



Rapport final

Thème 11

Objet : Elaboration d'alertes pour les poids lourds en situations accidentogènes

Rédacteurs :	Victor Dolcemascolo, Mohamed Bouteldja, Bernard Jacob, Abdourahmane Koita (LCPC/DESE) Sébastien Glaser, Said Mammar (LCPC/LIVIC) Nacer M'Sirdi (UVSQ/LRP) Bernard Roussel (UTBM) Gilles Schaefer (SERA-CD) Hervé Desfontaines (Renault Trucks)	
Partenaire :	LCPC (DESE et LIVIC), UVSQ/LRP, UTBM, SERA-CD, RENAULT TRUCKS	
Date :	04/10/2005	
Référence :	Thème 11/partenaire	Version : 18 du 04/10/2005
Type de document :		
Fichier :	Rapfin_th11_ver18.doc	50 pages
Vérificateur :	Victor Dolcemascolo	Date : 04/10/2005
Approbateur :	Bernard Jacob	Date : 04/10/2005
Diffusion :	Public	

Table des matières

RESUME

I. Introduction.....	8
II. Accidentologie des poids lourds	9
III. Etat de l'art et renversements de poids lourds.....	10
A. Les projets Chauffeur 2 et Safe Tunnel.....	10
Chauffeur 2.....	10
Safe Tunnel.....	11
a) Communication véhicule - infrastructure	11
b) Systèmes de contrôle	12
B. Comparaison du renversement et des contre-mesures PL et VL	13
Comparaison de la résistance au renversement	13
Comparaison de contexte technologique.....	14
Base méthodologique commune de simulation du renversement	15
C. Détection et prévention des renversements	16
Modélisation Dynamique	16
Validation.....	20
Observateurs et estimateurs	21
Système anti-renversement	22
a) Modèle de renversement	22
b) Détection des situations de début de renversements.....	23
c) Nouveau concept.....	25
Evaluation du risque.....	26
d) Evaluation du renversement.....	26
e) Cartographie numérique	26
f) Résultats du risque de renversement.....	27
IV. Caractéristiques mécaniques du poids lourd	28
A. Statistiques de défaillance véhicules lourds	28
Méthodologie adoptée.....	28
Résultats de l'étude.....	29
B. Capacité dynamique des poids lourds : décélération et virage.....	30
Contexte et objectif.....	30
Loi temporelle de freinage.....	30
Quantification de la décélération.....	31
Conclusions.....	32
C. Défaillances des véhicules	34
Types de défaillances véhicules et procédures de détection.....	34
a) Défaillances du système de suspension	35

b)	Défaut de pression d'un pneu.....	35
V.	Aspect conducteur	37
A.	La somnolence et les accidents de la route	37
	Somnolence comme cause d'accidents.....	37
	La somnolence	37
	Somnolence ou fatigue ?.....	37
	Somnolence ou inattention ?.....	37
	Somnolence ou inertie post-hypnique ?.....	37
	Analyse critique des études	38
B.	Les méthodes de mesure de la somnolence	38
	Variations comportementales.....	38
	Auto-évaluation de la somnolence	38
	Les mesures électrophysiologiques.....	38
	Les autres variables physiologiques	39
C.	Les variations de la somnolence	39
	La variation physiologique.....	39
	La variation juxtaphysiologique (privation de sommeil et fatigue).....	39
	Les variations pathologiques.....	39
	Les variations toxiques (alcool et drogues).....	39
	Les variations iatrogènes (médicaments)	40
D.	Les contre-mesures à la somnolence	40
	Les contre-mesures préventives	40
	Les contre-mesures curatives	40
VI.	Conclusions	41
VII.	Bibliographie	43
VIII.	Annexe : Fonction ARCOS pour les poids lourds.....	45
A.	Alerter les véhicules en amont.....	45
B.	Prévenir les collisions	46
C.	Prévenir les sorties de route	48
D.	Gérer les distances entre véhicules	49

Résumé

Accidents de poids lourds : développer dès aujourd'hui une fonction d'alerte

Les chiffres le montrent : les poids lourds constituent la population de véhicules pour laquelle le taux d'accidents grave est le plus élevé. En plus de graves conséquences en termes humains pour les usagers de la route, ces accidents induisent généralement des congestions majeures, des atteintes à l'environnement ou à l'infrastructure aux coûts économiques importants. Il paraît urgent d'agir, d'autant plus que l'on estime que le transport routier de marchandises devrait croître d'environ 40% d'ici dix ans. Comment réduire ces accidents de PL ? En proposant des méthodes efficaces pour la détection précoce de certaines situations accidentogènes, en générant des systèmes d'information et d'alerte à destination du conducteur, des véhicules suiveurs, des gestionnaires de flotte ou de l'infrastructure. C'est là une des missions que se proposait ARCOS.

On sait que l'origine des accidents de poids lourds provient de quatre familles de causes principales :

- la perte de contrôle du véhicule liée à ses caractéristiques mécaniques, à celles de l'infrastructure, aux conditions de trafic et à l'environnement ;
- la défaillance du véhicule,
- la défaillance du conducteur,
- la perte de contrôle d'un véhicule tiers.

Seules, les trois premières causes d'accident ont été abordées dans le cadre d'ARCOS ; l'étude s'est ainsi limitée à l'accidentologie où intervient uniquement un poids lourd isolé.

Quelques précisions sur l'accidentologie des PL

L'étude d'accidentologie, réalisée par Renault Trucks, a permis d'identifier la typologie d'accident la plus fréquente parmi celles impliquant un poids lourd isolé. Il s'agit du renversement dans près de 60% des cas. La silhouette la plus représentée étant l'ensemble tracteur et semi-remorque, qui correspond à 80 % des poids lourds impliqués dans les renversements.

Les chercheurs se sont donc plus particulièrement intéressés au renversement et ont réfléchi aux méthodes qui permettent de les prévenir.

Accidents de poids lourds dus à la défaillance du véhicule

A partir d'une étude statistique canadienne sur les accidents, toutes les défaillances véhicules ayant une grande influence sur le déroulement d'un accident de poids lourd et pour conséquences des accidents graves ou mortels ont été recensées. Globalement, il apparaît que l'état de conformité du véhicule joue un rôle très important pour la prévention des accidents. Les systèmes mécaniques défectueux les plus fréquemment affectés étant : le système de freinage (20%), suivi par le système d'éclairage et de signalisation (17%), le châssis (12%), le système de suspension (12%), l'habitacle (9%), le système de direction (7%), les pneus (6%), le dispositif d'attelage (6%), les roues et les essieux (5%).

Accidents de poids lourds dus à la défaillance du conducteur

La somnolence au volant serait responsable d'au moins 15 à 20 % des accidents. Plusieurs maladies ont une influence sur la somnolence mais aussi la prise de certains médicaments, l'alcool ou l'association alcool-drogue. Des contre-mesures à la somnolence peuvent se résumer à dispenser aux chauffeurs une information obligatoire sur le risque de somnolence avec des notions précises sur la gestion du cycle veille-sommeil. Le code de la route oblige les chauffeurs à s'arrêter 45 minutes toutes les 6 heures des conduites. Il est préconisé de s'arrêter 15 minutes toutes les 2 heures de conduites afin de lutter de manière plus efficace contre l'hypovigilance.

Accidents de poids lourds dus à la dynamique du véhicule

Actuellement sur le plan technologique les défaillances conducteur et mécanique du véhicule ne sont pas contrôlables mais par contre, il existe des systèmes de sécurité actifs développés sur les véhicules pour surveiller et contrôler la stabilité de la dynamique de ce dernier en temps réel (EBS¹, ABS², ESP³). Leur efficacité en terme d'évitement d'accident est cependant limitée car leur action en temps réel est déclenchée à partir du moment où une sollicitation trop forte est détectée, et souvent l'accident n'est plus évitable. Il devient donc extrêmement important de détecter très tôt une amorce de situation à risque.

Comment évaluer le risque suffisamment tôt?

Le système de prévention de retournement des poids lourds imaginé dans le cadre d'ARCOS peut être qualifié de système de sécurité préventive ou « *Preventive Cruise Control* ». Il permet d'analyser a priori les difficultés à franchir et réagit en conséquence en adaptant ou en conseillant la vitesse du poids lourd. L'anticipation permet d'effectuer ce ralentissement avec des niveaux moyens de sollicitation des freins et de l'adhérence, donc plus sûrs et plus économes. Il gère tous les types de sortie de route, le renversement n'étant donné ici qu'à titre d'illustration.

Ce système de prévention est composé de trois sous-systèmes : (i) capteurs intégrés dans le PL, (ii) estimateurs de paramètres relatifs à la modélisation, et (iii) système d'évaluation du risque fournissant les informations à un module d'alerte. Il vise à prédire l'état dynamique du poids lourd à partir de :

- *l'état dynamique à un instant donné,*
- *des caractéristiques géométriques de la route et des paramètres du véhicule pour le retournement,*
- *l'évolution des caractéristiques géométriques de la route pour adapter la commande conducteur (la prédiction).*

Ensuite, l'état dynamique prédit est analysé pour caractériser le risque de retournement.

Le système doit donc avoir une connaissance des caractéristiques géométriques de la route en temps réel ou la connaître à priori. C'est la connaissance à priori qui a été adoptée grâce à la présence de la base de données 'route' dans le système. Cette démarche est mise en œuvre dans le projet VIF (Véhicule Interactif du Futur). Le projet

¹ Electronic Braking System

² Anti-Blocking System

³ Electronic Stability Program

VIF(Véhicule Interactif du Futur), lancée en janvier 2005, a pour objet d'augmenter la sécurité des poids lourds et de celle des autres usagers, de réduire les dommages infligés aux infrastructures (chaussée et pont) et d'augmenter la productivité du transport routier (diminution du temps de parcours) en utilisant l'interactivité entre les poids lourds, l'infrastructure et les conducteurs.

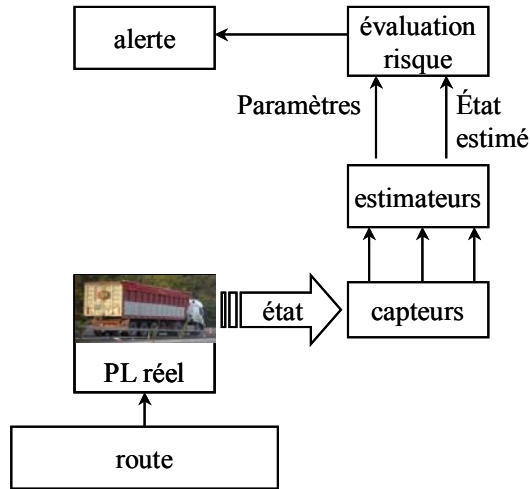


Fig 1-a : Système de prévention des retournements

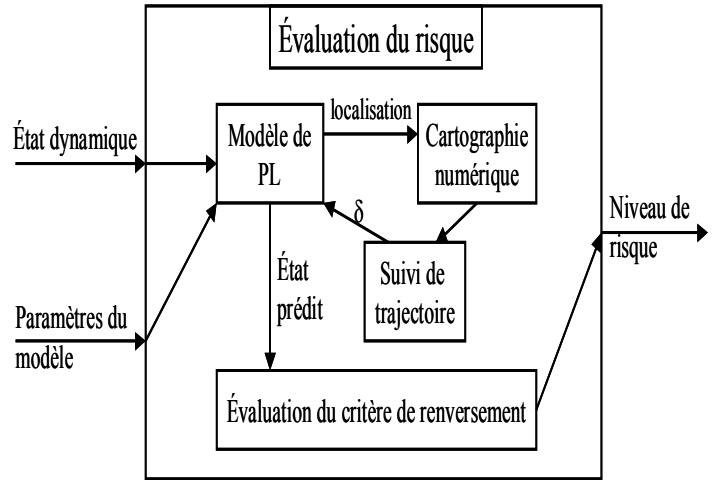


Fig 1-b : Partie évaluation du risque

Un modèle, à 12 degrés de liberté, a été mis au point par le LRV (Laboratoire de Robotique de Versailles) en collaboration avec le LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées). Il a été validé avec le logiciel de simulation dynamique du comportement de poids lourd « PROSPER » de la société SERA-CD (WWW.SERA-CD.COM). L'estimation des variables non mesurées à partir des états connus, est basée sur la technique d'observation (application d'observateurs). Ces observateurs sont de type « mode glissant », à la fois robustes par rapport aux erreurs de modèle, aux incertitudes paramétriques et aux perturbations. Ainsi, il est possible d'estimer l'état dynamique du poids lourd à tout moment.

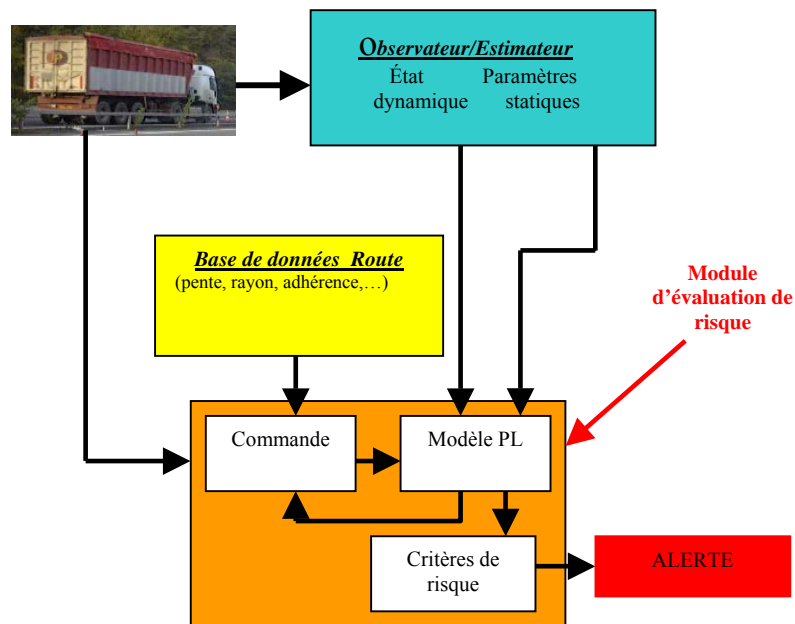


Fig 2 : Schéma de principe de génération d'alerte

Le concept du système de génération d’alerte représenté ci-dessus utilise un observateur pour l’estimation de l’état dynamique du poids lourd et un modèle prédictif tenant compte des caractéristiques de l’infrastructure issues de la base de données cartographiques. Le modèle d’évaluation de risque génère des alertes en fonction du risque de renversement. Le critère quantifiant le risque est évalué à partir de l’accélération latérale du véhicule, de la hauteur du centre de gravité et de la charge des essieux

A moyen terme, nous travaillons sur une extension de ce modèle qui utiliserait une prédiction fondée sur la dynamique du véhicule ; la prédiction de l’état dynamique du véhicule à un horizon futur serait calculée à l’aide du modèle dynamique nominal.

Poids lourds : réduire les accidents ou limiter leur impact est possible dès aujourd’hui

La procédure d’adaptation des fonctions d’ARCOS, initialement développées pour les véhicules légers, a mis en évidence qu’il n’y avait ni contradiction, ni impossibilité de les adapter au PL. Cependant, leur mise en œuvre nécessite quelques adaptations liées au poids et à la taille du véhicule, à ses capacités dynamiques de freinage, à sa taille, mais aussi à la réglementation et au fait que les chauffeurs sont des professionnels de la conduite. En conclusion, les travaux montrent que la mise en œuvre de ces fonctions serait un atout majeur pour la sécurité routière et que la plupart des accidents liés à ces fonctions pourrait être évités ou au moins que leur impact serait limité sur les usagers, le véhicule, l’environnement.

I. Introduction

Les accidents de la route dans lesquels sont impliqués les poids lourds, requièrent l'attention des pouvoirs publics et des sociétés de transport. Les poids lourds ont une importance cruciale dans la vie économique. En 2002, en France, les poids lourds ont transporté 78 % des marchandises, ils ont effectué 6,1 % des kilomètres parcourus et ils représentaient 2,1 % du parc des véhicules à 4 roues. Le transport routier de marchandises devrait croître d'environ 40% d'ici dix ans. Les accidents impliquant les poids lourds ont des coûts humains très importants. En outre les accidents comme le renversement ou la mise en portefeuille induisent des congestions majeures et des atteintes à l'environnement ou à l'infrastructure aux coûts économiques très importants. C'est pourquoi, il faut mettre en œuvre une politique de sécurité préventive, notamment visant les poids lourds. Le projet ARCOS a été lancé pour apporter des éléments de réponse à ces problèmes d'insécurité routière. Assurer une circulation sûre nécessite une synergie entre trois facteurs : l'homme, l'infrastructure et le véhicule. Des études ont été faites pour déterminer les causes, la nature et les conséquences des accidents. Quatre causes principales ont été identifiées :

- perte de contrôle du véhicule liée à ses caractéristiques mécaniques, à celles de l'infrastructure, aux conditions de trafic et à l'environnement,
- défaillance du véhicule,
- défaillance du conducteur,
- perte de contrôle d'un véhicule tiers.

Les trois premières causes d'accident sont abordées dans cette étude, qui se limite donc à l'accidentologie où n'intervient qu'un poids lourd isolé.

