

VERS UN CONTROLE AUTOMATIQUE DU NOMBRE D'OCCUPANTS DES VEHICULES



© Univ. Of California

Octobre 2014

VERS UN CONTROLE AUTOMATIQUE DU NOMBRE D'OCCUPANTS DES VEHICULES

Octobre 2014

**Centre d'études et d'expertise sur les risques,
l'environnement, la mobilité et l'aménagement**

Ce rapport d'étude a été élaboré par Alexis BACELAR (Cerema/DTecTV).

Ont également contribué à sa rédaction par leurs commentaires et observations :
- Eric Klein (Cerema/Dter Est), Sylvain Belloche (Cerema/Dter Centre Est),
Jean-François Janin (DGITM/ MTI), Christophe Saroli (Cerema/DTecTV),
François Rambaud (Cerema/DTecTV), Laurent Bigou (Cerema/DTecTV), Oli-
vier Petiot (Cerema/DTecTV).

Photo couverture : avec la permission de University of California PATH (Partners for Advanced Transportation TechNology).

Introduction

Les enjeux socio-économiques et environnementaux apparus dans les années 2000 ont mis en évidence les faiblesses générées par la dépendance à l'automobile individuelle : pollution, émissions de gaz à effet de serre, dépendance au pétrole induisant une vulnérabilité croissante des ménages au coût des déplacements, bruit, congestion, autant d'écueils à la fois pour les individus et pour la collectivité. Ce constat est particulièrement applicable au périurbain. Face au double défi de la dépendance pétrolière et du réchauffement climatique, la restriction de l'usage de l'automobile impose alors d'innover et de développer des actions promouvant une mobilité durable. Sur des itinéraires périurbains, ces actions s'orientent vers le développement du transport à la demande et les nouveaux services à la mobilité (NSM), parmi lesquels il faut citer le covoiturage. Des voies sont réservées aux véhicules pratiquant le covoiturage dans certains pays, à l'instar des Etats-Unis, mais aucun projet analogue n'a pu aboutir en France jusqu'à présent, et très peu en Europe [1].

Ces voies réservées aux véhicules avec un nombre d'occupants élevé ont été mises en place depuis les années 70 aux USA et au Canada, où elles sont en exploitation sur plusieurs centaines de kilomètres. Cependant, l'ouverture de voies réservées au covoiturage pose toujours la question du problème juridique de la définition du covoiturage ainsi que du contrôle des véhicules circulant dans ces voies. Le terme "covoiturage" peut recouvrir des besoins et des pratiques différents.

Un état des lieux des technologies utilisables dans la vérification du nombre d'occupants d'un véhicule a été réalisé dans un rapport du CERTU de 2008 [2]. A cette époque, peu d'évaluations de systèmes complets avaient été réalisées. Dans le présent document, une actualisation des technologies de mesure du nombre d'occupants dans une voiture avec des expérimentations est proposée, ainsi que des compléments.

Le contrôle du nombre d'occupants est un impératif pour ouvrir des voies réservées, car il permet de vérifier que les véhicules présents sur la voie sont bien autorisés à y circuler. Cette vérification du nombre d'occupants des véhicules est actuellement le principal frein à la banalisation de voies de covoiturage. Les péages électroniques, la lecture des plaques minéralogiques et d'autres technologies ont été développés cette dernière décennie afin d'améliorer les systèmes de transport. Cependant, ces technologies permettent le contrôle du véhicule mais pas celui du nombre des occupants.

Plusieurs solutions semi-automatisées et entièrement automatisées ont été soumises à des essais sur le terrain pour déterminer le nombre de personnes dans un véhicule en mouvement. Toutefois, aucune solution automatisée ne s'est montrée suffisamment fiable pour être mise en œuvre.

Ce rapport fait un état des lieux du niveau d'avancement actuel des applications technologiques pouvant être utilisables dans le domaine de la vérification automatique du nombre d'occupants des véhicules circulant sur les voies de covoiturage. Le développement de ces outils de mesure ne va pas servir qu'au contrôle des voies réservées mais aussi à la mesure du nombre d'occupants

moyen des véhicules sur voies rapides. Ce paramètre est un bon indicateur du développement du covoiturage.

Dans une première partie du document, la possibilité de contrôle avec des systèmes internes au véhicule est examinée. Dans un deuxième chapitre, les systèmes de détection externes à partir de l'infrastructure sont étudiés. Ensuite, la solution alternative de la déclaration de covoiturage, qui est en plein essor en Amérique du Nord, est explorée. Enfin, les différents aspects à prendre en compte pour la mise en place d'une chaîne automatisée de contrôle sanction sont décrits.

SOMMAIRE

Problématique liée au contrôle des voies de covoiturage	9
1. Systèmes à bord des véhicules	9
1.1 Systèmes existants	9
1.1.1 Airbag	9
1.1.2 Ceinture de sécurité	10
1.1.3 Capteur de poids	10
1.2 Systèmes existants et à évaluer	12
1.2.1 Capteur capacitif (ou de champ électrique)	12
1.2.2 Capteurs ultrasons	12
1.2.3 Capteurs vidéo et proche infrarouge	13
1.2.4 Imagerie infrarouge thermique	14
1.3 Systèmes prospectifs	15
1.3.1 Contrôleurs du rythme cardiaque et de la respiration	15
1.3.2 Cartes et lecteurs intelligents	15
1.4 Conclusion pour les systèmes à bord des véhicules	16
1.5 Transmission des données d'occupation pour le contrôle des voies de covoiturage	16
1.5.1 Systèmes transpondeurs / récepteurs	16
1.5.2 Conclusion	17

2. Systèmes de détection à partir de l'infrastructure	17
2.1 Systèmes vidéo	17
2.2 Systèmes infrarouges	19
2.3 Systèmes infrarouges multi-bandes	19
2.4 Systèmes à micro-ondes passives	21
2.5 Systèmes radar à bande ultra large (UWB)	21
Conclusion sur les systèmes de détection à partir de l'infrastructure	22
2.6	22
3. Associer une déclaration de covoiturage à une détection à partir de l'infrastructure : une solution alternative ?	23
4. Eléments pour la mise en place d'un contrôle sanction automatique des voies réservées au covoiturage [11]	24
4.1 Avantages-inconvénients du contrôle automatisé	24
4.2 Eléments de la chaîne automatisée de contrôle	25
5. Conclusion	26
6. Bibliographie	27

Problématique liée au contrôle des voies de co-voiturage

Les voies de covoiturage sont très utiles lors des périodes de pointe de trafic en zone urbaine, quand les voies classiques deviennent congestionnées. Pour que ces voies gardent leur fonctionnalité première, il est important qu'un contrôle performant soit effectué car le taux de fraude varie en moyenne de 10 % jusqu'à plus de 50 % des usagers empruntant ces voies [3] [4]. Les voies réservées aux véhicules occupés par au moins 3 personnes sont plus sujettes à la fraude que celles réservées aux véhicules occupés par au moins 2 personnes.

