

# Contrat ARMINES / MAIF : Cindynamètre

## Etude des différents capteurs existant en vue de leur intégration au cindynamètre

Le cindynamètre est un concept de méta-capteur capable de détecter une prise de risque trop importante du conducteur, de mesurer le risque d'accident qui en découle et de représenter celui-ci de façon claire au conducteur afin de l'inciter à réduire ce risque (quitte à donner des indications au conducteurs quant à la réduction de ce risque).

Pour ce faire, le cindynamètre se compose de trois sous-systèmes réalisant chacun une tâche bien définie. Il faut tout d'abord un ensemble de capteurs permettant de mesurer tous les paramètres nécessaires à la bonne détection du risque. Cet ensemble de capteurs se décomposera ainsi en un groupe de capteur externes, destinés à mesurer toutes les grandeurs liés à l'environnement du véhicule (autres véhicules, conditions météo, ...) et en un groupe de capteurs internes qui permettront de surveiller les paramètres internes du véhicules (vitesse, accélération, ...) ainsi que d'évaluer les performances du conducteur.

Le deuxième sous-système du cindynamètre sera constitué par son "cerveau", en fait un groupe de moteurs de fusion de données, qui tirera de l'ensemble des capteurs des informations interprétables pour mesurer le risque à tout instant. Il pourra y avoir plusieurs types de moteurs de fusion de données intervenant à des moments différents de la chaîne de mesure. Ainsi, la fusion des résultats de plusieurs algorithmes de traitement d'images ne se fait pas de la même façon que la fusion des données GPS et inertielle avec la cartographie.

Enfin, le troisième sous-système du cindynamètre sera constitué par l'interface homme-machine (appelée par la suite IHM) qui permettra au conducteur d'utiliser les résultats des deux premiers sous-systèmes. L'IHM devra offrir une bonne ergonomie, de façon à être facilement utilisable et compréhensible sans apprentissage tout en évitant de saturer le conducteur de sons ou d'images qui auraient tendance au mieux à lui faire ignorer le système, au pire à lui faire perdre sa vigilance et ainsi le mettre plus en danger qu'il ne l'était.

Nous étudierons ici seulement le premier sous-système en essayant de faire un comparatif exhaustif des différents capteurs existant sur le marché, destinés ou non au secteur automobile, afin de déterminer quels capteurs pourront être utiles pour notre système.

## Capteurs Environnementaux

On considère ici les capteurs permettant de connaître la configuration de l'environnement direct (et éventuellement plus lointain) au travers de la détection des véhicules, des voies de circulation, de la forme de la route, de la signalisation horizontale et verticale et des conditions météorologiques.

### Télémètres

Il s'agit ici de capteurs permettant de mesurer la distance à un objet et de retourner éventuellement d'autres informations comme la vitesse relative de la cible. Quatre grandes familles de télémètres existent :

#### 1. Télémètres à ultrasons :

Ce type de télémètre utilise la mesure du temps de vol d'un signal ultrasonore pour obtenir la distance à une cible. Un tel télémètre utilise un émetteur et un récepteur piézo-électriques pour générer l'onde et recevoir son onde réfléchie.

De conception très simple, ce type de télémètre présente l'avantage d'être très économique (on trouve des systèmes industriels à 300Frs / pièce avec traitement intégré) et très peu encombrant (un émetteur-récepteur piézo-électrique ne mesure qu'un centimètre de diamètre). Malheureusement, leur principe de base apporte de nombreux désagréments.

Tout d'abord, les ultrasons, comme toute onde de pression, ne sont pas du tout directifs ce qui empêche ainsi d'avoir un positionnement précis à grande distance. De plus, la vitesse de propagation du son dans l'air dépend énormément de différents facteurs comme la température, la pression atmosphérique et l'humidité. La mesure de distance obtenue ne sera donc correcte que si la vitesse du son de référence est recalculée en temps réel en fonction de ces facteurs et ne restera, malgré cela, précise que sur un voisinage du capteur.

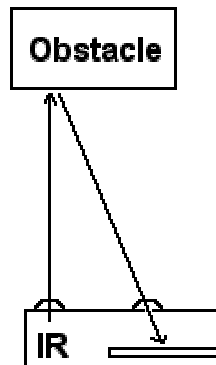
De tels capteurs ne peuvent donc être utilisés pour de la détection d'obstacles à grande distance mais peuvent néanmoins s'avérer utiles dans des applications d'anti-collision à très basse vitesse comme le prouve leur intégration sur certains modèles de véhicules (Renault Laguna II par exemple).

Pour notre application, ce capteur pourrait s'avérer intéressant pour de l'anticollision à l'arrière et sur les côtés du véhicule, permettant ainsi de supprimer le problème de l'angle mort.

#### 2. Télémètres infrarouges :

Il s'agit ici de la version bon marché du capteur suivant (le télémètre laser). Son principe de base repose sur l'émission d'un faisceau infrarouge modulé et la réception du faisceau réfléchi sur un récepteur déporté (voir figure 1). Le calcul de la distance à la cible se fait alors par triangulation.

Ce capteur présente l'avantage d'être très directif, peu encombrant (plus petit qu'un télémètre à ultrasons), très peu gourmand en énergie (quelques dizaines de mW en émission contre une dizaine de Watts pour l'émetteur ultrason) et d'être indépendant des conditions extérieures (pression atmosphérique, température, ..).



*Figure 1 : Principe du télémètre infrarouge*

Malheureusement, il présente de très gros inconvénients : le principe de triangulation ainsi que la puissance émise lui confère une portée limitée à moins de 1 mètre. Sa précision dépend de la distance à la cible et va en décroissant (conséquence du calcul trigonométrique effectué).

Un deuxième type de télémètre infrarouge existe et utilise quant à lui la puissance réfléchie pour mesurer la distance le séparant d'un objet. Il est en fait basé sur l'émission successive de brefs impulsions infrarouges de puissance croissante. Lorsque le récepteur reçoit un signal il calcule la distance à partir de la dernière puissance émise. Ce type de mesure n'est pas très précis et dépend grandement de la réflectivité de la cible.

Ce type de capteurs est le plus souvent utilisé en robotique mobile, pour de petits robots, l'application la plus médiatisée jusqu'à présent étant l'implantation d'un tel télémètre dans le museau du robot chien Aibo de Sony. Nous ne pourrions pas nous servir de ce type de capteur pour faire de la télémétrie.

### **3. Télémètres laser :**

Comme leur nom l'indique, ce type de capteur utilise un faisceau laser (généralement dans le proche infrarouge) pour mesurer la distance entre l'émetteur et la cible. Deux types de mesures peuvent être effectués selon l'application qui en est faite.

Pour des applications à très courte portée (moins d'un mètre), on utilise des télémètres à triangulation, dont la précision est très forte mais dont la plage de mesure est limitée à moins d'un mètre. Ces télémètres se basent sur le même principe que les télémètres infrarouges à triangulation.

Les télémètres à corrélation de phase ont une plus faible résolution mais une plage de mesure importante (plusieurs km). Ils permettent de s'affranchir de la limite de distance des télémètres à triangulation et ont une meilleure résolution que les télémètres à temps de vol. Malheureusement, cette précision se paie par un temps de réponse long de quelques millisecondes.

Pour des capteurs longue portée, on utilise la mesure du temps de vol qui est alors proportionnelle à la distance aller-retour à la cible. Une telle mesure requiert une horloge très précise permettant de mesurer des temps de l'ordre de la nanoseconde (voire même de la picoseconde) qui permettent d'obtenir une précision suffisante. Les avantages liés à l'utilisation d'un faisceau laser sont très nombreux puisque celui-ci est très directif, très rapide (ce qui permet d'effectuer des mesures relativement souvent) et très peu sensible aux variations des conditions atmosphériques. Enfin, la mesure du temps de vol permet de s'affranchir du problème de réflectivité de la cible (bien que celle-ci doive être suffisamment grande pour que le faisceau incident soit assez réfléchi). De plus ce type de télémètres offre actuellement un temps de réponse extrêmement faible.

Ce type de capteurs présente un problème dû à sa directivité qui ne lui permet d'obtenir qu'un point de mesure. Pour remédier à ce problème ont été créés les télémètres lasers à balayage qui reposent sur le principe suivant (voir figure 2) : le faisceau laser est émis sur un miroir rotatif qui après chaque point de mesure tourne d'un angle donné. Ainsi, on balaye l'espace sur un plan très large.

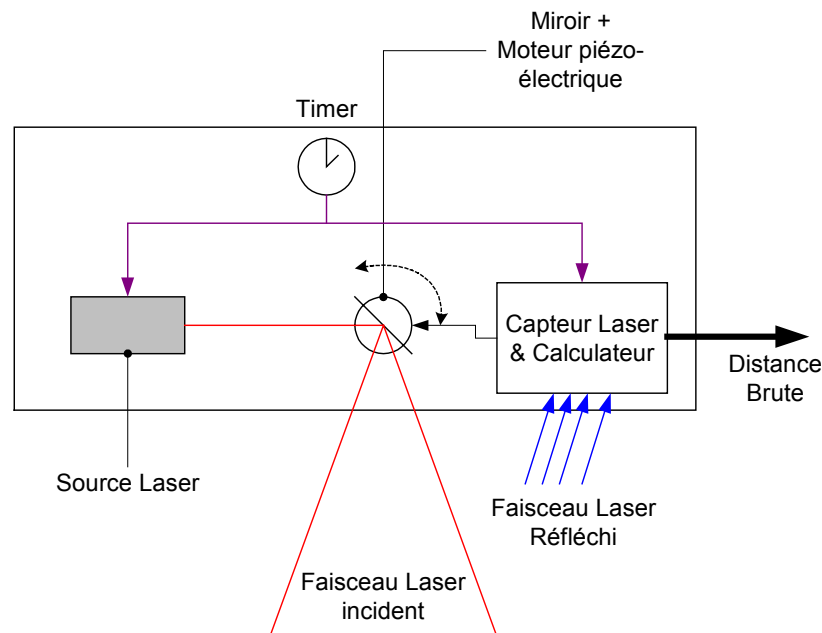


Figure 2 : Schéma de principe du télémètre laser à balayage

Ce balayage a néanmoins l'inconvénient de demander beaucoup plus de place pour loger les parties mécaniques nécessaires à l'animation du miroir. De plus l'utilisation de pièces mécaniques mobiles entraîne une certaine fragilité du dispositif. Enfin, ce système devient extrêmement cher du fait de l'horloge très précise à utiliser, de l'usinage mécanique et du durcissement du dispositif total pour le rendre fiable.

De tels systèmes sont néanmoins utilisés dans de très nombreuses applications et l'Ecole des Mines a d'ors et déjà acheté un capteur de ce type (modèle IBEO à ouverture grand-angle 360°) pour équiper son prototype. Il faut noter que des capteurs à balayage dans les plans horizontaux et verticaux existent mais que ceci se révèlent encore plus fragiles et chers.

#### **4. Radar :**

On se base ici sur le radar Doppler, seul type de radar à être utilisé dans le domaine automobile (on ne regardera donc pas le principe du radar à ouverture synthétique utilisé principalement par les satellites de télédétection, ou des radars de type OTH – Over The Horizon – utilisé dans les applications de défenses pour la détection d'objets volant au-delà de l'horizon).

Il existe actuellement deux radars utilisés dans le domaine automobile pour assurer les fonctions de régulation de vitesse automatique. Ceux-ci sont utilisés sur les modèles haut de gamme de certains constructeurs. Le modèle construit par la société anglaise TRW utilise un émetteur à 77 GHz tandis que celui de Delphi utilise un radar à 76 GHz. Ces deux radars détectent des véhicules roulant à plus de 30 km/h. Ces deux radars aux caractéristiques très proches sont basés sur le principe du radar Doppler qui permet, en mesurant la déviation en fréquence de l'écho, de déterminer la vitesse relative de la cible par rapport au véhicule.

Ce type de radar appliqué à l'automobile a généralement un angle d'ouverture très faible (quelques degrés seulement), le rendant inutile pour des applications de détection de véhicules dans d'autres voies ou dans le cas d'un trajet sur route sinueuse. Cet angle très faible est nécessaire pour réaliser un filtrage temporel des cibles détectées par balayage. Ce filtrage peut ainsi poser des problèmes au niveau du temps de réponse vis à vis d'une cible changeant de direction. Enfin, par son principe même, le radar pose certains problèmes pour la détection de cibles dites "non-coopératives" qui ne présentent qu'une très faible surface équivalente radar (cette surface correspond à la surface métallique qui aurait renvoyé le même écho).