L'objectif consiste à trouver des méthodes efficaces pour la détection précoce de certaines situations accidentogènes et la génération d'alertes informatives à destination du conducteur, des véhicules suiveurs, des gestionnaires de flotte ou de l'infrastructure. *In fine*, il s'agit de prévenir les accidents impliquant des poids lourds et de réduire leurs conséquences lorsqu'ils se produisent.

Nous abordons, tout d'abord, les moyens de prévention des accidents par l'étude de l'interaction dynamique entre les poids lourds et l'infrastructure. Ensuite, nous présentons les principales causes d'accidents liées à la défaillance des véhicules, puis celles liées à la défaillance des conducteurs. Enfin, la procédure d'adaptation aux poids lourds des quatre fonctions développées dans le cadre d'ARCOS est traitée.

II. Accidentologie des poids lourds

L'amélioration de la sécurité routière est devenue une priorité nationale. En 2002, en France, pour tous les réseaux confondus, les poids lourds ont été impliqués dans 5,0 % des accidents corporels faisant 940 tués parmi les 7242 tués pour l'ensemble des accidents corporels. Le taux de tués pour 100 accidents corporels est égal à 7,42 pour l'ensemble des accidents et à 17,90 pour les accidents dans lesquels un poids lourd est impliqué. Ces chiffres⁴ permettent de dégager certaines tendances :

- forte augmentation du trafic ces dernières années (+12,1% en 5 ans) ;
- concentration du trafic sur certains axes (5% en moyenne, 19,1 % sur autoroute) ;
- augmentation du risque mortel dans les accidents où un poids lourd est impliqué (taux de tués x 2,4).

L'étude de la base de données des accidents de poids lourds de Renault Trucks/CEESAR révèle que le véhicule industriel est seul dans 33% des accidents impliquant au moins un véhicule industriel (Desfontaines, 2004). La répartition de ces accidents par types est :

- renversement : 20% des accidents dont 18% sur le côté et 2 % en tonneau. Le renversement se fait sur sol plat dans 75% des cas, tandis que pour les 25% restants, le poids lourd heurte un obstacle. 14% de ces renversements se sont produits dans un rond-point et 70% font suite à une sortie de route ;
- sortie de route : 11% des accidents ;
- mise en portefeuille : 2% des accidents.

Les victimes de ces accidents sont surtout les occupants des poids lourds. Il faut également noter que le renversement est souvent sans conséquences humaines graves mais, en revanche, génère une perturbation importante du trafic. Ce type d'accident a donc des conséquences fortes sur l'activité économique locale.

La réduction du nombre de ces accidents permettra de diminuer le bilan humain des accidents de la route et les nuisances induites.

L'analyse de ces accidents montre en outre que la silhouette de véhicule industriel la plus impliquée est l'ensemble tracteur et semi-remorque (80 % des cas de renversements). Les résultats de cette étude nous ont conduits à étudier plus particulièrement le renversement des poids lourds et à chercher des méthodes qui permettent de les prévenir.

⁴ étude sectorielle « Sécurité des poids lourds en 2002 », réalisée par l'ONSIR.

III. Etat de l'art et renversements de poids lourds

Tout d'abord, nous rappelons les résultats de deux projets récents sur la détection de défaillances des poids lourds et de l'interactivité véhicule/véhicule. Dans la suite on s'intéressera plutôt aux interactions véhicule/infrastructure. Ensuite, nous présentons une modélisation dynamique des poids lourds visant à définir des estimateurs permettant de reconstruire, à partir de données délivrées par des capteurs embarqués, les informations pertinentes pour la prévention du renversement, mais non directement mesurables à bord du véhicule. La connaissance de l'état dynamique permet de remonter aux efforts au contact pneumatique/chaussée. L'étape suivante consiste à définir et détecter les «situations accidentogènes». Enfin, des résultats de simulation sont fournis pour valider la démarche.

A. Les projets Chauffeur 2 et Safe Tunnel

Cette partie présente un état de l'art relatif à deux projets européens traitant des poids lourds : les projets **Chauffeur2** et **Safe Tunnel** se sont précisément intéressés à sécuriser la conduite selon une approche globale du système « véhicule-véhicule ».

Chauffeur 2

Ce projet avait pour objectif d'élaborer des systèmes d'aide à la conduite de deux types: le Lane Keeping System (LK) et le Safe Distance Keeping System (SDK). Ils visent à maintenir automatiquement le véhicule dans une voie courante (LK), et à respecter une distance de sécurité entre deux véhicules consécutifs (SDK). Le SDK tient compte de la dynamique du système formé par les deux véhicules et de la dynamique de chaque véhicule individuel. S'il ne parvient pas à déterminer les caractéristiques dynamiques du véhicule précédent, celles-ci sont alors définies automatiquement afin de garantir une sécurité maximale. Le SDK permet aussi de repérer le véhicule précédent dans l'ensemble de tous les éléments dépistés, la détermination des dimensions des objets détectés, la classification des différents véhicules détectés et l'avertissement sonore dès qu'un véhicule à l'arrêt est détecté.

La mise en convoi : il s'agit de réaliser un convoi de camions et de le soumettre à différentes manœuvres typiques afin d'en analyser le comportement. Un convoi de véhicules est défini comme le couplage de plus de deux véhicules avec un conducteur actif dans le véhicule de tête. Ce dernier impose leurs trajectoires aux véhicules suiveurs par une attache virtuelle qui utilise la technologie du « X by Wire ». Par ailleurs, les distances entre les véhicules sont supposées suffisamment faibles pour qu'aucun « intrus » ne puisse s'interposer entre les véhicules du convoi.

La mise en convoi requiert deux types de manœuvres : le couplage et le découplage des poids lourds. Ces manœuvres ont été étudiées sur un convoi de 3 véhicules.



Figure 1 : Mise en convoi de poids lourds

Couplage : la vitesse du véhicule de tête est supposée constante et inférieure à 50 km/h. Dès que le véhicule suiveur est suffisamment proche du véhicule placé en tête de file, on considère que le couplage est réalisé. Une fois que ce raccordement est établi, cette opération peut alors se reproduire avec le troisième véhicule jusqu'à obtention du convoi.

Découplage : les manœuvres de découplage ont été étudiées à une vitesse inférieure à 90 km/h, entre le dernier véhicule et le véhicule de tête et entre le dernier véhicule et le reste du convoi.

La réalisation d'un convoi nécessite une communication entre les différents véhicules, la conservation d'une distance de sécurité et la mise en place d'un système visuel infrarouge analogue à celui employé dans **Chauffeur1**. Le respect de distances de sécurité nécessite que chaque véhicule couplé possède en temps réel des informations sur les autres véhicules du convoi. En particulier, il est important de connaître, presque instantanément, l'instant de freinage du véhicule de tête, ses angles de braquages, sa vitesse, son accélération, etc.. Or les capteurs seuls ne fournissent pas des résultats satisfaisants. C'est pourquoi, **Chauffeur2** a mis en œuvre un système de communication robuste entre les différents véhicules. Ce dernier comprend un émetteur/récepteur radio à 5,8 GHz, des antennes directives ainsi qu'un logiciel de communication numérique.

Des détails sur le projet peuvent être obtenus à l'adresse internet : www.chauffeur2.net

Safe Tunnel

Ce projet de recherche avait pour but de sécuriser les poids lourds dans la traversée des tunnels. Les accidents dans les tunnels sont dus principalement à des défaillances mécaniques des véhicules et notamment des poids lourds, pouvant conduire à des incendies. Il est important de contrôler la pression des pneumatiques, la température du moteur, des freins et du carburant, etc.. Afin de réduire le nombre des accidents, **Safe Tunnel** s'est précisément intéressé aux types d'accidents les plus fréquemment observés dans les tunnels et s'est attaché à développer les deux concepts suivants :

- communication bidirectionnelle entre le véhicule et l'infrastructure et analyse des informations par celle-ci ;
- systèmes d'autocontrôle du poids lourd (pression des pneumatiques, températures, autonomie en carburant...) et surveillance du véhicule via l'infrastructure.

a) Communication véhicule - infrastructure

Safe Tunnel a permis de mettre en œuvre un concept de communication bidirectionnelle pour transmettre le diagnostic de l'état du véhicule à l'infrastructure et un système d'analyse de ce diagnostic par celle-ci. Ce système est capable d'identifier au niveau de l'infrastructure, les paramètres du véhicule présentant une anomalie. Une fois les résultats obtenus, le conducteur et le centre de commande sont informés du diagnostic. Les véhicules potentiellement dangereux sont identifiés et les gestionnaires de tunnels peuvent alors leur refuser l'accès. Par ailleurs, dès qu'un véhicule pénètre à l'intérieur d'un tunnel, l'infrastructure continue à enregistrer toutes ses caractéristiques. A sa sortie, toutes les informations précédemment recueillies sont automatiquement effacées. En cas de détection d'une défaillance du véhicule à l'intérieur du tunnel, le conducteur en est immédiatement informé par une alerte. Celui-ci peut alors immobiliser son véhicule sur une bande d'arrêt d'urgence ou une aire de stationnement et attendre les informations du centre de commande qui connaît en temps réel la position du véhicule en difficulté.

Les dispositifs de mesure implantés sur l'infrastructure permettent en outre de fournir des informations sur l'état du trafic. Compte tenu des conditions de circulation dans le tunnel, le conducteur est informé de la vitesse et de la distance de sécurité à respecter. Au vu des messages de recommandations, le conducteur peut activer un système d'adaptation de sa vitesse en fonction des véhicules environnant et maintenir une distance inter-véhiculaire adéquate. En pratique, le régulateur de trafic propose une panoplie d'actions à mener relatives à un ensemble de situations prédéfinies. Ces actions sont ensuite transmises au conducteur.

b) Systèmes de contrôle

Des pneumatiques

Les systèmes de mesure de la pression des pneumatiques sont en perpétuelle évolution. De nombreux efforts ont été aussi entrepris pour la mesure de température et d'adhérence des pneumatiques. Un produit, développé par Michelin et WABCO, permet de mesurer en temps réel la pression des pneus pour différents types de véhicules utilitaires (tracteurs, poids lourd, autocars, semi-remorque, etc.). Pour plus d'efficacité, ce produit peut être complété par le système ITVM qui identifie les différentes fuites du pneumatique et avertit en temps utile le conducteur pour qu'il puisse réagir immédiatement et éviter les dommages irréversibles des pneus. Chaque pneu est équipé d'un module de roue qui, à l'aide d'un capteur, mesure à tout instant sa pression. Ces données sont transmises toutes les minutes à l'ECU (Electronic Unit Control) par des ondes radio à haute fréquence. L'ECU est monté sur le châssis du véhicule, lui-même équipé d'une antenne permettant de recueillir les valeurs de pression de chaque pneu. Dès qu'une valeur critique est atteinte, le conducteur est informé par un affichage sur le tableau de bord et par une alerte sonore.

Du freinage

Au cours de ces dernières années les systèmes de freinage n'ont cessé d'évoluer. Dans **Safe Tunnel**, l'EBS (Electronic Braking System) a été intégré. Ce système de freinage réduit de manière significative les distances d'arrêt. Pour un poids lourd roulant à 90 km/h, la distance d'arrêt est réduite de 2,5m.

Des suspensions

ECAS (Electronically Controlled Air Suspension) a pour objectif de commander électroniquement les suspensions du véhicule afin de maintenir la bonne assiette du véhicule.

Radar et ACC

Ces systèmes permettent d'identifier précisément l'environnement d'un véhicule donné. Après plusieurs années de recherche, ceux-ci ont évolué vers l'Adaptive Cruise Control (ACC), système initialement utilisé au Japon puis plus largement en Europe pour le marché automobile. L'originalité de l'ACC réside dans sa capacité à réguler automatiquement la vitesse du véhicule en agissant sur le moteur mais aussi sur le freinage. Grâce à ce système, le véhicule est alors capable d'adapter sa vitesse à celle du véhicule précédent. D'un point de vue technologique, l'ACC repose sur un radar à micro-ondes. Les algorithmes utilisés sont basés sur des transformées de Fourier afin d'identifier rapidement les objets environnants. Pour réaliser cette fonction, le démonstrateur a été instrumenté avec le radar A.D.C. ARS100. Des détails sur ce projet sont disponibles à l'adresse Internet suivante:

http://dbs.cordis.lu/fep-cgi/srchidadb?ACTION=D&CALLER=PROJ_IST&QM_EP_RCN_A=58064

B. Comparaison du renversement et des contre-mesures PL et VL

Comparaison de la résistance au renversement

Un PL n'est pas un gros VL, l'industrie du PL est sensiblement différente de celle du VL, les séries ne sont pas du même ordre de grandeur, les technologies sont relativement différenciées, les équipementiers sont différents.

Mais du point de vue de la dynamique du véhicule, un renversement est un renversement et il est intéressant de voir les contre-mesures que l'industrie automobile met en place pour limiter ceux des SUV (« Sport Utility Vehicle »), qui sont un problème très aigu aux Etats-Unis où il y a beaucoup de véhicules légers 4x4 dits SUV, peu de glissières de sécurité, un faible port de la ceinture de sécurité. Ceci pourrait devenir aussi un problème en Europe avec la part croissante de « Monospaces » dans le parc.

On constate que les valeurs d'accélération de renversement des PL sont notablement plus faibles que celles des autres véhicules et que ce phénomène s'accroît avec la charge (tableau 1).

<i>Unité</i>	Masse totale <i>t</i>	Demi-voie moyenne <i>m</i>	Hauteur CdG sol <i>m</i>	Accélération Renversement <i>m/s²</i>
VL	1,2	0,70	0,50	14
tracteur	7	0,98	0,97	10
Remorque vide	7	1,02	0,9	11
fret	24	-	2,25	-
Remorque pleine	31	1,02	1,95	5
convoi	38	1,01	1,75	5,7

Tableau 1 : Valeurs des accélérations de renversement pour différents types de véhicules (y compris la semi-remorque vide et en charge)

Ceci conduit au comparatif final présenté à la figure 2 avec les mentions qualitatives (***** à *) du NHTSA. La notation «*****» indique une susceptibilité au renversement du véhicule nettement moindre qu'un véhicule qualifié par la notation «*».

Le tableau 1 et la figure 2 montrent que le besoin de systèmes de prévention des renversements est nettement plus important pour les poids lourds chargés que ceux vides, et a fortiori que pour les camionnettes ou les VL. Mais pour des raisons industrielles et de coûts (séries plus petites) ces systèmes tardent à se développer.

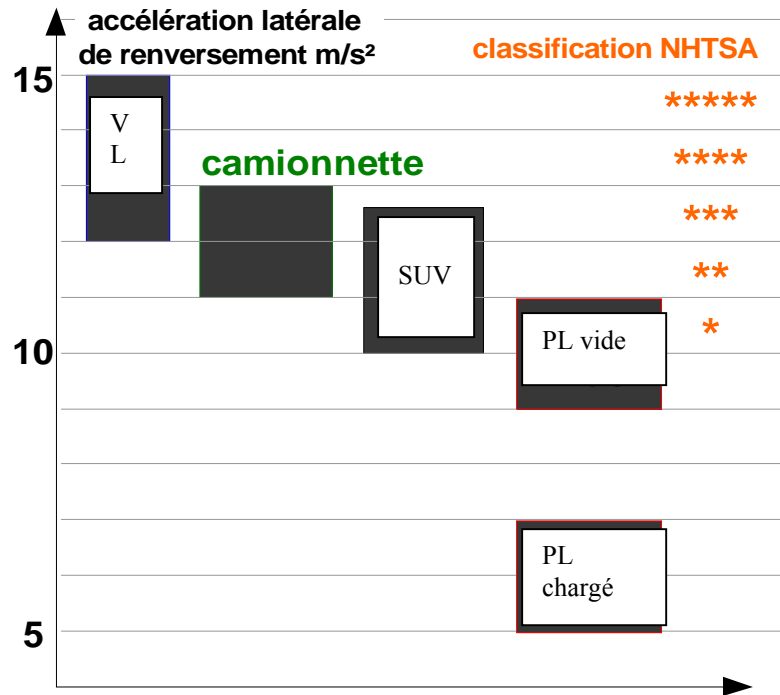


Figure 2 : Classification NHTSA des accélérations latérales de renversement

Comparaison de contexte technologique

Le contexte technologique concernant les aides à la conduite (ADAS) est très dynamique, puisque pour les véhicules de tourisme, il va apparaître environ un nouveau système (ou une évolution majeure) par an au cours des 15 prochaines années !

La figure 3 indique sur quel type de contrôle dynamique les ADAS peuvent être déployés.