Actuellement, le contrôle est exclusivement visuel ce qui entraîne des erreurs d'analyse de la situation (en 1996, une étude réalisée dans le New Jersey a montré que 36 % des véhicules identifiés comme contrevenants avaient réellement le nombre requis d'occupants). La vitesse, les passagers à l'arrière, les vitres teintées ou les conditions météorologiques sont les raisons principales pour lesquelles ce contrôle visuel n'est pas efficace. Traditionnellement, en Amérique du Nord, il est réalisé par des forces de police. Il est cependant souvent considéré comme une tâche peu prioritaire par les forces de l'ordre qui ont des ressources humaines limitées en nombre, et affectées prioritairement à la gestion de la circulation, aux enquêtes sur les accidents et aux infractions à la sécurité. Un plan de contrôle varié et des amendes élevées sont toutefois nécessaires. Il est important de définir un niveau acceptable du taux de violation dans les voies afin d'éviter que ce type d'aménagement ne soit rejeté par les usagers. Typiquement, après plusieurs études du taux de violation, un objectif pourrait être de maintenir ce taux de violation en dessous de 10%. Au-delà, la fonctionnalité d'une voie de covoiturage risque d'être discréditée pour le public, qui ne voit plus l'intérêt de ce genre de voies. Il faudra aussi s'intéresser à l'acceptation sociale d'une voie de covoiturage faiblement utilisée par des usagers coincés dans des bouchons sur des voies adjacentes à celle-ci.

1. Systèmes à bord des véhicules

1.1 Systèmes existants

1.1.1 Airbag

La majorité des technologies de détection à bord des véhicules a été développée en tant que réponse à des problèmes de sécurité, par exemple la mise en place d'airbag. Aux Etats-Unis, une norme fédérale a imposé le déploiement d'airbags intelligents dans 100 % des véhicules neufs depuis 2009. Ces airbags intelligents ne se déploient que lorsque l'occupant est dans une position potentiellement dangereuse. La détection de la présence ou pas d'un occupant est donc essentielle dans la mise en place de ce système et pourrait donc être utile dans le calcul du nombre d'occupants d'un véhicule. Il faut remarquer que cette

norme ne s'applique pas aux sièges arrière, pour lesquels les occupants peuvent être protégés par des airbags latéraux.

De tels airbags intelligents sont également proposés dans les véhicules neufs en Europe et dans le reste du monde.

1.1.2 Ceinture de sécurité

Le dispositif d'alerte en cas de ceinture de sécurité non attachée comprend des détecteurs de présence sur chaque place.

Ce dispositif pourrait, à l'instar des airbags, permettre de déterminer le nombre de personnes dans un véhicule. On pourrait donc laisser une libre utilisation des voies de covoiturage si deux ceintures ou plus sont enclenchées durant le trajet. Cependant, si le bouclage de la ceinture était la seule mesure pour contrôler le nombre d'occupants du véhicule, il y aurait un risque que le conducteur laisse simplement la ceinture de sécurité d'un passager bouclée alors qu'il n'y a pas d'occupant. Il est donc crucial que le bouclage de la ceinture soit couplé avec un autre système de contrôle qui pourrait être :

- un capteur mesurant le dévidement de la ceinture qui devrait être déroulée d'une certaine longueur, avant que le mouvement d'un occupant ou de la ceinture de sécurité soit enregistré et mesuré pendant une période donnée, afin de confirmer l'usage ;

- un système de contrôle du poids.

1.1.3 Capteur de poids

La détection de présence sur une place, nécessaire aux airbags et aux ceintures de sécurité, utilisent en général des capteurs de poids.

Il est très simple d'utiliser les détecteurs de poids pour détecter le nombre de passagers assis dans un véhicule. C'est d'autre part, la technique la plus couramment utilisée pour contrôler le déploiement des airbags et vérifier qu'un occupant est bien attaché.

Le capteur détermine la taille d'un occupant via un modèle statique, en mesurant la pression qu'il exerce sur le siège. Durant les dix dernières années, les systèmes de détection de passager ont été développés sous forme de multiples capteurs afin d'établir les forces qui interviennent quand la personne est assise. Cela permet de classer les occupants et donc de faire réagir les systèmes en fonction de différents paramètres. Ces systèmes de détection sont donc classés en deux catégories : ceux incorporés dans le siège et ceux incorporés dans le châssis du siège.

Les capteurs incorporés au siège détectent la force appliquée sur ce dernier afin de déterminer le poids de l'occupant sur l'assise. Pour les capteurs qui utilisent plusieurs modules, on peut déterminer la présence d'un adulte, d'un enfant ou

bien encore d'un siège bébé. On peut aussi déterminer la position en fonction de la répartition de la charge.



Figure 1 : Système de détection passive du poids d'un occupant d'un véhicule.

Les systèmes incorporés au châssis sont généralement des jauges de contraintes qui mesurent le poids du siège ainsi que celui de l'occupant et sont assemblés dans le rail du siège. La position d'un occupant peut être déterminée en mesurant la distribution relative des masses et les déplacements dans le temps.

Un des problèmes des systèmes de mesure du poids pour vérifier si un véhicule est en situation de covoiturage et peut accéder aux voies réservées est qu'on peut leurrer le détecteur en plaçant une charge du poids approprié sur le siège. Cette technologie fonctionnerait donc mieux en la couplant avec un autre système (ceinture, etc.) de détection des occupants plutôt que comme une solution autonome.

