



**HAL**  
open science

## Mesure de l'occupation des véhicules

Julien Camanini

► **To cite this version:**

Julien Camanini. Mesure de l'occupation des véhicules. [Rapport de recherche] Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU). 2008, 39 p., illustrations, tableaux, bibliographie. hal-02150513

**HAL Id: hal-02150513**

**<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02150513>**

Submitted on 7 Jun 2019

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

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

# Mesure de l'occupation des véhicules

# Mesure de l'occupation des véhicules

**Certu**

centre d'Études sur les réseaux,  
les transports, l'urbanisme  
et les constructions publiques  
9 rue Juliette Récamier  
69456 Lyon Cedex 06  
téléphone : 04 72 74 58 00  
télécopie : 04 72 74 59 00  
[www.certu.fr](http://www.certu.fr)

## Avis aux lecteurs

La collection Rapports d'étude du Certu se compose de publications proposant des informations inédites, analysant et explorant de nouveaux champs d'investigation. Cependant l'évolution des idées est susceptible de remettre en cause le contenu de ces rapports.

Le Certu publie aussi les collections :

**Dossiers :** Ouvrages faisant le point sur un sujet précis assez limité, correspondant soit à une technique nouvelle, soit à un problème nouveau non traité dans la littérature courante. Le sujet de l'ouvrage s'adresse plutôt aux professionnels confirmés. Ils pourront y trouver des repères qui les aideront dans leur démarche. Mais le contenu présenté ne doit pas être considéré comme une recommandation à appliquer sans discernement, et des solutions différentes pourront être adoptées selon les circonstances.

**Références:** Cette collection comporte les guides techniques, les ouvrages méthodologiques et les autres ouvrages qui, sur un champ donné, présentent de manière pédagogique ce que le professionnel doit savoir. Le Certu a suivi une démarche de validation du contenu et atteste que celui-ci reflète l'état de l'art. Il recommande au professionnel de ne pas s'écarter des solutions préconisées dans le document sans avoir pris l'avis d'experts reconnus.

**Débats :** Publications recueillant des contributions d'experts d'origines diverses, autour d'un thème spécifique. Les contributions présentées n'engagent que leurs auteurs.

Catalogue des publications disponible sur : <http://www.certu.fr>

**Organisme commanditaire :**

CERTU : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques  
9, rue Juliette Récamier 69456 Lyon Cedex 06 - Tél : 04 72 74 58 00 - Fax : 04 72 74 59 00

**Titre : Mesure de l'occupation des véhicules****Sous-titre :****Date d'achèvement :** Mars 2008**Langue :** français**Organisme auteur :**

CETE de l'Est  
1 Boulevard Solidarité  
Technopôle METZ 2000  
57076 METZ

**Rédacteurs**

**ou coordonnateurs :**  
Julien Camanini (Département  
Gestion Exploitation Sécurité)

**Relecteur**

**assurance qualité :**  
Alexis Bacelar, Certu

**Résumé**

Les voies pour véhicules à taux d'occupation élevé (HOV) sont en exploitation depuis la fin des années 60 dans le monde et connaissent de nos jours un intérêt grandissant. En effet, elles permettent un gain en temps pour les véhicules concernés, incitent les usagers de la route au covoiturage et participent donc à la réduction de la congestion et de l'émission de gaz polluants par les voitures. Néanmoins, on peut constater que le développement des voies HOV n'est pas à la hauteur des attentes. La vérification de l'occupation des véhicules est le principal frein à leur croissance.

Dans ce rapport, les différentes technologies existantes pour la détection des passagers dans un véhicule en mouvement sont exposées. Deux approches existent pour la détection :

- l'approche interne au véhicule avec les capteurs de poids, de champ électrique ainsi que les différentes méthodes avec caméra ;
- l'approche externe au véhicule avec là aussi différents systèmes.

On peut conclure qu'à court terme, la solution interne n'est pas viable parce que l'on ne peut pas équiper tout le parc automobile sans un gros investissement. Il reste donc le capteur externe qui semble être le plus judicieux à l'heure actuelle. Malgré une offre en termes de systèmes plutôt faible, on remarque que le capteur Dtect, développé en Angleterre, semble être une solution acceptable et viable pour le comptage des passagers. Il remplit en effet toutes les conditions demandées : à savoir la détection en toutes conditions ainsi que la détection des passagers arrières. Les autres systèmes, qu'ils soient internes ou externes, sont en cours de développement.

**Remarques complémentaires éventuelles :****Thème et sous-thème :** Sécurité et circulation routières – Gestion du trafic**Ouvrages sur le même thème :**

**Mots clés :** capteur de trafic, contrôle de trafic, gestion du trafic, covoiturage, taux d'occupation, voies pour véhicules à taux d'occupation élevé

**Diffusion :** Libre**Web :** oui  non

**Nombre de pages :**  
36 pages

**Tirage :****Confidentialité :** NON**Bibliographie :** OUI



# Sommaire

<b>1. Introduction</b>	<b>6</b>
1.1 Contexte	6
1.2 Contenu de ce rapport	6
<b>2. Systèmes de détection internes au véhicule</b>	<b>7</b>
2.1 Le capteur de poids	8
2.1.1 Le système Delphi PODS-B	9
2.1.2 Le système IEE	9
2.1.3 Le système AWSII	10
2.1.4 Le système iBolt	10
2.2 Capteurs capacitifs et de champ électrique	11
2.3 Capteurs ultrasons	12
2.4 Imagerie infrarouge thermique	14
2.5 Capteurs optiques / NIR	15
2.5.1 Systèmes monoculaires 2D	16
2.5.2 Imagerie 3D à calcul du temps de réponse (TOF)	17
2.6 État des lieux de la détection intra-véhiculaire	20
2.7 Problèmes non réglés de la détection intra-véhicule	20
<b>3. Systèmes de détection sur le bord de route</b>	<b>22</b>
3.1 Systèmes vidéo	23
3.2 Systèmes infrarouges	23
3.3 Systèmes infrarouges multi-bandes	24
3.4 Systèmes à micro-ondes	25
3.5 Systèmes radar à bande ultra large (UWB)	25
3.6 Performance des appareils de détection en bord de route	26
3.7 État des lieux de la détection extérieure au véhicule	27
3.8 Problèmes non résolus de la détection externe	28
<b>4. Conclusion</b>	<b>29</b>
<b>5. Glossaire</b>	<b>30</b>
<b>6. Annexes</b>	<b>32</b>

# 1. Introduction

## 1.1 Contexte

Les voies à véhicules à taux d'occupation élevé (HOV) sont en exploitation depuis la fin des années 1960. Il y a aujourd'hui un intérêt grandissant pour les voies HOV, mais aussi pour les voies à péage modulé (HOT). L'utilisation croissante de la tarification comme un moyen de gérer facilement la demande est facilitée par le développement du télépéage ; la technologie est de plus en plus utilisée comme un outil pratique et peu coûteux. La tarification permet de maximiser l'utilisation de la chaussée et donner la priorité aux utilisateurs de HOV.

Pour les voies payantes, des infractions répétées peuvent engendrer le non-respect des règles d'utilisation et entraîner des pertes importantes. À l'opposé, certains organismes de parrainage envisagent la suppression des incitations au covoiturage sur leurs voies en raison des difficultés liées à la surveillance de ces utilisateurs. Les voies HOT et HOV exigent l'implication des politiques et des programmes pour opérer avec succès. En effet, du fait de leur spécificité, elles permettent un gain en temps et en sécurité pour les véhicules concernés. Des publicités visibles et compréhensibles doivent promouvoir et maintenir l'intégrité de ces installations et permettre l'acceptation de ces voies par les utilisateurs et les non-utilisateurs.

La vérification de l'occupation des véhicules est le principal frein à la banalisation de voies HOV efficaces. Les péages électroniques, la lecture des plaques minéralogiques et une myriade d'autres technologies ont été développées cette dernière décennie afin d'améliorer l'utilisation des transports. Cependant l'objectif de bon nombre de ces technologies a généralement été le véhicule et non les occupants. Plusieurs solutions semi-automatisées et entièrement automatisées ont été soumises à des essais limités sur le terrain pour déterminer le nombre de personnes dans un véhicule en mouvement, y compris l'utilisateur contrôlé par des caméras vidéos et l'imagerie infrarouge.