Pour compenser les problèmes du radar certains projets visent actuellement à fusionner les informations obtenues avec un radar et un télémètre laser de façon à couvrir le plus grand angle possible. C'est notamment le cas du projet européen CARSENSE, dont le centre de robotique fait partie, qui fusionne les informations données par deux radars, un télémètre et deux caméras pour une très bonne détection des cibles à l'avant du véhicule. Nous utiliserons une approche similaire en fusionnant les informations d'un télémètre et de caméras pour la détection frontale.

## Autres détecteurs d'obstacles

On considère ici les capteurs, autres que les télémètres, capables de détecter des obstacles dans une scène tridimensionnelle. Il s'agit de capteurs bidimensionnels, passifs ou actifs, dont l'exploitation des données permet d'en déduire la présence d'obstacles et de les positionner dans l'environnement.

### 1. Caméras :

Il s'agit ici du capteur ayant le plus d'applications possibles. La détection d'obstacles se fait de deux manières :

- par stéréovision. Il s'agit alors de faire de l'appariement de points particuliers sur les images de deux caméras (ou plus) acquises simultanément. L'appariement permet alors par rétroprojection d'obtenir la distance entre chaque caméra et tous ces points particuliers. Ce traitement permet d'obtenir une carte tridimensionnelle assez précise de l'environnement présent dans le champ des caméras, mais il s'avère extrêmement lourd en termes de coût de calcul et de contraintes lors de l'implémentation. En effet, pour obtenir une bonne précision sur la carte de profondeur il est impératif de connaître très précisément les paramètres des caméras (distance focale, distorsion, position et direction de l'axe optique, ...), de s'assurer que les caméras sont suffisamment éloignées les unes des autres et de garantir une immobilité de tous ces paramètres au cours du temps. De plus, l'appariement nécessite de trouver des points particuliers facilement détectables dans les deux images ce qui peut s'avérer fastidieux. De telles contraintes rendent l'utilisation de la stéréovision pour des applications temps-réel embarquées peu intéressantes pour l'instant mais cela pourrait changer par la suite avec l'augmentation de la puissance de calcul des machines embarquées et avec l'arrivée de systèmes de calibration automatique. Cette approche est d'ailleurs étudiée actuellement par l'INRIA dans le projet CARSENSE.

- par reconnaissance de formes, puis par exploitation des caractéristiques connues de cet obstacle pour rétroprojeter son image dans la scène 3D et ainsi obtenir sa position dans la scène réelle (voir figure 3). Un tel traitement se fait généralement dans le cas mono-caméra et se révèle assez simple à implémenter, performant et rapide. Malheureusement, il n'est adapté qu'à des cibles dont le modèle est connu et facilement reconnaissables (les voitures sont ainsi un bon type de cible puisque leur largeur – caractéristique utilisée généralement pour la rétroprojection – est à peu près constante sur tous les modèles de tous les constructeurs – entre 1m60 et 1m80) et s'avère ainsi assez peu précis par rapport à un télémètre ou à un système stéréo correctement calibré du fait des erreurs sur le modèle. Cette technique est actuellement utilisée au centre de Robotique et dans beaucoup d'autres laboratoires de recherche.

Le principal avantage de cette méthode de détection d'obstacles réside dans son coût, qui, comparé à celui de télémètres radar ou laser, est très faible puisque l'on peut utiliser ici des caméras assez courantes qui ne coûtent que quelques milliers de francs (contre quelques dizaines à quelques centaines de milliers de francs pour un télémètre). De plus ce type de capteur peut être utilisé pour d'autres applications ce qui fait de lui un capteur très polyvalent.

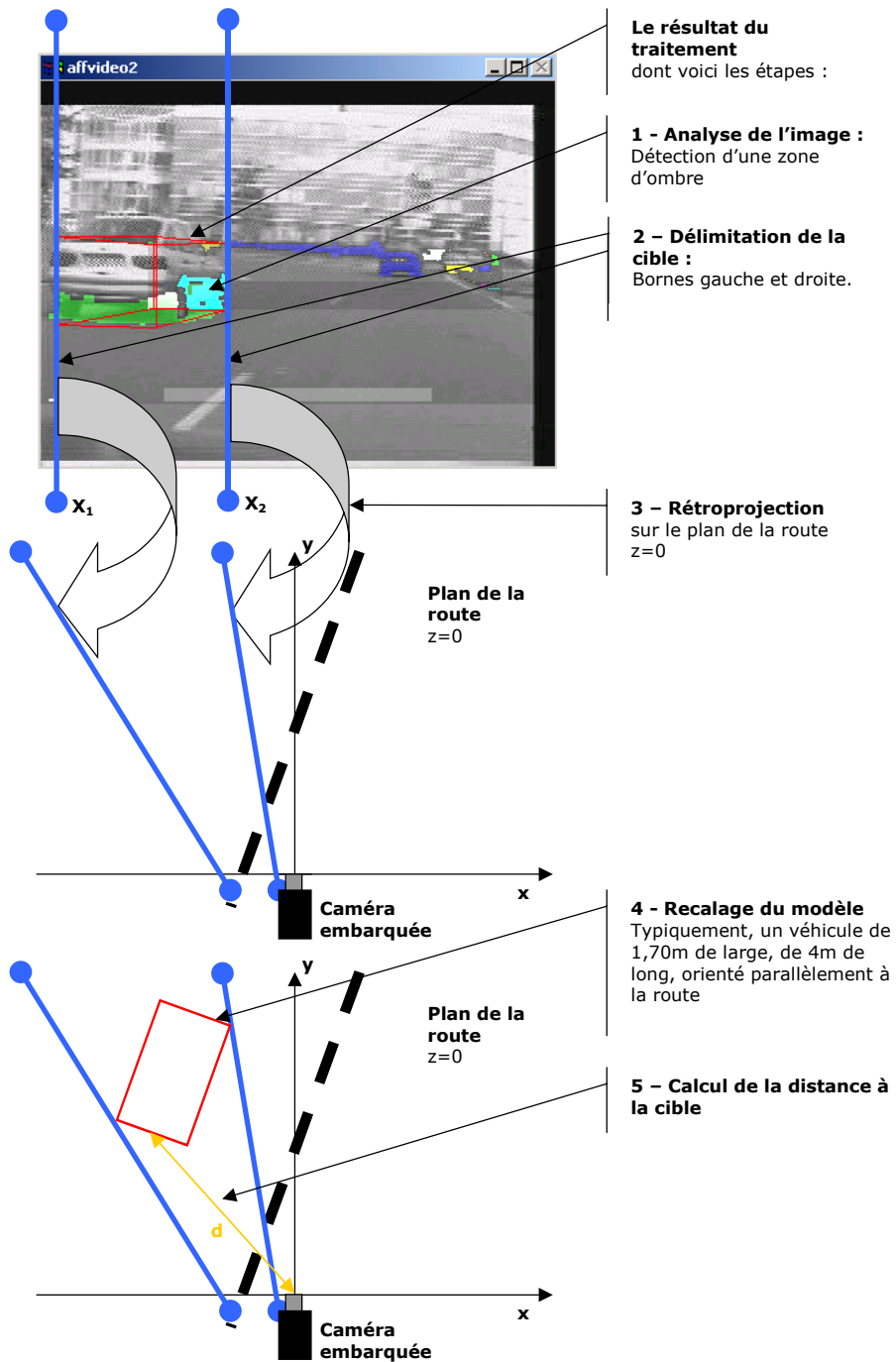


Figure 3 : Principe de la rétroprojection avec modèle

## 2. Capteurs proche infrarouge :

Il s'agit simplement de caméras dont les CCD sont sensibles dans le domaine du proche infrarouge (780-1000 nm). Cette solution est dite active puisqu'elle nécessite la présence d'une source lumineuse pour fonctionner. Il faudra donc illuminer la scène avec un éclairage infrarouge pour que la solution fonctionne. Un exemple typique de cette solution est le système "nightshot" qui équipe tous les caméscopes SONY depuis quelques années et qui permet de "voir" de nuit.

Cette solution à l'avantage d'être devenue assez courante et donc d'être relativement abordable, de plus elle n'est pas très encombrante. Néanmoins, elle reste sensible aux mêmes

problèmes que les caméras "visibles" puisqu'un éclairage à contre sens ou des gouttes de pluie sur l'objectif perturbent grandement les données. Enfin, la portée de tels capteurs est limitée à la portée de l'éclairage ce qui pose des problèmes de portée de détection.

### 3. Capteurs thermiques :

Il s'agit ici encore de caméras mais qui, cette fois, ne sont sensibles qu'à l'infrarouge lointain émis par tout corps chaud (longueurs d'ondes : 8 à 12  $\mu\text{m}$ ). On montre (figure 4 et 4bis) des exemples d'images infrarouges sur route, on voit nettement l'intérêt de ce capteur qui permet de détecter de très loin des véhicules ou des piétons même en pleine nuit.



Figure 4 : Scène nocturne IR présentant véhicules et piétons



Figure 4bis : Vue arrière IR d'un véhicule

Ces caméras présentent l'avantage d'être très bien adaptées au contexte routier puisque tout véhicule roulant chauffe ces pneus et son échappement, les rendant très facilement détectables sur une image infrarouge. De plus, un tel dispositif permet de détecter très facilement les piétons puisque ceux-ci apparaissent encore une fois très clairement du fait de la température de leur corps (de même que tous les animaux à sang chaud pouvant traverser la route). Ces capteurs offrent une fréquence d'acquisition (30 Hertz pour les plus courants) comparable à celle des caméras classiques et permettent de reprendre le même type de traitements. Ils ne sont sensibles ni à un éblouissement par d'autres véhicules, ni à la présence d'eau sur l'objectif, ce qui fait d'eux des capteurs très robustes. Enfin, les caméras thermiques permettent comme nous l'avons vu de détecter des obstacles non éclairés même de nuit et sans éclairage supplémentaire, ce qui présente un avantage de sécurité non négligeable.

Malheureusement, ces capteurs thermiques non refroidis sont extrêmement chers puisqu'on les trouve en vente à plus de 10000 dollars, ils ne permettent pas de détecter les objets froids (voiture arrêtée par exemple) et ne peuvent être placés dans l'habitacle du véhicule puisque le pare-brise n'est pas transparent à ces longueurs d'ondes. Il existe d'autres capteurs thermiques refroidis qui présentent l'avantage d'être moins bruyants mais plus encombrants et beaucoup plus chers.

Une solution d'aide à la conduite de nuit est actuellement à l'étude chez PSA qui utilise à la fois un système dans le proche infrarouge et une caméra thermique pour aider le conducteur à détecter les obstacles de nuit. Un système de vision permettant de détecter les obstacles dans de mauvaises conditions climatiques (en effet la caméra thermique n'est pas sensible à l'eau) ou de nuit semble essentiel pour réaliser correctement et par tout temps les fonctions demandées au cindynamètre.



## Détection de la route et de la signalisation

Nous considérons dans cette partie tous les capteurs qui permettent de détecter la route, les voies de circulation, ainsi que l'approche du véhicule sur une infrastructure potentiellement dangereuse (virage, intersection, ...). Ces capteurs doivent aussi permettre de détecter et d'interpréter correctement les éléments de signalisation qui renseignent sur les limitations et sur les éventuels dangers présents plus loin. Il existe en fait deux types de capteurs qui s'avèrent complémentaires pour réaliser ces deux fonctions, ceux qui connaissent à l'avance le trajet de la route et la signalisation et peuvent donc prédire sa forme, et ceux qui "découvrent" la route et qui la détectent véritablement.

### 1. Systèmes de navigation :

Il ne s'agit pas à proprement parler d'un capteur mais plutôt de la fusion des données recueillies auprès de plusieurs capteurs. Les systèmes de navigation sont en effet au moins composés au minimum d'une base de données géographiques, regroupant toutes les informations routières (nom des rues, sens de circulation, position et courbures des virages, nombre de voies, ...), et d'un système permettant le positionnement précis du véhicule par rapport à la carte.