On peut remarquer que, à des fins de contrôle, ces détecteurs de poids n'ont pas besoin d'instrumenter le siège du conducteur car celui-ci est toujours occupé. Ils devraient cependant couvrir les sièges arrière car même pour une installation « voies de covoiturage à 2 personnes ou plus », le passager pourrait s'asseoir soit à l'avant, soit à l'arrière du véhicule.

1.2 Systèmes existants et à évaluer

1.2.1 Capteur capacitif (ou de champ électrique)

Cette technologie détermine la présence et la position d'un occupant en analysant les perturbations de l'oscillation dans un champ électrique de faible intensité produit par le dispositif. Le champ est généré entre deux électrodes, l'une émettrice et l'autre réceptrice. Le champ électrique sera perturbé ou coupé si l'on positionne un élément diélectrique. Les capteurs utilisant ce principe sont connus sous le nom de capacitifs ou de capteurs couplés capacitifs : la capacité varie donc en fonction du diélectrique présent entre les électrodes. Les capteurs de champ électrique exploitent le fait que le corps composé essentiellement d'eau, a une constante diélectrique environ 80 fois supérieure à celle de l'air. Le champ électrique entre les deux électrodes varie donc en fonction des caractéristiques du corps humain qu'il va traverser. La magnitude du changement est proportionnelle à la perturbation du champ, donc cette technologie peut être utilisée pour déterminer la distance d'un corps ou sa taille. En multipliant les jeux de capteurs, on peut effectuer une triangulation afin de positionner l'occupant dans le véhicule.

Ni les chapeaux, ni les vêtements n'ont d'effet sur le système. Malheureusement, celui-ci doit se trouver à proximité de la personne car son efficacité diminue au-delà d'environ 0,6 m de distance; ceci pourrait poser des problèmes pour l'enregistrement des passagers de petite taille ou des enfants. Bien qu'un système de détecteur à capacité ait été mis au point et ait une applicabilité dans de nombreuses situations (médicales, militaires, airbag, etc.), il n'a pas encore été employé dans le contexte particulier de la mesure des occupants d'un véhicule.

1.2.2 Capteurs ultrasons

Les capteurs ultrasons utilisent la localisation des occupants par échos acoustiques afin de déterminer leur position. La multiplication des micros et des transducteurs est nécessaire afin de pouvoir trianguler la position d'un objet en trois dimensions.

Pour une détection fiable de l'occupant d'un siège, quatre capteurs devraient être à minima utilisés pour assurer une couverture suffisante de la zone du siège et fournir une redondance, car la détection d'ultrasons peut être diminuée par l'interposition d'un corps étranger entre le capteur et l'occupant. La largeur du faisceau, la fréquence et l'intensité des impulsions d'ultrasons doivent également être soigneusement choisies afin de maximiser la capacité de détection, de réduire au minimum les reflets acoustiques et les interférences, et d'assurer la sécurité des niveaux d'exposition (seuils de tolérance en vigueur) des personnes et des animaux.

En outre, la vitesse de propagation des ondes sonores est affectée par la température de l'air : les systèmes ultrasons doivent utiliser des méthodes de détection robustes afin de préserver l'exactitude de polarisation malgré des conditions de températures extrêmes, ainsi que des effets causés par diffraction de gradients thermiques ou de l'instabilité thermique.

Ces capteurs apparaissent donc insuffisamment fiables pour compter le nombre de personnes dans une voiture.

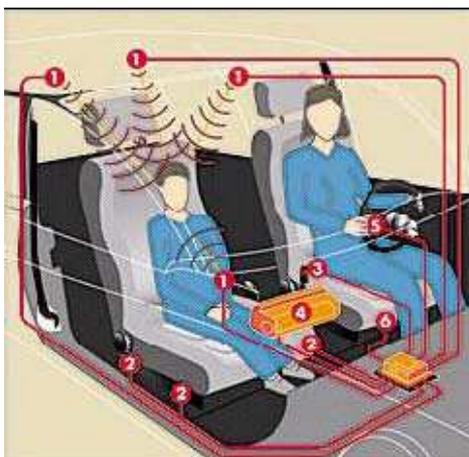


Figure 2 : Système de détection par ultrasons de la position d'un passager.

1.2.3 Capteurs vidéo et proche infrarouge

L'optique et le « proche infrarouge » sont les méthodes de détection où se concentrent le plus de recherches actuellement. Pratiquement tous les grands constructeurs et équipementiers automobiles ont des systèmes en cours de développement. Le développement rapide des capteurs photodiodes (ou CMOS) a considérablement amélioré le potentiel de faisabilité de systèmes optiques. La dernière génération de caméras vidéo CMOS pour les applications automobiles offre performance, petite taille et robustesse à un coût relativement bas.

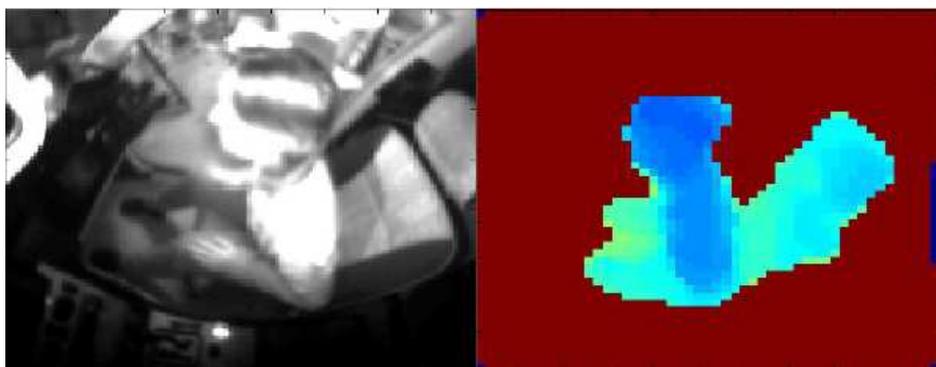


Figure 3 : Image 3D de la position d'un passager.

