informations sur le conducteur, son environnement de conduite, la voiture elle-même, et tous les périphériques connectés (smartphones, tablettes...). Certains constructeurs ont collecté jusqu'à 25 giga-octets de données à partir d'un véhicule hybride.

L'intelligence artificielle et la connectivité sont donc devenues des enjeux majeurs en matière de R&D et de défis technologiques. Les indéniables avancées qui rendent l'automobile plus connectée et plus intelligente posent la question de la place de l'humain dans cette révolution. Comment maintenir l'équilibre entre la technologie et l'humain ? De quelle façon nos sens visuels et auditifs, combinés avec les technologies visant à les augmenter, peuvent-ils contribuer à améliorer notre confort et notre sécurité ? Un certain nombre de notions relatives à la voiture intelligente, et bientôt autonome, permettent de répondre à ces interrogations.

BIOGRAPHIE DES EXPERTS

Emna Ben Sedrine est ingénieure de l'École Nationale d'Ingénieurs de Tunis. Elle est devenue Docteur de l'École Normale Supérieure de Cachan en Électronique-Électrotechnique-Automatique en 2014. Sa thèse porte sur la commande des machines électriques à grand nombre de phases en mode dégradé.

Elle a rejoint la société Altran en 2014. Depuis 2017, elle est responsable scientifique du programme « Mobilité connectée terrestre » au sein d'Altran Research France.

Mohamed Ibn Kheder est ingénieur de l'École Nationale des Sciences de l'informatique (ENSI-Tunisie). Il a obtenu son doctorat de l'Institut Mines-Telecom, Telecom SudParis en 2014. Sa thèse porte sur la vidéo de surveillance des personnes.

Il a rejoint la société Altran en 2015. Il est actuellement chef d'un projet de recherche portant sur le développement des fonctions de perception extérieure pour un véhicule autonome.

LES AVANCÉES TECHNOLOGIQUES DES SYSTÈMES ADAS

Assistance au freinage, contrôle de la vitesse et de la trajectoire, aide au stationnement... Les systèmes ADAS ont un rôle croissant dans les véhicules d'aujourd'hui. De nouvelles fonctionnalités apparaissent comme l'aide à la perception visuelle de l'environnement extérieur (détection des piétons et panneaux) et la détection de la fatigue et de la somnolence du conducteur.

Poursuivant un même objectif — alerter le conducteur et l'aider à être plus attentif — les systèmes ADAS proposent deux types de fonctionnalités, à l'intérieur ou à l'extérieur du véhicule. À l'intérieur, l'objectif est de proposer des services ou de surveiller le conducteur (santé, identité biométrique, etc.).

À l'extérieur, il s'agit d'aider le conducteur à respecter le code de la route en détectant l'ensemble des obstacles statiques et dynamiques présents sur la route, comme les panneaux, les feux de signalisation, les marquages au sol, les piétons. Il convient cependant de rester prudent car toutes ces applications et fonctionnalités dotées d'intelligence artificielle ne peuvent remplacer nos propres sens et notre capacité cognitive à détecter et interpréter les sons et les images.

Ces systèmes ont d'ailleurs un impact direct sur nos capacités perceptives et cognitives. Tout comme les smartphones et les ordinateurs, ils diminuent nos réflexes et favorisent la dépendance à l'intelligence artificielle. Par ailleurs, ils ne sont pas infaillibles : le taux de fausses détections n'est



« Ces applications et fonctionnalités dotées d'intelligence artificielle ne peuvent remplacer nos propres sens et notre capacité cognitive à détecter et interpréter les sons et les images »

pas anodin, et l'amélioration de la fiabilité de l'information détectée et transmise au conducteur est un enjeu majeur pour les recherches actuelles.

ENDORMISSEMENT ET SYSTÈME DE SURVEILLANCE DE L'ATTENTION VISUELLE : QUELLES RECHERCHES AUTOUR DE LA DÉTECTION DU REGARD ?

Les recherches scientifiques sur la surveillance de la santé d'un conducteur au sein de son véhicule continuent à se diversifier et s'inspirent principalement des études médicales. Dans l'un des projets de recherche Altran « *Eyes and head tracking* », la surveillance de l'attention est assurée par le suivi des mouvements de la tête et des yeux du conducteur via une caméra à distance. La détection de la fatigue et de la somnolence sont assurées soit par traitement d'images des mouvements des yeux ou de la bouche du conducteur,

soit par la fréquence de clignement de ses paupières. La somnolence est également détectée — sans contact — par la mesure de signaux physiologiques comme la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire captés par une caméra placée à l'intérieur de l'habitacle.