Toutefois, aucune solution automatisée n'a encore été élaborée pour la mise en œuvre permanente et aucun système n'a été assez infallible pour éviter un nombre conséquent de plaintes ou de réclamations. Traditionnellement les HOV sont associées avec des forces de contrôle pour verbaliser les infractions d'occupations illégales. Compte tenu du développement des HOV et des voies HOT dans de nombreuses métropoles, il devient donc urgent de trouver un moyen de contrôle fiable.

Nota : Ce document a été rédigé après analyse du rapport de Claudie Buard sur les voies réservées au covoiturage. L'analyse et la synthèse du document est présentée en annexe.

## 1.2 Contenu de ce rapport

Ce rapport synthétise le niveau d'avancement actuel des applications technologiques pouvant être utilisables dans le domaine de la vérification du nombre d'occupants des véhicules sur les HOV et HOT. Il a pour vocation de faire l'état des lieux des méthodes existantes de vérification et de contrôle des passagers dans un véhicule.



## 2. Systèmes de détection internes au véhicule

La majorité des technologies de détection intra véhicule a été développée en tant que réponse à des problèmes de sécurité, par exemple la mise en oeuvre d'airbag. De manière significative, le nombre des projets de recherche de sécurité dans le véhicule ont augmenté. La première raison que l'on trouve aux États-unis et dans le reste du monde est la modification des standards de sécurité automobile. Des conditions de déploiement d'airbag sont imposées pour les nouveaux véhicules. Il est spécifié que les airbags :

1. Ne seront pas déployés pour un siège vide ou un siège bébé en position inverse ou encore pour un enfant de moins de 33 kg.
2. Seront déployés à moyenne charge pour une personne « non ceinturée » et un passager moyen de 33 à 65 kg.
3. Seront déployés complètement pour un passager « non attaché » ou de forte corpulence c'est-à-dire plus de 65 kg.

Le planning d'installation des airbags intelligents aux USA est planifié de la manière suivante:

- 35% des véhicules du millésime 2007 ;
- 65% des véhicules du millésime 2008 ;
- 100% des véhicules du millésime 2009 et suivants.

Les airbags intelligents ne se déploient pas quand l'occupant est dans une position potentiellement dangereuse. Actuellement ces standards ne s'appliquent que pour les véhicules vendus, conçus et/ou développés aux États Unis. Ces critères devraient très prochainement voir le jour en Europe et dans le reste du monde. Certains constructeurs automobiles utilisent aussi des airbags latéraux qui doivent réagir en fonction du positionnement du passager. Ce point est très critique car la distance entre la personne et la paroi du véhicule est très faible, il faut afin de sécuriser l'occupant une réponse appropriée du système. Les investissements effectués par les industriels de l'automobile sont donc très importants ; une analyse de 2001 avait chiffré la valeur de la détection des occupants à 3,6 milliards de dollars. D'autres applications comme le système d'assistance avancée au conducteur (ADAS) ou les initiatives intelligentes du véhicule (IVI) ont contribué à cette orientation.

Toutes ces applications en cours de développement ont permis le développement de technologies intra-véhiculaires de détection des occupants. Les principales méthodes utilisent différents types de mesure, qui sont à base de :

- capteurs de poids ;
- capteurs capacitifs et de champ électrique ;
- capteurs à ultrasons ;
- d'imagerie infrarouge thermique ;
- capteurs optiques/infrarouges proches (NIR).

## 2.1 Le capteur de poids

La méthode des capteurs de poids est la méthode la plus utilisée pour détecter les occupants dans un véhicule. Le capteur détermine la taille d'un occupant 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 tous les paramètres. Les 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 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.

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. L'estimation de la position d'un occupant peut être faite en mesurant la distribution relative des masses et les déplacements dans le temps.

Cependant, la majorité des systèmes de détection de poids ne permettent pas de déterminer la position du centre de masse d'un occupant sur le siège. Il est malgré tout relativement facile de tromper ces capteurs en plaçant un objet lourd sur le siège. Les capteurs doivent aussi être calibrés en fonction des caractéristiques du siège. Le tableau résume donc les caractéristiques intéressantes de cette technologie.

*Tableau 1. Caractéristiques des technologies de mesures de poids*

<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nouveaux capteurs qui s'intègrent facilement au rail du siège</li> <li>• Insensibles aux conditions extérieures</li> <li>• Faible coût en pièces</li> </ul>
<b>Inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les systèmes les plus basiques peuvent être trompés par un poids sur le siège</li> <li>• Capteurs dans le rail du siège uniquement utilisables à l'avant</li> <li>• Capteurs internes doivent être prévus à l'avance dans le siège</li> </ul>
<b>Niveau de développement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production</li> </ul>
<b>Intérêt pour les industriels</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Large – presque tous les constructeurs et fabricants de pièces</li> </ul>
<b>Prévision du marché</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forte demande</li> </ul>

### 2.1.1 Le système Delphi PODS-B



Figure 1. Système Delphi PODS-B

Le système de détection passive des occupants B (PODS-B) est un exemple de système embarqué dans le siège actuellement en production. PODS-B utilise une poche de silicone reliée à un capteur de pression afin de mesurer le poids de l'occupant du siège. Une jauge de contrainte additionnelle établit la force de retenue de la ceinture. Le système montré en figure 1 est capable de différencier le gabarit d'un adulte tout comme celui d'un enfant. Le système de Delphi fournit une détection de passager qui peut contrôler un airbag ; il est utilisé actuellement chez Jaguar, Ford, et General Motors.

### 2.1.2 Le système IEE

Un système du même style mais beaucoup plus développé a été créé par l' International Electronics & Engineering (IEE) en partenariat avec Siemens VDO Automotive ; celui-ci utilise une batterie de capteurs interconnectés. Un tel système ne permet pas seulement de mesurer le poids d'un occupant, mais permet aussi de faire une silhouette de l'occupant. Leur système de classification des occupations consiste en un polymère flexible développé par l'IEE qui est intégré dans les sièges avant. Ce feuillet contient plusieurs résistances variables en fonction de la force (FSR) et un module de contrôle électronique Siemens intégré à l'extrémité de ce feuillet. La trame de capteur est montrée dans la figure 2.



Figure 2. Système IEE/Siemens OC

En opération, le poids d'un occupant du siège donne lieu à la création de pressions discrètes, comme l'indique le schéma « superposition de contours » sur le tapis de la figure 3. Le système détermine alors le type d'occupant en utilisant des analyses de pressions, des analyses de morphologies et des reconnaissances de patron. Le système d'IEE est actuellement adapté et utilisé par BMW, Chevrolet, Daimler-Chrysler, General Motors, Hyundai, Kia, Rolls-Royce et Suzuki.

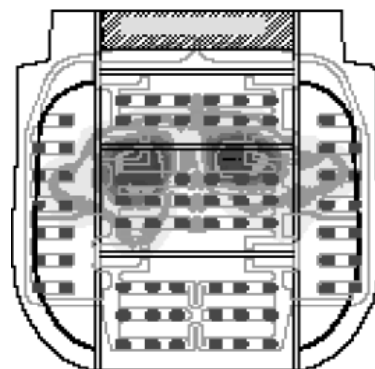


Figure 3. Distribution de la pression IEE / Siemens OC

### 2.1.3 Le système AWSII

Le système de détection de poids avancé AWS II de Siemens fait partie de la dernière génération de détection d'occupant basée dans le châssis du siège. Les jauges de contrainte sont placées aux quatre extrémités du rail du siège. Elles analysent le poids et la position de l'occupant (centre de gravité). Le système est aussi capable de compenser ses mesures à cause du poids qui est transmis au sol par les pieds.



Figure 4. Capteur Siemens AWS II

### 2.1.4 Le système iBolt

L'iBolt de Bosch est un exemple de capteur de châssis ultra compact. Chaque iBolt est un capteur à peine plus grand qu'un boulon de siège classique. Il est donc facile de remplacer ceux présents dans la structure sans changer quoi que ce soit à celle du siège ou au design.



Figure 5. Bosch iBolt

## 2.2 Capteurs capacitifs et de champ électrique

Cette technologie détermine la présence et la position d'un occupant en analysant les perturbations de l'oscillation dans un champ magnétique de faible intensité produit par le système. Le champ est généré entre deux électrodes, une est 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 de ce que l'on retrouve 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 du corps humain qui va les croiser. 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.