Ces capteurs sont utilisés dans différentes applications (voir ci-dessous), lesquelles pourraient permettre le contrôle du nombre d'occupants :

- la photographie de l'intérieur de la voiture s'intègre dans les systèmes de sécurité et d'intervention d'urgence (Ecall). Ces systèmes sont déjà inclus dans les nouveaux concepts de voiture qui ont été présentés par les fabricants ;

- le contrôle du déploiement des airbags : des caméras stéréovision peuvent être utilisées avec un processus de prise de vues tridimensionnelle pour déterminer l'emplacement, la forme et la grosseur des objets sur les sièges. L'objectif est d'améliorer les systèmes de mesure du poids afin d'affiner les paramètres de réglages des airbags pour augmenter la précision de la localisation des occupants ;

- le contrôle de la vigilance et de la somnolence du conducteur par caméras dédiées (domaine de la recherche) ; un tel système pourrait être adapté pour déterminer l'occupation des sièges « hors conducteur » dans le véhicule.

1.2.4 Imagerie infrarouge thermique

Les systèmes d'imagerie thermique détectent la chaleur émise par les objets et les personnes dans les longueurs d'onde de l'infrarouge. En haute résolution, l'application de la technique de l'imagerie thermique présente une excellente capacité de reconnaissance des objets animés et inanimés, ainsi que de la taille et de l'emplacement des occupants. L'imagerie infrarouge à bord des véhicules peut être définie tel un système passif à haute définition qui détecte la chaleur du corps et compare cette empreinte avec une base de données de signatures thermiques, ou tel un système actif qui utilise un ensemble de faisceaux laser pour balayer le compartiment passager et créer une image en trois dimensions.

L'imagerie thermique est, d'autre part, probablement plus acceptable pour le public que le capteur vidéo du point de vue de la vie privée et des libertés individuelles car les occupants des véhicules et leurs actions particulières ne sont pas facilement visibles et interprétables en analysant ces images thermiques.

Ces outils restent cependant onéreux, car ils exigent des systèmes mécaniques intégrés pour le refroidissement et pour la numérisation de l'image. Les progrès dans la fabrication des semi-conducteurs ont permis de créer des capteurs pouvant produire en temps réel une image thermique haute résolution à température ambiante.

L'un des inconvénients de ces systèmes est que la signature thermique des occupants peut être déformée ou réduite par les objets du quotidien qui peuvent se placer entre l'occupant et le capteur. Ces objets peuvent être des gants, des chapeaux, des journaux et des sièges pour enfants montés à l'envers. Les capteurs infrarouges thermiques peuvent également avoir des difficultés à

discriminer un passager lorsque la température de l'habitacle est élevée, ce qui est le cas en été.



Figure 4 : Image infrarouge thermique.

1.3 Systèmes prospectifs

1.3.1 Contrôleurs du rythme cardiaque et de la respiration

Il existe depuis peu des contrôleurs du rythme cardiaque en mesure de déterminer la présence d'animaux ou de personnes dans un véhicule. Ils peuvent être utilisés afin de détecter des intrusions dans le véhicule, l'endormissement au volant, etc. Il pourrait être possible d'adapter cette technologie pour déterminer le nombre d'occupants dans un véhicule.

Une autre possibilité pourrait être d'intégrer des contrôleurs de la respiration (semblables à ceux qui sont couramment utilisés dans les applications de contrôles médicaux et sportifs) aux ceintures de sécurité. Cela permettrait de détecter une ceinture de sécurité bouclée à vide sans passager.

1.3.2 Cartes et lecteurs intelligents

La technologie des cartes intelligentes est utilisée dans une grande variété d'applications et pourrait être mise en œuvre pour compter le nombre d'occupants d'un véhicule. Pour le contrôle du nombre d'occupants dans les véhicules sur des voies de covoiturage, les voitures devraient embarquer des cartes d'identité personnelles pour chaque occupant, ou encore des permis de conduire, des cartes de transport ou même des transpondeurs d'autoroute intégrant des circuits électroniques de type RFID par exemple.

Il est probable que les cartes puissent être lues depuis l'intérieur du véhicule, et l'information envoyée à l'extérieur (communication du véhicule avec l'infrastructure). La lecture de multiples cartes intelligentes depuis des systèmes déployés en bord de chaussée aux vitesses usuelles de circulation serait plus ardue.

1.4 Conclusion pour les systèmes à bord des véhicules

Il est tout d'abord important d'affirmer que le comptage des occupants à bord des véhicules est un thème important pour le covoiturage, et que la recherche, l'élaboration et la mise en œuvre de tels systèmes sont aujourd'hui des sujets sur lesquels travaillent les fabricants et les équipementiers automobile.

La présentation de nombreux capteurs montrent que des technologies à bord des véhicules permettent de détecter le nombre et l'emplacement des occupants d'un véhicule.

Pour les contrôles à opérer dans les voies de covoiturage, les systèmes les plus simples comme les capteurs de poids ou les contrôleurs de bouclage de la ceinture de sécurité semblent être les plus appropriés ; il faut cependant chercher à réduire le taux de fraude inhérent à chacune des spécificités des technologies mises en œuvre.

Potentiellement, les systèmes d'airbags « intelligents » de nouvelle génération sont a priori l'approche la plus crédible à retenir. Ces systèmes doivent être en mesure de détecter les occupants de chaque siège.

Les systèmes de détection actuellement développés sont en mesure de compter les passagers à l'avant du véhicule et certains modèles de voiture possèdent des capteurs sur tous les sièges.

Il est probable que la majorité des véhicules soit capable de compter les passagers avant et arrière de manière fiable d'ici 2020.

1.5 Transmission des données d'occupation pour le contrôle des voies de covoiturage

Le nombre d'occupants du véhicule ainsi établi, il est ensuite nécessaire de transmettre l'information issue de la voiture, au système/service de contrôle des voies réservées au covoiturage.

Les systèmes de transmission intègrent principalement des systèmes de type transpondeurs / récepteurs.