COMMENT AMÉLIORER LA CAPACITÉ DE PERCEPTION DU VÉHICULE ?

Les systèmes d'aide à la perception de l'environnement extérieur sont déjà présents dans les voitures avec conducteur, pour assister celui-ci dans la détection des obstacles. Dans le cas des véhicules autonomes, la perception extérieure est cruciale pour que le véhicule puisse comprendre son environnement et naviguer de manière autonome et sûre dans un trafic réel, sans l'intervention de l'être humain.

Un ensemble de caméras et de capteurs positionnés dans le véhicule permet d'analyser l'environnement en construisant un modèle de perception. Ce dernier est mis à jour régulièrement via la réception des données en temps réel. Une représentation de l'environnement extérieur pourrait être projetée sur le pare-brise ou sur un écran du tableau de bord, en marquant les objets détectés afin d'aider le conducteur à mieux les percevoir. Ceci contribue à renforcer la sécurité et pourrait aussi être utile pour les personnes ayant un problème visuel ou auditif. Une alerte sonore pourrait également être envisagée pour signaler au conducteur la présence d'un obstacle. Notons toutefois que la performance de la perception assurée par le système risque d'être impactée par les conditions météorologiques.

Récemment, le *Deep Learning* a été mis à contribution dans les fonctionnalités d'aide à la perception de l'environnement extérieur, notamment pour la détection des piétons et la reconnaissance de texte sur les panneaux de direction. La reconnaissance de ces panneaux, sur un ensemble de données de test

« Un ensemble de caméras et de capteurs positionnés dans le véhicule permet d'analyser l'environnement en construisant un modèle de perception »

GTSRB³ composée de 12 630 images, peut atteindre un taux de reconnaissance correcte égal à 99,8%⁴.

La recherche porte également sur les communications V2X (Véhicule à Véhicule ou Véhicule à Infrastructure), toujours dans l'objectif d'assister le conducteur dans sa vision de l'environnement extérieur, pour lui permettre notamment de détecter les feux tricolores et l'informer du temps restant avant le changement de couleur du feu.

Certains constructeurs automobiles s'intéressent aussi au développement de la vision nocturne embarquée pour réduire le nombre d'accidents. Pour naviguer dans l'obscurité, les véhicules autonomes, en test chez certains constructeurs, utilisent

des cartes 3D haute résolution avec des informations sur la topographie de la route, les marquages routiers, la géographie et l'environnement extérieur. D'autres constructeurs développent de nouveaux types de détecteurs qui constituent « les yeux » des véhicules et confèrent à la voiture une vision périphérique de 360°.

VOITURE AUTONOME ET PROBLÉMATIQUE DE LA « VALIDATION » : QUEL RÔLE POUR LE CONDUCTEUR ?

La Convention de Vienne régulant la circulation routière depuis 1968 a été révisée le 23 mars 2016. Dorénavant, les systèmes de conduite automatisée seront explicitement autorisés sur les routes, à condition qu'ils soient conformes aux règlements des Nations Unies sur les véhicules, ou qu'ils puissent être contrôlés voire désactivés par le conducteur⁵. Les avancées technologiques de l'industrie sur le véhicule autonome visent à rendre le véhicule capable de prendre intégralement le contrôle sur la conduite, en prenant les bonnes décisions en fonction des situations.

Le conducteur devra toutefois toujours être en mesure de désactiver le mode autonome pour reprendre le contrôle du véhicule, notamment en cas de dysfonctionnement d'un des systèmes (capteurs, caméras, processeurs, etc.). La décision d'activer et de désactiver le mode

Communication véhicule à infrastructure



« véhicule autonome » doit être prise par le conducteur.

En conclusion, la question qui se pose aujourd'hui sur les véhicules de demain est de savoir si ces services, de plus en plus sophistiqués, nous rendent réellement service. Augmentent-ils le confort et la sécurité au sein du véhicule ou contribuent-ils à réduire l'activité de nos propres processus perceptifs et cognitifs ?

Malgré les différents avantages que peut apporter le véhicule autonome, entre autre la réduction des accidents dus aux facteurs humains, certains défis demeurent. Les voitures autonomes ne peuvent pas encore obéir aux signaux des agents de police. D'autres enjeux sont et seront de mieux en mieux pris en compte dans

la phase de conception de ce type de véhicules : piratage informatique des voitures connectées, responsabilité juridique en cas d'accident, surcoût d'un véhicule autonome par rapport à son équivalent « non autonome ».