L'exploitation des données de localisation se fait au travers de la base de données géographiques qui permet, grâce au procédé de map-matching, de faire correspondre à la position mesurée une position sur une route présente dans la cartographie. Ceci se fait généralement en associant à une position le segment (correspondant à un morceau de route) le plus proche dans la cartographie. D'autres méthodes permettent de raffiner cette mise en correspondance en étudiant la succession de point mesurés et en la comparant aux différents segments présents dans la cartographie.

Les bases de données géographiques devront être complétées avec la signalisation présente sur la route. Cette application sera d'ailleurs une sous-partie "visible" du cindynamètre sous la forme de la signalétique embarquée qui permet de présenter au conducteur la signalisation à l'avance évitant ainsi que des erreurs de conduite (dépassement de la vitesse autorisée, refus de priorité, ...) ne soient commises à cause d'une faute d'inattention, du masquage d'un panneau par la végétation ou par un autre véhicule (figure 5).

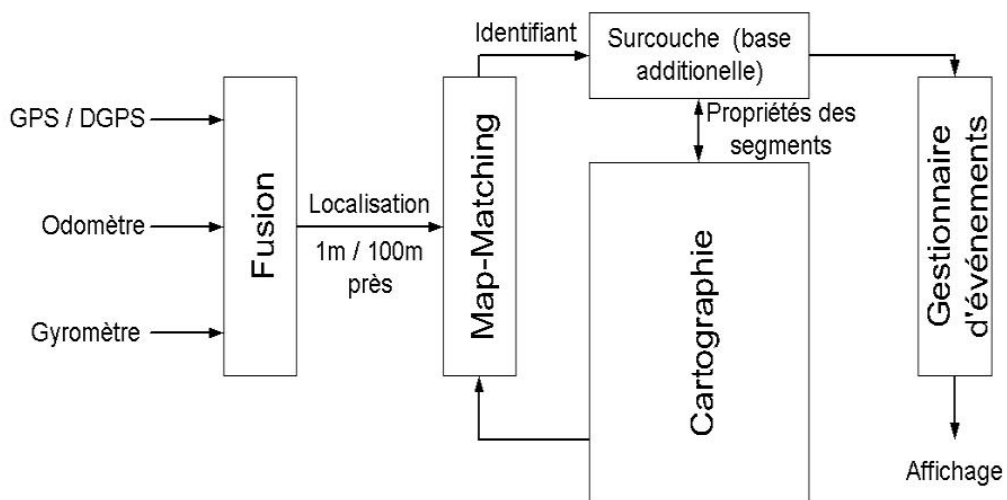


Figure 5 : Schéma de principe de la signalétique embarquée

Le système de base utilisé dans tous les systèmes de navigation commerciaux actuels est le GPS. Certains systèmes récents rajoutent quant à eux les informations d'une centrale inertielle et éventuellement des odomètres pour obtenir un positionnement extrêmement précis. L'hybridation des données de ces trois capteurs n'est malheureusement pas encore totalement maîtrisée mais de nombreux groupes de recherches y travaillent, y compris à l'Ecole des Mines. Celle-ci permet de corriger en temps-réel les dérives et erreurs de ces trois capteurs, ainsi que de continuer à avoir la trajectoire du véhicule même lorsque le GPS ne peut plus déterminer sa position (pas assez de satellites visibles par exemple). Il arrive aussi que le GPS introduise de très grandes erreurs de position en ville qui pourrait mener à une erreur de navigation. Ces erreurs sont dues à la proximité des rues dans les zones urbaines et aux échos des signaux des satellites qui peuvent induire en erreur le GPS.

Ces systèmes de navigation hybridés présentent de nombreux avantages pour nous du fait de l'efficacité du positionnement (on cherche en effet à obtenir une précision sub-métrique sur le positionnement) et donc de la quantité d'informations disponibles au travers de la base de données géographiques. En effet, il n'est pas obligatoire de se limiter à la forme des routes et à la signalisation, il pourrait être intéressant pour le cindynamètre de disposer par exemple des informations sur le trafic moyen sur une route ou des "points noirs" – lieux avec un très grand nombre d'accidents recensés.

Ces systèmes présentent néanmoins certains inconvénients majeurs. Le premier, et non le moindre, repose sur l'état de développement de ces systèmes, qui ne sont pas encore au stade commercial et dont la fiabilité n'est pas encore parfaite. Un deuxième problème provient de la nécessité de disposer de bases de données géographiques et donc d'une mise à jour régulière de ces informations. Ce problème apparaît nettement lorsque l'on considère une zone de travaux par exemple : la signalisation temporaire qui en découle n'apparaît pas sur les bases de données géographiques tout comme les éventuelles modifications de la forme de la route. Ce problème pourra être résolu soit par l'ajout d'un système de mises à jour régulières (ou lorsqu'elles deviennent nécessaires) par le biais d'une connexion sans fil à un serveur (via une liaison Internet WAP par exemple), soit par l'utilisation d'un système de détection optique. Enfin, ces systèmes de navigation hybridés coûtent extrêmement chers à cause des composants utilisés. En effet, une centrale inertielle de bonne qualité coûte environ 90000 francs, un DGPS (GPS différentiel permettant d'obtenir une meilleure précision) et sa base de données coûtent 80000 francs plus un abonnement annuel pour bénéficier du service DGPS. Tous ces capteurs sont néanmoins déjà en possession de l'Ecole des Mines.

## **2. Systèmes optiques :**

Il s'agit en fait d'un système utilisant une ou plusieurs caméras couplées à un ordinateur permettant de détecter la route, les voies et la signalisation. Un tel système n'existe actuellement qu'au stade de la recherche mais plusieurs laboratoires obtiennent d'ores et déjà des résultats probants (figure 6). Nous développons actuellement ce système à un niveau plus abouti pour réaliser une sous-application du cindynamètre : la bande de roulement virtuel qui permettra de prévenir le conducteur s'il sort involontairement (par lassitude ou par inattention) de sa file (virtuelle dans le cas de l'absence de marquages au sol ou réelle dans le cas contraire).

De tels systèmes se basent généralement sur le principe de la détection de lignes dans l'image et sur leur rétroprojection (toujours en utilisant la connaissance des paramètres de la caméra obtenus par calibration) dans la scène 3D pour faciliter leur interprétation.



*Figure 6 : Exemple de détection de marquage au sol réalisé au CAOR*

Le principal problème inhérent à ce système optique est la nécessité d'être capable d'extraire de l'image toutes les informations nécessaires. Ceci ne pourra être fait qu'à l'aide d'algorithmes qui requièrent souvent beaucoup de puissance de calcul ce qui pourrait être problématique pour l'exécution en temps-réel de tous les sous-systèmes du cindynamètre avec un ordinateur courant. Il pourrait s'avérer nécessaire d'utiliser une ou plusieurs machines très puissantes pour obtenir de bons résultats. On nuancera néanmoins ce problème car la puissance des ordinateurs est en constante augmentation alors que leur prix baisse, des machines courantes suffisamment puissantes seront donc probablement disponibles dans quelques mois.

Nous constatons l'intérêt que présente l'utilisation conjointe d'un système de navigation et d'un système optique pour réaliser une détection fiable de l'environnement routier (forme de la route, marquage au sol, signalisation, ...). Les bases de données géographiques permettent en effet de disposer d'informations de dangerosité de la route qui ne sont pas visibles visuellement, ainsi que d'informations sur la route quelques centaines de mètres voir quelques kilomètres à l'avance, bien au-delà de la portée d'une caméra ou de l'œil humain. Le système de vision permet quant à lui, de détecter des modifications apportées à la route depuis la dernière mise à jour des bases de données, permettant ainsi de prendre en compte les zones de travaux, qui sont souvent des zones dangereuses.

## Capteurs météorologiques

Le cindynamètre doit pouvoir évaluer le risque pris sur la route par tout temps. Pour ce faire, il doit disposer de capteurs capables de le renseigner sur les conditions météorologiques (pluie, givre, neige, brouillard, humidité de la chaussée, ...) assez régulièrement. En effet, le niveau de danger ne sera pas le même suivant que le conducteur roule sur autoroute à 110 km/h par temps clair ou dans le brouillard. C'est pourquoi le cindynamètre doit être doté de capteurs météorologiques efficaces.

Ce type de capteurs a été développé pour des applications aéronautiques, de surveillance routière et des applications météorologiques à partir de bases fixes. Néanmoins certains de ces capteurs ont été ou sont actuellement adaptés pour des applications embarquées et pourraient ainsi constituer des systèmes intéressants pour la réalisation complète du cindynamètre.

### **1. Capteurs de pluie :**

Il s'agit ici de l'un des capteurs les plus en vogue actuellement puisqu'il permet de détecter la présence de pluie sur le pare-brise et d'activer les essuie-glaces à une fréquence adaptée aux précipitations. Un tel capteur serait très intéressant pour le cindynamètre, puisqu'il détecte la présence de la pluie et peut mesurer l'intensité des précipitations, pour réduire les vitesses maximales autorisées, prendre en compte une gêne du conducteur due à la baisse de visibilité et éventuellement modifier le type d'algorithme utilisé pour la détection de l'environnement.

Ces capteurs fonctionnent par réflexion d'ondes lumineuses (émises par le capteur) sur le pare-brise. Lorsque le pare-brise est mouillé, son coefficient de réflexion est modifié en fonction de la surface mouillée sur le pare-brise. En effet, lorsque l'eau entre en contact avec le pare-brise, une partie de la lumière est diffractée vers l'extérieur, le système mesure alors la chute d'intensité lumineuse reçue. Le système augmente alors la vitesse des essuies-glaces en fonction du besoin. En échantillonnant très rapidement (moins d'un dixième de seconde) ces mesures, le système peut ainsi permettre de détecter très rapidement une gerbe d'eau envoyée par un véhicule voisin et ainsi réduire le temps "d'aveuglement" du conducteur.

Une deuxième méthode pour détecter la pluie consiste à utiliser un capteur capacitif sous une plaque de verre et à mesurer le changement de charge induit par la chute de gouttes de pluie sur cette plaque de verre. Ce système permet lui aussi d'obtenir une détection relativement bonne de la pluie. Il n'est malgré tout que très peu utilisé dans les applications automobiles et reste donc confiné aux stations météorologiques fixes.

De tels capteurs apparaissent extrêmement avantageux dans la mesure où ils permettent de détecter des conditions souvent dangereuses, ou du moins potentiellement, tout en étant devenus très courants, facilement implantables, peu chers et très peu encombrants. Leur utilisation dans le cindynamètre semble donc particulièrement conseillée.

## **2. Capteurs de visibilité :**

La visibilité est un des aspects majeurs pour l'amélioration de la sécurité routière. En effet, le taux d'accidents graves augmente de façon très significative lorsque les conditions de visibilité sont réduites car les conducteurs n'adaptent pas tous leur vitesse à la distance de visibilité. Par condition de brouillard ou de fortes pluies, la distance de visibilité, définie comme la distance au-delà de laquelle les obstacles ne sont plus détectés par le conducteur, peut chuter à quelques mètres seulement. Dans de telles conditions, le conducteur n'a que très peu de temps pour réagir si le véhicule le précédant freine, il faut donc que sa vitesse soit faible à ce moment. La présence d'une caméra thermique pour la détection d'obstacles en conditions de mauvaise visibilité pourrait permettre de donner au conducteur une meilleure visibilité puisqu'elle n'est pas gênée par la pluie. Néanmoins, il faut considérer le fait que tous les véhicules ne sont pas équipés de tels systèmes et que l'on n'a pas intérêt à inciter le conducteur à rouler plus vite dans de telles conditions. En effet, une caméra thermique fonctionne très bien pour des obstacles chauds mais elle ne permet pas de distinguer précisément les bords de la route, la glissière de sécurité ou des obstacles fixes et froids. La caméra thermique pourra donc être exploitée pour essayer de repérer des obstacles beaucoup plus tôt mais sa sortie ne devra pas être représentée au conducteur.

Le cindynomètre doit donc être capable de détecter la présence d'un masque à la visibilité, de mesurer la distance de visibilité et d'inciter le conducteur à réduire sa vitesse, tout en gardant au maximum ses facultés de détection des obstacles et des dangers proches.