1.5.1 Systèmes transpondeurs / récepteurs

Le moyen le plus simple de transmettre l'information d'un véhicule au bord de la chaussée est d'utiliser un transpondeur monté sur le pare-brise qui communique avec un lecteur monté sur un portique au-dessus d'une voie fréquentée (communication véhicule-infrastructure V2I). Ce système peut être utilisé à

haute vitesse et est très répandu pour les péages autoroutiers. Dans cette optique, le point à analyser concerne la communication de l'information depuis le véhicule vers l'extérieur. En effet, plus les objets sont communicants, plus des failles peuvent apparaître. Dans une voiture, les informations liées à la sécurité du véhicule circulent sur le bus CAN (bus système série très répandu dans l'automobile) : il faut veiller à ce que l'accès aux données qu'il contient soit réalisé exclusivement par des dispositifs qui ne puissent pas perturber son bon fonctionnement, dont dépend celui du véhicule lui même.

1.5.2 Conclusion

Pour ces systèmes, si des caractéristiques d'identification (ex. : plaque d'immatriculation) étaient incluses dans la transmission provenant du véhicule, on pourrait migrer vers un système de contrôle des voies de covoiturage entièrement automatique. Au lieu de signaler les contrevenants à un service administratif, l'admissibilité dans une voie de covoiturage pourrait simplement être corrélée avec les détecteurs du véhicule sur place.

2. Systèmes de détection à partir de l'infrastructure

2.1 Systèmes vidéo

Les systèmes vidéos ont été utilisés dans le passé pour déterminer le nombre d'occupants dans un véhicule, mais différentes études ont montré que la méthode vidéo n'est pas aussi efficace que l'inspection visuelle.

L'utilisation de la vidéo a été évaluée à Los Angeles et dans le comté d'Orange en Californie en 1990 [5]. Plusieurs caméras étaient utilisées pour obtenir trois ou quatre vues de la cabine du véhicule afin de déterminer le nombre d'occupants. Cette étude a montré que les caméras seules ne pouvaient identifier de manière certaine le nombre d'occupants. En effet plus de 21 % des véhicules désignés comme hors la loi ne l'étaient pas. Les fausses alertes étaient dans un premier temps liées à la non-détection de petits enfants ou d'adultes dormant sur la banquette arrière, mais aussi aux mauvaises conditions météorologiques ou encore aux vitres teintées.

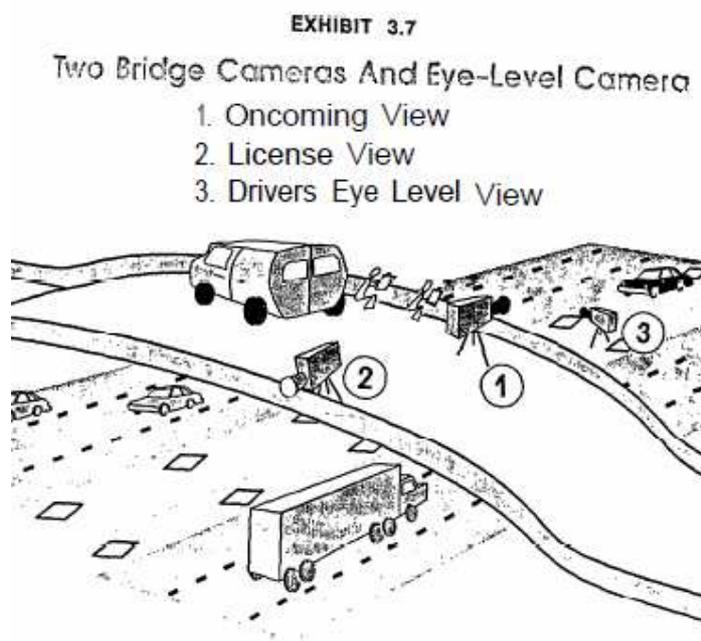


Figure 5 : Images de la première expérimentation utilisant la vidéo pour compter le nombre d'occupants d'un véhicule (Californie - 1990).

Cette solution pourrait être améliorée en augmentant le nombre de vues de l'intérieur de la voiture : vue en approche et vue latérale.

Il est aussi possible d'utiliser la vidéo pour le contrôle des voies de covoiturage en couplant par synchronisation, les images vidéo des occupants des véhicules avec les images vidéo des plaques d'immatriculation. On pourrait facilement obtenir une base de données contenant les plaques d'immatriculation associées au nombre d'occupants, et contrôler ensuite uniquement les plaques d'immatriculation pour savoir si un véhicule a la droit ou non de prendre une voie de covoiturage.

2.2 Systèmes infrarouges

Jusqu'à présent aucun système de détection infrarouge n'a été implémenté sur les voies de covoiturage. Cependant, des tests ont été effectués en 1998, par l'institut de recherche technique de l'état de Géorgie aux USA, qui ont montré que le premier avantage des systèmes infrarouge est de pouvoir travailler de jour comme de nuit. Les systèmes infrarouges fonctionnent à une longueur d'ondes qui utilise l'éclairage de la caméra. Celle-ci est en dehors du spectre lumineux visible et ne distrait pas les conducteurs. Les chercheurs ont aussi remarqué que la détection des passagers à l'arrière était meilleure avec les systèmes infrarouge qu'avec la vidéo. Pourtant, ces systèmes posent au moins autant de contraintes que les systèmes vidéo, notamment avec l'isolation des véhicules, les pare-brises athermiques ou encore les vitres teintées. Les systèmes infrarouges sont aussi substantiellement plus onéreux que les systèmes vidéo plus courants.

2.3 Systèmes infrarouges multi-bandes

En 1998, la société Honeywell et le département des transports et l'université du Minnesota ont développé un système de détection des passagers utilisant une paire de caméras à « proche infrarouge » afin d'obtenir des images bi-bandes infrarouge [6].



Figure 6 : Vue de côté d'un véhicule avec une caméra infrarouge.

Le système exploitait la réflexion caractéristique de la peau humaine. En capturant deux fréquences infrarouges et en générant une image différentielle (la différence de luminosité entre les pixels correspondants des deux images), le sys-

tème peut isoler la signature de la peau humaine par rapport aux autres matériaux de la cabine.

En situation, les caméras infrarouges capturent des images du véhicule dans le flux de trafic.