La recherche de solutions « sur-mesure » aux besoins du conducteur et de la société est nécessaire pour lever les freins et inciter les automobilistes à céder le contrôle de leur voiture. _____

QUI EST ALTRAN ?

Leader mondial du conseil en Ingénierie et Services R&D, Altran propose à ses clients d'innover autrement en les aidant à développer ou en développant pour eux les produits et les services de demain. Altran les accompagne sur l'intégralité de la chaîne de valeur du cycle de vie d'un projet, de l'idée à l'industrialisation. Altran intervient depuis plus de 30 ans auprès de nombreux secteurs : aérospatiale, automobile, défense, énergie, ferroviaire, finance, sciences de la vie, télécoms, etc. En matière de véhicule autonome, Altran accompagne ses clients en proposant une offre complète fondée sur plusieurs expertises :

- Validation et vérification de tous les composants, de bout en bout.
- Prototyping et développement fonctionnel des processus de données issues des capteurs.
- Développement des fonctions de conduite.
- Méthodes, processus et évaluation de sécurité fonctionnelle.

Altran s'appuie à la fois sur ses centres d'expertises mondiaux (ADAS, Ingénierie Systèmes et Sécurité fonctionnelle, Analytique, Cyber sécurité, etc.), et sur un écosystème de partenaires tels que Jaguar Land Rover, Moveo, EMG ou DELL EMC.

1 • Reuters. (s.d.). <https://www.usinenouvelle.com/article/les-voitures-sans-conducteur-pourraient-representer-10-du-marche-d-ici-2035.N306611>.

2 • Bonnafont, C. (s.d.). http://www.huffingtonpost.fr/christian-bonnafont/big-data-et-industrie-automobile_b_5771284.html.

3 • Stallkamp, J., Schlipsing, M., Salmen, J., & Igel, C. (2012). Man vs. computer: Benchmarking machine learning algorithms for traffic sign recognition. *Neural Networks*.

4 • Haloi, M. (2016). Traffic Sign Classification Using Deep Inception Based Convolutional Networks. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV 2016)*.

5 • <https://www.legipermis.com/voiture-autonome/voiture-autonome.html>. (s.d.).





LA CONDUITE AUTOMOBILE D'AUJOURD'HUI À DEMAIN : COMMENT LES PERSONNES ÂGÉES POURRAIENT-ELLES PRENDRE LE VIRAGE ?

Les systèmes d'assistance à la conduite s'imposent peu à peu aux conducteurs. D'ici une dizaine d'années, le véhicule complètement autonome pourrait faire son entrée sur le réseau routier. Cet avènement semble être une opportunité pour offrir une mobilité sécurisée pour tous. Une question peut se poser : comment les conducteurs atteints de déclin visuels et auditifs, notamment les personnes âgées, vont-ils s'adapter à ces nouveaux systèmes ? Il est important de s'assurer qu'ils pourront bénéficier de ces avancées technologiques et de les accompagner dans cette transition vers le véhicule autonome.

Par l'IFSTTAR



Depuis le début de l'histoire de l'automobile, de nombreuses choses ont changé. L'infrastructure, les règles et les conditions de circulation n'ont cessé de se complexifier. Dans le même temps, les véhicules ont gagné en sécurité et en confort de conduite, les avancées technologiques ayant largement contribué à les rendre plus sûrs et plus performants. Un conducteur né dans les années 1930 a eu le temps de s'adapter à ces changements progressifs. Les assistances à la conduite, ayant démontré leur efficacité en matière de sécurité et de confort, se sont déployées rapidement. La cadence de ces mutations sera nettement accélérée dans les prochaines années avec l'arrivée de nouveaux types de véhicules : les véhicules à délégation de conduite partielle (semi-autonome) ou totale (autonome). Or, le vieillissement entraîne naturellement et progressivement des déclin visuels, auditifs, moteurs et un ralentissement général qui peuvent retentir sur la conduite d'un véhicule. L'avènement des véhicules à délégation de conduite soulève donc de nombreuses questions : comment ces véhicules vont-ils interagir avec les conducteurs ? Comment les conducteurs vont-ils adapter leurs comportements, notamment ceux qui présentent une gêne d'ordre visuel,

auditif ou cognitif ? La supervision d'un système semi-autonome ou autonome nécessite d'adapter son comportement : comment ces conducteurs vont-ils coopérer ? Quel accompagnement prévoir dans la prise en main de ces nouveaux véhicules ? Quelques premiers éléments de réponse.