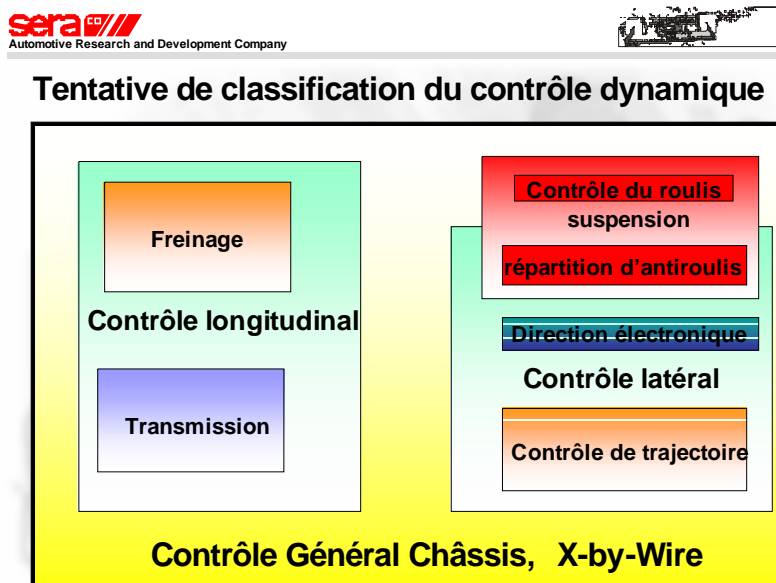


Figure 3 : Classification du contrôle dynamique

Compte tenu de l'importance du renversement des SUV aux Etats-Unis, différents systèmes ont été développés et sont arrivés sur le marché :

- ESP en série sur beaucoup de SUV,
- airbag latéraux et autres mesures pré-crash (car les blessés sont majoritairement dans la voiture),
- suspension active (voir rapport L5),
- direction électronique.

Il est intéressant de regarder quelles réponses ont été trouvées dans les VL pour un problème assez similaire.

Base méthodologique commune de simulation du renversement

Différents tests virtuels ont été développés et validés par rapport à des essais réels (voir la bibliographie), une interface utilisateur a été créée, et ceci a été incorporé dans la version 4.4 de PROSPER, utilisée notamment par le LCPC et l'INRETS.

Le développement de ce test virtuel, déployé auprès d'utilisateurs qui ne sont pas développeurs, multiplie les retombées potentielles à terme.

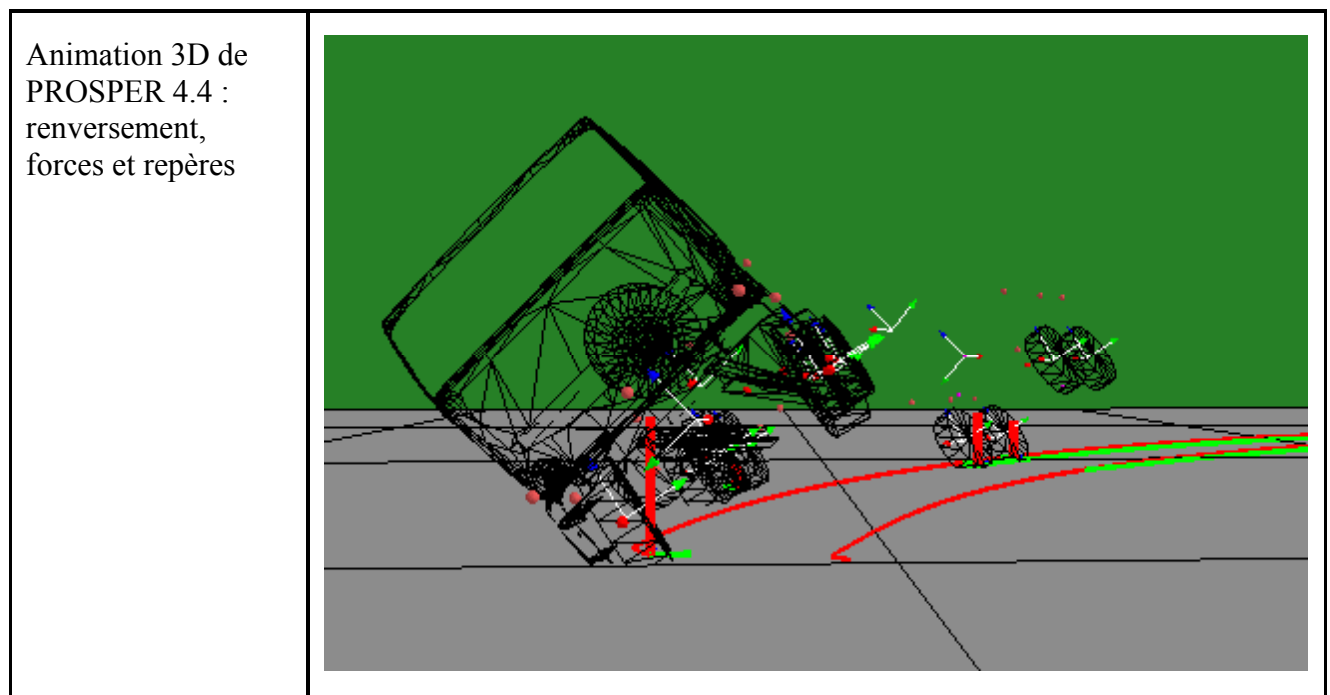


Figure 4 : Animation 3D de PROSPER 4.4 - Simulation de renversement

C. Détection et prévention des renversements

Modélisation Dynamique

Modèle d'un poids lourd

Le modèle, détaillé dans (Bouteldja et al, 2004a), décrit les mouvements d'un poids lourd du point de vue macroscopique. Un tel modèle est nécessaire pour appliquer la méthode des observateurs et pour connaître l'ensemble des paramètres mis en jeu. Il utilise la dynamique de deux corps, tracteur et semi-remorque (Figure 5).

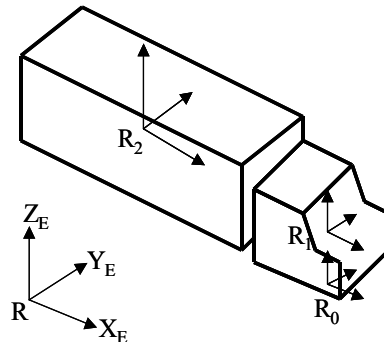


Figure 5 : Modèle de véhicule référence

Le véhicule est composé d'un tracteur à deux essieux (corps rigide) et d'une semi-remorque à un essieu (châssis rigide) (Chen & Tomizuka, 1997). L'angle de roulis est repéré autour de l'axe de roulement du tracteur, le tangage est négligé. Pour développer les équations dynamiques, nous décrivons le mouvement de deux masses suspendues dans le système de coordonnées (X_E, Y_E, Z_E) , qui est le système de coordonnées fixes (Figure 6).

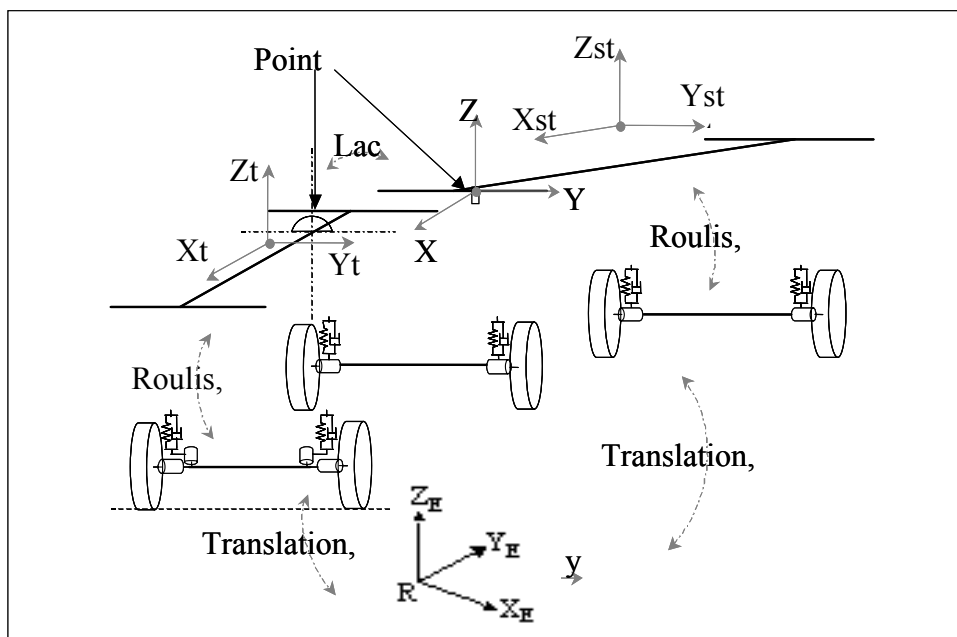


Figure 6 : Les repères

(X_b, Y_b, Z_b) et (X_{sb}, Y_{sb}, Z_{sb}) sont respectivement les systèmes de coordonnées liées au centre de gravité des masses suspendues du tracteur et de la semi-remorque. (X_u, Y_u, Z_u) est le repère de coordonnées de la masse non suspendue du tracteur, définie au centre du plan de l'essieu avant, où Z_u est parallèle à Z_E . Le mouvement relatif de (X_u, Y_u, Z_u) par rapport au système de coordonnées fixes (X_E, Y_E, Z_E) décrit la translation du tracteur dans le plan horizontal et son lacet autour de l'axe Z_E . Le roulis est décrit par le mouvement des coordonnées (X_b, Y_b, Z_b) par rapport au repère de coordonnées (X_u, Y_u, Z_u) . L'angle entre le tracteur et la remorque peut être décrit par le mouvement relatif entre les coordonnées des repères (X_b, Y_b, Z_b) et (X_{sb}, Y_{sb}, Z_{sb}) . A partir de la description des systèmes de coordonnées et de leurs mouvements relatifs, nous considérons les coordonnées généralisées suivantes :

x_E : abscisse du centre de gravité du tracteur dans la direction X du repère fixe,
 y_E : ordonnée du centre de gravité du tracteur dans la direction Y du repère fixe,
 z_E : hauteur du centre de gravité du tracteur dans le repère fixe,
 ϕ_x : angle de lacet du tracteur, ϕ_y : angle de roulis du tracteur, ϕ_{zs} : angle du lacet relatif (angle entre le tracteur et la remorque).
 q_1, q_2, \dots, q_6 représentent les débattements des suspensions

La description précédente du comportement dynamique du véhicule permet de décrire les mouvements de translation et les vitesses de rotation de chaque corps par rapport au centre de gravité par une étude cinématique. Ainsi, l'énergie cinétique (E_c) et l'énergie potentielle (E_p) du système sont calculées dans le repère de référence (X_E, Y_E, Z_E) . Leurs expressions permettent de calculer le modèle dynamique du véhicule en utilisant le formalisme de Lagrange.

Pour le calcul du modèle, nous avons utilisé une procédure de calcul symbolique que nous avons développée à l'aide du logiciel « Maple », basée sur des algorithmes de récursivité en explorant la chaîne cinématique du système.

Le modèle obtenu s'écrit sous la forme suivante :

$$\ddot{q} = M^{-1}(q)[-C(q, \dot{q})\dot{q} - G(q) + \Gamma] \quad (1)$$

où q, \dot{q}, \ddot{q} représentent respectivement les vecteurs des coordonnées généralisées : positions, vitesses et accélérations avec $q = [x_E, y_E, z_E, \phi_x, \phi_y, \phi_{zs}, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6]$, voir (Bouteldja et al, 2004a) pour les notations.

$M(q)$ est la matrice d'inertie du système, $C(q, \dot{q})$ la matrice des forces de Coriolis et centrifuges, G le vecteur des forces de gravité.

Le vecteur Γ regroupe les effets des forces internes dues aux suspensions et des forces externes au niveau du contact pneumatique-chaussée (les forces verticales, longitudinales et latérales - Figure 7).

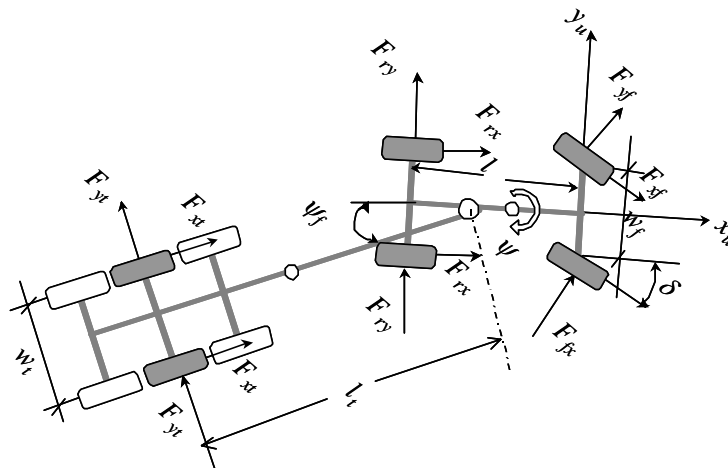


Figure 7 : Représentation des forces appliquées sur le véhicule lourd

Les forces de contact pneu/chaussée sont obtenues à partir du modèle de pneu, que nous présenterons dans la section suivante. Ces forces sont transmises au châssis (la masse suspendue) via la suspension. Elles dépendent des caractéristiques de cette dernière et de la configuration de l'essieu.

Modèle de pneumatique

Le pneu est l'une des composantes les plus importantes dans le comportement d'un véhicule routier. En effet, la dynamique verticale du véhicule dépend, en grande partie, de la dynamique des pneus. Le pneu étant le seul contact du véhicule avec le sol, il est très important de disposer d'un modèle de pneu réaliste. Les efforts appliqués à l'interface pneu/chaussée peuvent être représentés par trois forces (F_x , F_y , F_z) et trois moments appliqués au centre de la roue.

Modèle de Pacejka

Le modèle de représentation de pneu choisi est celui développé par M. Hans B. Pacejka (Pacejka & Bakker, 1991 et Pacejka, 1996). Il s'agit d'un modèle de représentation fiable puisque les équations résultent d'une interpolation de résultats expérimentaux effectués sur banc d'essai. L'équation de base de ce modèle représente toutes les composantes de la force générale. À chaque composante sont associés différents paramètres qui modifient l'équation de base pour donner la force dans chaque direction du repère local. L'équation ne comporte qu'un seul paramètre variable, l'angle de glissement α (slip angle). Comme il est montré à la figure 8, α est l'angle entre le vecteur vitesse et l'axe longitudinal du pneu (Imine, 2003). Il est possible d'accéder à l'angle de glissement à chaque pas de simulation en le calculant par trigonométrie, soit :

$$\alpha = \arctan\left(\frac{V_y}{V_x}\right)$$

Les forces d'interface pneu/chaussée en fonction de la vitesse du point de contact du pneu avec la route peuvent être calculées. Dans une trajectoire rectiligne, l'angle de glissement est nul. Par contre, dans une trajectoire courbe, le vecteur vitesse de la roue ne sera pas dans la

direction de l'axe longitudinal du pneu dû à la déformation élastique du caoutchouc. Il en résulte une force latérale à l'interface pneu/chaussée dans le repère de la roue.

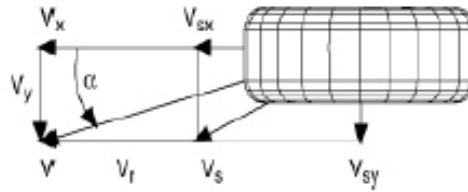


Figure 8 : Vecteurs vitesses sur un pneu

L'équation de base du modèle Pacejka est la suivante :

$$Y = D \sin(C \arctan(B\phi)) \text{ avec } \phi = (1-E)X + \left(\frac{E}{B}\right) \arctan(BX) \quad (2)$$

Cette formule permet de calculer les forces latérales et longitudinales. B, C, D et E sont fonction des caractéristiques de surface de la chaussée et du pneu. Y et X correspondent respectivement, soit à la force longitudinale et au glissement longitudinal respectivement, soit à la force latérale et à l'angle de dérive respectivement.

Modèle de suspension

Le système de suspension est l'ensemble des éléments mécaniques qui servent à relier les roues à la structure principale du véhicule. La suspension assure une liaison élastique destinée à absorber et à transmettre en douceur les dénivellations. Il existe plusieurs types de suspensions dont les plus utilisées sont les suspensions à lames (dites mécaniques) et les suspensions hydrauliques ou pneumatiques. Actuellement les véhicules lourds sont équipés le plus souvent de suspensions pneumatiques qui assurent une meilleure stabilité dynamique et qui sont moins agressives pour la chaussée (Jacob & Dolcemascolo, 1997). Nous considérons dans cette étude une suspension pneumatique simplifiée décrite par un système masse-ressort-amortisseur représenté à la figure 9.

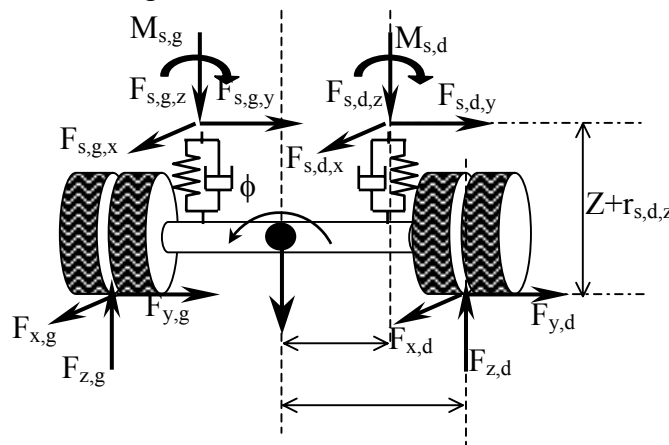


Figure 9 : Modèle de suspension

Ainsi, les efforts de suspension sont calculés à partir des relations suivantes :

$$\begin{cases} F_{s,av,i} = F_{0,av,i} + K_{av}z_{av,i} + D_{av}\dot{z}_{av,i} \\ F_{s,ar,i} = F_{0,ar,i} + K_{ar}z_{ar,i} + D_{ar}\dot{z}_{ar,i} \\ F_{s,t,i} = F_{0,t,i} + K_t z_{t,i} + D_t \dot{z}_{t,i} \end{cases} \text{ avec } i = 1, 2 \quad (3)$$

où $F_{0,i}$ est la force statique, et z et \dot{z} sont le débattement et la vitesse de débattement du ressort autour de sa position d'équilibre. K_i et D_i sont les paramètres de suspension.