Un processus de classification extrait et compte le nombre de régions de peau que l'image contient afin d'estimer le nombre de passagers.

En 2000, les chercheurs ont effectué des tests « in situ » du système. Les véhicules circulant à 80 km/h contenaient un ou deux passagers avec des conditions de lumière variables. Les résultats de ces tests sont une identification correcte à 100 % pour le système. Avec la fin du contrat de recherche, le développement s'est arrêté.

En 2003, le département de l'environnement et des transports ainsi que la région de Leeds ont lancé un projet de recherche de trois ans afin de développer un système de détection des occupants. Le système résultant est le capteur Dtect qui utilise les rayonnements visibles et infrarouge afin de compter le nombre d'occupants à travers le pare-brise des véhicules dans le flux de trafic sur autoroute.

Comme l'expérimentation du Minnesota, le capteur Dtect utilise les propriétés d'absorption de la peau aux infrarouges proches. Une combinaison des images visibles et infrarouge fournit à la peau une signature qui peut très aisément être reconnue par logiciel. Les algorithmes logiciels filtrent les régions de peau détectées afin de retirer toutes les zones ne faisant pas partie du visage. Ils énumèrent ensuite les zones faciales : le compteur de passagers est alors incrémenté et différentes informations sont alors insérées sur la photo finale.

Les premiers tests du capteur Dtect (ou Cyclops) ont été effectués en 2005 à Leeds en Angleterre en site contrôlé. Les résultats indiquaient alors un taux de succès de 95 % de détection de passagers réels tout en ne tenant pas compte de pièges comme les mannequins.

Suite à un appel d'offres afin de trouver une technologie de contrôle du nombre d'occupants dans un véhicule sur la voie rapide I15, la technologie Dtect fut sélectionnée et testée en 2010 par le département des transports de Californie [7]. Si la détection de chaque occupant est traitée comme un événement, le taux de bonne détection est de 31 %, soit une précision trop faible pour le déploiement du système en site réel.



Figure 7 : Expérimentation d'une détection du nombre d'occupants par infrarouge proche.

2.4 Systèmes à micro-ondes passives

Les systèmes à micro-ondes passives génèrent des images à partir des rayons émis et réfléchés naturellement par l'environnement. Ils fonctionnent de la même façon que les infrarouges thermiques sauf que l'on utilise le spectre d'onde des micro-ondes. Les systèmes à micro-ondes passives sont capables de détecter des émissions à travers le plastique ou d'autres matériaux non-conducteurs fins. Parmi les désavantages de cette technologie, on peut citer la taille importante de l'installation et son prix prohibitif. La vitesse de capture est relativement lente parce que la partie sensible a besoin de temps pour accumuler assez d'énergie micro-ondes pour produire une image de bonne qualité. La taille des ondes utilisée limite la résolution de l'image.

2.5 Systèmes radar à bande ultra large (UWB)

La très courte durée d'impulsion (généralement 1ns) rend possible de construire des radars avec une meilleure résolution et une très courte portée de travail contrairement aux radars conventionnels. L'onde UWB génère un large éventail de fréquences qui sont diffusées vers une zone définie. L'image d'absorption et de réflexion des fréquences est différente en fonction des matériaux et de leurs distances. L'appareil construit alors une représentation de la zone scannée avec les informations récoltées telles que les fréquences réfléchies ainsi que leur correspondance avec des matériaux connus. Généralement, des centaines ou milliers d'impulsions sont nécessaires pour reconnaître de manière viable un matériau; cette opération s'effectue en une fraction de seconde.

Le principal inconvénient des systèmes UWB est leur impossibilité à traverser du métal. Ceci compromet alors leur utilisation pour la détection des passagers dans les véhicules. Les vitres teintées bloquent aussi les émissions UWB. En outre, les UWB ne peuvent être utilisés pour des acquisitions à haute vitesse, le système nécessite un tiers jusqu'à une demi seconde pour effectuer le processus de reconnaissance. En réalité, le système est incapable d'obtenir une image précise au dessus de 35 km/h. De plus, en 2002, la commission fédérale des communications a limité la puissance des appareils UWB, ce qui réduit grandement la portée et l'efficacité des appareils.

2.6 Conclusion sur les systèmes de détection à partir de l'infrastructure

Les systèmes bord de chaussée doivent obligatoirement utiliser une méthode de détection à distance des passagers, ce qui diminue grandement les possibilités par rapport aux méthodes de contrôles internes au véhicule. Tous les systèmes de détection doivent surmonter des obstacles qui limitent grandement leur efficacité. En considérant les différentes technologies de détection, les critères de sélection sont les suivants :

- Pénétration dans l'habitacle ;
- Détection des passagers à l'arrière du véhicule ;
- Utilisation possible de jour et de nuit ;
- Utilisation quelles que soient les conditions météorologiques ;
- Bonne résolution de l'image ;
- Vitesse d'acquisition rapide ;
- Vue de loin.

Pour satisfaire au critère d'utilisation de jour comme de nuit, presque toutes les solutions utilisent l'éclairage actif, c'est à dire des lumières invisibles à l'œil nu. Les exceptions à cette règle sont les capteurs thermiques et à micro-ondes qui mesurent directement la chaleur du sujet. Le poste d'observation pour un détecteur au bord de la route doit être choisi de façon à optimiser la vue de l'intérieur de la cabine du véhicule. De plus, les systèmes doivent être capables de détecter les occupants difficilement visibles comme par exemple les enfants, un siège bébé en position inverse ou encore un adulte dormant sur la banquette arrière. La recherche de la mesure du nombre d'occupants des véhicules s'est concentrée sur la détection à travers le pare-brise, ce qui est généralement efficace pour les sièges avant.

On remarque que seuls les infrarouges proches (0,7-2,4 μm) sont capables de traverser tous les pare-brises. En effet, grâce à la capture à deux longueurs d'ondes, on peut isoler la peau des autres matériaux, la peau humaine ayant une réflexion très différente des ondes juste au dessus et au dessous de 1,4 μm [6]. Néanmoins, la précision de cette technologie est loin d'être optimale.