UNE AUTORÉGULATION SPONTANÉE DE LA CONDUITE CHEZ LES CONDUCTEURS ÂGÉS

La littérature s'accorde sur le fait que les conducteurs âgés parviennent naturellement et spontanément à adapter — à autoréguler — leur activité de conduite parce qu'ils ont conscience de ces changements et de leurs effets sur la conduite. Ils conduisent sur des trajets plus courts, conscients de leur plus grande fatigabilité. Ils évitent les zones denses et les situations routières complexes, ou augmentent les distances de sécurité, conscients d'être moins en capacité qu'avant de percevoir et de traiter simultanément toutes les informations pour réagir rapidement. Pour ceux qui ne parviendraient pas à adapter leurs comportements de conduite en fonction de leurs capacités de manière spontanée, les assistances pourraient être d'une grande aide. Elles pourraient prendre en charge les composantes sur lesquelles les conducteurs ne sont pas en mesure d'identifier leurs difficultés. En effet, les véhicules

BIOGRAPHIE DES EXPERTS

Laurence Paire-Ficout est docteur en psychologie cognitive de l'Université de Lyon. Elle est chargée de recherche au Laboratoire Ergonomie Sciences Cognitives pour les Transports (LESCOT) de l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR) et mène des travaux à dominante expérimentale.

Elle conduit des recherches sur deux thèmes principaux :

- L'aptitude à la conduite et le maintien de la mobilité des personnes âgées engagées ou non dans un vieillissement pathologique, avec un intérêt spécifique pour les fonctions exécutives,
- La problématique du handicap auditif dans les transports et la recherche de solutions pour limiter les effets du handicap.

Catherine Gabaude est docteur en neurosciences et détient une Habilitation à Diriger des Recherches (HDR) en psychologie cognitive de l'Université de Lyon. Elle est chargée de recherche au Laboratoire Ergonomie Sciences Cognitives pour les Transports (LESCOT) de l'IFSTTAR et mène des travaux en psycho-ergonomie et neuroergonomie.

Elle conduit des recherches sur trois thèmes principaux :

- Le maintien de la mobilité par le développement d'innovations technologiques et sociales,
- Les défauts d'attention en conduite automobile avec ou sans conduite déléguée,
- L'appui à la politique publique de sécurité routière.

QU'EST-CE QU'UN VÉHICULE À DÉLÉGATION DE CONDUITE ?

Le véhicule autonome est le fruit d'avancées technologiques dont l'essor a démarré dans les années 1980. Son développement résulte de progrès technologiques successifs.

○ Les premiers systèmes d'aide à la conduite avaient une vocation informationnelle. Ce sont des systèmes de navigation qui aident le conducteur à planifier et à suivre un itinéraire. L'objectif, au plan cognitif, est de soulager le conducteur qui n'a plus à rechercher par lui-même les directions à suivre.

○ La seconde génération de système a permis de communiquer avec l'environnement. Ces systèmes produisent, en cas de dangers potentiels, des messages ou alarmes destinés à alerter le conducteur. Ils donnent, par exemple, des informations sur le trafic, détectent des objets dans

les angles morts ou visent à prévenir le conducteur d'une sortie de route.

○ Les systèmes les plus récents agissent sur les commandes du véhicule. Il s'agit de systèmes d'assistance qui interviennent directement dans l'activité du conducteur ou prennent la main sur une partie de l'activité : on parle de coopération homme-machine. Le conducteur devient alors un superviseur d'automate. Il s'agit, par exemple, d'assistances partielles ou totales à la réalisation d'une manœuvre de stationnement, au contrôle longitudinal qui vise au respect des distances entre les véhicules (régulation ou limitation des vitesses, gestion d'obstacles, aide au franchissement d'intersections...) et/ou au contrôle latéral du véhicule facilitant son maintien sur la voie (le recentrage automatique du véhicule).