Validation

Pour valider le modèle nous avons utilisé le simulateur PROSPER de la société SERA-CD. Ce dernier étant déjà validé expérimentalement constitue un outil de test. La validation consiste à comparer les résultats calculés par le modèle et ceux fournis par PROSPER. Par ailleurs, nous avons aussi utilisé le simulateur ARCSIM pour évaluer la pertinence de la représentativité du modèle.

Les tests réalisés avec PROSPER nécessitent en entrées les commandes du véhicule (angle de braquage, couple moteur) ainsi que ses paramètres dynamiques et géométriques. Un premier test a permis de recalibrer des paramètres tels que la répartition de la charge, les paramètres des suspensions, etc. L'objectif est d'obtenir une adéquation entre la réponse du modèle et celle du simulateur.

Un test de passage de chicane a été réalisé sur une piste lisse (aucune contrainte considérée) à une vitesse constante de 60 km/h (Figure 11). La trajectoire du véhicule est a priori connue. La commande principale est l'angle du volant qui donne l'angle de braquage. Les figures 10 à 12 comparent les courbes obtenues par le modèle et par les simulateurs (PROSPER et ARCSIM) pour l'angle de lacet, la vitesse de lacet et la trajectoire du véhicule. Les courbes ont des formes similaires, mais on constate une légère différence de précision, due au nombre de degrés de liberté et de paramètres utilisés par chaque simulateur.

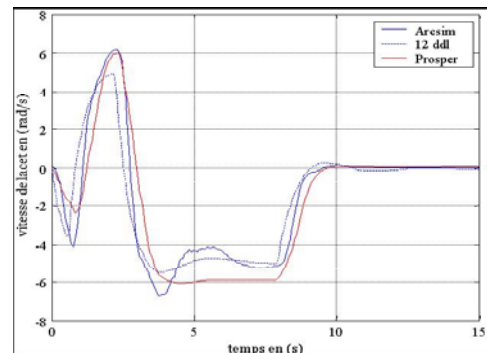
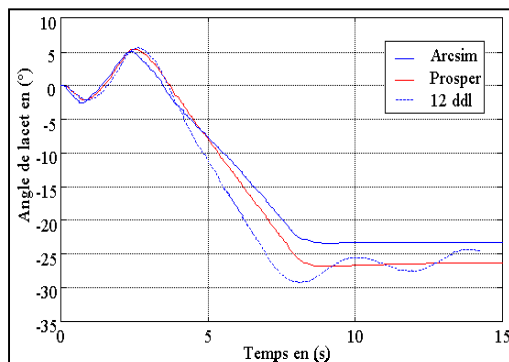


Figure 10: Comparaison de l'angle de lacet **Figure 11:** Comparaison de la vitesse de lacet

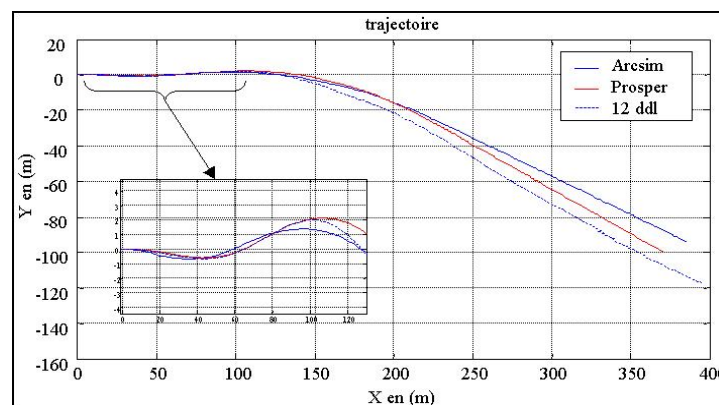


Figure 12 : Comparaison des trois trajectoires

Observateurs et estimateurs

Pour suivre le comportement dynamique d'un poids lourd à tout instant et prédire les situations à risque, il est nécessaire de disposer en temps réel d'un ensemble d'informations pertinentes sur l'état dynamique du véhicule. Certaines grandeurs physiques peuvent être directement mesurées par des capteurs alors que pour d'autres ce n'est pas possible pour des raisons de faisabilité technologique ou de coût. Ainsi, pour disposer de ces informations, on recourt à des techniques d'observations et d'estimations.

Un observateur (dit capteur informatique) est un algorithme basé sur un modèle du système qui, à partir de certaines mesures disponibles sur l'état du système, permet de reconstruire l'état dynamique global. Le processus d'observation est basé sur la comparaison entre l'état mesuré et observé. Dans certains cas l'utilisation de l'observateur (figure 13) permet l'estimation de paramètres inconnus du système.

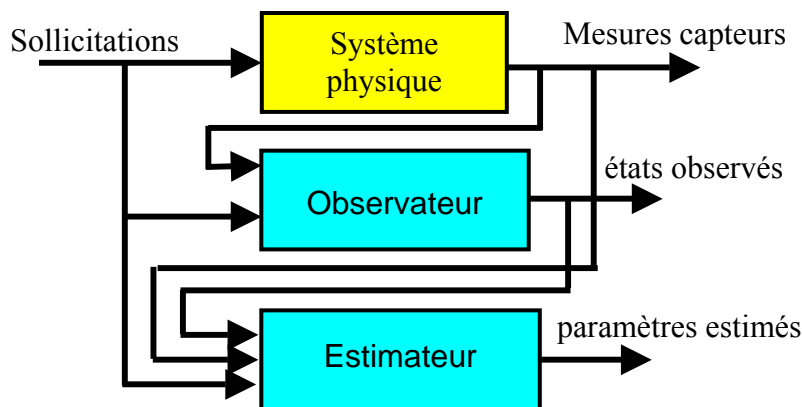


Figure 13 : Observateur et estimateur d'état

Dans notre étude d'un système anti-renversement, nous avons développé un observateur dit à « modes glissants » (« sliding modes ») connu pour sa robustesse vis-à-vis des erreurs de paramétrage et de modélisation. L'observateur utilisé permet d'obtenir l'état global du système et l'estimation des forces d'impact en un temps fini. Ces résultats (Bouteldja et al, 2004b) présentés à la figure 14, sont par la suite utilisés dans les procédures de génération d'alertes. Ils montrent :

- une bonne convergence de la vitesse latérale observée,
- une bonne estimation de l'angle relatif de lacet,
- une très bonne superposition des angles de lacet observé et réel,
- une restitution correcte de l'angle de roulis.

Détails des variables mesurées et non mesurées

Les entrées du modèle sont l'angle de braquage, le couple moteur et la vitesse longitudinale. La sortie du modèle est l'état dynamique complet instantané (position, vitesse et accélération). Afin de réaliser l'estimation des variables non mesurées (i.e x_E, y_E, z_E et ϕ_z qui sont respectivement les 3 coordonnées du CDG du tracteur et le lacet du tracteur), il est nécessaire de disposer des mesures suivantes : ϕ_x (roulis du tracteur), $\phi_{z,s}$ (lacet relative tracteur/ semi-

remorque) et les mesures q_1 à q_6 (débattement des suspensions). Ces mesures sont disponibles sur un poids lourd.

Remarque

Une bonne estimation de l'état dynamique dépend des capteurs disponibles et de leur sensibilité.

Une attention particulière est portée sur la fiabilité des modèles et leur utilisation dans les observateurs. Un point important de ces modèles, est l'étude de leur adaptation à des conditions locales à partir de l'adhérence et de l'état de la route (mouillage et hauteur d'eau). La non prise en compte de facteurs locaux routiers est une limite très pénalisante pour les méthodes actuellement proposées.

Le modèle développé permet de réaliser des simulations quasi-instantanées (avec un bon réglage des paramètres de simulations, comme à titre d'exemple le temps d'échantillonnage...) grâce aux performances des ordinateurs actuels.

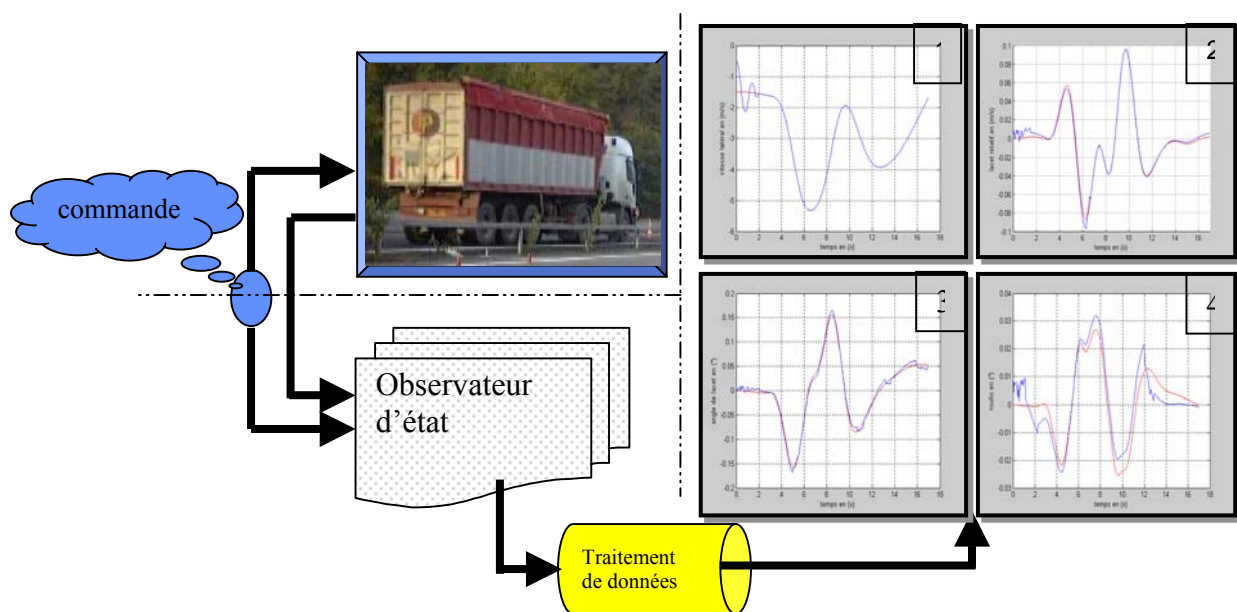


Figure 14 : Observateur et résultats d'observation

Système anti-renversement

Après avoir reconstruit l'état dynamique du véhicule (c'est à dire les positions, les vitesses et les accélérations) par estimation dans le cas des manœuvres du véhicule en virage, il s'agit de détecter et de prédire les situations de renversement.

a) Modèle de renversement

La modélisation dynamique des poids lourds et le savoir-faire actuel pour la mise en équation de systèmes complexes, permettent aussi bien l'analyse du comportement que la simulation et la prédiction. Lorsque ce savoir est conjugué avec la puissance de calcul des systèmes informatiques actuellement disponibles, on s'aperçoit des potentialités pouvant mener à la définition des systèmes prédictifs.

Ainsi après une synthèse bibliographique (Bouteldja et al, 2004a, Chen&Tomizuka, 1997) sur les différents modèles de comportement dynamique des poids lourds, nous avons choisi une description formelle permettant de définir des estimateurs de l'état et des forces développées par les pneumatiques, combinés avec des observateurs robustes. Cette représentation se ramène à un modèle de renversement (mouvement de roulis) et s'est avérée suffisante pour aller jusqu'à un niveau de précision satisfaisant pour la prévision du comportement dynamique du poids lourd.

b) Détection des situations de début de renversements

Un renversement peut se produire lorsque la vitesse de roulis du poids lourd l'entraîne dans une zone instable. Ce phénomène est décrit dans (Momiya et al., 1999) à l'aide d'un plan de phase en roulis (Figure 15).

Le renversement d'un véhicule peut être caractérisé de trois façons :

i) *a priori* : un indicateur permet de caractériser la propension au renversement du véhicule. Le Ministère des Transports américain utilise le SSF (Static Stability Factor), fondé sur les caractéristiques géométriques du véhicule.

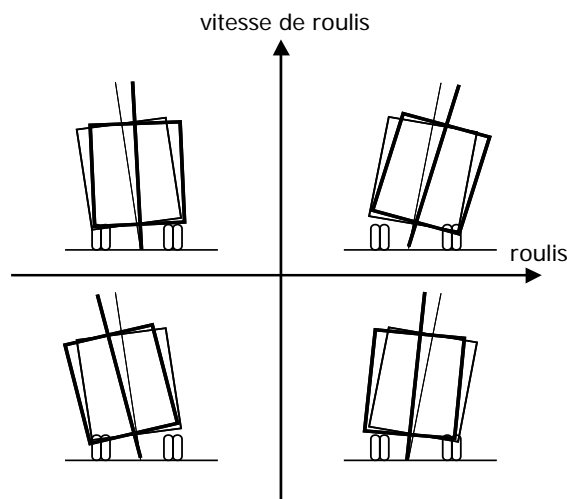


Figure 15 : plan de phase du roulis

(ii) caractérisation instantanée de la position du véhicule par rapport au renversement : l'analyse de la dynamique du poids lourd à l'aide de capteurs proprioceptifs permet d'évaluer un critère de renversement. Le LTR (Load Transfer Ratio) (Odenthal, 1999) donne un rapport de charge entre les roues droite et gauche d'un même essieu. Le RPER (Rollover Prevention Energy Reserve) (Nalecz, 1993) compare l'énergie cinétique de rotation à l'énergie nécessaire pour renverser le poids lourd.

(iii) prédiction de situation de retournement : l'état dynamique du poids lourd est prédit en utilisant la commande donnée par le conducteur à un instant donné (Chen, 1999). La position du poids lourd face à une situation de renversement est analysée sur l'état prédit à partir du LTR. Le temps au renversement, s'il a lieu, sert alors de mesure.

Systèmes anti-renversement développés sur les véhicules

Si une situation de renversement est détectée, cinq types d'actions peuvent être appliquées sur les organes de contrôle du poids lourd :

(i) action sur le système de freinage : une variation de pression dans le système de freinage entre la roue droite et la roue gauche est créée, fonction de la vitesse de roulis et de l'accélération latérale (Eisele, 2000). Le système utilise l'ABS et l'ESP pour commander le système de freinage.

(ii) action sur la direction : (Ackermann, 1998) propose d'ajouter un angle de braquage correctif, fonction de la vitesse, du roulis, de l'accélération latérale et du braquage demandé par le conducteur. Cet angle de braquage additionnel corrige le mouvement de roulis du véhicule dans les manœuvres de changements de voies.

(iv) action combinée sur le freinage et le braquage : en cas d'urgence, (Odenthal, 1999) effectue à la fois une correction sur le système de freinage et sur le braquage. Les corrections sont échelonnées dans le temps, afin de retrouver d'abord la stabilité du véhicule, puis le suivi de trajectoire en agissant sur le braquage.

(v) action sur les suspensions ou les barres anti-roulis : le passage d'un mode bloqué, où elles sont rigides, à un mode libre, induit une résistance faible au roulis en fonction de l'accélération latérale. Le déplacement de la charge suspendue peut être réduit de 25% (Sampson, 2000).

Système anti-renversement développé sur l'infrastructure

Un système anti-renversement a été développé (IRD 1997, Gee) aux Etats-Unis pour instrumenter les rampes d'accès et de sorties des autoroutes. Le système est composé d'un système de pesage en marche déterminant la catégorie et la masse du véhicule, ainsi que sa vitesse. En fonction de ces trois paramètres et de l'infrastructure sur laquelle le système est installé, la vitesse constatée est comparée à une vitesse calculée. En cas de dépassement de cette vitesse, le conducteur est alerté par un panneau à message variable.

Système ESP amélioré

Le contrôle actif de la vitesse de lacet par un freinage dissymétrique sur plusieurs roues, qui est la base de l'ESP et déclenche à la fois un ralentissement et un couple de lacet correcteur, en cas d'accélération latérale élevée, a été légèrement étendu pour contrôler le renversement (appelons ce système « ESP+ » pour la clarté de l'exposé) ; il peut ainsi éviter les survirages, sous-virage, têtes à queue et mises en portefeuille. Dans certains cas on obtient l'élargissement du rayon avant que la chute de vitesse n'ait un effet suffisant.