Les applications de cette technologie comprennent l'intégration dans le toit du véhicule ou encore dans le tableau de bord afin de détecter la présence d'un crâne humain. Cette technologie est très discriminatoire car beaucoup de matériaux comme des tissus, journaux ou autres sont beaucoup moins diélectriques que l'eau. Malgré tout, certains matériaux conducteurs comme le métal peuvent créer des court circuits entre les électrodes et donc rendre « aveugles » le capteur. La limite de détection de ces capteurs est de 0,6 m, il est donc essentiel qu'il soit placé à proximité du corps qu'on veut reconnaître. Le tableau 2 résume les caractéristiques intéressantes de cette technologie.

*Tableau 2. Capteurs capacitifs et de champ électrique*

<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Détecte les caractéristiques d'une signature biométrique</li> <li>• Ne peut être bloqué par un objet non conducteur</li> <li>• Insensible à presque toutes les conditions ambiantes</li> <li>• Peut être utilisé à l'avant et à l'arrière</li> <li>• Faible coût en pièces</li> </ul>
<b>Inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doit être intégré ou situé directement au dessus du crâne</li> <li>• Faible distance de détection</li> <li>• Peut être bloqué par des objets métalliques</li> </ul>
<b>Niveau de développement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production</li> </ul>
<b>Intérêt pour les industriels</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moyen – le système est en recherche chez NEC/Honda/Elesys, IEE, Allied Signal, Siemens et TRW</li> </ul>
<b>Prévision du marché</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Application plus large prévue pour les sièges arrière avec airbags latéraux en rideau</li> </ul>

Un exemple de production actuelle est le système de détection de position des occupants (OPDS) produit par Elesys. Elesys est une coentreprise entre Honda et Nec qui commercialise des capteurs de champ électrique. Le capteur OPDS consiste en des flexibles conducteurs incorporés dans le siège. Six capteurs se trouvent fixés dans l'ensemble du dossier, tandis qu'un autre orienté verticalement est situé à côté du siège où se trouve l'airbag. La partie principale du capteur latéral mesure la hauteur de l'occupant du siège, tandis que le côté du capteur est utilisé pour détecter le crâne de l'occupant, même celui d'un petit enfant. L'unité de contrôle et l'émetteur de l'OPDS sont installés dans le cadre du siège. La figure 6 montre la disposition des composants. Le système peut approximativement déterminer la taille et la position sur le siège et n'est pas affecté par les habits, l'eau ou encore la ventilation du siège. L'OPDS offre une très bonne protection pour les enfants grâce à la modification du déploiement de l'airbag latéral. Il est soutenu par la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) pour ses performances dans la protection dynamique des impacts latéraux. Le système OPDS est actuellement disponible sur les véhicules Honda et Acura.

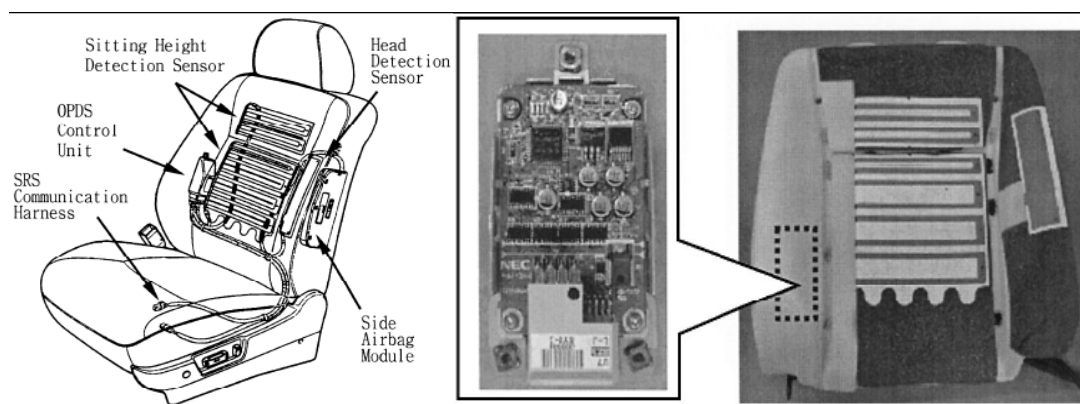


Figure 6. Système de détection Elesys

## 2.3 Capteurs ultrasons

Les capteurs ultrasons utilisent la localisation par les échos acoustiques afin de déterminer la position d'un occupant. 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 d'un occupant d'un siège, quatre capteurs devraient être au moins utilisés pour assurer une couverture adéquate de la zone du siège et fournir une redondance, étant donné que 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, à réduire au minimum les reflets acoustiques et les interférences, et assurer la sécurité des niveaux d'exposition des personnes et des animaux.

En outre, la vitesse de propagation des ondes sonores dépend de 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. Les caractéristiques de ces capteurs sont résumées dans le tableau 3.

Tableau 3. Caractéristiques des systèmes de détection à ultrasons

<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insensible aux conditions d'éclairage ambiant</li> <li>• Faible coût des pièces</li> </ul>
<b>Inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exige l'intégration attentive et exacte de configuration / étalonnage</li> <li>• Affecté par la température</li> <li>• De multiples systèmes de siège peuvent être irréalisables en raison des interférences.</li> <li>• Il peut être bloqué par des journaux</li> </ul>
<b>Niveau de développement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production</li> </ul>
<b>Intérêt pour les industriels</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible - un seul système de production d'ATI / Autoliv</li> </ul>
<b>Prévision du marché</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimale - vont sans doute être remplacé par des systèmes optiques</li> </ul>

Le développement commercial des systèmes de détection à ultrasons a été rare, et un seul système de production équipe les véhicules de tourisme. Automotive Technologies International (ATI) a mis au point un système d'Autoliv, dans le cadre de la Swedish airbag supplier's Adaptive Airbag System. A l'aide de quatre transducteurs ultrasoniques, il détermine la présence et la position du passager. Les différents composants du système sont illustrés à la figure 7.

Un réseau neuronal, schéma du système de reconnaissance, fait la différence entre les adultes, les enfants, et les sièges bébé. Le système Autoliv a été introduit pour la première fois en 2001 pour la Jaguar XK série comme l'Adaptive Restraint Technology System (ARTS). La version actuelle de l'équipement standard ARTS est pour la Jaguar XJ berline 2006.



Figure 7. Système d'airbag modulaire Autoliv

## 2.4 Imagerie infrarouge thermique

Les systèmes d'imagerie thermique détectent la chaleur émise par les objets et les personnes dans le groupe de longueur d'ondes infrarouges (LWIR). En haute résolution, l'application d'imagerie thermique a une excellente capacité de reconnaissance entre les objets animés et inanimés, ainsi que la taille et l'emplacement des occupants.

De tels systèmes ont été jusqu'à présent d'un coût prohibitif, 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 former en temps réel une image thermique haute résolution et fonctionner à température ambiante. Les fournisseurs en imagerie thermique CEDIP Infrared Systems et Raytheon filiale Thermal Eye offrent des capteurs intégrés avec des capacités de traitement du signal pour une meilleure résolution et une meilleure sensibilité. Infrarouge Integrated Systems (IRISYS) utilise un capteur à faible coût et à moindre résolution adapté à la détection de courte portée à l'intérieur d'un véhicule.

Les capteurs thermiques IRISYS sont aussi radio métriques, ils peuvent mesurer les températures dans les thermogrammes. Ceci est obtenu en étalonnant l'imageur contre un « corps noir », température de référence, tout en compensant les changements de température ambiante au sein de l'image elle-même, comme le montre la figure 8.



*Figure 8. Image infrarouge thermique  
IRISYS*



L'un des inconvénients de ces systèmes, pour la mesure du taux d'occupation, 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 infrarouge thermiques peuvent également avoir de la difficulté à discriminer un passager dans une cabine à haute température. Les caractéristiques intéressantes pour cette technologie sont résumées dans le tableau 4.

*Tableau 4. Caractéristiques des systèmes infrarouges thermiques*

<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Détecte une signature caractéristique biométrique</li> <li>• Insensible à toutes les conditions d'éclairage ambiant</li> </ul>
<b>Inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'image peut être faussée par des boissons chaudes</li> <li>• Il peut être bloquée par des objets</li> <li>• Moins efficace dans la cabine à haute température</li> </ul>
<b>Niveau de développement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• phase de conception</li> </ul>
<b>Intérêt pour les industriels</b>	Faible, seul intérêt de recherche
<b>Prévision du marché</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Une application plus large du système est prévue pour le suivi du crâne, la surveillance de l'occupant, et de la détection des occupants</li> </ul>

L'imagerie infrarouge thermique a été récemment étudiée pour son aptitude à détecter et suivre les crânes des occupants du véhicule. Des chercheurs Computer Vision and Robotics Research Laboratory de l'université de Californie à San Diego ont utilisé un mini plan focal infrarouge matriciel afin d'acquérir des images de l'occupant dans l'habitacle dans la bande infrarouge 7-14  $\mu\text{m}$ . Le Raytheon 2000 AS, caméra infrarouge utilisée dans le test, ne nécessite pas de refroidissement, mais doit être périodiquement étalonnée afin de corriger la dérive de la sensibilité à la température.