Il n'existe que très peu de capteurs capables de mesurer la distance de visibilité et la plupart sont utilisés pour la gestion des files d'attente des avions sur les aéroports. En effet, il est essentiel pour un aéroport de disposer d'une mesure correcte de la visibilité au sol afin d'informer les pilotes de celle-ci et de planifier les vols en conséquence. De plus, la législation impose une fermeture des aéroports pour raisons de sécurité lorsque la visibilité devient trop mauvaise. Ces capteurs sont aussi utilisés par les stations météorologiques automatiques près des grands axes routiers ou ferroviaires pour avertir les usagers ou les cheminots de la présence de zones de brouillard à l'avance. La plupart des capteurs de visibilité sont donc utilisés sur des stations fixes, leur utilisation en mode embarqué risque donc de poser certains problèmes.

Ces capteurs, de type dit "forward-scattering", reposent sur le principe de la mesure de la dispersion d'un faisceau laser par les molécules d'eau contenu dans l'air. Cette dispersion est d'autant plus forte que le nombre de molécules d'eau est grand, ainsi une très grande partie du faisceau incident sera dispersée dans un brouillard très dense alors que le faisceau ne sera pratiquement pas dispersé par temps clair. Le principe de fonctionnement de ce capteur est donné dans la figure 7.

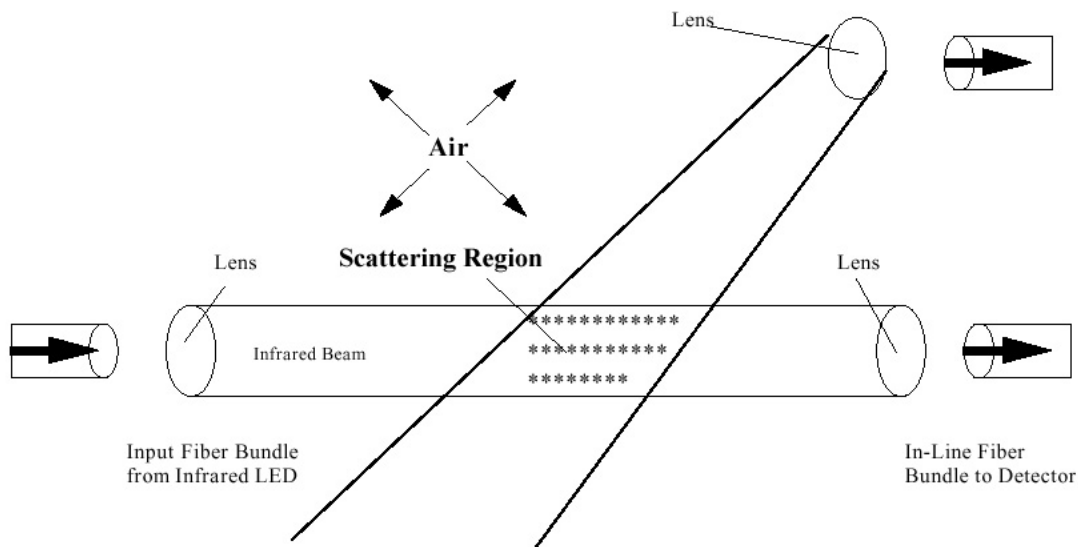


Figure 7 : Schéma de principe d'un capteur de visibilité de type "forward-scattering"

Ce type de capteur a l'avantage d'être assez précis, d'avoir une très grande plage de détection (la visibilité peut-être mesurée jusqu'à 200km bien que cela nous soit inutile) et d'être commercialisé. Le principe de fonctionnement est donc très connu et très bien maîtrisé, ce qui nous permettrait de réduire sensiblement les coûts d'installation, de mise au point et de calibrage de ce capteur. Malheureusement, d'autres contraintes rendent son utilisation quasiment impossible pour une application embarquée. Tout d'abord, ces systèmes sont assez encombrants puisqu'ils occupent un espace de 0.4\*0.7\*0.2 mètres. Deuxièmement, ces capteurs sont prévus pour donner une mesure locale de la visibilité et ils ne permettent donc pas de déterminer si l'on arrive sur une zone de très faible visibilité. De plus, ils ont été conçus pour être utilisés sur des bases fixes, leur utilisation sur un véhicule roulant pourrait poser des problèmes dus aux vibrations et au mouvement de l'air. Enfin, ces capteurs étant destinés à un secteur d'activité très restreint, ils sont extrêmement chers. Ces capteurs pourraient néanmoins être utilisés dans le cindynamètre s'il était prouvé que ni les vibrations ni les mouvements de l'air induits par le déplacement du véhicule ne gênent la mesure.

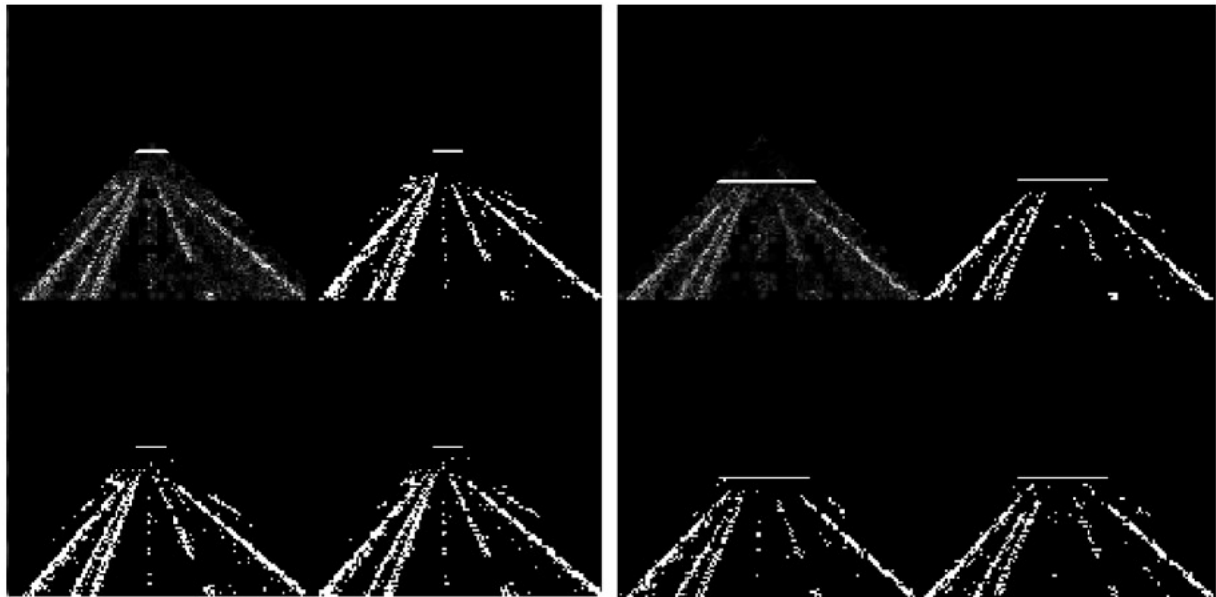
### 3. Caméras :

Nous retrouvons ici encore ces capteurs dont le nombre d'applications possibles est très grand. Dans le cadre des capteurs météorologiques, une caméra pourrait être utilisée pour déterminer la présence de mauvaises conditions climatiques grâce à l'utilisation d'algorithmes appropriés. Ainsi, des chercheurs allemands ont développés une méthode à base d'ondelettes pour déterminer la distance de visibilité à partir des images fournies par une caméra de surveillance [C. Busch, E. Debes - Wavelet Transform for Analyzing Fog Visibility in *IEEE Intelligent Systems* 1998]. Les figures 8 et 9 donnent une idée des résultats obtenus.

Dans le cadre du contrat européen CARSENSE, le LIVIC a développé un algorithme de modélisation du brouillard par traitement d'images et d'estimation de la visibilité.



*Figure 8 : Images obtenues par temps clair et par brouillard*



*Figure 9 : Images après traitement par ondelettes.  
La limite horizontale donne la distance maximale de visibilité.*

On voit sur les deux figures précédentes que l'utilisation de la vidéo pour la détermination de la distance de visibilité est faisable dans le cadre de la vidéo-surveillance. L'adaptation d'un tel système pourrait se faire assez bien sur un système embarqué même si elle nécessite quelques évolutions des algorithmes utilisés.

L'utilisation de la vidéo apporte de plus l'avantage de ne pas nécessiter de capteurs supplémentaires ce qui réduit les coûts du système. Une caméra pourra aussi détecter la présence de pluie sur le pare-brise et pourra donc servir de capteur de conditions météorologiques même si ses performances sont forcément moins bonnes qu'un capteur spécialisé, tant en termes de quantification des conditions climatiques, qu'en termes de rapidité.

## Evaluation de l'état de surface de la route

Les capteurs météorologiques devraient permettre au cindynamètre de détecter la présence de mauvaises conditions climatiques perturbant la conduite du fait d'une réduction de la visibilité ou de l'humidification de la route pendant une averse. Néanmoins, sans système d'évaluation de l'état de surface de la chaussée, le cindynamètre n'a aucun moyen de déterminer le coefficient d'adhérence des pneus par rapport à la chaussée, or celui-ci est essentiel pour déterminer le risque encouru. Il nous faut donc pouvoir détecter la présence de "contaminants" (eau, neige, glace, huile, ...) sur la route et en déduire son adhérence minimum sur le trajet du véhicule. Il existe de nombreux capteurs fixes (généralement placés dans le bitume) qui permettent de détecter la présence de ces "contaminants" mais il y a beaucoup moins de capteurs embarqués pour évaluer l'état de surface de la route. De nombreux constructeurs, tels que BMW par exemple, essaient actuellement de combler ce retard et développent des systèmes d'évaluation du coefficient d'adhérence du véhicule à la route.

La technique la plus courante dans les détecteurs embarqués repose sur les propriétés physique de l'eau dont le spectre d'absorption dans l'infrarouge varie suivant l'état physique des molécules d'eau comme le montrent les figures 10 et 10 bis.