Mercedes vient de sortir un ESP sur le modèle de poids lourd ACTROS, et Renault Trucks développe avec Knorr-Bremse un ESP pour les poids lourds à semi-remorque qui devrait sortir en série très prochainement. Il est similaire dans son principe à ceux des voitures de tourisme et réalise une boucle fermée sur la vitesse de lacet (par freinage unilatéral) par rapport à la demande du conducteur (braquage au volant). La prévention du renversement en cas de haute adhérence a lieu par la limitation de l'accélération latérale à une valeur prédéterminée, uniquement fonction de la charge et non de la propension au renversement. Pour les poids lourds, il n'y a pas à ce jour de capteurs spécifiques au renversement, alors que la grande variabilité du chargement rend la fixation d'une valeur forfaitaire pour l'accélération latérale maximale très difficile. Actuellement cette valeur n'est liée qu'à la masse totale, connue par les capteurs de pressions dans les soufflets des suspensions pneumatiques. Il faut signaler que si dans de nombreux domaines le poids lourd est en retard

technologique sur l’automobile, dans le domaine du freinage, la complexité plus forte des systèmes (notamment avec remorque ou semi-remorque) a imposé le freinage électronique (EBS) avant l’automobile, qui n’est pas encore passée au « Brake By Wire ».

c) Nouveau concept

Le système de prévention des renversements de poids lourd développé dans ce projet est fondé sur trois blocs, décrits par la suite. Il consiste en la prédiction de l’état dynamique futur du poids lourd connaissant l’état dynamique à un instant donné, les caractéristiques géométriques et les paramètres importants dans le cas du renversement, et l’évolution de la route pour adapter une commande conducteur réaliste lors de la prédiction.

L’état dynamique prédit est ensuite analysé pour caractériser le risque de renversement. Les trois blocs constitutifs de ce système sont :

- les capteurs, qui devront être intégrés dans le poids lourd pour obtenir suffisamment d’informations sur son état dynamique, ainsi qu’une évaluation de paramètres jugés critiques pour le bon fonctionnement du système ;
- les estimateurs, qui doivent estimer les états manquants à partir des données fournies par les capteurs, et évaluer un certain nombre de paramètres relatifs à la modélisation utilisée du poids lourd ;
- l’évaluation du risque, qui reprend les informations précédentes pour fournir, à partir d’une évolution de l’état dynamique du poids lourd, une évaluation du risque de renversement sur la trajectoire prédite. Ce dernier bloc fournit les informations de risque à un module d’alerte.

La figure 16 schématise le fonctionnement de ce système : l’état dynamique d’un poids lourd réel sur une route donnée est évalué à l’aide des capteurs. Les informations fournies par ces capteurs sont incomplètes. A l’aide des techniques d’estimation, les paramètres relatifs à la représentation du poids lourd sont identifiés (notamment la hauteur du centre de gravité). Le module d’évaluation du risque prédit la trajectoire possible du poids lourd à partir de ces données et évalue le risque de renversement le long de cette trajectoire. Un indicateur, caractérisant la proximité d’une situation de renversement est alors donné au module d’alerte.

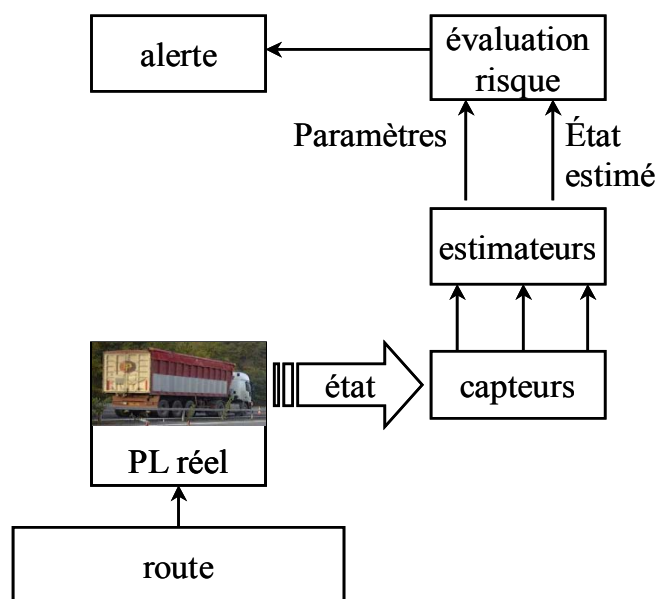


Figure 16 : Système de prévention des retournements

Les états observés, les estimations et les paramètres identifiés seront par la suite des données pour le module d'évaluation du risque.

Evaluation du risque

La technique d'évaluation du risque est à rapprocher de celle développée par (Chen, 1999), c'est à dire l'évaluation d'un critère de renversement le long d'une trajectoire prédite. Néanmoins, le cadre d'ARCOS nous a permis d'affiner la phase de prédiction de la trajectoire. En effet, connaissant l'évolution des caractéristiques de la route sur une distance donnée (de l'ordre de 300 m par exemple, soit une dizaine de secondes), nous pouvons adapter la commande grâce à cette prédiction. Comme l'indique la figure 17, l'état initial de la prédiction est fourni par le module estimateur (état dynamique et paramètres relatifs au modèle de poids lourd utilisé). A chaque instant de la prédiction, le poids lourd est localisé en utilisant la cartographie numérique. Etant donné cette localisation, le module de suivi de trajectoire génère la commande adéquate de braquage pour permettre au poids lourd de se maintenir dans la voie de circulation. La prédiction de l'état dynamique permet au module « critère de renversement » d'analyser le comportement. Si un début de renversement est prédit dans l'intervalle temporel utilisé, l'instant de prédiction auquel cet évènement intervient correspond alors à l'instant du renversement.

d) Evaluation du renversement

L'évaluation du risque de renversement du poids lourd est effectuée par le calcul du LTR (Load Transfert Ratio ou Ratio de Transfert de Charge), sur la trajectoire prédite. Le risque de renversement est important lorsque le LTR > 0,9. La prévision du renversement est quantifiée par le TTR (Time to Rollover ou temps à renversement).

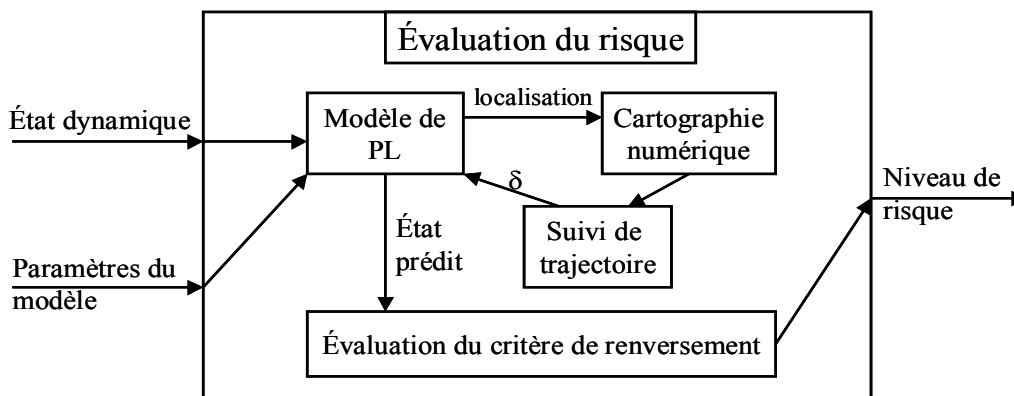


Figure 17 : Evaluation du risque

e) Cartographie numérique

Les spécifications de la cartographie numérique relatives aux poids lourds ont été fournies par le thème 11. Pour le renversement, ces spécifications suivent celles relatives aux vitesses excessives pour les précisions des données en courbure et dévers. Nous supposons dans la suite que la base de données de l'infrastructure embarquée sur le véhicule contient les informations de dévers et courbure de la route.

f) Résultats du risque de renversement

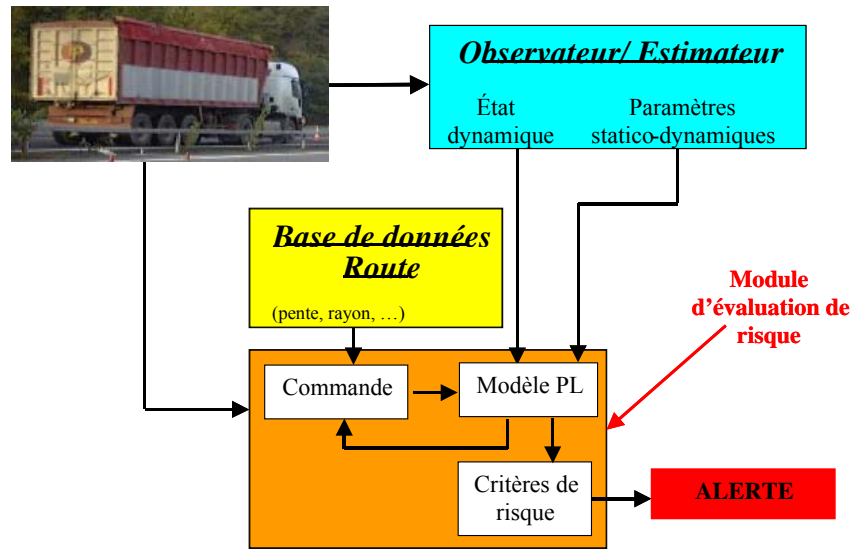


Figure 18 : Principe de génération d'alerte

La figure 18 donne le schéma du système de génération d'alertes composé des 4 blocs cités précédemment. Il utilise un observateur pour l'estimation de l'état dynamique et le modèle pour la prédiction en conjonction avec les caractéristiques de l'infrastructure (issues de la base de données cartographiques). Le module d'évaluation de risque génère des alertes en fonction du risque de renversement. Le critère exprimant le risque de renversement est évalué à partir de l'accélération latérale du véhicule, la hauteur du centre de gravité et la charge sur l'essieu.

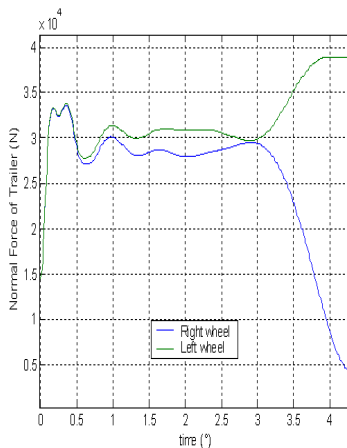


Figure 19a : Forces normales essieu arrière gauche/droite tracteur

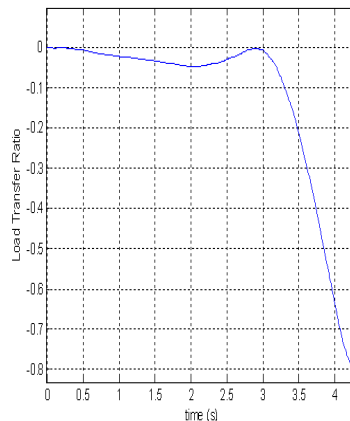


Figure 19b : Transfert de charge du véhicule au centre de gravité

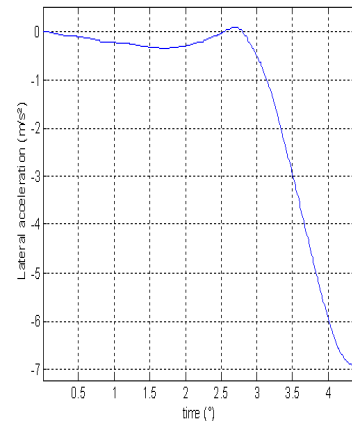


Figure 19c : Accélération latérale au centre de gravité

Le concept précédent a été simulé pour le passage d'un poids lourd dans une chicane. Les figures 19a à 19c représentent respectivement les forces normales à l'interface pneumatique/chaussée pour les roues gauche et droite de l'essieu arrière du tracteur, le transfert de charge du véhicule et l'accélération latérale au centre de gravité. Sur ces figures, on voit qu'un risque de renversement apparaît à l'instant $t = 3,7$ secondes (au milieu du premier virage). La prédiction du risque de renversement est basée ici sur l'analyse des critères d'évaluation

utilisant les forces, la vitesse et l'accélération au centre de gravité (Bouteldja et al, 2004b et Glaser & Mammar, 2004).

Une extension intéressante de ce module serait d'utiliser un système de prédiction basé sur la dynamique du véhicule. La prévision de l'état dynamique du véhicule $X(t+h)$ à un instant futur $t+h$ serait calculée à l'aide du modèle dynamique nominal. Ceci fait partie des perspectives et des travaux en cours.

IV. Caractéristiques mécaniques du poids lourd

Ce chapitre a pour but d'expliciter les défaillances propres aux véhicules qui peuvent produire une situation accidentogène. Des statistiques et une analyse sur les défaillances mécaniques sont présentées, puis les capacités de freinage et de décélération, et enfin la détection des défaillances dues à ces caractéristiques mécaniques.

A. Statistiques de défaillance véhicules lourds

Un recensement de défaillances des véhicules induisant des accidents de poids lourd avec des conséquences graves ou mortelles a été mené à partir de (Gou et al., 1994). L'étude citée a été réalisée au Canada sur un échantillon de 195 accidents. Les poids lourds constituent environ 3% des véhicules qui circulent sur les routes québécoises, les véhicules lourds sont présents dans 9% des accidents et dans 18% des accidents mortels. L'étude visait quatre objectifs: (i) déterminer l'importance des défauts mécaniques des véhicules lourds dans la genèse des accidents ; (ii) évaluer l'impact du programme de vérification mécanique périodique obligatoire (PVMPO) sur la sécurité routière ; (iii) déterminer l'efficacité du PVMPO pour améliorer l'état mécanique des véhicules lourds ; et (iv) vérifier l'effet de l'état des diverses composantes mécaniques sur la sécurité routière lors des inspections mécaniques obligatoires.

Méthodologie adoptée

C'est la technique d'enquête qui a été adoptée. Elle consiste à expertiser, pour chaque accident, l'état de défektivité du véhicule c'est à dire, si elle existe, de déterminer la cause mécanique de l'accident. L'enquête s'est déroulée sur 2 ans et a porté sur près de 200 cas d'accidents. La diversité des accidents a été prise en compte par le choix du type d'accident (nombre de véhicules impliqués), le lieu où les accidents ont lieu (type de route, régions administratives, ...). Il a été accepté, en raison de la représentativité des accidents qui y sont observés, que l'échantillonnage serait réalisé dans un rayon de 150 à 200 km autour de Montréal.

L'étude a porté sur 208 accidents impliquant au moins un véhicule lourd. Il a été décidé que les poids lourds rigides à 2 essieux, tracteurs/remorques et tracteurs/semi-remorques seraient pris en compte pour l'enquête (7 accidents impliquant des bus, 3 des camions de pompiers, et un camion récréatif ont été exclus de l'étude). En observant que pour 2 accidents, les enquêteurs n'ont pas pu retracer les pièces présumées défectueuses, 195 accidents ont été retenus pour l'étude.

Résultats de l'étude

L'analyse de l'échantillon montre que les défauts mécaniques ont causé ou contribué fortement à 15,4% des accidents. En pondérant cette estimation en fonction de la structure de la population par rapport au nombre de véhicules impliqués dans l'accident, la part des défauts mécaniques comme un facteur causal ou contributif se situe autour de 13,2% des accidents observés au Québec. Les limites de confiance à 95% de cette proportion ont été obtenues à l'aide de la loi binomiale et sont respectivement de 9,6% et 20,2%.

Le degré de contribution des défauts a été défini suivant une échelle à quatre niveaux : causal certain, contribution élevée, faible contribution et aucune contribution. Sur les 195 accidents utilisés pour l'analyse causale, les défauts mécaniques sont mis en cause dans 34 cas (facteur causal certain : 18 cas, contribution élevée : 12 cas, contribution faible : 4 cas). Notre échantillon semble donc indiquer que lorsque la défektivité mécanique est en cause dans un accident impliquant un poids lourd, elle apparaît plus souvent comme facteur causal plutôt que comme facteur contributif. D'où l'importance de prévenir la présence de tels défauts.

Les systèmes mécaniques défectueux peuvent être classés selon plusieurs critères dont la fréquence de défektivité dans un système, la fréquence relative de défektivité majeure ou la fréquence d'implication d'un système en tant que facteur causal ou contributif aux accidents (indice de dangerosité). Selon la fréquence de défektivité, le système de freinage est celui qui est le plus affecté (20%), suivi par le système d'éclairage et de signalisation (17,3%), le châssis (12,1%), le système de suspension (12%), l'habitacle (8,7%), le système de direction (6,8%), les pneus (6,5%), le dispositif d'attelage (5,9%), les roues et les essieux (5,2%), etc.

Le rapport entre le nombre de fois où l'on observe une défektivité majeure dans un système et le nombre de fois où ce même système est jugé non conforme (présence de défauts mineurs ou majeurs) définit son indice de gravité. Cet indice donne ici la classification suivante : système de freinage (0,38); suspensions (0,17); pneus (0,16); dispositif d'attelage (0,13); direction (0,10); châssis (0,07); éclairage/signalisation (0,06). Cela veut dire par exemple que le système de freinage présente une défektivité majeure dans 4 cas sur 10 contre à peine 1 cas sur 10 pour le système de direction. En se restreignant à l'ensemble des cas où le facteur mécanique est le facteur contributif ou causal des accidents, le système de freinage est encore en tête de liste avec 55,3%. Suivent ensuite dans l'ordre les pneus (12,8%), le châssis (10,6%), le système d'éclairage/signalisation (6,4%), le système de direction (4,3%), les éléments de l'habitacle (4,3%), etc. L'enquête a aussi montré que le mauvais arrimage ou équilibrage de la charge est aussi un facteur lié au véhicule qu'il conviendrait de surveiller (2%).