## 2.5 Capteurs optiques / NIR

L'optique et le « proche infrarouge » (NIR) sont les méthodes de détection sans doute les plus recherchées actuellement. Pratiquement tous les grands constructeurs automobiles et les fournisseurs de pièces ont des systèmes en cours de développement, et leurs recherches sont bien représentées dans la littérature. Le développement rapide des capteurs CMOS a considérablement amélioré le potentiel de faisabilité de systèmes optiques. La dernière génération de caméras CMOS pour les applications automobiles offre performance, petite taille et robustesse à un coût relativement bas.

### 2.5.1 Systèmes monoculaires 2D

Tableau 5. Caractéristiques des systèmes 2D

<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus petit facteur de forme que les imageurs stéréo</li> <li>• Baisse du coût des pièces</li> </ul>
<b>Inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doit être intégré dans les surfaces ou sièges situé directement au-dessus</li> <li>• La classification des occupants se borne à utiliser la texture et la surface pour moyen de reconnaissance</li> </ul>
<b>Niveau de développement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prototype</li> </ul>
<b>Intérêt pour les industriels</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modéré - systèmes ont fait l'objet de recherches Eaton Corp, Siemens, et Delphi</li> </ul>
<b>Prévision du marché</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risque de devenir obsolète avec la 3D</li> </ul>

Des chercheurs à Eaton Corporation et l'Université du Michigan ont étudié la pertinence du monoculaire (un seul appareil). Leur prototype de système utilise une caméra CMOS monochrome et un éclairage infrarouge (NIR) situé dans la doublure du toit du véhicule le long de l'axe et près du bord du pare-brise. L'algorithme de classification utilise des caractéristiques statistiques extraites d'un objet au premier plan, qui est lui-même défini par deux méthodes de détection de pointe. Un réseau de neurones détermine la classe d'occupation fondée sur les différentes caractéristiques de l'intérieur du véhicule ; cela se produit toutes les 3 à 5 secondes. Cette méthode apparaît plus rapide et plus fiable pour l'identification et la classification des occupants du véhicule. Comme illustré à la figure 9, l'identification des occupants est généralement assez précise. Un système de détection atteint 91% de précision à des vitesses jusqu'à 80 fois plus rapide que d'anciens systèmes.



Figure 9. Image brute (gauche) et Image extraite (droit) du passager

Des chercheurs de Siemens Automotive et le LAAS-CNRS ont examiné la possibilité d'utiliser le domaine 2D pour repérer le crâne d'un occupant du siège passager. Les fonctions telles que la forme, la taille et la localisation dans le cadre de l'image étaient extraites d'un modèle de système de classification qui a été amélioré avec le temps. Toutefois, l'exactitude de cette approche a été limitée avec seulement 72 % de taux de détection de position correcte du crâne.

Une vision monoculaire basée sur le système de protection de l'intérieur de Delphi Automotive comprend un monochrome et une caméra NIR montée près du rétroviseur. La diode électroluminescente (DEL) et le filtre passe-bas NIR créent un environnement relativement limité en éclairage, ce qui est moins dérangent pour l'occupant. Sur la base de ces caractéristiques, une machine à vecteur support (SVM) classe l'occupant en cinq catégories, y compris des sièges vides, les adultes en position normale, les adultes hors de position, les sièges bébé de face, et ceux de dos. L'essai du prototype du système révèle un taux de réussite de 97 %. Le système est censé entrer dans la production aux environs de 2008.

### **2.5.2 Imagerie 3D à calcul du temps de réponse (TOF)**

La méthode d'imagerie 3-D TOF est un ensemble de mesures de distances. La méthode utilise des sources actives (majoritairement des lasers) qui émettent de courtes impulsions ou des ondes sinusoïdales afin de mesurer le délai de réflexion ou le retard de phase qu'il y a avec un objet distant (figure 10). Une photodiode est synchronisée avec un déclencheur à haute vitesse et une source laser infrarouge (NIR). La source NIR génère des impulsions de très courte durée (de l'ordre de la nano seconde) qui illuminent le champ de vue entier du capteur. La quantité de lumière reçue dépend du temps de synchronisation de la diode laser, de la réflectivité, du temps de voyage de l'impulsion et du timing du déclencheur. Il faut noter que la lumière reçue ne contient pas seulement l'impulsion laser mais aussi la luminosité ambiante. La réflectivité de l'objet a aussi une influence dans la mesure. Pour ces raisons, le capteur a besoin de 3 expositions. Une première sans la lumière du capteur pour déterminer la luminosité ambiante. La seconde mesure est prise avec le capteur allumé avec une durée d'obturation plus grande que la largeur d'impulsion pour récupérer toute la lumière, qu'elle soit directe ou indirecte. Finalement, une mesure synchrone est faite entre le capteur et le laser afin de mesurer uniquement la lumière directe. Les deux dernières mesures prises sont soustraites afin d'obtenir le facteur de réflexion de l'objet visé. Pour des impulsions durant seulement quelques nano-secondes, un laser de classe 1 peut être utilisé sans causer de danger pour les yeux. On note aussi qu'en minimisant le temps d'obturation on diminue les effets de l'arrière plan.

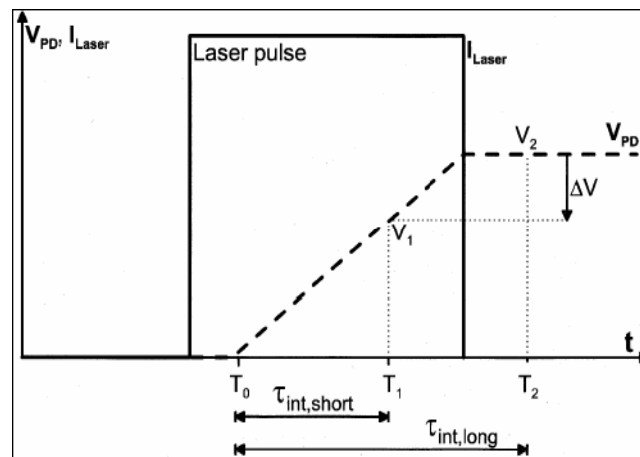


Figure 10. Principe camera Siemens 3D TOF

La méthode d'imagerie 3-D TOF fonctionne sur toute surface, peu importe la lumière ambiante. Les capteurs TOF sont différents des autres capteurs sous différents angles et sont plus appropriés en tant que système de classification. Premièrement, le système fonctionne jour et nuit quelles que soient les conditions de luminosité. Deuxièmement, il détecte toutes les textures. Le traitement est effectué dans le CMOS, libérant ainsi le processeur pour d'autres applications. Il utilise une lumière diffuse qui ne génère aucun problème de sécurité pour les yeux. Finalement, le capteur de profondeur est implanté dans la puce CMOS, ce qui crée un objet de petite taille, peu cher, et d'une résolution relativement haute pour un système de détection des passagers.

Tableau 6. 3D Caractéristiques du système Time-of-Flight

<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fonctionne même avec des scènes complexes</li> <li>• Immunisé des conditions de lumière ambiante</li> <li>• Compact</li> <li>• Peu cher</li> </ul>
<b>Inconvénients</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmission d'images</li> </ul>
<b>Niveau de développement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pré-production</li> </ul>
<b>Intérêt pour les industriels</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Large – le système a été développé par Fraunhofer/Siemens, IEE, Canesta, DaimlerChrysler/Conti Temic</li> </ul>
<b>Prévision du marché</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications larges en prévision</li> </ul>

Les progrès effectués dans la technologie CMOS permettent une production de capteurs très compacts intégrables dans la cabine d'un véhicule. Un système de Siemens VDO Automotive est proche de la production. Il consiste en une caméra à court temps d'intégration et un laser NIR localisé près du rétroviseur intérieur.

La caméra développée par le Fraunhofer Institute for Microelectronic Circuits and Systems, fonctionne sur le principe décrit ci-dessus et est capable d'une résolution de 1,5 cm dans un champ d'action proche. Le système peut déterminer la position, la forme et la taille du passager. Les avantages avancés sont une bonne réactivité, une insensibilité à la lumière ambiante et une petite taille.