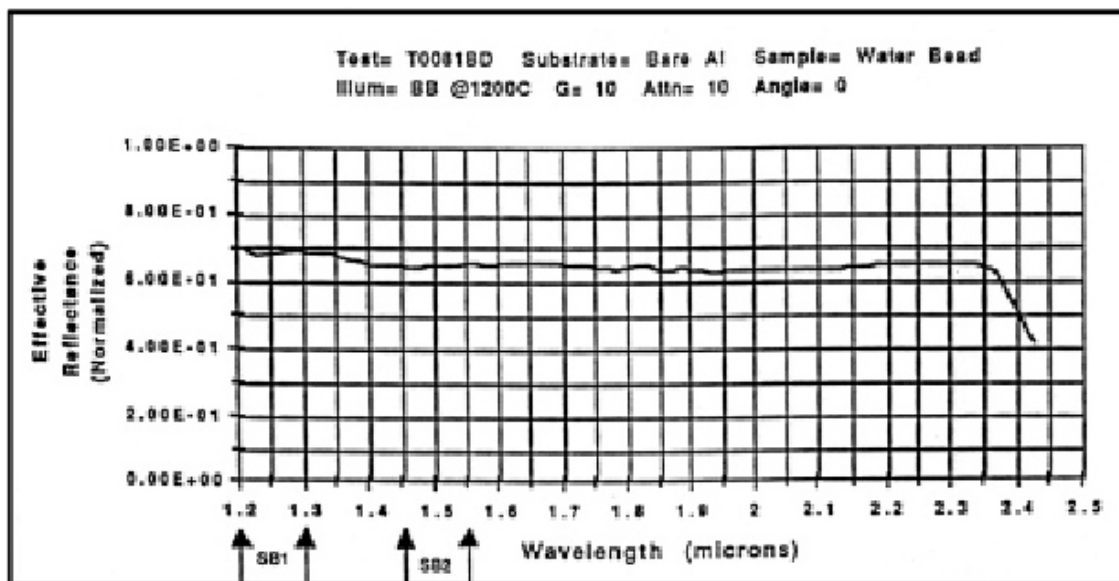


Figure 10 : Courbe d'absorption de l'eau dans le proche IR



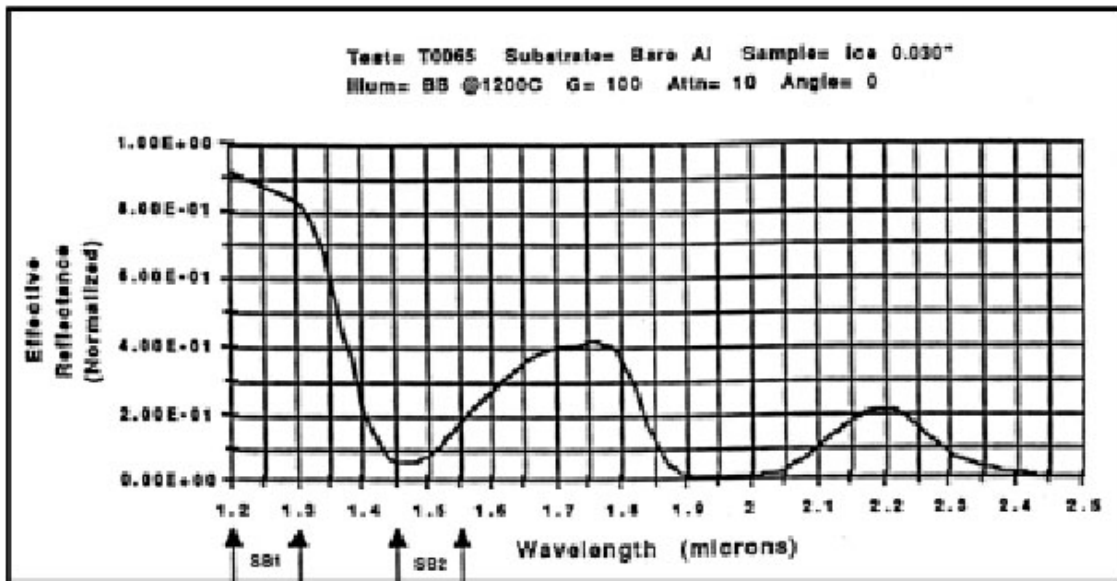


Figure 10 bis : Courbe d'absorption de la glace dans le proche IR

### 1. Capteurs infrarouges actifs :

Il s'agit ici du type de capteurs le plus étudié actuellement pour une application automobile embarquée car ils sont très petits et peu chers. De tels capteurs émettent un faisceau infrarouge et mesurent la puissance du flux réfléchi sur certaines longueurs d'ondes caractéristiques des "polluants" (voir figure 11).

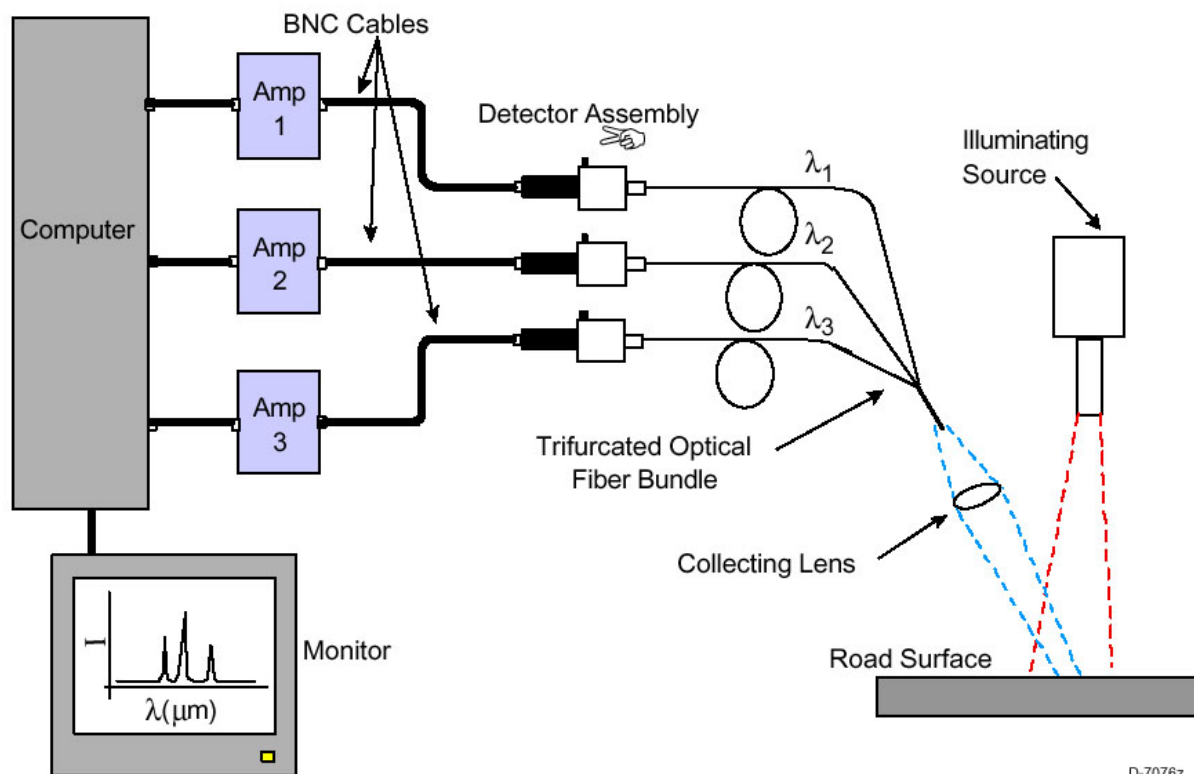


Figure 11 : Schéma de principe d'un capteur infrarouge actif

Ce système permet de caractériser le "polluant" majoritaire et même de déterminer relativement précisément le taux de chaque polluant sur le bitume. Malheureusement, ce type de capteurs doit être protégé des pollutions extérieures et n'offre une distance de détection que de quelques dizaines de centimètres. Il ne pourra donc être utilisé qu'à l'avant du véhicule pour déterminer l'état local de la route au niveau du véhicule mais ne permettra pas de prévenir le conducteur de l'arrivée d'une zone humide ou verglacée. Ce type de capteur est néanmoins utilisé par BMW pour améliorer les systèmes de contrôles de freinage et d'antipatinage en les informant sur l'adhérence de la route (figure 12).

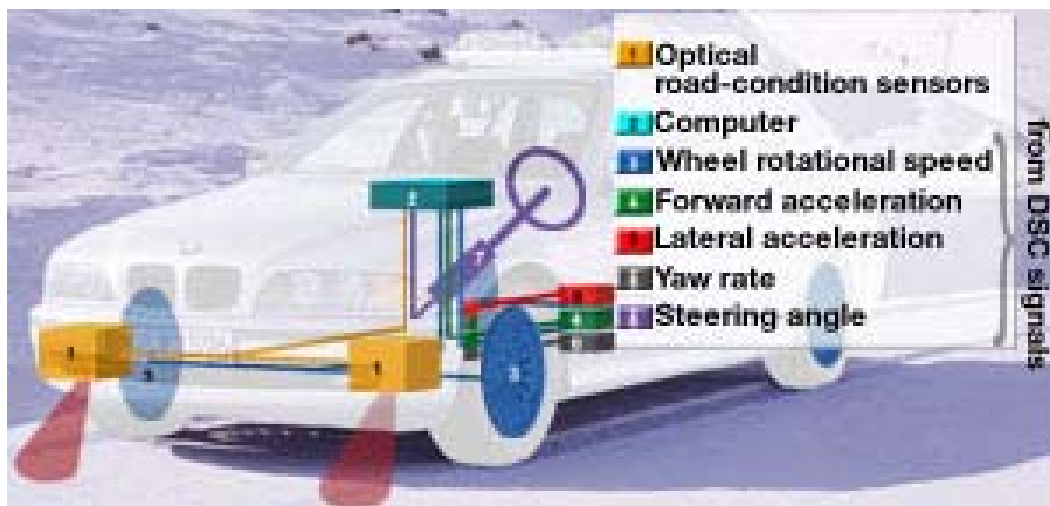


Figure 12 : Exemple d'utilisation de capteurs IR actifs par BMW

## 2. Capteurs infrarouges passifs :

Il s'agit ici d'utiliser une caméra infrarouge passive capable de détecter la présence d'eau, de neige et de glace sur une route sans utiliser de source lumineuse. Un tel détecteur est actuellement en cours de finalisation au Canada dans une "spin-off" de la société M.D Robotics. La figure 13 montre les résultats obtenus avec une première version de ce capteur.

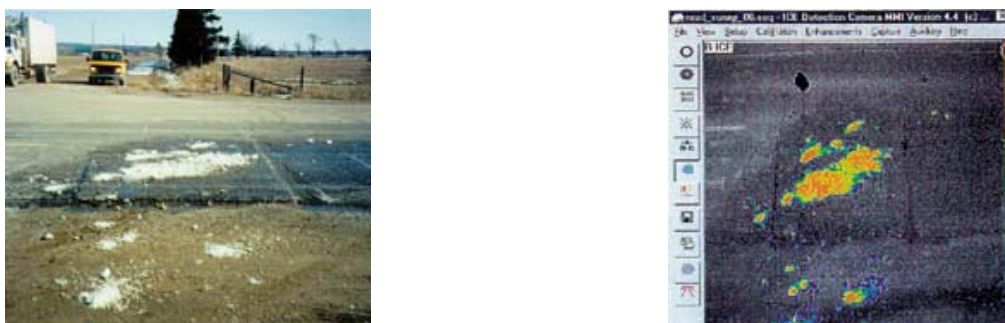


Figure 13 : Exemple de détection de verglas par une caméra infrarouge passive

Un tel capteur apporte plusieurs avantages par rapport à une solution active. Tout d'abord il peut être utilisé à très grande distance comme l'a prouvée une expérience menée dans le cadre du projet américain ITS-IDEA - projet n° 34 : **Remote Passive Road Ice Sensor System (RPRISS)** – qui a permis de détecter une tâche de neige de 3 mètres de diamètre à 700 mètres de distance à partir d'un mât de 20 mètres de haut. Appliqué sur un véhicule un tel système pourrait détecter des zones verglacées à 50 mètres de distance laissant ainsi largement le temps au conducteur de ralentir ou même d'éviter cette plaque de verglas.

De plus, il est beaucoup moins sensible aux perturbations induites par un éclairage extérieur et son placement en hauteur sur le véhicule l'expose beaucoup moins aux diverses pollutions (éclaboussures, poussières, ...) que l'on rencontre avec un capteur actif monté sur le châssis du véhicule. Ce placement pose néanmoins un problème d'intégration dans le véhicule du point de vue esthétique et pratique puisqu'il faut réaliser une coque protectrice transparente aux infrarouges sur le toit du véhicule.

Ce type de capteurs pose néanmoins certains problèmes car ils demandent des traitements beaucoup plus lourds (même si ceux-ci peuvent être réalisés par un DSP embarqué dans la caméra) et comme nous l'avons vu précédemment avec les caméras thermiques, le capteur en lui-même est beaucoup plus cher. De plus, la détection se fait grâce à l'éclairage naturel externe ce qui pourrait poser des problèmes dans des conditions de visibilité mauvaise ou de nuit.

### **3. Autres approches :**

Les deux méthodes que nous avons exposées précédemment permettent par des mesures physiques directes de détecter la présence de "polluants" sur la route et d'en déduire approximativement le coefficient d'adhérence de la route. Ce calcul se fait grâce à des tables donnant le coefficient d'adhérence moyen selon les "polluants" présents sur la route, mais il ne prend pas en compte le type de revêtement considéré. En effet, chaque type de revêtement a un comportement différent selon les conditions climatiques. De même, le coefficient d'adhérence sera très différent selon que l'on le mesure sur le goudron ou sur du pavé par exemple. Une méthode pour se départir de ce problème consisterait à calculer le coefficient d'adhérence non pas à l'aide de tables d'adhérence moyennes mais en se basant sur le pire-cas. Ceci reviendrait néanmoins, à alerter le conducteur beaucoup trop souvent et risquerait donc de détourner son attention.

Pour pallier ces problèmes plusieurs approches sont actuellement en cours de développement qui consistent à mesurer le coefficient d'adhérence local de la route grâce à divers types de mesures.

Une première approche vise à "écouter" le bruit du contact pneu sol et à en déduire le coefficient d'adhérence. Cette approche semble relativement logique si l'on pense aux différents bruits que fait un véhicule selon qu'il roule sur un revêtement lisse et sec, ou très granuleux et mouillé. Elle est néanmoins très difficilement applicable dans le cadre du cindynamètre car elle nécessiterait une calibration pour chaque type de pneu et de sol et poserait de nombreux problèmes dus à la modification du bruit avec l'usure des pneus ou simplement à l'apparition d'échos dans les tunnels ou près d'un mur. La mesure du bruit de contact pneu-sol est actuellement utilisée principalement pour des applications d'amélioration du confort des usagers et des riverains, son application à la mesure du coefficient de frottement restant soumise à beaucoup trop de contraintes.