En dépit de la faible taille de l'échantillon, les résultats de cette étude permettent d'avoir une image relativement claire de l'implication des véhicules lourds dans les accidents routiers, de même que l'effet de leur état mécanique sur la sécurité routière. En résumé, l'étude montre qu'environ 13% des accidents impliquant des véhicules lourds sont le résultat de non-conformités mécaniques de ces véhicules et que le système de freinage représente la cause la plus fréquente des accidents causés par les défauts mécaniques. De plus, l'étude montre que sans référence aux causes des accidents, la propension des véhicules lourds avec des non-conformités majeures à être impliqué dans les accidents est presque 5 fois supérieure à celle des véhicules conformes.

Dans le cadre des PVMPO, la part des défauts mécaniques a été estimée entre 3% et 5%. La littérature est unanime sur le fait que dans la majorité des circonstances, un véhicule

sans défaillance ni défaut mécanique est susceptible de permettre au conducteur de compenser de façon sécuritaire ses erreurs ou d'éviter un accident.

Cette étude permet d'identifier les causes mécaniques les plus fréquentes dans un accident, ce qui va être utilisé dans la suite.

B. Capacité dynamique des poids lourds : décélération et virage

Contexte et objectif

L'une des difficultés de la sécurité routière en général est l'hétérogénéité des performances des véhicules, créant sur un axe donné des tensions dans le flux de circulation et suscitant des manœuvres de ralentissement et des tentatives de dépassement.

Dans le cas particulier des aides à la conduite, ces différences de performances sont encore plus problématiques : par exemple le déclenchement d'un arrêt d'urgence d'une voiture de tourisme lors de la détection de la présence d'un objet statique sur la voie sur (VL) pourraient être effectuées automatiquement. La compatibilité d'un tel freinage avec le trafic derrière le véhicule n'est pas assurée, et un gros choc arrière (par exemple avec un Poids Lourds) pourrait dans certains cas remplacer un petit choc avant.

Pour réfléchir avec des valeurs numériques correctes à ces problèmes fondamentaux, le comité de pilotage d'ARCOS nous a demandé de chiffrer les performances (ou capacités dynamiques) réelles des poids lourds, pour un véhicule neuf de 2004 avec une technologie récente (par exemple EBS) et pour des véhicules moyens du parc.

En terme de freinage, la décélération réellement possible est limitée par deux facteurs :

- l'efficacité du freinage (la puissance mais aussi la répartition entre les roues)
- et l'adhérence disponible.

Selon les situations (poids lourds neuf ou usagé, chaussée sèche ou humide, à vide ou en charge) l'un ou l'autre des deux facteurs limite la décélération réellement possible.

Loi temporelle de freinage

La loi temporelle de freinage peut se décomposer en plusieurs séquences :

- t_0 : le stimulus est perçu par le conducteur,
- le conducteur commence à agir sur la pédale, après le temps de réaction du conducteur, largement variable selon l'individu et son niveau instantané d'attention,
- le temps de réponse des freins caractérise le retard du début de la décélération par rapport au début de l'action du conducteur, ce temps varie avec la technologie (pneumatique, hydraulique, électrique)
- la zone de montée de la décélération,
- le plateau de décélération plus ou moins constante du fait des variations des deux facteurs clés :
 - l'adhérence varie avec la vitesse et l'échauffement du pneu,
 - l'efficacité des freins varie avec leurs températures.

On donne dans la figure 20 ci-dessous une courbe typique de décélération de véhicule exprimée en diagramme vitesse / distance :

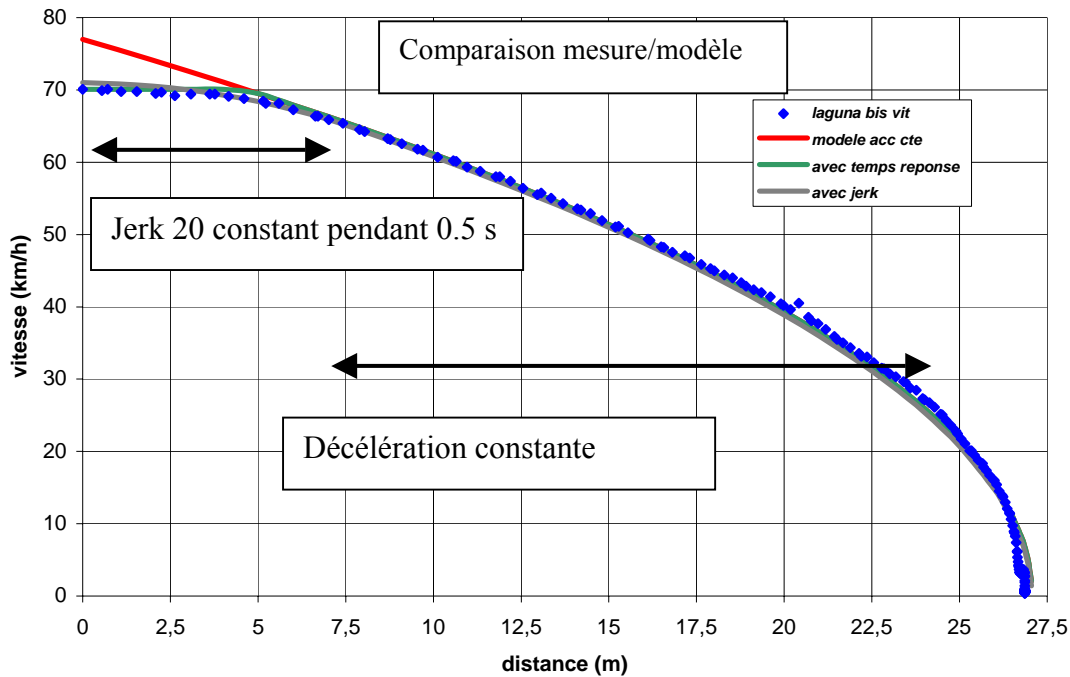


Figure 20 : Courbe vitesse en fonction de la distance parcourue lors d'un freinage.

On identifie sur les points expérimentaux en pointillés bleus principalement trois zones :

- une zone de vitesse d'approche relativement plate jusqu'à 4s,
- une zone de raccord dont une modélisation montre qu'elle est approximativement à jerk constant (la décélération est une fonction linéaire du temps) pendant environ 0.5 à 1s,
- une zone parabolique qui correspond à une décélération constante.

Quantification de la décélération

Dès que l'on veut donner des chiffres de décélération, ce qui est par exemple le problème de l'homologation des véhicules, on se heurte à la définition puisqu'il y a plusieurs décélération moyennes :

- moyenne depuis le début de l'action sur la pédale et calculée sur la distance d'arrêt,
- obtenue au plateau stable de la décélération, souvent faite sur la fourchette 90% à 10% de la vitesse initiale,
- valeur lue à l'accéléromètre, qui est majorée par le tangage, et présente un pic marqué à cause du balancement de caisse.

Les valeurs sont sensiblement constantes avec la vitesse sur route sèche, mais se réduisent sur route mouillée. Elles varient beaucoup avec la charge, d'où la fourchette mini/maxi.

On a choisit ici la deuxième définition.

Le tableau 2 indique la dispersion constatée de la décélération pour un parc donné de véhicules (VL + camionnettes) appartenant à une Direction Départementale de l'Équipement. Il indique que les camionnettes ont une capacité de décélération beaucoup plus faible que les véhicules légers.

Dans le but de fournir des données chiffrées pour apprécier l’hétérogénéité du parc, nous avons décidé de la compléter par des valeurs estimées pour les poids lourds .

Ces évaluations sont délicates à établir, sujettes à contestation, et sont un sujet à elles seules (avec des budgets d’expérimentation) :

- type du sol,
- échauffement des freins et des pneus,
- cas de charge,
- déchéance avec la vétusté.

On ne prétend donc pas ici donner des chiffres précis mais seulement des ordres de grandeurs pour permettre une première analyse. Nous avons rassemblé les informations à notre disposition, et notamment les chiffres minimum d’homologation. Les valeurs pour les PL peuvent être inférieures de 50% à celles des VL, pour lesquels la compétition a été engagée sur la distance de freinage, avec la sophistication des systèmes (ABS de 8^{ème} génération sur la Renault Mégane, AFU, EBD, etc.). On remarquera que le sol mouillé affecte moins les poids lourds que les VL du fait que l’hydroplanage est repoussé par le rôle dominant de la pression spécifique dans l’aire de contact (tableau 2).

Valeur des décélérations au plateau d’un parc de véhicule				
véhicule	chaussée	Mini parc	Maxi parc	Véhicule 2004
VL	sec	6	10	11
VL	mouillé	5	8	9
camionnette	sec	5	6	7
camionnette	mouillé	4	5	6
PL	sec	4.5	5.5	6
PL	mouillé	4	5	5.5

Tableau 2 : Décélération (en m/s²), parc DDE

Conclusions

En cas de freinage, avec des vitesses initiales qui tendent à être égales, les capacités dynamiques des poids lourds sont sensiblement plus faible que celle des VL, et les distances d’arrêt notablement plus élevées.

Le risque de collision en file n’est pas négligeable, puisque la combinaison la plus pénalisante (chaussée sèche, VL récent devant, PL chargé et vétuste derrière) demande des marges de sécurité spécifique à l’hétérogénéité de performances d’environ 20 m et 0.7 s à 90 km/h.

Il faut également citer l’effet de masquage du poids lourds, qui cache aux véhicules placés derrière lui la perception visuelle de l’allumage des stops des véhicules placés devant. Le freinage ne peut alors commencer qu’après perception des feux stops du véhicule juste devant, ceci conduisant à l’addition des temps de réponse et favorisant les collisions en files.

Ces éléments montrent qu’indépendamment de l’augmentation de la gravité des accidents impliquant un poids lourd du fait de leur masse élevée, il y a une augmentation de la

probabilité d'accident dans un flux mixte poids lourds et véhicules légers et que cela peut poser problème dans une logique de déclenchement automatique de freinage d'urgence.

C. Défaillances des véhicules

Cette partie n'a pas fait l'objet du travail réalisé au sein du thème 11. Elle n'est indiquée ici qu'à titre informative.

Types de défaillances véhicules et procédures de détection

L'objectif consiste à définir des procédures efficaces pour la détection précoce de situations accidentogènes pouvant être engendrées par des défaillances du véhicule. La première question qui se pose est d'identifier le type de défaillances à détecter, comme par exemple : (i) suspensions, (ii) gonflement ou pression des pneus, (iii) défauts dans le système de freinage, et (iv) défaut dans le système de direction, etc.

La sécurité routière repose en partie sur la surveillance du bon fonctionnement des différents éléments d'un véhicule. Nous considérons les quatre premiers types de problèmes afin d'illustrer l'intérêt de la structure proposée. La procédure de diagnostic élaborée se décompose en deux parties : (i) génération d'indicateurs représentatifs des défaillances ; et (ii) évaluation de ces indicateurs pour détecter et décider s'il y a un dysfonctionnement. La procédure générale de diagnostic peut être représentée par la figure 21.

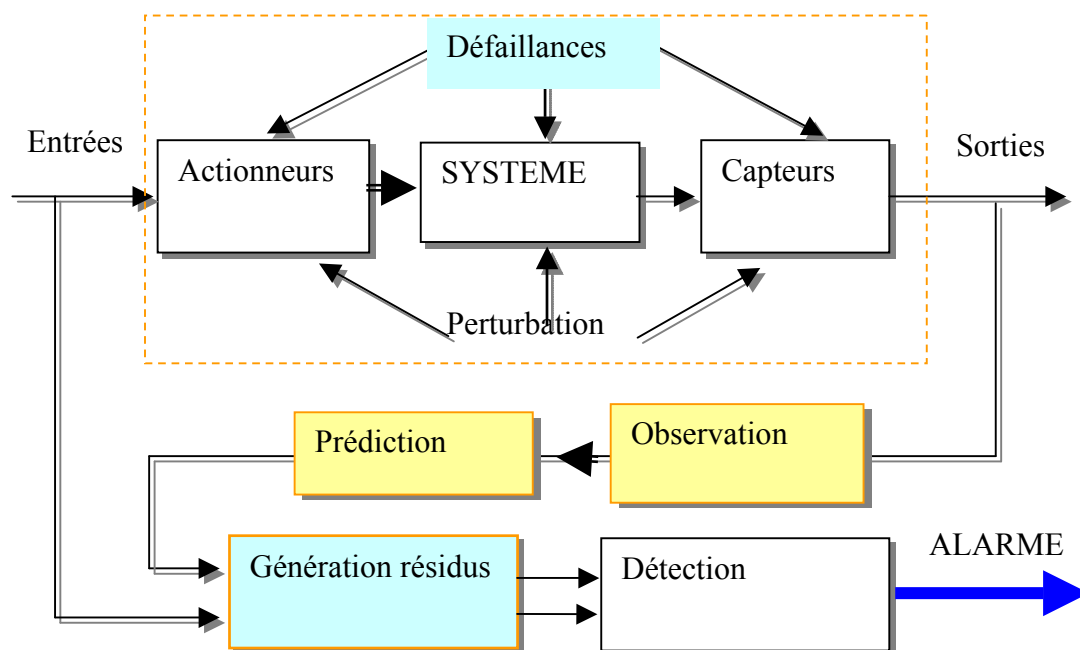


Figure 21 : Système de détection et de diagnostic

La suspension et le gonflement des pneus représentent des éléments importants dans le confort et la sécurité d'un véhicule. Un défaut dans le système de suspension ou de pneumatique peut conduire à des situations dramatiques. La mise en place de systèmes de détection et de localisation de défauts devient alors essentielle pour prévenir les accidents. Des approches pour la détection de défaillances de la suspension ou de changement de pression d'un pneu ont été développées. La méthodologie est basée sur la combinaison d'estimateurs et d'un système de décision séquentiel. La tâche de détection et de localisation des défauts s'effectue en deux étapes :

- Génération de résidus: signal conçu comme indicateur d'anomalies fonctionnelles ou comportementales à partir d'estimation/observation.
- Logique de décision : les tests effectués pour la décision reposent sur l'élaboration de seuils. Il s'agit de discerner s'il y a eu ou non dépassement du seuil. Les signaux étant entachés de bruits, nous utilisons des méthodes statistiques permettant de minimiser le nombre de fausses alarmes.

a) Défaillances du système de suspension

Le rôle fondamental de la suspension est d'adoucir la dynamique verticale du véhicule due à son excitation par la route, et de maintenir les roues en contact avec le sol, de telle manière que les irrégularités de la route et les mouvements de la caisse, tangage et roulis, n'affectent pas le contrôle de direction et la stabilité. La plupart des suspensions de véhicules, ou du moins celles dites passives, font appel à une combinaison d'éléments élastiques (ressorts) dont la fonction est d'emmagasiner et de restituer de l'énergie, et d'éléments dissipatifs (amortisseurs). Ceci conduit à développer un système de détection de défaillance de suspension (ressort ou amortisseur) en temps réel et un générateur d'alarmes permettant d'alerter le conducteur de l'anomalie. Différents modèles peuvent être définis, selon le but recherché (confort seul ou confort et tenue de route et selon le type (passif, semi-actif, actif) de suspension. Le plus simple est le modèle quart de véhicule à deux degrés de liberté qui prend en compte le mouvement vertical de la caisse ainsi que les dénivellations de la route. L'utilisation des observateurs, combiné avec une identification par les moindres carrés récursifs afin d'estimer les états non mesurés du système et identifier en temps réel les coefficients de raideur et d'amortissement peut constituer une méthode intéressante pour la détection de ce type de défaillance. Une défaillance au niveau de la suspension conduit à une modification de la valeur des coefficients (amortissement et raideur).

b) Défaut de pression d'un pneu

La tenue de route d'un véhicule dépend directement du contact entre le pneu et la route, conditionné par le gonflement du pneu, qui est soumis à des échauffements dangereux en cas de sous-gonflage. Les défaillances dues à des problèmes de pneus sont la troisième cause d'accidents : 75% d'entre eux sont, en effet, précédés d'une « sous-pression » ou d'une fuite lente d'air.

Un système informant le conducteur en cas de fuite permettrait d'éviter ces accidents. Pour élaborer un tel système, une des premières idées qui vient à l'esprit consiste à installer des capteurs de pression sur chaque pneu. Malgré son apparente simplicité, la mise en place d'un tel système devient vite complexe. En effet, sans compter le coût de tels capteurs, les pneus doivent être adaptés pour accepter leur installation. Face à ce problème, une méthode indirecte est proposée (M'Sirdi, 2004) pour l'estimation de la pression des pneus.