Un capteur TOF développé par IEE utilise une approche légèrement différente pour obtenir la gamme d'information: la zone est illuminée par un rayon lumineux modulé provenant d'une LED NIR plutôt que par des NIR pulsés. Le rayon lumineux sinusoïdale est reflété par l'objet et détecté par le capteur CMOS. En raison du temps de voyage de la lumière entre l'émetteur et le récepteur, il y a un retard de phase entre le signal émis et celui reçu. Ce délai de phase peut directement être converti en une distance entre la caméra et l'objet. Une fréquence d'oscillation de 20 Mhz est utilisée, ce qui accorde au système une précision de 1cm pour un objet pouvant se situer jusqu'à 7,5 m. En réalité, la portée est limitée à cause de l'intensité lumineuse. La figure 12 montre le rendu obtenu avec ce type de capteur.

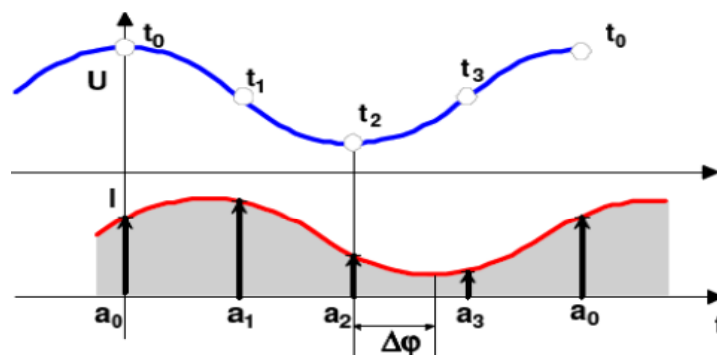


Figure 11. Principe caméra IEE 3D-TOF

Le système est capable de classer les occupants ainsi que la position de leur crâne, tout cela évidemment si nécessaire. Les tests les plus récents démontrent une performance proche des 100 % dans la classification des occupants et les possibilités à suivre les mouvements du crâne à 25 images par seconde.

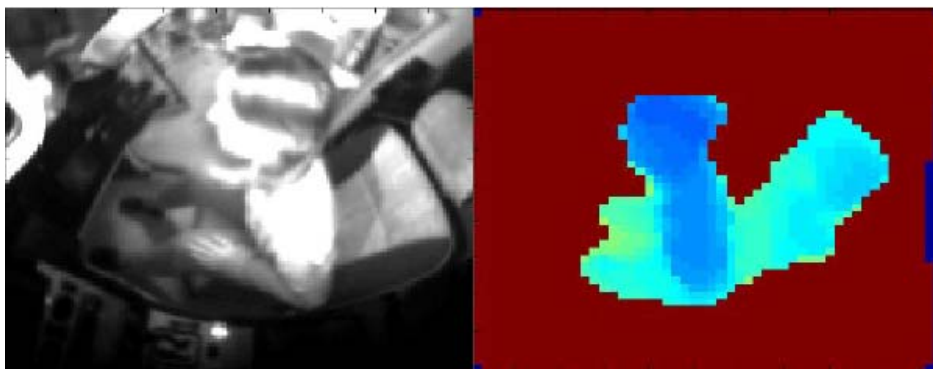


Figure 12. Passager Adulte (gauche) et Carte des Distance (Droite)

Daimler-Chrysler et Conti Temic ont développé un système Tof comparable à celui d'IEE.

## 2.6 État des lieux de la détection intra-véhiculaire

Potentiellement, les systèmes d'airbag de nouvelle génération sont l'approche la plus rentable de la détection. L'état américain veut exiger l'installation de tels systèmes sur 100 % des nouveaux véhicules à partir de 2009. Ces systèmes doivent être capables de détecter et classer les occupants du siège avant. Tous ces systèmes utiliseront des capteurs de poids/pression en complément d'un ou plusieurs capteurs sans contact. Quelques exemples en production ou en pré-production:

- Autoliv et Automotive Technologies Intl. ont développé un système utilisant un capteur de poids et un capteur ultrasonique. Ce système est un équipement de série sur la Jaguar XJ.
- Siemens et International Electronics and Engineering (IEE) développent un système utilisant un capteur de pression et une caméra monoculaire 3D TOF. Des systèmes équivalents sont aussi développés par TRW and Advanced Computer Vision (ACV), Daimler Chrysler et Conti TEMIC, Robert Bosch, et Delphi Automotive.
- Elesys (récemment racheté par Honda et NEC) a un système qui utilise des capteurs de pression dans le coussin du siège et un capteur à champ électrique dans le dossier.

En complément, les airbags situés à l'arrière deviennent de plus en plus courants. La détection de position des passagers arrière va devenir de plus en plus demandée. Le capteur à champ électrique semble être le plus intéressant pour cette application. Dans la prochaine décennie, il est très probable que la majorité des véhicules sera capable de détecter les passagers avant et arrière de manière fiable.

## 2.7 Problèmes non réglés de la détection intra-véhicule

### Couverture limitée de la banquette arrière

En majorité, les systèmes de détection actuellement développés couvrent les passagers avant mais certains modèles de voiture possèdent des capteurs sur tous les sièges.

La plupart des technologies qui pourrait être employée pour les passagers arrière devrait être capable de détecter la position de l'occupant. Les technologies prometteuses pour cette application sont donc le capteur de champ électrique et les capteurs capacitifs qui sont réellement peu chers et peuvent être incorporés au siège arrière. Ces capteurs ne pourront pas être facilement ajoutés par la suite, car l'installation requiert au minimum un démontage du siège.

### Accessibilité des informations d'occupation interne

Le plus gros problème d'ordre technique est de savoir si les données utilisées par les airbags pour classer les occupants peuvent être facilement réutilisable par les forces de l'ordre.

Dans le cas idéal, les informations pourraient être obtenues grâce à un protocole standard qui permettrait la compatibilité inter-constructeur. Malheureusement, il y a aussi la possibilité que

les informations soient « enfermées dans une boîte noire » et donc il faudrait dans ce cas une méthode d'extraction et d'analyse spécifique à chaque constructeur.

Heureusement à l'heure actuelle, un standard de réseau interne pour la sécurité est en cours de développement. C'est le Safe-By-Wire, qui est défini par les leaders de l'automobile ainsi que leurs sous-traitants (Analog Devices Inc, Autoliv Inc., Delphi Corporation, Key Safety Systems, Philips, Special Devices Inc., TRW Automotive, Bosch, Siemens VDO Automotive, et Continental Temic) pour spécifier un standard mondial.

### **Transmission des données d'occupation**

La transmission des données d'occupation jusqu'aux structures situées au bord de la route est une question de recherche qui reste ouverte.

Des solutions de communications courtes distances devraient être applicables et sont encouragées par la même occasion.

### **Pénétration limitée et améliorations potentielles**

En estimant que la communication peut être adéquatement formulée, il se déroulera plusieurs années avant que la majorité des véhicules sur la route soit équipée de ces systèmes. Il est incertain que les anciens véhicules puissent posséder ces nouvelles technologies à bas prix. Il est par conséquent plus raisonnable de croire que les technologies internes aux véhicules sont à utiliser comme outil dans les prochaines années.

### 3. Systèmes de détection sur le bord de route

Les technologies de détection d'occupation des véhicules sont développées et testées depuis environ vingt ans. Les systèmes de détection automatisés ne sont actuellement pas utilisés dans les HOV, mais cette section permet de voir les différentes orientations de recherche qui ont été prises ainsi que les technologies pertinentes à notre utilisation. Le tableau 11 montre les principaux avantages et inconvénients de chaque technologie.