Une deuxième approche actuellement développée chez certains constructeurs vise à déterminer le coefficient d'adhérence de la route grâce à des caméras ultra-rapides. Il s'agit alors de pouvoir mesurer précisément la taille des aspérités du goudron et d'en déduire l'adhérence qui en découle. Cette application du traitement d'images n'est encore qu'à l'état de projet de recherches et pose donc de nombreux problèmes qui restent à résoudre (traitement à utiliser, protection contre les pollutions, ...).

## Capteurs Comportementaux

De très nombreuses études ont montré que le conducteur du véhicule était responsable directement de plus de 75 % des accidents, à cause d'une vitesse excessive, d'un manque de vigilance, d'un comportement trop agressif ou d'une réaction inadaptée à la situation. Le cindynamètre doit donc être capable de détecter et d'identifier les comportements du conducteur afin de pouvoir déterminer à quels types de risques il s'expose.

Ces capteurs doivent donc être capables de détecter un défaut d'attention du conducteur, mais aussi de caractériser des comportements prédéfinis comme une conduite agressive ou au contraire stressée par exemple. La détermination du type de conduite permettra ainsi d'adapter les niveaux d'alerte en présence d'un danger à la capacité évaluée du conducteur à détecter ce danger et à y faire face.

## Capteurs de vigilance

Le rôle de ce type de capteurs est de détecter une chute de vigilance du conducteur afin de pouvoir focaliser son attention sur la route si besoin est ou même de le réveiller dans le cas d'un endormissement. De tels capteurs ont déjà été développés pour des applications où la vigilance du conducteur est critique pour la sécurité des passagers, comme la conduite de trains ou plus récemment pour les chauffeurs de poids-lourds. La mesure de l'attention ou de la vigilance du conducteur se fait par l'observation de certaines grandeurs physiologiques trahissant un endormissement par exemple.

### **1. Capteurs de pression :**

Ces capteurs ont été développés par la SNCF pour équiper les volants des TGV avec le système VACMA (Veille Automatique avec Contrôle du Maintien d'Appui). Ils analysent en permanence la réponse du chauffeur à une sonnerie déclenchée toutes les 50 secondes et qui doit provoquer une augmentation de la pression des mains du conducteur sur le volant. En cas de non-réponse à cette alarme et à une nouvelle intervenant 10 secondes plus tard le freinage d'urgence est déclenché.

L'application de ce système tel quel n'est bien entendu pas envisageable dans un véhicule, qu'il s'agisse d'un camion ou d'une voiture, car il impose des contraintes beaucoup trop fortes au conducteur. De plus, il s'avérerait très vite ennuyeux pour le conducteur et risquerait de provoquer des réactions de rejet de la part de celui-ci.

Pour une application au cindynamètre, il faudrait plutôt utiliser les capteurs de pression au niveau du volant pour déterminer la force exercée par le conducteur sur celui-ci et pouvoir ainsi caractériser une angoisse du conducteur (qui se caractériserait par une très forte prise du volant) ou une baisse de vigilance (prise très légère en position très basse). Le système ainsi modifié permettrait aussi de détecter les réponses du conducteur face aux alarmes éventuellement déclenchées par le cindynamètre.

## 2. Caméra infrarouge :

La recherche sur les baisses de vigilance a été amorcée, dans le secteur automobile, pour trouver un moyen de lutter contre l'endormissement des chauffeurs de poids-lourds qui est responsable d'une grande partie des accidents impliquant un véhicule lourd. Les résultats de ces recherches ont conduit à la conception d'un capteur vidéo fonctionnant de jour comme de nuit capable de détecter les signes de lassitude chez un conducteur.

Le système proposé repose sur une caméra CCD capable de voir dans le proche infrarouge et d'une source étendue de rayonnement infrarouge (il s'agit de plusieurs diodes électro-luminescentes émettant dans le proche infrarouge) implantées dans le volant. Un ordinateur repère les yeux du conducteur puis calcule la fréquence de clignement et le temps de fermeture des yeux du chauffeur (figure 14). Au-delà d'un certain seuil, le calculateur déclenche une alarme qui réveille le chauffeur.

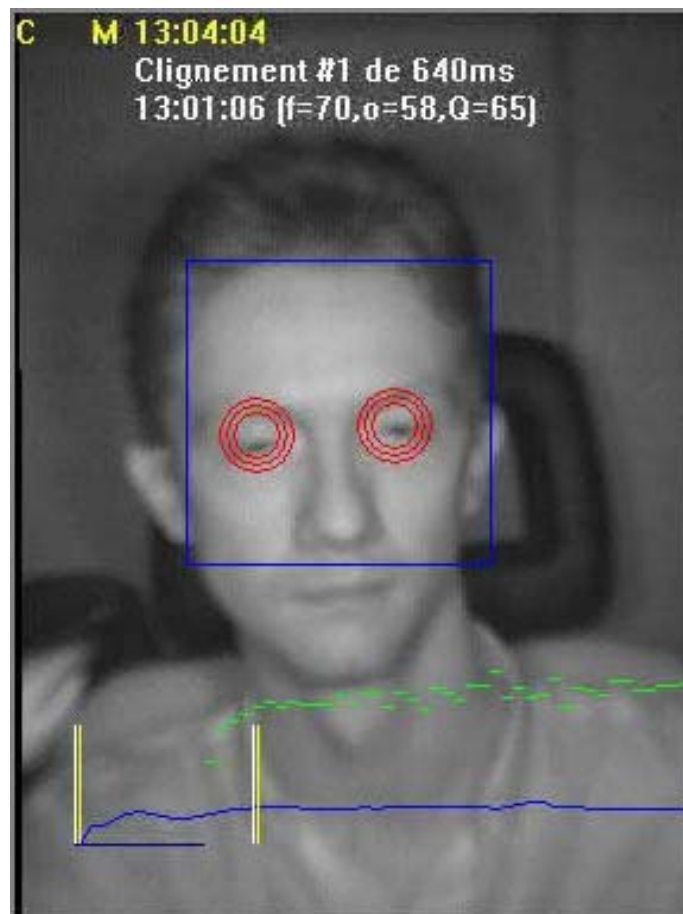


Figure 14 : Exemple de mesure du capteur vidéo de vigilance

Ce système de contrôle de la vigilance par vision présente l'avantage d'être relativement peu cher (la caméra est, comme nous l'avons vu précédemment, devenue très courante et donc peu chère, les diodes quant à elles ne valent que quelques francs). De plus, ses performances sont assez bonnes au niveau de la détection de chute de vigilance et il fonctionne de jour comme de nuit grâce à l'utilisation de l'éclairage infrarouge.

## Evaluation du comportement

Le risque encouru sur la route dépend le plus souvent du conducteur, de son comportement et de ses capacités de réaction, il est donc essentiel que le cindynamètre dispose de capteurs capables de le renseigner sur la vigilance du conducteur (avec les capteurs précédemment cités) mais aussi d'identifier le comportement du conducteur tant au niveau des actions prises dans le cas d'un freinage brusque par exemple (s'il débraye avant de freiner le freinage ne bénéficiera pas du frein moteur) qu'au niveau du comportement envers les autres usagers (refus de priorité, vitesse excessive, ...).

Les capteurs d'évaluation du comportement seront donc principalement des capteurs sur les paramètres de conduite modifiés volontairement par le conducteur (vitesse, changement de voie, dépassement, ...) et sur les actionneurs utilisés (pédalier, boîte de vitesse, clignotants, ...).

### **1. Capteur de vitesse :**

Il s'agit ici du capteur le plus courant puisqu'il est présent sur tous les véhicules. Ce capteur existe sous différentes formes suivant le type de véhicule et suivant son âge. Nous nous intéressons ici uniquement aux capteurs odométriques qui équipent tous les véhicules équipés d'un système ABS, puisque ceux-ci constituent la cible de notre système. Ceci nous permettra ainsi de disposer des vitesses de chacune des roues du véhicule afin de pouvoir détecter un dérapage par exemple. La vitesse globale du véhicule est donnée comme la moyenne des vitesses calculée sur les roues avant.

Un tel capteur nous permet de mesurer une vitesse non adaptée à une situation donnée et surtout une vitesse excessive par rapport aux limites autorisées, ce qui témoigne d'après plusieurs études anglaises d'un comportement de type "road-rage" (comportement à tendance destructrice au volant).

### **2. Capteur d'angle volant :**

Ce capteur est relativement facile à monter sur un véhicule puisqu'il suffit de monter une roue dentée sur l'arbre de direction et de relier celle-ci à un odomètre classique qui comptera les tours de l'axe grâce à un système à fourche optique (voir figure 15). Grâce à la démultiplication offerte par l'usage de roues dentées, ce système permet d'obtenir une mesure très précise de l'angle du volant ainsi que de son évolution au cours du temps.

Le prototype du centre de Robotique de l'ENSMP dispose d'ores et déjà d'un tel capteur ce qui nous permettra d'obtenir facilement les acquisitions des mouvements du volant. Les nouveaux véhicules comme la Laguna II dispose de cette information en série sur leur bus CAN.

Ce système a été développé principalement par les équipes de recherche qui visaient à contrôler latéralement le véhicule en agissant sur le volant. Ils pouvaient ainsi obtenir une mesure précise de l'angle volant à tout moment et ils ont donc pu utiliser toutes les méthodes d'asservissement utilisées en automatisme.





Figure 15 : Implantation du capteur d'angle volant sur l'espace de l'ENSM

La mesure des variations de l'angle volant permet de détecter plusieurs types de comportements éventuellement dangereux. Ainsi, un nouveau conducteur inexpérimenté fixe son regard juste au bout du capot et doit donc corriger très souvent sa trajectoire par rapport à sa file. Ceci se traduit par des variations de l'angle du volant très fréquentes et relativement fortes. Un tel comportement indique ainsi que le conducteur n'est attentif qu'à ce qui se passe juste quelques mètres devant son véhicule et il aura donc un temps de réaction plus long en cas d'un freinage brusque plus lointain. L'identification d'un tel comportement permettra au cindynamètre de moduler la distance de sécurité en fonction du degré d'attention et du temps de réaction estimés du conducteur.

### 3. Capteurs de course pédalier :

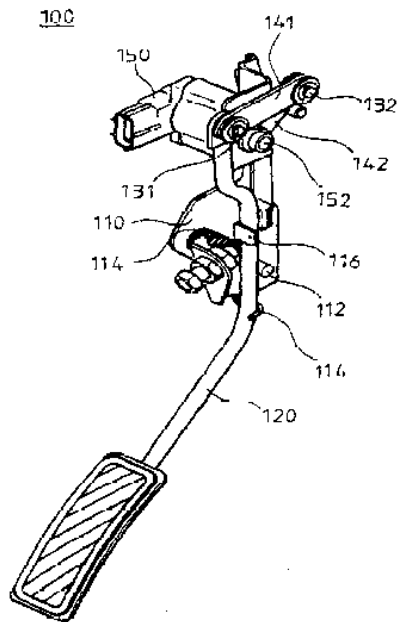
La vitesse et l'évolution de l'angle volant permettent de reconnaître certains comportements à risques mais il existe d'autres types de comportement qui peuvent s'avérer dangereux et qui n'apparaissent qu'en observant la façon dont le conducteur utilise son pédalier que ce soit pour freiner, pour passer les vitesses ou pour accélérer.

Ainsi, de très nombreux conducteurs débrayent en même temps ou même avant de freiner en cas d'urgence, ce qui se traduit par une augmentation de la distance de freinage puisque le véhicule ne bénéficie plus du frein moteur. Un tel comportement sera aisément identifié avec des capteurs de course sur les pédales de frein et d'embrayage. D'autres comportements pourront aussi être caractérisés par la façon de passer les vitesses ou d'accélérer, leur détermination passe donc obligatoirement par l'équipement des trois pédales avec un capteur de course.

Les capteurs de course de pédale n'équipent pour l'instant que la pédale d'accélérateur des véhicules les plus récents ainsi que la pédale de frein pour les véhicules équipés d'un système d'aide au freinage d'urgence. Nous pourrions néanmoins réutiliser ces capteurs sur les trois pédales afin d'avoir le maximum d'informations.

Plusieurs types de mesures peuvent être faits pour déterminer la course d'une pédale. On peut en effet mesurer directement la variation angulaire de la position de la pédale en montant un potentiomètre sur l'axe de rotation de celle-ci (voir figure 16), cette mesure nous donne alors directement l'information recherchée.