En conclusion, si les systèmes de détection en bord de chaussée sont en développement depuis environ vingt ans, la technologie des capteurs ainsi que les méthodes de traitement permettent de créer des approches potentiellement viables du problème en utilisant le rayonnement infrarouge proche seulement depuis quelques années. Malgré cela, le besoin d'un système automatique de contrôle du nombre d'occupants des véhicules existe, et les systèmes de contrôle à l'extérieur du véhicule sont, pour l'instant, incapables d'atteindre l'efficacité et la fiabilité nécessaires pour le contrôle automatique des voies de covoiturage.

3. Associer une déclaration de covoiturage à une détection à partir de l'infrastructure : une solution alternative ?

Un moyen plus rapide de déployer un système automatique de contrôle des voies de covoiturage est d'autoriser les automobilistes à utiliser une installation particulière en s'enregistrant (ex. : utilisation gratuite d'une voie de péage). Ces propriétaires doivent accepter les conditions d'usage et de contrôle à l'entrée de la voie par un système de déclaration en étant donc enregistrés auprès des autorités. L'extension de l'emploi de ces voies peut se faire plus facilement une fois que ce scénario devient établi et accepté.

Ces systèmes de déclarations se sont particulièrement développés aux USA [8][9] avec la transformation, depuis quelques années, de voies de covoiturage en voies de covoiturage à péage liée à la sous-utilisation des voies de covoiturage [10]. Les voies de covoiturage à péage sont à tarif réduit ou nul pour les modes à fort taux d'occupation, et à péage de régulation pour les autres véhicules.

Ceci permet :

- la promotion des modes à fort taux d'occupation en leur garantissant des conditions de circulation fiables et compétitives (vitesses des véhicules ne descendant pas en dessous de 45 mph soit 70 km/h environ dans la voie de covoiturage) ;
- l'optimisation de l'usage des voies de covoiturage existantes en autorisant les autres véhicules à y accéder mais de façon tarifée et régulée.

Les conducteurs utilisant ces voies ont leur voiture obligatoirement équipée de transpondeurs ou de badges de télépéage. Il y a différentes configurations et contrôles liés à la nature de la déclaration :

- transpondeur uniquement pour les passagers seuls : les conducteurs sans transpondeurs sont obligatoirement 2 ou plus dans la voiture, sinon ils sont en fraude. Outre un contrôle manuel, des outils électroniques comme des lecteurs de statut du transpondeur ou des systèmes de lecture automatique de plaques d'immatriculation (LAPI) peuvent aider les forces de l'ordre dans leur mission de contrôle ;
- transpondeurs pour les passagers seuls et prédéclaration pour les utilisateurs à fort taux d'occupation : tous les passagers seuls doivent avoir un transpondeur valide en état de fonctionnement. Les autres conducteurs doivent faire une déclaration de covoiturage, ce qui permet à des LAPI de contrôler le trafic. Les véhicules, non enregistrés comme à taux d'occupation élevé et sans transpondeur, reçoivent une amende automatiquement.

Il existe des transpondeurs qui permettent aux utilisateurs de déclarer leur statut selon qu'ils sont seuls ou avec d'autres personnes.

- Carte intelligente : une carte intelligente (smart card) à bord d'un véhicule fait référence à un transpondeur capable de lire les

informations contenues dans une carte. L'appareil détermine le nombre d'occupants dans une voiture avec le nombre de cartes intelligentes détectées, et transmet cette information. Cette solution est peu flexible si un des passagers transportés n'a pas de carte, et peut même empêcher l'utilisation de voies de covoiturage.

Les déclarations de covoiturage contrôlées avec des systèmes partiellement automatisés ne permettent pas de détecter toutes les fraudes. Elles ont néanmoins permis d'atteindre des taux de fraude stabilisés vers 10 %, comme par exemple sur la voie SR-91 en Californie, en étant associées à de fortes contraventions dont le montant augmente avec la récidive (jusqu'à 500 \$).

Selon les dispositions légales en vigueur, le contrôle de la fraude peut donc se faire soit :

- de manière automatique par une lecture des plaques d'immatriculation, puis comparaison avec un fichier des utilisateurs enregistrés, et la mise en oeuvre, si fraude, d'une phase de recouvrement avec le propriétaire identifié ;
- de manière manuelle, par des contrôles de bord de voie ou dans le flot, permettant de vérifier la présence dans un véhicule d'un transpondeur en état de fonctionnement, pour les véhicules ayant à s'acquitter d'un péage.

4. Éléments pour la mise en place d'un contrôle sanction automatique des voies réservées au covoiturage [11]

Traditionnellement, le contrôle et la sanction éventuelle liés à une infraction routière sont effectués manuellement par les forces de l'ordre. Cependant, comme on l'a constaté avec le contrôle du nombre d'occupants des voitures utilisant les voies pour le covoiturage, il est impossible d'obtenir un contrôle suffisamment efficace de cette manière. C'est pour cette raison que les autorités s'orientent de plus en plus vers des solutions automatisées.

Bien qu'une solution automatique pour la mesure du nombre d'occupants des véhicules ne soit pas encore au point, il est important de connaître les avantages-inconvénients du contrôle et les éléments à prendre en compte pour la définition d'une chaîne automatisée de contrôle.

4.1 Avantages-inconvénients du contrôle automatisé

Les principaux avantages des systèmes de contrôle automatisé sont les suivants :

- Sécurité accrue pour les agents ;
- Plus grand respect des règles ;
- Contrôle-sanction plus économique permettant de déployer les forces de l'ordre sur d'autres tâches ;

- Recettes d'amendes plus importantes pour les autorités ;
- Moins de pression sur le système judiciaire (moins de poursuites).

D'un autre côté, les opposants à ces systèmes, se posent des questions sur la légitimité de poursuites automatisées, l'utilisation des revenus d'amendes et le fait de savoir qui est responsable du système, d'où une nécessité d'information préalable. Ce système automatique, s'il est mal compris, est aussi plutôt perçu comme un « impôt » que comme une mesure favorable à la mobilité. D'autre part, les questions liées à l'identification et à la vie privée doivent être résolues conformément à la réglementation.