*Tableau 7. Comparatif des technologies pour la détection externe au véhicule*

<b>Technologie</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Vidéo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Système disponible commercialement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mauvaise résolution</li> <li>• Mauvais résultats</li> <li>• Inutilisable sans lumière</li> </ul>
<b>Infrarouge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation dans toutes les conditions de lumière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de prototype développé</li> <li>• Ne passe pas les pare-brises athermiques</li> <li>• Ne distingue pas la peau humaine des objets de même température</li> <li>• Coûteux</li> </ul>
<b>Infrarouge multi-bandes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distingue la signature (IR) de la peau</li> <li>• Utilisation dans toutes les conditions de lumière</li> <li>• Est automatisé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne passe pas les pare-brises athermiques</li> <li>• Coûteux</li> </ul>
<b>Micro-ondes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation dans toutes les conditions de lumière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation lente</li> <li>• Mauvaise résolution</li> <li>• Ne passe pas les pare-brises athermiques</li> <li>• Très coûteux</li> </ul>
<b>Radar à bande très large</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Système disponible commercialement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation lente</li> <li>• Mauvaise résolution</li> <li>• Gamme inadéquate</li> <li>• Ne passe pas les pare-brises athermiques</li> </ul>



### 3.1 Systèmes vidéo

Les systèmes vidéos ont été utilisés dans le passé pour la vérification d'occupation, 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 testée à Los Angeles et dans le comté d'Orange en Californie. Plusieurs caméras étaient utilisées pour obtenir trois ou quatre vues de la cabine du véhicule afin de déterminer le nombre d'occupants. Une 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 en fait pas. Les fausses alertes étaient dans un premier temps liées à la non détection des petits enfants ou des adultes dormant sur la banquette arrière, mais aussi aux mauvaises conditions météorologiques ou encore aux vitres teintées.

Dans leur rapport de 2001, les chercheurs de l'université de San Diego rapportent que les opérateurs ne peuvent pas distinguer de manière viable les voitures à occupant unique.

### 3.2 Systèmes infrarouges

Jusqu'à présent aucun système de détection infrarouge n'a été implanté sur les voies HOV. Cependant, des tests ont été effectués récemment. Le premier avantage des systèmes infrarouge est de pouvoir travailler de jour comme de nuit. Les systèmes infrarouge fonctionnent sur une longueur d'ondes qui utilise l'éclairage de la caméra. Celle-ci est en dehors du spectre lumineux visible et cela aide à ne pas distraire les conducteurs. Ces systèmes ont au moins autant de contraintes que les systèmes vidéo, spécialement avec l'isolation des véhicules, les pare-brises athermiques ou encore les vitres teintées. Les systèmes infrarouge sont aussi substantiellement plus chers que les systèmes vidéo classiques.

En 1998, Le Georgia Tech Research Institute (GTRI) a développé un système de monitoring pour compter le nombre de passagers dans un véhicule sur l'autoroute. Le prototype consistait en un système d'imagerie assisté par ordinateur utilisant un capteur d'infrarouge proche combiné avec une source de lumière infrarouge.

Le système était monté dans une unité au bord de la route qui prenait en photo une vue de coté des véhicules. La caméra et la lumière étaient commandées par un radar, servant à déclencher la prise de vue au moment du passage du véhicule. Des essais sur le terrain ont montré que le prototype était capable de faire une image d'un véhicule roulant à 128 km/h. Une étude qualitative de ce système a pu définir qu'il était plus précis qu'un contrôle en temps réel par des agents. Les chercheurs ont aussi remarqué que la détection des passagers arrière était meilleure avec les systèmes infrarouge. Finalement, le département des transports de Georgia a arrêté le développement et à cette date aucune recherche supplémentaire n'a été effectuée.

### 3.3 Systèmes infrarouges multi-bandes

En 1998, le département des transports, les chercheurs d'Honeywell et de l'université du Minnesota ont développé un système de détection des passagers utilisant une paire de caméras à « proche infrarouge » (NIR) pour image bi-bandes 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 système peut isoler la signature de la peau humaine par rapport aux autres matériaux de la cabine.

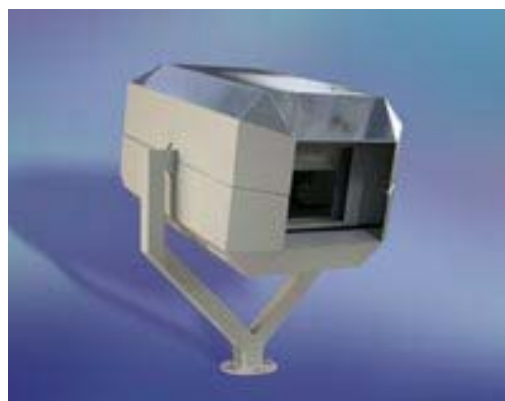
En situation, les caméras infrarouge prennent des images du véhicule qui passe.

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 roulant à 80 km/h contenaient un ou deux passagers et ce, dans des conditions de lumière variables. Les résultats de ces tests sont une identification correcte à 100 % pour le système. Depuis la fin de ces tests, 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 Dtect qui utilise les rayonnements visibles et infrarouge afin de compter le nombre d'occupants à travers le pare-brise des véhicules arrivant à une vitesse de croisière d'autoroute.

Un peu comme l'a fait le Minnesota, 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.



*Figure 13. Système de détection Dtect*

Les premiers tests du système Dtect (encore sous le nom de Cyclops) ont été effectués en 2005 à Leeds en Angleterre. 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 mains ou encore des mannequins.

Récemment, vu les différents tests concluants, la production du capteur a été lancée pour un prix de 90000£ soit environ 120000€, ou un prix de location par semaine de 4000 euros. Le système développé est « prêt à l'emploi » : en effet il nécessite une alimentation 110 ou 220 V et un réseau pour transmettre les données enregistrées. Dtect se fixe en bord de route sur un pylône ou directement au sol sur une dalle de béton.

### 3.4 Systèmes à micro-ondes

Les systèmes de micro-ondes passives génèrent des images à partir des rayons émis et reflétés 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 faire une bonne image. La taille des ondes utilisées fait que la résolution de l'image est plutôt limitée.

En Europe, 90 % des camions ont des cotés non métalliques (donc transparents) pour les micro-ondes. Un système appelé Joanna utilise une série de détecteurs à 35 GHz pour vérifier la présence de clandestins dans les camions. Un capteur est utilisé pour fournir la vitesse du véhicule arrivant au niveau du système, permettant à celui-ci de créer une image micro-ondes en même temps que le véhicule qui passe.

Le contraste dans les images est amélioré par l'utilisation de grands réflecteurs de l'autre côté du véhicule face au capteur. Les opérations de scannage en ligne ne requièrent pas l'arrêt du véhicule, permettant donc aux véhicules à cotés non métalliques d'être scannés sans pour autant trop déranger le trafic.

Le système connaît un grand succès depuis qu'il est entré en opération ; il a permis de détecter des centaines de clandestins par mois.

### 3.5 Systèmes radar à bande ultra large (UWB)

La très courte durée d'impulsion (généralement 1 ns) 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.

La grande difficulté des systèmes UWB est leur impossibilité à traverser n'importe quelle barrière métallique. Ceci compromet alors leur utilisation pour la détection des passagers dans les véhicules. Les vitres teintées bloquent aussi les émissions UWB. De plus, les UWB ne peuvent être utilisés pour des acquisitions à haute vitesse, le système a besoin d'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.

### 3.6 Performance des appareils de détection en bord de route

Les systèmes sur le bord de la route doivent obligatoirement utiliser une méthode de détection à distance des passagers, ce qui diminue grandement les possibilités par rapport au contrôle interne au véhicule. Tous les systèmes de détection doivent surmonter les obstacles qui limitent grandement leur efficacité. En considérant les différentes technologies de détection, les critères de sélection sont les suivants :

- Pénétration dans la cabine ;
- Travail possible de jour et de nuit ;
- Bonne résolution de l'image ;
- Vitesse d'acquisition rapide ;
- Vue au loin.

Les performances des technologies, qui peuvent respecter certains de ces critères, sont résumées dans le tableau 12.

*Tableau 8. Comparaison de performance des technologies de détection en bord de route*

Propriété désirée	Lumière visible (caméra)	Infrarouge proche	Infrarouge thermique	Radar UWB	Micro-ondes
<b>Non bloqué par les vitres teintées et pare-brises athermiques</b>	N	O	N	N	N
<b>Travail par tout temps et toutes conditions</b>	N	O	O	O	O
<b>Capable de restituer la cabine du véhicule en détail</b>	O	O	N	N	N
<b>Assez rapide pour faire une capture à vitesse d'autoroute</b>	O	O	O	N	N

Pour satisfaire au critère de travail sur 24 heures, 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 cachés comme par exemple les enfants, un siège bébé en position inverse ou encore un adulte dormant sur la banquette arrière. Le développement dans la détection de l'occupation des véhicules s'est concentré sur la détection à travers le pare-brise, ce qui est généralement efficace seulement pour les sièges avant.

À partir du tableau 12, on remarque que seul les infrarouges proches (0,7-2,4  $\mu\text{m}$ ) 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  $\mu\text{m}$ .