FIG. 2



Légende :

141, 142 : Paire de bras de levier

120 : Tige d'accélérateur

150 : Potentiomètre

Figure 16 : Schéma descriptif de l'implantation d'un capteur de course sur une pédale d'accélérateur (issu du brevet n° EP1101646)

Une autre mesure appliquée uniquement dans le cas de la pédale de frein, consiste à mesurer la pression dans le maître-cylindre afin de déterminer la course de la pédale, ces deux grandeurs étant totalement dépendantes. Enfin, un dernier type de mesure consiste à utiliser des capteurs magnétiques pour mesurer soit le déplacement linéaire d'une pièce mécanique liée à la pédale soit directement la rotation de la pédale. Ce dernier type de capteur présente l'avantage de ne pas être en contact avec des pièces en mouvement et semble donc plus résistant. Néanmoins, la mesure effectuée est très sensible au bruit magnétique très présent dans un véhicule (allumage, téléphone portable, ...). Nous préférons donc utiliser la mesure de l'angle de rotation de la pédale qui peut être appliquée aux trois pédales contrairement à la mesure de la pression dans le maître-cylindre.

**4. Autres capteurs :**

Nous avons vu ici certains des capteurs qui peuvent servir à détecter des comportements dangereux. La détection d'autres types de comportements pourra se faire par analyse des données d'autres capteurs (caméra, télémètre, ...) ainsi que par la lecture des informations transitant sur le bus CAN du véhicule (pour les clignotants ou les changements de vitesse par exemple).



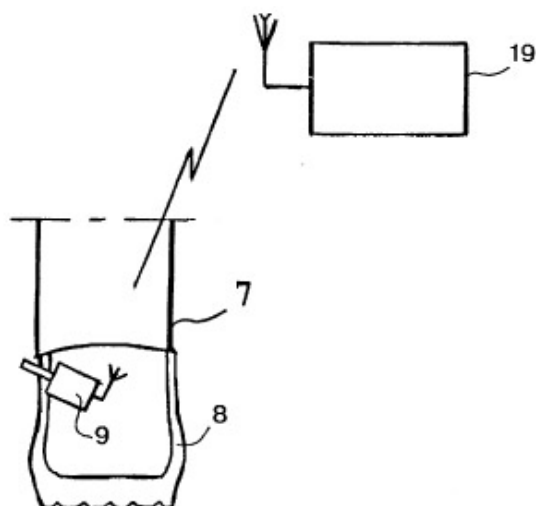
## Evaluation de l'état du véhicule

Nous avons vu dans les parties précédentes de très nombreux capteurs permettant de détecter les obstacles sur la route, les conditions météorologiques, ou les comportements du conducteur. Tous ces paramètres rentrent en compte dans le risque encouru par le conducteur mais il manque ici un facteur important cause de beaucoup d'accidents : l'état du véhicule.

En effet, des pneus sous-gonflés risquent d'éclater et d'entraîner une perte de contrôle du véhicule. De même, un niveau de liquide de frein trop bas peut témoigner d'une fuite et donc avertir d'un risque de perdre une très grande partie des capacités de freinage du véhicule. Nous allons donc nous intéresser à ces capteurs qui permettront de prévenir le conducteur d'une possible défaillance mécanique du véhicule.

### Capteurs de pression des pneumatiques

Ces capteurs ne sont apparus que très récemment sur certains véhicules comme la Laguna II de Renault ou le Citroën C5. Ils permettent d'évaluer en permanence la pression de l'air à l'intérieur des pneus grâce à des capteurs sans fils placés sur la valve du pneu et qui transmettent leur mesure par liaison RF au calculateur central (figure 17). Ces informations, comme beaucoup d'autres d'ailleurs, sont rendues disponibles par la suite via l'usage du bus CAN du véhicule.



#### Légende :

7 : Roue

8 : Pneu

9 : Capteur de pression

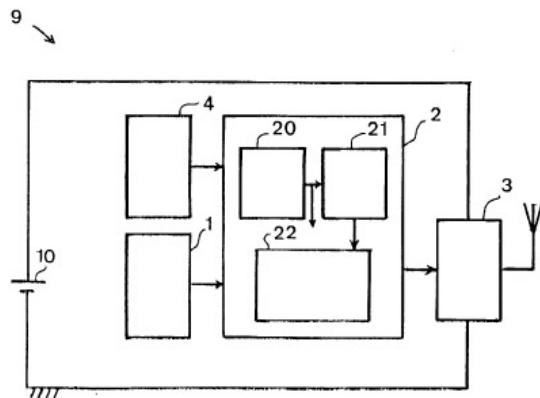
19 : Calculateur embarqué

Figure 17 : Schéma de principe d'un capteur de pression pneumatique embarqué

Ce capteur a été conçu pour être utilisé sans fils pour des raisons évidentes de simplicité, mais cela pose d'autres problèmes tels que la présence d'une source d'énergie embarquée dans le pneu, ainsi que des problèmes de transmission des informations. En effet, lorsque le véhicule roule, l'émetteur HF du capteur est masqué régulièrement, vis-à-vis du récepteur, par la roue. Il faut donc émettre suffisamment rapidement les informations avant d'être masqué à nouveau. Enfin, l'environnement moteur est extrêmement bruyant dans le

domaine des radiofréquences à cause de l'allumage (sur un véhicule à essence du moins), il est donc essentiel d'avoir une émission très robuste.

Pour pallier ces différents problèmes, le capteur de pression embarque une source d'énergie interne (pile), un calculateur qui détermine le moment et la fréquence à laquelle les informations de pression doivent être envoyées (sachant qu'il faut au moins une mesure par tour de roue) et qui s'occupe d'ajouter à la mesure de pression un code redondant correcteur d'erreur qui permet de récupérer l'information même dégradée. Enfin, l'émission HF se fait par modulation de fréquence qui est beaucoup moins sensible au bruit que la modulation d'amplitude. Le fonctionnement du capteur est décrit dans la figure 18.



**Légende :**

- 1. Capteur de pression
- 2. Microprocesseur
- 20. Horloge
- 21. Circuit de gestion d'énergie
- 22. Bloc de calcul (ALU)
- 3. Emetteur HF
- 4. Capteur inertiel
- 10. Pile

Figure 18 : Schéma interne du capteur de pression (tiré du brevet n° FR2794065)

De tels capteurs permettent de détecter quasiment immédiatement une chute de pression dans le pneu et ainsi d'avertir le conducteur lors d'une crevaison, mais ils peuvent aussi indiquer une pression de pneu trop basse ce qui augmente le risque d'aquaplaning sur route mouillée ainsi que d'éclatement sur autoroute. Enfin, couplé à un système d'aide à la navigation ce système peut permettre d'inciter le conducteur à regonfler ces pneus ou pas selon le type d'itinéraire attendu.

## Le bus CAN

Le bus CAN (pour Controller Area Network) n'est pas vraiment un capteur mais il sert de média à la totalité des informations circulant dans les véhicules récents. De très nombreux véhicules sont actuellement équipés d'un ou plusieurs bus CAN qui permettent de faire communiquer entre eux les capteurs et les actionneurs de façon rapide et économique. Nous présentons ici le principe de fonctionnement du bus CAN.

### 1. Description :

Le bus CAN est né du besoin de trouver une solution de communication série dans les véhicules automobiles, qui ont tendance à intégrer de plus en plus de commandes électroniques. Jusqu'à maintenant, tous les organes de commande des véhicules échangeaient les données par l'intermédiaire de lignes dédiées. L'augmentation du nombre d'organes embarqués a contraint les équipementiers automobiles à développer une nouvelle architecture à base de bus réseaux (figure 19). Le GIE Renault - PSA avec des partenaires comme Sagem, Valeo et autres ont développé le bus VAN (Vehicle Area Network), les puces contrôleurs sont fabriquées par MHS, SGS, TI .... En Allemagne, Bosch a développé, au milieu des années 80, le bus CAN ou "Controller Area Network" qui a fait l'objet d'une normalisation Iso 11898.

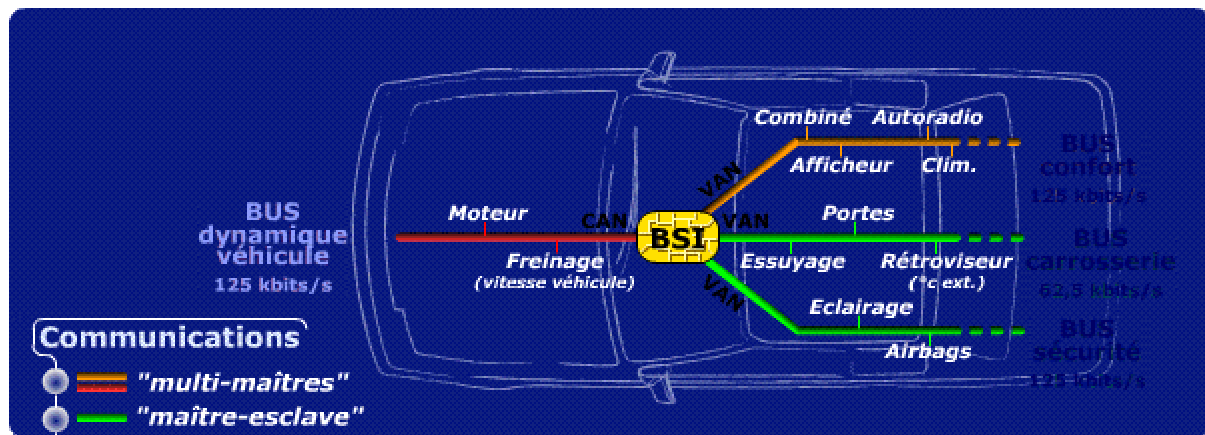
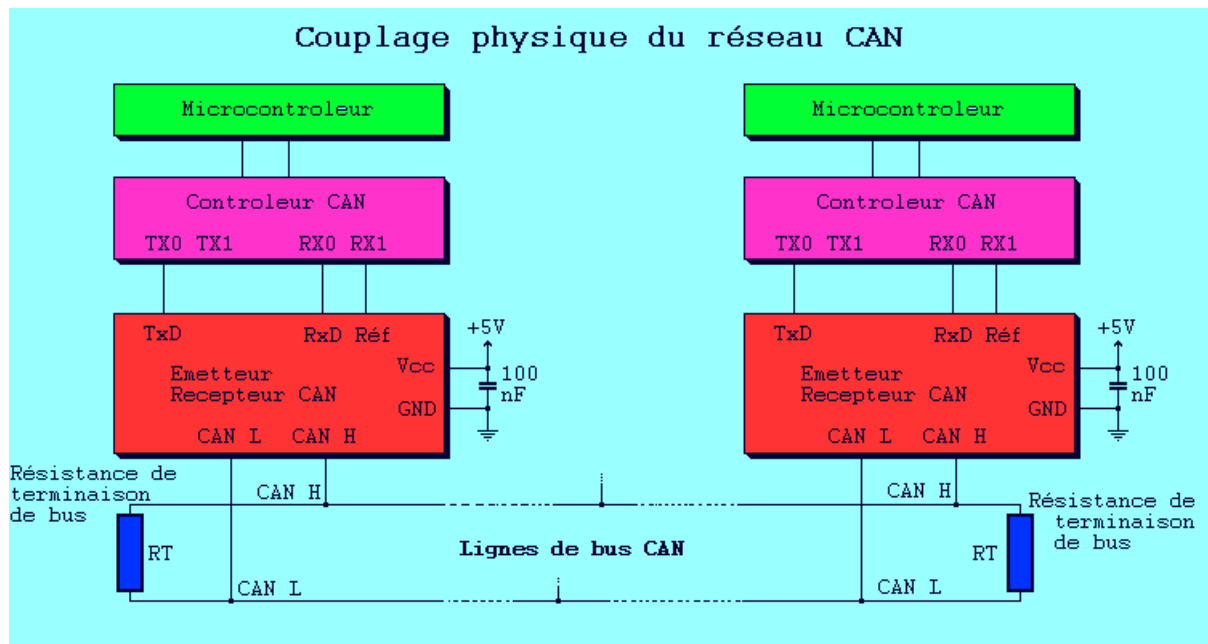


Figure 19 : Schéma de principe du réseau CAN/VAN dans un véhicule

Avec le bus CAN, les stations ayant les mêmes droits (organes de commande, capteurs ou actionneurs) sont reliées par un bus série. Le protocole CAN de base leur permet d'échanger jusqu'à 2048 variables. Ce protocole, ainsi que les paramètres électriques de la ligne de transmission, sont fixés par la norme 11898. La transmission physique s'effectue soit par une paire torsadée soit par liaison infrarouge, hertzienne ou par fibre optique (figure 20).