à délégation de conduite vont pouvoir aider ces conducteurs âgés à compenser les déclinés associés au vieillissement, dans la mesure où la coopération homme-machine est satisfaisante et où les conducteurs n'éprouvent pas d'appréhension à leur utilisation. Autrement dit, la compensation des déclinés est possible uniquement si

les conducteurs âgés comprennent spontanément comment utiliser le système et se donnent les moyens de l'utiliser. On peut néanmoins s'interroger sur la manière dont les conducteurs âgés vont s'approprier ces changements. Certaines enquêtes précisent que l'achat d'un véhicule n'est pas conditionné par la présence ou non d'assistances, mais que les

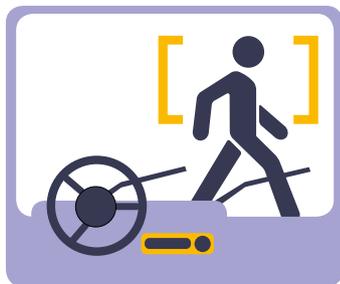
« Les véhicules à délégation de conduite vont pouvoir aider ces conducteurs âgés à compenser les déclinés associés au vieillissement »

seniors en apprécient l'utilisation par gain de confort et de sécurité.

QUELLES NOUVELLES ASSISTANCES POUR LE FUTUR ?

Les personnes âgées se déclarent particulièrement gênées pour conduire dans des situations de visibilité dégradée comme la nuit, par temps de pluie ou de brouillard. Les systèmes qui permettent le rehaussement de la vision sont ainsi essentiels pour cette population. De nouvelles fonctions pourraient être commandées, par exemple, par l'entremise du pare-brise qui serait un médiateur essentiel à la coopération. Il permettrait au conducteur de bénéficier d'une amplification

Pare-brise intelligent



de l'information sans avoir à quitter la route des yeux, ni à regarder le tableau de bord, par exemple, la projection des lignes de bordure de chaussée et des obstacles sur le pare-brise, ou encore la matérialisation de la meilleure trajectoire et la prescription de la vitesse adéquate pour passer une courbe. Avec ces fonctionnalités, le pare-brise devient ainsi intelligent.

Un autre système de pare-brise intelligent pourrait être très utile aux conducteurs ayant des difficultés à estimer les distances de sécurité ou la vitesse. Il s'agit d'un régulateur adaptatif qui matérialise, par des barres, la distance de sécurité en fonction de la vitesse adoptée. Le système permet également de mettre en surbrillance une voie dans le cas d'un changement de direction. En cas de nécessité, le véhicule peut, par lui-même, décider de ralentir si cette distance n'est plus sécuritaire. Les concepteurs

de ces pare-brises tentent même de les rendre encore plus intelligents en leur permettant de tenter de suivre les yeux du conducteur afin d'optimiser la coopération homme-machine et la coopération inter véhiculaire. Le véhicule de demain pourrait ainsi permettre de surveiller le niveau d'attention du conducteur grâce à des capteurs de suivi oculaire. La voiture réagira automatiquement aux dangers en distinguant les signaux d'alerte pour la détection d'un piéton près du véhicule, en cas de neige ou de route verglacée, ou encore de chaussée humide.

Certains constructeurs misent sur la modalité vocale : la voix deviendra l'outil principal pour contrôler le pare-brise intelligent et ses différentes fonctionnalités. Des recherches supplémentaires sont néanmoins nécessaires pour comprendre comment exploiter au mieux la technologie à activation vocale sans compromettre la sécurité. Cela pourrait aider des personnes souffrant de problèmes moteurs (dyspraxie, maladie de Parkinson). Cependant, les personnes atteintes d'un handicap de nature linguistique (aphasies, surdité ou mutité) ne seraient pas concernées par cette assistance.

En cas de déficits auditifs, des difficultés particulières peuvent survenir notamment pour percevoir les sirènes des véhicules d'urgence et les klaxons

des autres véhicules. Si le véhicule de demain parvient à détecter ces signaux sonores, il pourrait les relayer dans une modalité haptique ou visuelle et donc orienter l'attention du conducteur sur cet événement. Ainsi, les conducteurs présentant une surdité pourraient eux aussi bénéficier de la réalité augmentée.

D'UNE CONCEPTION UNIVERSELLE À LA PERSONNALISATION

Ces systèmes d'assistance sont conçus pour tous types de conducteurs : on parle du principe de conception universelle. Pour accroître leur efficacité et leur confort d'usage, la question de la personnalisation de ces aides est souvent évoquée. Cela consisterait à adapter les réactions du véhicule de manière à ce que le conducteur âgé, en particulier, puisse avoir un comportement adéquat. Par exemple, lorsque le conducteur devra reprendre la main sur le système, il faudrait s'assurer que l'alerte soit émise suffisamment tôt. Pour les systèmes les plus complexes, une prise en main encadrée semble souhaitable.