### **3.7 État des lieux de la détection extérieure au véhicule**

Les systèmes de détection au bord de la route sont en développement depuis environ vingt ans. Cela fait seulement depuis quelques années que la technologie de capteur ainsi que les méthodes de traitement permettent de créer des approches potentiellement viables du problème.

#### **Technologies de capteurs**

Les systèmes de détection sur le bas côté sont restreints par le type de capteur qu'ils peuvent utiliser. Les systèmes radars ne sont pas appropriés parce que le châssis du véhicule crée trop d'interférences pour obtenir une image précise de ce qui se situe dans le véhicule. La lumière ne peut être utilisée la nuit sans créer un danger pour les conducteurs. Les capteurs infrarouge, et plus spécialement ceux utilisant les longueurs d'ondes du proche infrarouge, ont presque toutes les qualités pour effectuer la tâche de détection. Les capteurs proche infrarouge ne sont pas affectés par les conditions météorologiques, de plus la lumière utilisée la nuit est invisible à l'œil du conducteur. Enfin la détection est facilitée grâce à la différence de réflexion de la peau humaine. Malgré tout, la technologie reste très coûteuse ce qui demeure un point négatif. Le développement de ce capteur permettra d'obtenir de bien meilleurs résultats à un meilleur tarif.

#### **Traitement d'image**

Le principal problème du traitement d'image pour les systèmes de détection au bord de la route est traditionnellement la séparation des occupants des autres objets que l'on peut trouver dans le véhicule. La technologie des NIR permet d'isoler la signature de la peau et donc de palier ce problème. Il n'y a donc que dans cette méthode qu'il est facile d'isoler la peau par rapport au reste de l'environnement même si l'on cherche à piéger le système.

#### **Production balbutiante**

Le potentiel des systèmes de détection en bord de route n'est pas très grand jusqu'à présent. Actuellement on trouve le système Dtect en production de petite série à des prix importants. Le système Dtect est développé par Vehicle Occupancy Ltd en Angleterre.

### **3.8 Problèmes non résolus de la détection externe**

#### **Visibilité des occupants cachés**

Bien que la technologie de capteur offre la possibilité de voir à l'intérieur du véhicule, il reste toujours un problème de perspective. En effet, la prise de vue étant faite de face, il n'est pas forcément facile de détecter les passagers arrière. La prise de vue par le côté semble une solution viable qui a été utilisée pour le système Dtect.

L'institut de recherche de Georgia Tech a montré qu'il était possible de faire une acquisition d'image latérale à haute vitesse. Malgré tout, ce système reste un prototype non automatisé de caméra classique. Il n'est pas certain que les résultats soient les mêmes avec une technologie infrarouge.

#### **Intérêts et financement de la recherche**

En dehors de l'exception Dtect, aucun système n'a encore été développé de manière viable. Ceci contraste avec les systèmes internes au véhicule fournis par 7 majors de l'automobile. Le développement d'outils de détection externe est important mais cela implique de grandes sommes d'argent et un besoin de financement pour la recherche. L'augmentation des voies HOT et HOV peut jouer un rôle important dans les décisions de développement en créant un marché nouveau.

## 4. Conclusion

Dans ce rapport nous avons donc pu découvrir les différentes technologies existantes pour la détection des passagers dans un véhicule en mouvement. Nous avons tout d'abord regardé l'approche interne au véhicule avec les capteurs de poids, de champ électrique ainsi que les différentes méthodes avec caméra. Ensuite, nous avons vu l'approche externe au véhicule avec là aussi différents types de caméras.

Comme dit précédemment dans le rapport, à court terme, la solution interne n'est pas viable parce que l'on ne peut pas équiper tout le parc automobile sans un gros investissement. Il reste donc le capteur externe qui semble être le plus judicieux à l'heure actuelle. Malgré une offre en termes de systèmes plutôt faible, on remarque que le capteur Dtect, développé en Angleterre, semble être une solution acceptable pour le comptage des passagers.

Pour conclure, on peut donc affirmer que le seul système viable est le Dtect parce qu'il remplit toutes les conditions demandées à savoir la détection en toutes conditions ainsi que la détection des passagers arrières. Les autres systèmes qu'ils soient internes ou externes ne sont pas développés de manière suffisante à l'heure actuelle pour être implantés en grande série.

Pour la location du matériel Dtect en Angleterre il faut prévenir par mail l'entreprise :

**Vehicle Occupancy Ltd.**

PO Box 6321, Loughborough, Leicestershire LE11 3XZ, United Kingdom

Telephone

+44 (0) 115 949 0938

Fax

+44 (0) 150 922 3948

Email

[enquiries@vehicleoccupancy.com](mailto:enquiries@vehicleoccupancy.com)

## 5. Glossaire

### A

**Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)** : système qui aide le conducteur afin d'augmenter la sécurité.

**Automotive Technologies International (ATI)**.

**Advanced Weight Sensing II (AWS)** : système de détection de poids.

### C

**Complementary metal–oxide–semiconductor (CMOS)** : capteur photographique.

**Central processing unit (CPU)** : Processeur d'un ordinateur.

### E

**Electric field detection (EFD)** : capteur de champs électriques.

### F

**Force sensing resistor (FSR)** : Capteur de couple résistif.

### G

**Georgia Tech Research Institute (GTRI)**.

### H

**High-Occupancy Vehicle (HOV)** : voie réservée aux véhicules contenant plus de deux passagers.

**High-Occupancy Toll (HOT)** : voie à péage modulé suivant l'horaire ou la charge du trafic. Les véhicules utilisant les HOV peuvent prendre ces voies et bénéficier d'un tarif réduit.

### I

**International Electronics & Engineering (IEE)** : société d'électronique.

**Infrared Integrated Systems (IRISYS)** : système qui mesure et affiche la chaleur dégagée par les objets avec la technologie infrarouge.



## L

Light-emitting diode (LED) : lumière de technologie led.

Long-wave infrared (LWIR) : Infrarouges à longues ondulations.

## N

Near-infrared (NIR) : rayon infrarouge de longueur d'onde 0,75-1,4 [µm](#).

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) : administration nationale de la sécurité du trafic sur les autoroutes aux USA.

## O

Occupant Position Detection System (OPDS) : système de détection de la position des occupants.

## P

Proximity Array Sensing System (PASS) : capteur de proximité à champ électrique ancêtre du EFD.

## S

Support vector machine (SVM) : machine de calcul et de traitement d'image.

## T

Time-of-Flight (TOF) : système de reconnaissance en direct de la scène.

Total Occupant Recognition System (TOR) : système de détection qui contient le EFD.

## U

Ultrawideband (UWB) : signal radar de très grande amplitude.

## 6. Annexes

# **Résumé du rapport de Buard Claudie relatif aux voies réservées au covoiturage ainsi que les moyens de contrôles du taux d'occupation des véhicules**

13/11/2007

**Objectifs :**

Les HOV lanes (High Occupancy Vehicles ou véhicule multi-occupants) sont des voies réservées aux véhicules dont l'occupation est supérieure à 1. On trouve actuellement ces voies à divers endroits dans le monde, mais surtout aux États-Unis. À ce jour, peu d'études ont permis d'effectuer un bilan formel de ce système, ni de réfléchir à l'intérêt d'implanter de telles voies en milieu urbain souffrant de congestion. Une première partie explique les fonctionnements des voies HOV dans le monde; une deuxième partie développe les moyens d'automatisation du contrôle qui existent actuellement sur le marché.

**Historique :**

La première voie HOV sur autoroute a été ouverte en 1969 en tant que voie réservée aux bus. Par la suite, ces voies se sont démocratisées en Amérique du nord et en Australie. Leur implantation a été poussée par l'émergence du covoiturage, et notamment dans les années 1970 avec les chocs pétroliers successifs.

**Problématique :**

Pour définir les caractéristiques d'une voie HOV, les autorités n'ont souvent d'autre choix que de tâtonner pour déterminer si cette voie va être déclinée en version HOV2+ ou 3+ (voie réservée aux véhicules contenant plus de 2 ou 3 passagers) ou autre. De manière concrète, il y a encore quelques problèmes pour définir si ces voies sont accessibles à tous les véhicules contenant plus de 2 ou 3 passagers (sauf transport de marchandises) ou si elles sont juste limitées aux bus. Un autre problème des HOV est celui des enfants, en effet on ne sait pas si l'on doit considérer un enfant comme un passager utile.