*Figure 20 : Principe physique du réseau CAN*

A la différence d'un faisceau de câbles, le réseau détecte et corrige, grâce à son protocole, les erreurs de transmissions induites par le rayonnement électromagnétique. L'organisation en réseau apporte aussi une configuration aisée du système et la possibilité d'établir un diagnostic central. Elle permet à chaque station de communiquer avec les autres sans charger le calculateur des organes de commande.

## 2. Principe de fonctionnement :

Du type multi-maîtres, orienté messages courts, le bus CAN est bien adapté à la scrutation de variables émises par des stations déportées. La norme Iso 11898 spécifie un débit maximum de 1Mbit/s. La longueur maximum du bus est déterminée par la charge capacitive et le débit. Les configurations recommandées sont les suivantes :

Débit	Longueur
1 Mbit/s	40 m
500 Kbit/s	100 m
100 Kbit/s	500 m
20 Kbit/s	1000 m

Le protocole est basé sur le principe de diffusion générale : lors de transmission, aucune station n'est adressée en particulier, mais le contenu de chaque message est explicité par une identification reçu de façon univoque par tous les abonnés. Grâce à cet identificateur, les stations, qui sont en permanence à l'écoute du réseau, reconnaissent et traitent les messages qui les concernent; elles ignorent simplement les autres.

L'identificateur indique aussi la priorité du message, qui détermine l'assignation du bus lorsque plusieurs stations émettrices sont en concurrence. En version de base, cet identifiant est un nombre de 11 bits, ce qui permet de définir jusqu'à 2048 messages plus ou moins prioritaires sur le réseau. Chaque message peut contenir jusqu'à 8 octets de données, ce qui correspond par exemple à l'état de 64 capteurs. L'adressage par le contenu assure une grande flexibilité de configuration. Il est possible d'ajouter des stations réceptrices à un réseau CAN sans modifier la configuration des autres stations.

### 3. Principe de l'arbitrage :

Afin d'être traitées en temps réel, les données doivent être transmises rapidement. Cela suppose non seulement une voie physique de transmission atteignant jusqu'à 1 Mbit/s ; mais cela exige aussi une assignation rapide du bus dans les cas de conflits, lorsque plusieurs stations souhaitent transmettre simultanément des messages.

L'urgence des informations échangées sur le bus peut être très diverse : une valeur variant rapidement, comme l'état d'un capteur ou l'asservissement d'un moteur, doit être transmise plus souvent avec un retard moindre que d'autres valeurs comme la température du moteur, qui évoluent lentement. Sur le réseau CAN, l'identificateur de chaque message, qui est un mot de 11 bits (format standard) ou de 29 bits (format étendu), détermine sa priorité. Ces priorités sont attribuées lors de l'analyse conceptuelle du réseau, au moyen de valeurs binaires, et ne peuvent donner lieu à des modifications dynamiques.

Le procédé d'attribution du bus est basé sur le principe de "l'arbitrage bit à bit", selon lequel les nœuds en compétition, émettant simultanément sur le bus, comparent bit à bit l'identificateur de leur message avec celui des messages concurrents. Les stations de priorités moins élevées perdront la compétition face à celle qui a la priorité la plus élevée.

Les stations sont câblées sur le bus par le principe du "OU câblé", en cas de conflit c'est à dire, en cas d'émission simultanée, la valeur 0 écrase la valeur 1. On appelle donc "état dominant" l'état logique 0, et "état récessif" l'état logique 1. Lors de l'arbitrage bit à bit, dès qu'une station émettrice se trouve en état récessif et détecte un état dominant, elle perd la compétition et arrête d'émettre. Tous les perdants deviennent automatiquement des récepteurs du message, et ne tentent à nouveau d'émettre que lorsque le bus se libère (figure 21).

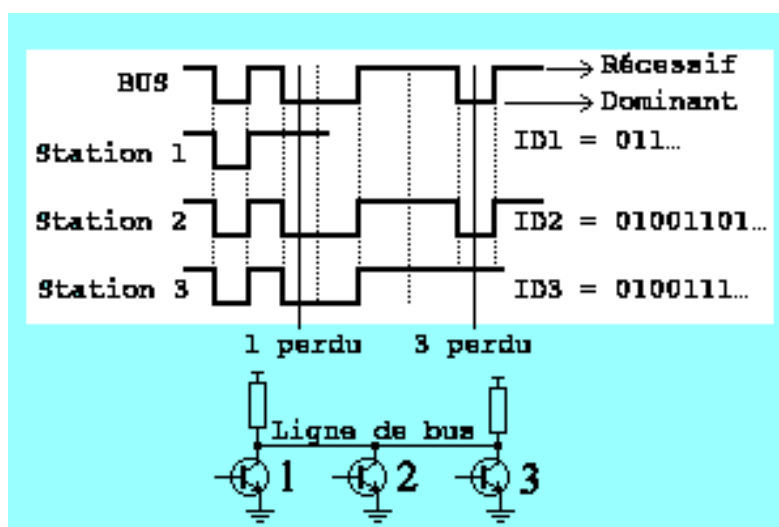


Figure 21 : Principe d'arbitrage du bus CAN

#### 4. Formats de trames de messages :

La norme CAN définit deux formats de protocole : Standard (Version 2.0 A) et Etendu (Version 2.0 B). Ces deux formats ne diffèrent que dans la longueur de l'identificateur (ID) qui est de 11 bits de base et 18 bits supplémentaires en mode Etendu (figure 22). Cette extension permet l'augmentation du nombre de variables échangées et du nombre de stations sur le réseau. Le nombre d'octets de données échangées à chaque trame reste inchangé.

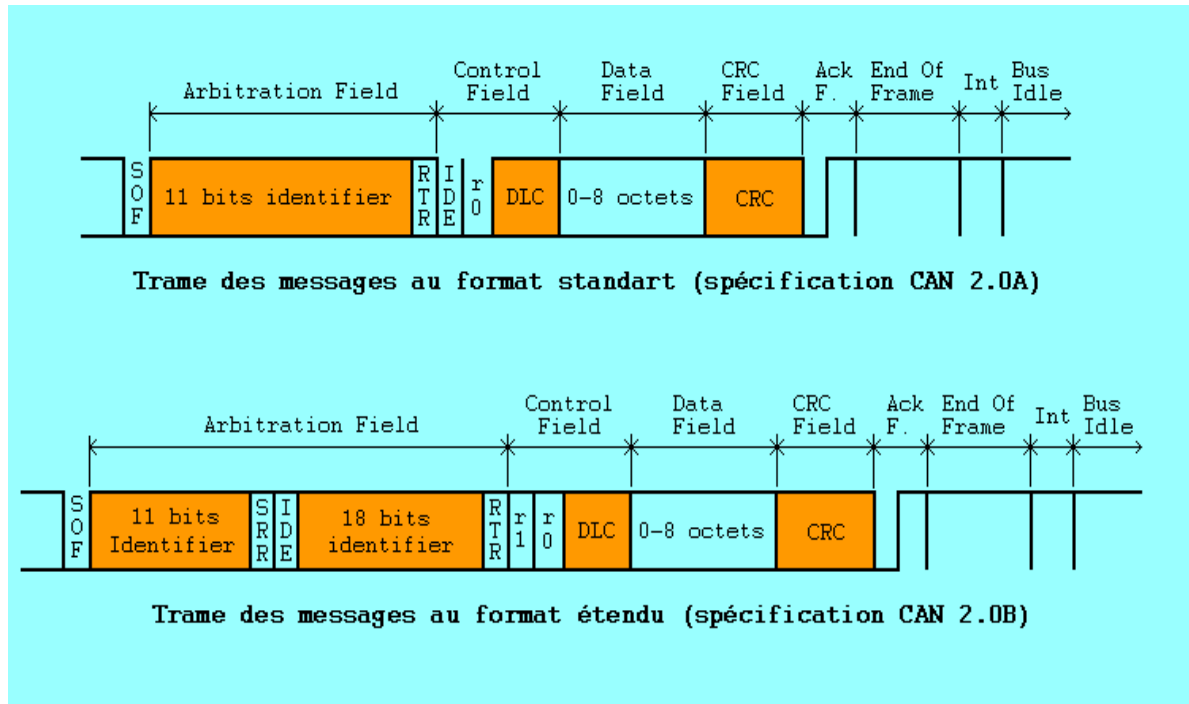


Figure 22 : Formats des trames CAN

Une trame est composée des champs suivants :

- bit SOF (Start Of Frame)
- zone d'arbitrage (11 bits)
- bit RTR (Remote Transmission Request) : détermine s'il s'agit d'une trame de données ou d'une trame de demande de message.
- bit IDE qui établit la distinction entre format standard (état dominant) et format étendu (état récessif)
- 1 bit réservé pour une utilisation future
- 4 bit DLC : nombre d'octets contenus dans la zone de données
- zone de données de longueur comprise entre 0 et 8 octets
- zone CRC de 15 bits : (Cyclic Redundancy Code) Ces bits sont recalculés à la réception et comparés aux bits reçus. S'il y a une différence, une erreur CRC est déclarée.
- zone ACK composé d'un bit à l'état récessif ainsi qu'un bit séparateur ACK. Le premier bit doit être forcé à l'état dominant par les stations ayant bien reçu cette trame.
- zone EOF de 7 bits : (End Of Frame) permet d'identifier la fin de la trame.

Remarque : si au cours de la construction d'une trame, 5 bits consécutifs portent la même valeur 0 ou 1, un bit de valeur opposée, appelé "stuff bit", est ajouté à la suite de ces 5 bits consécutifs.

Les contrôleurs CAN qui admettent le format étendu peuvent aussi émettre et recevoir des messages au format standard. En revanche, dès que l'on utilise sur le réseau des contrôleurs ne maîtrisant que le format standard, les messages étendus sont mal interprétés.

### **5. Détection des erreurs :**

Les trames du protocole CAN intègrent des mécanismes de détection d'erreurs. De plus, comme tous les nœuds de réseau surveillent simultanément le bus, ils détectent des différences entre bits reçus et bits émis. Dès qu'une erreur est détectée, la transmission en cours est interrompue par l'émission d'un indicateur d'erreur ("error flag"), l'émetteur peut alors recommencer à émettre son message.

Tout ce système de gestion des erreurs est complètement transparent pour le développeur et l'utilisateur. Le système est capable de gérer automatiquement ses conflits et ses erreurs en émettant des trames d'erreurs pour renseigner l'émetteur du message sur le type de faute qu'il a commis. Une station est capable de faire la distinction entre les perturbations temporaires et les défauts permanents. Les stations en défaut permanent sont déconnectées automatiquement du réseau.

Ce système de gestion d'erreur fait toute la puissance du réseau CAN, puisqu'il a été démontré que la probabilité d'erreur résiduelle reste inférieure  $4,6 \cdot 10^{-11}$ .

Le bus CAN permet ainsi de transmettre avec une très grande fiabilité et en temps réel les informations obtenues à l'aide des différents capteurs. Ainsi, beaucoup des capteurs précédemment cités dans ce rapport utilisent le bus CAN comme média de transmission de leur données vers le calculateur de bord (c'est notamment le cas des capteurs de pression des pneumatiques mais aussi certains télémètres laser par exemple).

De plus de nombreuses informations concernant la température du moteur, la consommation instantanée, le niveau des différents fluides dans le véhicule et bien d'autres encore; circulent sur ce bus. L'analyse de ces données qui sert d'habitude à régler les paramètres d'injection, l'ESP ou l'ABS permettra aussi de détecter des valeurs trahissant une usure potentiellement dangereuse pour le véhicule.

Enfin, en cas de panne d'un capteur, le système d'isolement d'erreur permet de déconnecter le capteur défaillant et permettra ainsi de prévenir le cindynamètre que le capteur est hors-service. Ceci permettra au cindynamètre de continuer à fonctionner sans certaines informations, de ne plus chercher à obtenir ces informations et de conseiller au conducteur de se rendre au garage le plus proche.