Il existe dans la littérature deux autres méthodes, certes moins directes, mais dont le coût est bien plus faible. La première consiste à estimer le rayon dynamique de la roue. En effet, sous l'effet de divers facteurs (efforts subis, pression, température...) le rayon dynamique de la roue a tendance à évoluer. A partir de l'évolution de ce rayon, on peut estimer la pression. Mais, une brève étude de cette méthode montre que l'estimation est faussée lorsque les roues droites et gauches subissent les mêmes efforts, et ont une fuite égale de pression.

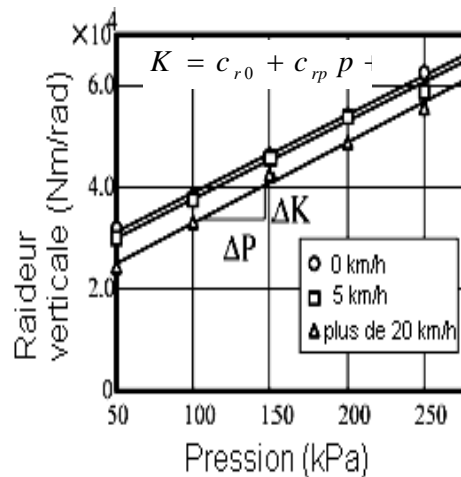


Figure 22 :Variation de la raideur verticale en fonction de la pression

Une seconde méthode (Umeno & al, 2001 ; Kamoulakos & Kao, 1996) utilise la mesure de la vitesse angulaire de la jante. Cette mesure est connue si le véhicule est équipé du système ABS, ce qui est le cas de nos jours pour grand nombre de véhicules. Un observateur estime la variation de la raideur verticale du pneu. Or, il est établi qu’il existe un lien entre la variation de pression et la variation de la raideur. L’estimation d’une variation de raideur permet donc de détecter une variation de pression. La figure 22 présente des courbes expérimentales de la variation de la raideur du pneu pour trois vitesses différentes. Il apparaît qu’au delà de 20 km/h la vitesse n’a plus aucune influence.

Conclusion et perspectives

Le terme de la prévision pourra être amélioré par un dispositif de détection conforme au schéma de la figure 23, avec une prévision dynamique à échéance très élevée. Ceci nécessite des modèles complexes ou des simulateurs évolués, donc une grande puissance de calcul difficile à mettre en œuvre sur système embarqué. Ces méthodes offrent l’avantage d’être extensibles selon le schéma de la figure 23, avec des observateurs et système de prédiction robustes et efficaces.

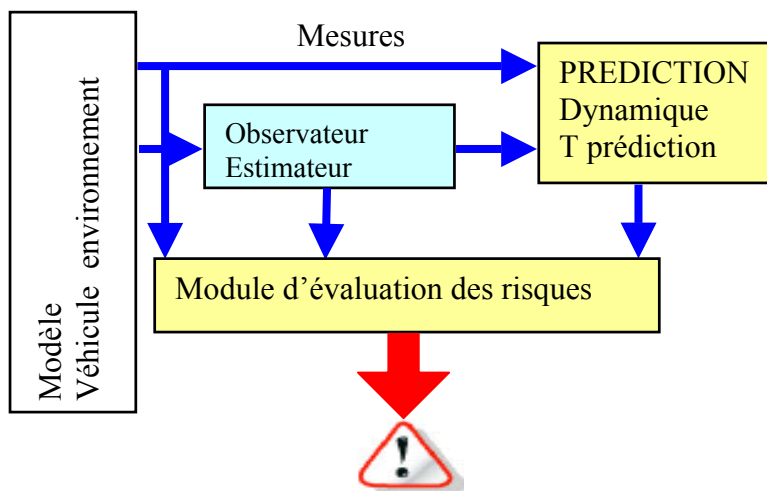


Figure 23 : Prédiction des défaillances mécaniques

V. Aspect conducteur

Nous nous intéressons ici aux défaillances du conducteur génératrices d'accidents. Outre les erreurs de conduite, un certain nombre d'accidents de la route sont causés par des problèmes neurophysiologiques (sommeil et fatigue). La somnolence est responsable de 15 à 20 % des accidents de poids lourds. Après la description de la somnolence, nous présentons les méthodes de mesure de la somnolence et les contre-mesures. Plus de détails sont donnés dans (Roussel, 2004)

A. La somnolence et les accidents de la route

Somnolence comme cause d'accidents

Tous véhicules confondus, la somnolence cause 1 à 34 % des accidents selon les pays. Pour les poids lourds, la somnolence serait impliquée dans 3 à 17 % des accidents aux Etas-Unis et 12 % en Australie. Cependant 47 % des conducteurs de poids lourd avouent s'être déjà endormis au volant, et 25 % l'ont fait dans l'année écoulée (Etas-Unis).

La somnolence

La somnolence peut être définie comme un état intermédiaire entre éveil et sommeil. Les critères qui permettent de la reconnaître sont subjectifs (envie de dormir), comportementaux (fermeture des yeux, mouvements lents des globes oculaires, hypotonie musculaire, bâillements, repositionnements corporels, gestes autocentrés, chute de la tête) et électroencéphalographiques (augmentation du rythme α , 8-12 Hz, 50 % du tracé, et θ , 4-7 Hz).

Somnolence ou fatigue ?

Ces deux termes sont équivalents pour le neurophysiologiste. On est fatigué quand la période de travail a été trop longue, quand le repos a été trop court, ou quand on est dans l'impossibilité de maintenir la performance (conduite). La fatigue conduit à une diminution progressive de l'attention portée à la route et au trafic aboutissant à la fermeture des yeux.

Somnolence ou inattention ?

L'inattention a pour caractéristique de privilégier une forme d'activité par rapport à toutes les autres possibles au même moment. Par exemple, téléphoner en conduisant prime l'activité de conduite qui devient une tâche secondaire pouvant entraîner une situation accidentogène.

Somnolence ou inertie post-hypnique ?

Somnolence, confusion, désorientation et dégradation des performances (mémoire, temps de réaction, capacité à résister au sommeil, force musculaire, fonctions cognitives) caractérisent ce phénomène ressenti au réveil. Sa durée s'étend de quelques minutes à 1 heure, il est présent à chaque réveil de jour ou de nuit, il est aggravé par la privation de sommeil. La conséquence est de ne pas conduire avant 30 à 40 minutes après le réveil.

Analyse critique des études

Très peu d'études sur le rôle de la somnolence dans les accidents de la route remplissent des critères méthodologiquement irréprochables. Sur les 19 études valables au plan méthodologique, 14 concernent des « malades » atteints de troubles du sommeil. Beaucoup reste à faire pour quantifier de façon précise la part de la somnolence dans les accidents de la route. Certaines caractéristiques d'un accident, listées ci-dessous, suggèrent la somnolence comme responsable de l'accident : sortie de route ou collision avec un autre véhicule ou un obstacle, absence de traces de freinage ou de dérapage, le conducteur a parfaitement vu plusieurs secondes avant l'accident (7 s) l'obstacle ou le point de sortie de route, pas de défaillance mécanique, bonnes conditions météorologiques, chaussée non dégradée, vitesse respectée, distance inter véhiculaire respectée, alcoolémie en dessous du seuil légal, absence de pathologie causale, tentative de suicide exclue, des témoins ont observé une déviation de trajectoire du véhicule avant l'accident, le conducteur reconnaît s'être endormi.

B. Les méthodes de mesure de la somnolence

Variations comportementales

Les bâillements traduisent plus une augmentation de l'éveil qu'une augmentation de la somnolence. L'enregistrement de l'activité oculomotrice montre des mouvements lents des globes oculaires quand la somnolence augmente. La fréquence de clignement des yeux est fonction de l'intensité de la somnolence. Enfin, la diminution des mouvements (poignet) mesurés par l'actimétrie est observée lors du passage éveil-sommeil.

Auto-évaluation de la somnolence

La mesure en « aigu » (instantanée) de la somnolence peut être réalisée grâce à l'échelle de Stanford qui comporte 7 niveaux. Il existe une bonne corrélation entre le score et le risque d'accident en condition de conduite simulée. L'échelle de somnolence de Karolinska comporte 9 échelons, de « très éveillé » à « très somnolent ». Enfin, l'échelle analogique visuelle est le moyen le plus simple de mesurer la somnolence. La mesure en « chronique » ou globale de la somnolence reflète un niveau « général » de la somnolence considérée comme une variable biologique stable du sujet. Elle peut être mesurée par l'échelle de somnolence d'Epworth qui comporte 8 situations de la vie courante associées à 4 niveaux de somnolence. Elle permet de démasquer un état pathologique ou pré-pathologique plus ou moins compatible avec la conduite (apnée du sommeil, hypersomnie, narcolepsie, Parkinson, etc.). L'inventaire de l'activité veille-sommeil comporte, entre autres, 9 items pour mesurer la somnolence excessive diurne.

Les mesures électrophysiologiques

Le test itératif de latence d'endormissement (TILE) permet de mesurer de façon objective dans la journée la capacité du sujet à s'endormir caractérisant ainsi son (ses) système(s) de « sommeil » dans une situation « normale » ou « pathologique ». Le test de maintenance d'éveil (TME) permet de mesurer de façon objective dans la journée la capacité d'un sujet à rester éveillé caractérisant ainsi son (ses) système(s) d'éveil.

Les autres variables physiologiques

La polysomnographie consiste à enregistrer de façon polygraphique (EEG-EOG-EMG) des variables du sommeil. La pupillométrie mesure le diamètre de la pupille qui se réduit avec la somnolence. Les composantes tardives des potentiels évoqués sont perturbées en cas de somnolence. En raison des contraintes techniques (capteurs plus ou moins invasifs placés sur le sujet), des difficultés d'analyse des signaux biologiques, du degré de fiabilité insuffisant des différentes méthodes inventoriées, aucune de ces méthodes n'est susceptible, aujourd'hui, d'être employée en routine en condition réelle de conduite. Cependant certaines d'entre elles sont d'un intérêt certain pour démasquer « à terre » un état pathologique incompatible avec la conduite, en particulier de poids lourds, conformément à la législation en vigueur. La seule piste de recherche possible et raisonnable, actuellement, serait de détecter, grâce à des capteurs implantés sur le véhicule, un « comportement » de celui-ci (déviation de trajectoire, mouvements de lacets, inter distance non respectée, approche critique d'obstacle) témoignant chez le conducteur de la somnolence ou de tout autre phénomène (inattention, malaise, etc.).

C. Les variations de la somnolence

La variation physiologique

La somnolence, résultante d'une combinaison d'un processus circadien et d'un processus homéostatique (durée de l'éveil) varie sur 24 heures. Ainsi 80 % des sujets normaux peuvent s'endormir en moins de 15 minutes à 14h, ils ne sont que 30 % seulement à 10 et 20h (TILE). La vigilance subjective reste élevée de 10 à 20h. Il existe 2 périodes critiques pour la vigilance dans le nyctémère : 3-5h et 13-15h. Une corrélation positive significative est observée entre le nombre d'accidents liés à la somnolence et la probabilité de s'endormir.

La variation juxtaphysiologique (privation de sommeil et fatigue)

La durée optimale du sommeil est de 8,5 heures. Les performances de conduite se dégradent à partir de 17 heures d'éveil continu. La dégradation de la performance après 20 heures et 23 heures d'éveil continu est équivalente à celle observée avec une alcoolémie de 0,5 et 1 g/l respectivement. Le risque d'accident est multiplié par 2 après une nuit de sommeil de moins de 6 heures et par 3 après une nuit de sommeil de moins de 5 heures. Faut-il réviser les réglementations des rythmes de travail des chauffeurs routiers ?

Les variations pathologiques

Les apnées du sommeil concernent 5 % de la population, elles multiplient par 10 le risque accidentel par endormissement (1400 morts/an aux Etats-Unis). Le traitement par PPC fait disparaître le sur-risque. Faut-il rechercher les apnéiques dans la population des chauffeurs professionnels ? La narcolepsie ou maladie de Gélineau est incompatible avec la conduite: 2/3 des patients ont eu des accidents de la route. Les mouvements périodiques au cours du sommeil et le syndrome des jambes sans repos entraînent une privation de sommeil mais ce sont surtout les traitements qui augmentent le risque accidentel. L'hypersomnie idiopathique est la cause d'une somnolence diurne excessive entraînant un sur-risque accidentel.

Les variations toxiques (alcool et drogues)

L'alcool est le toxique majeur, on admet que 10 % de la population française est à « risque », 2,8 % des conducteurs dépassent le taux légal de 0,5 g/l. Ce taux est dépassé dans 30 % des

accidents mortels (2,4 % pour les chauffeurs PL) et dans 10 % des accidents corporels (1,5 % pour les chauffeurs PL). Le seul taux admissible est 0 g/l. Le cannabis, à 17 ans, 18 % des garçons et 7 % des filles en consomment régulièrement (10 fois par mois). Il est retrouvé chez plus de 11 % des conducteurs accidentés ou non. La responsabilité de ces molécules dans les accidents de la route n'est pas démontrée. La consommation de la cocaïne est marginale (moins de 1 % des sujets) ; la responsabilité n'est pas démontrée. Elle est souvent associée au cannabis, aux benzodiazépines et aux amphétamines. La consommation de l'héroïne et les opiacés est très marginale. Ils sont souvent associés au cannabis, à la cocaïne et aux benzodiazépines.

Les variations iatrogènes (médicaments)

Le prescripteur ou le pharmacien doit avertir le patient des dangers éventuels du médicament pour la conduite. Un pictogramme sur la boîte du médicament avertit le consommateur. 10 % des sujets conduisent sous l'influence de médicaments potentiellement dangereux pour la conduite parmi lesquels :

- les hypnotiques, sédatifs, anxiolytiques dont 26 composés benzodiazépiniques multiplient le risque accidentel par un facteur entre 2 et 5.
- les neuroleptiques, les antidépresseurs dont plusieurs composés perturbent la vigilance.
- les analgésiques et antitussifs narcotiques (la morphine et la codéine)
- les antihistaminiques H1, les bêta-bloquants, les stimulants centraux .

D. Les contre-mesures à la somnolence

Les contre-mesures préventives

Il faut informer les jeunes conducteurs sur les problèmes de la sécurité routière. Plusieurs points doivent constituer le bréviaire du conducteur de poids lourds. La somnolence est une situation extrêmement dangereuse pour la conduite, la période critique se situe entre 0 et 6h, la réduction du sommeil doit être bannie, la consommation d'alcool, à toutes les doses, induit ou amplifie la somnolence. Il faut respecter la durée du sommeil. La durée du sommeil avant la conduite doit être d'au moins 6 heures et ne jamais conduire après 17 heures d'éveil continu.

Les contre-mesures curatives

L'apparition de signes de somnolence en situation de conduite implique par ordre chronologique les dispositions suivantes. Il faut s'arrêter le plus tôt possible au plus proche parking pour une durée de 30 minutes (ouvrir la fenêtre ou augmenter le volume de la radio ne sert à rien). Ensuite, il est recommandé de faire une sieste d'une durée de sommeil entre 4 et 20 minutes, ce qui permet de restaurer 90 % des facultés nécessaires à la conduite. Par contre, la durée du sommeil ne doit pas dépasser 30 minutes.

Conclusion

Si de nombreuses méthodes permettent de mesurer la somnolence (auto-évaluation, comportement, électrophysiologie), aucune à l'heure actuelle n'est applicable en routine en condition réelle de conduite en raison de considérations techniques et du manque de sensibilité et de spécificité. La seule voie possible est de détecter un « comportement » anormal du véhicule par des capteurs placés sur ce dernier ou au niveau de l'infrastructure routière et d'alerter le conducteur.

VI. Conclusions

L'étude d'accidentologie a permis d'identifier le type d'accidents le plus fréquent impliquant un poids lourd isolé, soit le renversement dans 60% des cas. La silhouette la plus représentée dans ces accidents est l'ensemble tracteur et semi-remorque.

Un modèle à 12 degrés de liberté a été mis au point puis validé avec le logiciel de simulation du comportement dynamique de poids lourd « PROSPER ». L'utilisation d'observateurs a permis d'estimer les variables non mesurées à partir des états connus. Ces observateurs, de type mode glissant, sont à la fois robustes par rapport aux erreurs de modèle, aux incertitudes paramétriques et aux perturbations. Ainsi, il est possible d'estimer l'état dynamique du poids lourd à tout moment.

Les systèmes actuels de prévision du renversement ne sont pas assez fiables parce qu'il manque une base de données de l'infrastructure et la prévision devient très vite fautive (dans un intervalle de moins d'une seconde).

Tout conducteur doit prendre conscience de sa responsabilité. Cette prise de conscience doit être renforcée par une bonne formation et information. En dehors de ce qui est lié au comportement humain, les mesures suivantes pourraient réduire significativement les accidents dus à la somnolence au volant :

- à court terme, développer sur le véhicule et/ou la route des systèmes de détection de comportement anormal du véhicule traduisant une défaillance du conducteur qui serait alerté ;
- à moyen terme, réviser les rythmes activité-repos des conducteurs qui ne correspondent pas aux données scientifiques récentes ;
- à plus long terme, poursuivre les recherches sur l'alternance veille-sommeil et en particulier sur l'effet bénéfique de la sieste.