Il existe dans le monde différents types de voies HOV, on retrouve des voies séparées, non séparées, à gauche, à droite... La question que l'on se pose aussi est celle de la séparation des voies. En France les installations présentes ne permettent pas la mise en place d'une barrière métallique ou autre afin de délimiter les voies HOV. En résumé tout ce qui est possible est ou a été réalisé en terme de voies spécifiques. Les effets escomptés de ces voies sont donc une diminution de la consommation d'essence, une augmentation du rendement des véhicules et une fluidification du trafic.

**Évaluation :**

En résumé, on peut dire que les résultats actuels des voies HOV sont difficiles à mesurer parce que l'on ne possède pas d'outils de mesures adéquats. C'est à dire que l'on ne possède pas de données, avant/après, de la vitesse de passage, du taux d'occupation, ou encore du nombre de véhicules passant sur les voies concernées. Tous les équipements HOV ne sont pas aussi efficaces, mais tendent à répondre aux objectifs généraux, à savoir faciliter la mobilité, faire gagner du temps et de l'énergie.

**Méthodes :**

La seconde partie présente de manière rapide les méthodes du contrôle automatisé du taux d'occupation que l'on retrouve sur le marché ou qui ont été développées par les agences de contrôles. On estime actuellement que le taux d'efficacité du contrôle manuel est de 65% alors que le contrôle automatisé doit remplir la condition sans erreur possible. Pour un contrôle du nombre d'occupants, il y a deux approches possibles : le contrôle interne au véhicule et celui externe au véhicule. Jusqu'à présent le gros de la recherche a été fait au niveau de la détection externe.

Plusieurs moyens ont déjà été testés depuis les années 1990, on retrouve l'utilisation de caméras pour faire du traitement d'images et donc distinguer les passagers d'un véhicule. Il y a quelques années encore, le fonctionnement de ce type d'installation était plus qu'approximatif à cause de la qualité de la capture d'images, du prix et de la fiabilité. De plus, la détection par reconnaissance d'images est inefficace la nuit.

Dans un futur rapport réalisé durant mon stage, on retrouvera les dernières avancées technologiques dans les domaines de la détection d'images.

À partir de 1998 la technologie a permis l'utilisation de caméras à infrarouge. En effet le fonctionnement de ce système est plutôt simple d'un point de vue extérieur. Le principe est que la peau humaine contenant une grande concentration d'eau voit son facteur de réflexion se modifier aux environs d'une longueur d'ondes de 1,4  $\mu\text{m}$ . Afin de pouvoir isoler la signature d'une peau humaine par rapport à son environnement, il faut donc faire une capture d'images sur une longueur supérieure et une autre inférieure à cette longueur d'ondes.

Malgré les grandes promesses de cette technologie, il y a toujours des points négatifs. En effet, les pare-brises sont de plus en plus souvent athermiques et cette technologie a pour résultat de rendre inexploitable nos caméras infrarouges. Ensuite les rayons ne passent pas à travers le métal ou certains vêtements épais.

Plus récemment, en 2002, Vehicle Occupancy Ltd. (VOL) a développé une caméra infrarouge couplée avec des systèmes d'imagerie à haute vitesse afin de reconnaître les occupants d'un véhicule.

Il se base sur un système d'imagerie multi-spectrale qui met en évidence la teneur en eau de la peau. La caméra nommée CYCLOPS assure (dans sa brochure) que le système reconnaît la peau humaine peu importe les conditions de temps, de températures ou encore le type de véhicule. Ce système est actuellement en expérimentation sur la voie HOV de l'A647 de Leeds. Malheureusement, toutes les promesses de cette caméra ne sont pas tenues en terme de détection. En effet, on ne comprend pas comment on est capable de visualiser un occupant placé juste derrière un occupant à l'avant. L'autre point négatif est la détection de la réflexion des ondes sur la peau humaine lorsque l'on se retrouve dans des conditions crépusculaires. Les évolutions technologiques vont là encore pouvoir nous dire si cette technologie arrivera à maturité.

Après la partie détection externe au véhicule on retrouve celle située à l'intérieur du véhicule. Il existe plusieurs méthodes :

### **Méthode 1 :**

Le moyen de contrôle le plus simple serait de contrôler le nombre de ceintures qui sont bouclées dans le véhicule. En effet si deux ceintures ou plus sont enclenchées durant le trajet, on laisse une libre utilisation des voies HOV, sinon on sanctionne. Malheureusement, l'utilisation seule de ce système n'est pas efficace parce que la fraude est beaucoup trop facile. C'est pour cela qu'en général ces systèmes sont couplés avec un système de contrôle de poids.

### **Méthode 2.1 :**

Le développement des capteurs de poids dans les sièges est dû à des questions de sécurité. L'intérêt de ces capteurs est de déterminer s'il y a un passager et si oui quel est son poids, sa position afin de déployer l'airbag de manière adaptée.

Comme présenté dans le rapport, on retrouve Siemens qui propose un produit appelé Advanced Weight Sensing (AWS II) qui est composé de quatre éléments insérés dans le châssis afin de mesurer le poids d'une personne. Dans un rapport ultérieur on verra qu'il existe plusieurs autres technologies sur le marché.

### **Méthode 2.2 :**

Ensuite il existe plusieurs types d'imageries internes au véhicule. On retrouve ici l'imagerie simple avec une ou plusieurs caméras implantées dans le véhicule; on trouve aussi l'imagerie par Led qui consiste à mesurer la réflexion de la lumière et enfin on retrouve l'imagerie thermique et infrarouge. Le principe de fonctionnement de ces deux dernières technologies est la même que pour la détection externe.

### **Méthode 3 :**

Toujours dans les technologies prometteuses, on retrouve les capteurs de champ électrique qui sont incorporés dans les sièges et qui en fonction des modifications de ce champ permettent de détecter l'occupation du siège. Dans le rapport, on retrouve d'autres technologies internes au véhicules qui ne sont pas envisageables à l'heure actuelle dans un véhicule en tenant compte du besoin d'anonymat des personnes. On retrouve, par exemple, dans cette catégorie des caméra avec une haute résolution.

Après avoir effectué la détection du nombre d'occupants, il faut transmettre ces données afin de se faire identifier. Il existe plusieurs moyens comme les transpondeurs déjà utilisés pour le télé péage français, on peut aussi faire une transmission de données par GPS ou grâce à un réseau de téléphonie.

En résumé, on se retrouve avec plusieurs problèmes. Il y a d'abord la séparation des voies qui est réalisable en France sur certaines installations comme des périphériques ou autres zones à fort taux d'occupation. On a donc une question primordiale à se poser : quelles sont les

possibilités d'implantation de ces voies et leur intérêt. Les pays actuellement les plus développés dans les installations de voies HOV sont l'Angleterre et les États-Unis. On peut donc se baser sur les résultats de leur études afin de déterminer une stratégie et une direction de recherche en France. À ce stade de l'étude, les approches de contrôles automatisés internes et externes semblent viables mais seulement avec certaines technologies.

Il y a donc une orientation de recherche qui devrait se faire vers les capteurs de poids intelligents, les capteurs de champ électriques et sur la technologie infrarouge. Le chiffrage du coût des différents moyens de contrôle est à ce stade très compliqué. Ce qui est clair, c'est que l'implantation de systèmes de contrôles du taux d'occupation des passagers ne peut comporter que de bons cotés; c'est à dire que l'utilisateur y gagne en économisant par exemple des frais de péages ou en ne prenant pas son véhicule, et d'un autre côté on retrouve des voies moins engorgées, une réduction du nombre de véhicules sur les routes et une réduction de la pollution... (à voir)

Un rapport ultérieur de ma part devrait permettre de s'orienter de manière concrète vers une ou plusieurs technologies.

© ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire  
centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de Certu est illicite (loi du 11 mars 1957).

Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

**Téléchargement**

**ISSN : 1263-2570**

**ISRN : Certu/RE—08-24—FR**

**Certu**

**9, rue Juliette Récamier**

**69456 Lyon cedex 06**

**】 (+33) (0) 4 72 74 59 59**

**Internet [www.certu.fr](http://www.certu.fr)**

## Certu

*Service technique placé sous l'autorité  
du ministère de l'Écologie, de l'Énergie,  
du Développement durable et de l'Aménagement du territoire,  
le Certu (centre d'Études sur les réseaux, les transports,  
l'urbanisme et les constructions publiques)  
a pour mission de contribuer au développement  
des connaissances et des savoir-faire et à leur diffusion  
dans tous les domaines liés aux questions urbaines.  
Partenaire des collectivités locales  
et des professionnels publics et privés,  
il est le lieu de référence où se développent  
les professionnalisés au service de la cité.*