En cas de défaillance du système, des enregistreurs de données seront utilisés pour identifier, parmi tous les acteurs impliqués dans le fonctionnement de ces systèmes complexes, qui est juridiquement responsable. Ces enregistreurs pourraient être utilisés pour contribuer à la



« Des variables très liées à la personnalité sont à prendre en considération, selon que la personne sur ou sous-estime sa propre capacité à appréhender les nouvelles assistances à la conduite »

vérification des performances des conducteurs âgés et ainsi permettre de dispenser des conseils personnalisés. Cela permettrait d'aider les conducteurs qui « n'autorégulent » pas spontanément, soit parce qu'ils n'ont pas conscience de leur déclin ou parce qu'ils sont dans le déni du vieillissement. Des variables très liées à la personnalité sont à prendre en considération, selon que la personne sur ou sous-estime sa propre capacité à appréhender les nouvelles assistances à la conduite. Une personne qui se sous-estime du point de vue cognitif pourrait avoir tendance à ne pas s'estimer capable d'utiliser un véhicule trop avancé technologiquement, à l'inverse un « sur-estimateur » aurait tendance à ne pas évaluer correctement les

nouveaux risques liés à l'utilisation de ces nouveaux systèmes. Ces pistes restent encore à explorer. L'avènement du véhicule à délégation de conduite va provoquer de grands changements dans les usages et dans les pratiques du conducteur. Le parc automobile pourrait lui aussi être très rapidement transformé. Les assistances à la conduite devraient rendre la conduite plus confortable, augmenter la sécurité et réduire la gravité des blessures potentielles. Ces systèmes sont conçus à l'aide de capteurs qui peuvent s'avérer plus performants que le conducteur qui, lui, peut présenter certaines défaillances. Dans la mesure où le véhicule et le conducteur comprennent mutuellement leurs actions respectives, des gains importants en termes de sécurité

routière sont à espérer. Pour que la transition soit parfaitement réussie, il est essentiel de garder à l'esprit que certains conducteurs peuvent avoir des besoins spécifiques et qu'ils doivent être soigneusement pris en compte pour permettre d'offrir une mobilité sécurisée pour tous. _____

- Eby, D.W., Molnar, L.J., Zhang, L., St. Louis, R.M., Zanier, N., Kostyniuk, L.P., Stanciu, S. (2016). Use, perceptions, and benefits of automotive technologies among aging drivers. *Injury Epidemiology*, 3:28. DOI 10.1186/s40621-016-0093-4.
- Gish, J., Vrkljan, B., Grenier, A., Van Miltenburg, B. (2017). Driving with advanced vehicle technology: A qualitative investigation of older drivers' perceptions and motivations for use. *Accident Analysis and Prevention*, 106:498-504.
- Molnar, L.J., Eby, D.W. (2017). Implications of advanced vehicle technologies for older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 106:457-459.
- Moták, L., Gabaude, C., Bougeant, J.-C., Huet, N. (2014). Comparison of driving avoidance and self-regulatory patterns in younger and older drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 26, 18-27.







L'Observatoire de la santé visuelle et auditive du groupement Optic 2000, créé en 2015, à la croisée des nouveaux modes de vie et leurs impacts sur la santé visuelle et auditive, a pour vocation de faire progresser et de diffuser la connaissance sur les phénomènes susceptibles d'impacter la vue et l'audition.

La vue et l'audition sont probablement les sens auxquels nous accordons le plus d'importance pour nous mettre en relation avec les autres et le monde. Pourtant, nous ne sommes pas toujours conscients de leur vulnérabilité, et suffisamment informés sur les stratégies permettant de préserver ces capitaux le plus longtemps possible.

L'Observatoire du groupement Optic 2000 a souhaité éclairer ces enjeux auprès du public aussi bien qu'auprès des professionnels de santé et des décideurs. Il fait pour cela appel à l'analyse croisée d'experts pluridisciplinaires, recueille les perceptions du public, en y intégrant les expérimentations et les observations du terrain.

Chaque année, l'Observatoire publie un Cahier : un recueil d'analyses et de témoignages de chercheurs, de professionnels de santé, d'universitaires, autour d'un même thème inédit. Chaque Cahier est l'occasion d'approfondir une thématique et de mettre en exergue des phénomènes nouveaux.

OBSERVATOIRE de la santé **VISUELLE & AUDITIVE**

écouter et regarder demain



www.observatoire-groupeoptic2000.fr
NOVEMBRE 2017

 Optic 2000

LISSAC

Audio
2000 