4.2 Éléments de la chaîne automatisée de contrôle

Les aspects suivants devront être pris en compte :

- Technologie utilisée et efficacité associée : c'est le premier maillon de la chaîne qui permet, dans le cas du contrôle automatisé des voies de covoiturage, d'obtenir le nombre de passagers dans un véhicule. Cette donnée peut être associée à une plaque d'immatriculation, obtenue par un lecteur automatique de plaques (LAPI) pour identifier l'utilisateur. Si le conducteur se trouve dans une voie qui lui est interdite, ces données sont envoyées au centre de traitement.

Il faut savoir qu'on ne peut pas s'attendre à ce que la technologie fournisse une solution d'elle-même. En plus de la technologie, il faudra disposer d'un programme complet d'éducation et de commercialisation pour le public afin d'influencer les habitudes de conduite et le combiner à une bonne conception des voies pour assurer le contrôle. Le gain en temps de parcours devra naturellement être le paramètre à mettre en avant lors du lancement d'un projet ;

- Envoi, traitement et stockage des données : cette partie permet d'envoyer, de stocker les données et devra être en conformité avec les préconisations de la CNIL ;

- Problèmes d'identification du contrevenant : avec la plaque d'immatriculation, on accède à l'identité du propriétaire. Il appartiendra au législateur de décider si le propriétaire sera obligé de payer l'amende ou devra donner le nom du conducteur. La conservation des données d'identification est soumise à de strictes préconisations de la CNIL.

Dans certains états des Etats-Unis, des fichiers de contrevenants sont constitués et permettent en cas de récidive d'un fraudeur d'augmenter fortement les amendes ;

- les questions juridiques incluant les types de sanction, l'utilisation d'une procédure pénale, la notification, la délivrance et la collecte des amendes, ainsi que les possibilités de contestation et de recours.

5. Conclusion

Le contrôle automatique du nombre d'occupants des véhicules empruntant des voies de covoiturage s'opère aujourd'hui manuellement aux USA, car il n'existe encore aucun système automatique de contrôle fiable.

Dans ce rapport, nous avons donc pu découvrir les différentes technologies aujourd'hui existantes pour la détection de passagers dans un véhicule en conditions réelles de circulation. Nous avons tout d'abord analysé l'approche de l'instrumentation interne au véhicule avec différents capteurs. Ensuite, nous avons observé l'approche de l'instrumentation externe au véhicule avec différents types de caméras. Ces deux méthodes ne sont jusqu'ici pas assez précises et efficaces pour être utilisées comme outil principal de contrôle des voies de covoiturage.

Cependant, l'industrie automobile a mis au point plusieurs techniques à bord des véhicules pour contrôler le nombre d'occupants, et certains modèles haut de gamme proposent l'information nombre d'occupants en option. La possibilité d'intégration, de synergie et de regroupement avec d'autres systèmes automobiles éventuels (comme les systèmes de péage, contrôle des ceintures de sécurité, le comptage du trafic, etc.) devra être rigoureusement examinée. En outre, plusieurs systèmes sont aujourd'hui disponibles pour communiquer le nombre d'occupants des véhicules à des équipements situés en bord de chaussée (communications véhicule-infrastructure).

Concernant la détection à partir de l'infrastructure, les caméras infrarouges proches sont celles qui offrent le plus de potentialités mais elles n'ont pas encore atteint la fiabilité nécessaire pour le contrôle automatique des voies de covoiturage.

La déclaration de covoiturage est une voie à explorer et est en fort développement aux USA. Elle permet d'utiliser des moyens techniques déjà éprouvés comme les lecteurs de transpondeurs et les lecteurs automatiques de plaques d'immatriculation (LAPI). Elle nécessite cependant un cadre réglementaire plus contraint du fait de la mise à disposition de listes de conducteurs avec des données d'identification.

La mise en place d'un contrôle sanction automatisée du nombre d'occupants des véhicules utilisant des voies de covoiturage, pose également des questions de respect de la vie privée, d'acceptation par le consommateur, de stockage des données et peut s'avérer plus difficile que la mise au point de la technologie elle-même. Ces questions devront être traitées avec la plus grande attention.

6. Bibliographie

- [1] ICARO, *Increase of Car Occupancy through innovative measures and technical instruments*, European project, final report, novembre 1999, 128 p.
- [2] CERTU, *Mesure de l'occupation des véhicules*, rapport d'études, octobre 2008, 39 p., ISSN 1263-2570
- [3] *Automated Vehicle Occupancy Monitoring Systems for HOV / HOT Facilities*, Mc Cormick Ranking corporation pour le ministère des transports de l'Ontario, rapport final, décembre 2004, 107 p.
- [4] Adolf D. May, Lannon Leiman, John Billheimer, *Determining the Effectiveness of HOV Lanes*, California PATH Research report, UCB-ITS-PRR-2007-17, novembre 2007, 324 p.
- [5] John W. Billheimer, Ken Kaylor, Charles Shade, *Use of Videotape in HOV Lane Surveillance and Enforcement*, US DOT, mars 1990, 87 p.
- [6] Pavlidis Ioannis et al, *Automatic Passenger Counting in the HOV Lane*, Université du Minnesota pour le ministère des Transports, Minneapolis (MN), juin 1999, 60 p.
- [7] Ching-Yao Chan, Fanping Bu, Krute Singa, Huili Wang, *Implementation and Evaluation of Automated Vehicle Occupancy Verification*, California PATH Research report, UCB-ITS-PRR-2011-04, mai 2011, 96 p.
- [8] Wikander John, Goodin Ginger, *High-Occupancy Vehicle (HOV) Lane Enforcement Considerations Handbook*, Texas Transportation Institute, mars 2006, 169 p.
- [9] Poole Robert W. Jr., *Automated HOT Lanes Enforcement*, Reasons Foundation report, février 2011, 27 p.
- [10] *RETOUR D'EXPÉRIENCE : Voies régulées à forte capacité – Amérique du nord – fiche Vinci autoroutes*, septembre 2011
- [11] CERTU, *Etude des systèmes automatiques de contrôle-sanction des infrastructures routières – rapport de synthèse sur les pratiques internationales*, collections dossiers, décembre 2001, 143 p., ISBN 2-11-090885-8