Les fonctions développées dans ARCOS ont été étudiées avec les architectes de fonctions afin de relever leurs spécificités pour les poids lourds. Pour adapter ces fonctions, il faut prendre en compte les différentes silhouettes (porteur 2 essieux, tracteur semi-remorque, porteur remorqueur, etc.), la masse, les dimensions géométriques, les capacités de décélération (liés à la charge), et les types d'accidents comme le renversement et la mise en portefeuille, des poids lourds.

En outre les autorités doivent prôner des mesures susceptibles d'améliorer la sécurité routière et adapter l'infrastructure à tous les véhicules, et au flux croissant du trafic de marchandises. L'industrie des véhicules s'est aussi engagée à faire diminuer le nombre d'accidents impliquant des véhicules utilitaires et le nombre de victimes, par une recherche continue et les évolutions techniques en résultant.

A l'avenir des efforts seront en outre déployés sur l'infrastructure routière. Les véhicules utilitaires cohabiteront plus harmonieusement avec le transport de personnes dans les villes et zones d'habitation. Sur les autoroutes et les grands axes de communication, les poids lourds bénéficieront d'une infrastructure adaptée à leurs besoins et à leurs limites, pour offrir une sécurité maximale. Les conducteurs profiteront d'une meilleure formation ainsi que d'un accompagnement permanent. Des simulateurs faciliteront la formation des conducteurs, et des systèmes embarqués contribueront à l'allègement de leur tâche.

Il est certains que le développement des pôles de compétitivité aboutira à faire collaborer de manière plus efficace les industriels et le monde de la recherche académique. Dans le cadre de ces pôles, surtout dans le cadre de celui qui sera dédié au poids lourd, la recherche menée ici permettra l'intégration du système de prédiction de renversement d'une part et son test (sa fiabilité et son acceptation par les chauffeurs,) d'autre part. Par extension, un autre projet de type ARCOS-PL permettra de travailler et d'intégrer les fonctions ARCOS aux poids lourds.

VII. Bibliographie

- Ackermann J. and Odenthal D. (1998), “Robust Steering Control for Active Rollover Avoidance of Vehicles With Elevated Center of Gravity”, in *Proc. International Conference on Advances in Vehicle Control and Safety*, pages 118-123, July.
- ARCOS (2004), ‘*Rapport sur l’adaptabilité des fonctions ARCOS véhicules légers pour les poids lourds*’, rapport Thème 11 L7.
- Bo-Chiuan Chen and Huei Peng (1999), “Rollover Warning of Articulated Vehicles Based on a Time to Rollover Metric”, ASME International Congress.
- Bouteldja M, Dolcemascolo V, M’Sirdi NM, Schaefer G. (2004a), ‘*Modélisation du Comportement Dynamique de Véhicules Lourds*’, Rapport ARCOS th. 11- L1.b&c, LCPC–LRV- SERA.
- Bouteldja M, M’Sirdi NM, Schaefer G, Dolcemascolo V. (2004b), ‘*Proposition d’architecture de prototypes*’, Rapport ARCOS th. 11- L3, LCPC – LRV.
- Chen, C., Tomizuka, M. (1997), “*Modelling and Control of Articulated Vehicles*”, Technical Report, UCB-ITS-PRR-97-42, University of California, Berkeley.
- Danie D., Eisele, and Huei Peng (2000), “Vehicle Dynamic Control With Rollover Prevention for Articulated Vehicle”, in *Proceedings of AVEC*.
- Desfontaines H (2004), ‘*Rapport de synthèse sur l’accidentologie poids lourds*’, Rapport ARCOS th. 11- L1.a, RENAULT TRUCKS - Advanced Engineering Lyon.
- Glaser S, Mammar S (2004), ‘*Contrôlabilité et critères de stabilité*’, Rapport ARCOS th. 11- L2, LIVIC.
- Gou M, Clément B, Birikundavyi S, Bellavigna O, Abraham E (1994), ‘*Incidence de L’état Mécanique des Poids Lourds sur la Sécurité Routière*’, Département de génie mécanique, Ecole Polytechnique (<http://securite-routiere.polymtl.ca/index-fr.html>).
- Imine H. Observation d’états d’un Véhicule pour l’estimation du profil dans les traces du roulement Doctorat en Robotique de l’Université de Versailles Saint Quentin en Yvelines, septembre 2003.
- IRD. “Ird uses Wim Info in Suite of Truck Safety Advisory Systems” Inside ITS, December 1997.
- Jacob, B., Dolcemascolo, V., *Spatial repeatability of axle loads on a pavement*, Final report of the Element 5, OECD/DIVINE, Paris, LCPC, 1997.
- McGee HW. and Strickland RR. (1994) “*An Automatic Warning System to Prevent Truck Rollover on Curved Ramps*”, Site Internet : <http://www.tfrc.gov/pubrds/spring94/p94sp17.htm>.
- Kamoulakos Argiris, Kao Ben G. 1996), “Transient Response of a Rotating Tire under Multiple Impacts with a Road Bump using PAM-SHOCK”, in *Proc. International Conference on High Performance Computing in Automotive Design, Engineering and Manufacturing*.
- Momiyama F., Kitazawa K., Miyazaki K., Soma H., and Takahashi T. (1999), “Gravity Center Height Estimation for the Rollover Compensation System of Commercial Vehicles”, *JSAE review*, 20, 493-497.
- M’Sirdi. NM, (2004), ‘*Définition des Alertes*’, Rapport ARCOS th. 11- L4, LCPC – LRV.
- Nalecz AG., Zhengyu L. and d’Entremont KL. (1993), “*An Investigation Into Dynamic Measures of Vehicle Rollover Propensity*.” SAE paper, (930831).

- Odenthal D., Bünthe T., and Ackermann J. (1999), “Nonlinear Steering and Braking Control for Vehicle Rollover Avoidance”, in *Proceedings of the European Control Conference*.
- Pacejka H.B and Bakker E (1991), ‘The magic formula tyre model’, in Proceedings 1st Tyre colloquium Delft
- Pacejka H.B (1996), ‘A consistent Magic Formula tyre model with dynamic extension’, in Proceedings of the 2nd Tyre Colloquium, Berlin sept.1996.
- Sampson D.J.M., McKeivitt G., and Cebon D., “*The Development of an Active Roll Control System for Heavy Vehicle*” Thesis of Cambridge University.
- Roussel B (2004), ‘*L’hypovigilance chez les chauffeurs de poids lourds*’, Rapport Arcos thème 11 L1.d.
- Schaefer. G, Glaser. S, (2004), ‘*Proposition d’architecture prototype*’, Rapport Arcos thème 11 L5, SERA/LIVIC.
- Umeno T., Asano K., Ohashi H., Yonetani M., Naitou T., Taguchi T. (2001), “Observer based estimation of parameter variations and its application to tyre pressure diagnosis”, Science Direct, Control Engineering Practice 9.

VIII. Annexe : Fonction ARCOS pour les poids lourds

Quatre grandes fonctions ont été définies dans le projet ARCOS, applicables aux véhicules légers et aux poids lourds, visant à éviter des accidents ou des pertes de contrôle, et des sur-accidents (accidents induits par d'autres accidents) :

1. alerter les véhicules en amont,
2. prévenir les collisions,
3. prévenir les sorties de route,
4. gérer les inter-distances.

Ces fonctions ont été élaborées et décrites dans un document par des architectes de fonctions. Un document de travail destiné aux architectes de fonction (ARCOS thème 11, 2004) a mis en évidence les spécificités de ces fonctions pour les poids lourds par rapport à celles pour les véhicules légers. Les fonctions ARCOS dans les poids lourds demandent une adaptation liée aux différences entre les deux types de véhicules, à savoir la dynamique, le poids, la géométrie, etc. :

- poids du véhicule : un poids lourd peut peser 40 fois plus qu'un véhicule léger, donc il devient plus difficile à contrôler notamment en situation d'urgence comme le freinage brusque ou l'évitement d'obstacle fixe ou mobile ;
- capacités dynamiques de freinage: le temps de réaction des organes mécaniques (en particulier de freinage) d'un poids lourds est beaucoup plus long que pour un véhicule léger ;
- géométrie : un conducteur de poids lourd voit mieux la scène routière qu'un conducteur de véhicule léger puisqu'il est situé plus haut. Compte tenu de leur hauteur, certains poids lourds peuvent avoir des difficultés dans certains tunnels, et avec leur largeur, peuvent avoir des difficultés pour traverser certains giratoires ou pour éviter des obstacles ;
- la réglementation pour les poids lourds concerne les charges à l'essieu, des groupes d'essieux, les poids totaux, les temps de conduite, et les jours et période de la journée autorisée. Certaines infrastructures peuvent aussi être interdites temporairement ou de manière permanente (barrières de dégel, ponts à faible capacité portante, zones urbaines, etc.)
- les chauffeurs de poids lourds sont des professionnels, donc a priori intéressés par les systèmes d'aide à la conduite efficace (permettant de limiter les accidents).

Ces différences ont permis de réaliser une première liste de spécificités pour les poids lourds. Des études et réflexions ont été menées sur chaque fonction. Pour conclure, la réalisation de ces fonctions est un atout majeur pour la sécurité routière. La plupart des accidents dont les causes sont liées à ces fonctions pourraient être évités ou leurs impacts sur les usagers, le véhicule, l'environnement, l'infrastructure, et l'économie réduits.

A. Alerter les véhicules en amont

L'objectif de cette fonction est de mettre en œuvre des outils permettant aux véhicules tiers, à l'infrastructure et à son gestionnaire, ou aux forces de l'ordre d'envoyer des informations à destination des véhicules situés en amont d'un obstacle ou d'une situation dangereuse ou inattendue (y compris un véhicule défaillant ou accidenté), de façon à éviter un accident ou sur-accident. Ces informations sont transmises par un média de communication ou une messagerie multimédias et peuvent être des alertes primaires ou secondaires, des

caractéristiques du véhicule, de l'infrastructure, de l'environnement du véhicule, du trafic, des situations à risque, des avertissements, des conseils de conduite, etc. Les alertes primaires et secondaires sont définies selon le niveau de dangerosité de la situation. Pour acheminer ces alertes, il faut d'abord localiser le véhicule, par GPS, ou par des informations fournies par des capteurs ou des caméras et un système de cartographie. Ces systèmes fournissent la position longitudinale à 10 mètre près sur un axe de circulation et l'environnement du véhicule. Afin d'analyser la situation le plus rapidement possible et avec précision à partir des informations en temps réel, il faut disposer d'une base de données embarquée sur les véhicules ou disponible sur l'infrastructure et gérée par un centre de traitement.



Figure 24 : Schéma de la fonction « Alerter les véhicules en amont »

La plupart des conducteurs disent être surpris au moment d'un accident. Donc disposer à l'avance d'informations sur son environnement, la route, le trafic, etc., devrait permettre aux conducteurs de prendre des mesures préventives à temps. Ainsi cette fonction à bord des véhicules devrait éviter certains accidents.

Pour l'adaptation de cette fonction aux poids lourds, il est nécessaire de transmettre la fiche d'identité du véhicule lourd au véhicule en amont pour par exemple augmenter les distances inter-véhiculaires si le poids lourd transporte des matières dangereuses.

Il est aussi nécessaire d'alerter les véhicules en amont sur les risques de renversement, la perte de chargement et les mises en portefeuille des poids lourds.

B. Prévenir les collisions

Il s'agit de mettre en œuvre un système de détection d'obstacles sur la route afin de prévenir le conducteur d'une éventuelle collision possible. Pour cela, il faut définir précisément l'environnement du véhicule, d'abord par la délimitation de la zone de surveillance des obstacles potentiels. Cette zone de surveillance peut être en section rectiligne ou courbe. Ensuite, il faut avoir une bonne visibilité et savoir identifier un obstacle. La surveillance

utilise des capteurs sur l'infrastructure et des caméras à bord du véhicule. Il faut également identifier la position relative de l'obstacle détecté, ses dimensions et sa dynamique (vitesse, orientation, temps à collision). Le calculateur du système estime le temps de réaction du conducteur en fonction des informations fournies par les capteurs. Enfin, une alerte de collision possible sera émise par le système si ce temps de réaction est inférieur à la normale. Pour avoir une meilleure efficacité, le système sera doté d'une fonction de risque combinant la probabilité de collision évaluée et la gravité induite.

Une fois l'alerte envoyée, le conducteur peut agir sur son véhicule ou celui-ci être automatiquement pris en charge par des actionneurs de changement de direction ou une loi de contrôle pour le freinage automatique selon une consigne prédéfinie. La figure 25 illustre les différentes actions de cette fonction. Le fait que le conducteur détecte les obstacles en amont et soit prévenu d'une éventuelle collision par le système lui permet de prendre des mesures préventives comme pour la fonction précédente. Cette anticipation permet d'éviter certains accidents ou bien de réduire leur gravité et leurs conséquences.

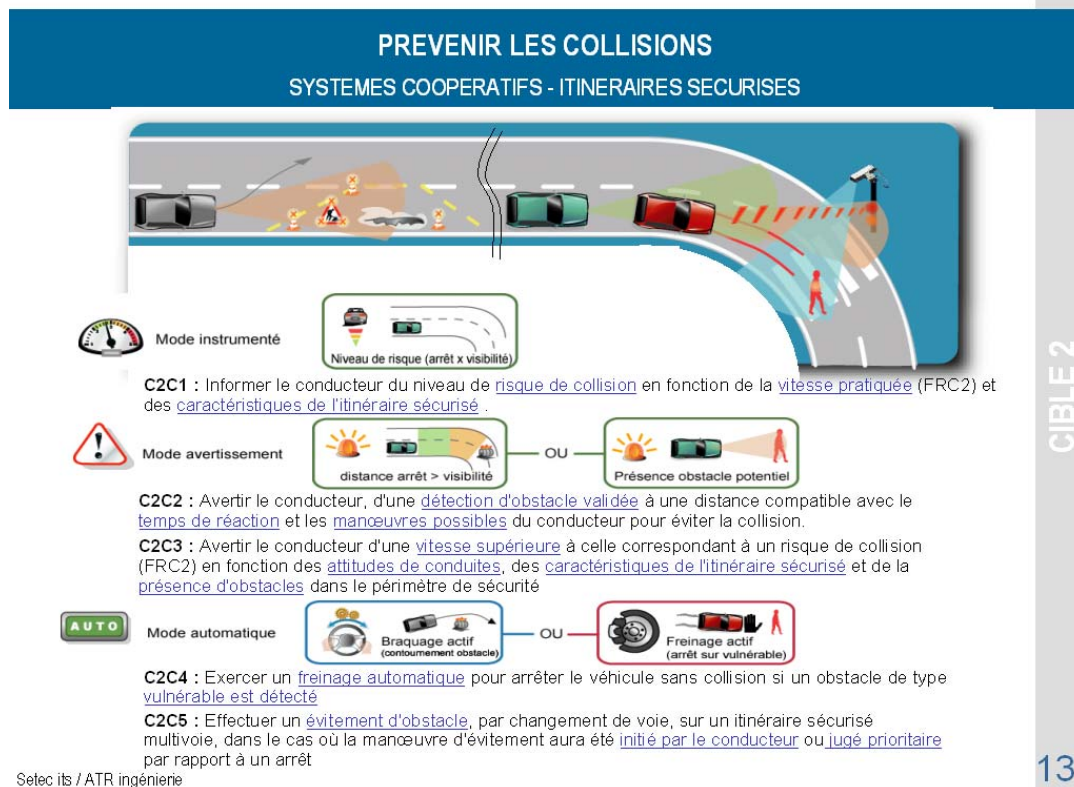


Figure 25 : Schéma de la fonction « Prévenir les collisions »

Le thème 1 d'ARCOS (Perception à l'avant du véhicule) a développé un algorithme de détection d'obstacle basée sur la technique de la stéréovision. Pour adapter cet algorithme à l'utilisation de cette technique pour les poids lourds, il faudra :

- tenir compte des caractéristiques géométriques du poids lourds par rapport à celles des VL,
- estimer les variations d'angles de roulis et tangage de la caisse du tracteur qui vont influencer la prise de vue par les caméras,
- estimer les fréquences propres de vibrations de la caisse afin de corriger leurs influences au niveau des algorithmes.

D'autre part, il est rappelé afin d'éviter un obstacle, que la manœuvre d'évitement devra être anticipée par rapport à celle réalisée avec un véhicule léger surtout lorsque le type de poids lourd est un tracteur semi-remorque à cause de l'inertie véhiculée (sensible à la masse et à la hauteur du centre de gravité).

C. Prévenir les sorties de route

Cette fonction permet d'informer le conducteur d'une sortie de route potentielle du véhicule. Cette information délivrée au conducteur ou au véhicule permet d'agir en urgence afin de retrouver la contrôlabilité du véhicule et sa trajectoire admissible. Les informations seront fournies en temps réel par des capteurs et des caméras à un système doté d'un calculateur, chargé d'évaluer la stabilité du véhicule. Il faut connaître l'environnement du véhicule et donc les caractéristiques géométriques de la route (base de données). Pour cela, la route sera divisée en tronçons ayant chacun une vitesse adaptée à ses caractéristiques géométriques et fonction des conditions météorologiques. Le système doit pouvoir identifier les manœuvres du conducteur. Il faut définir les limites de stabilité du véhicule et de maintien de sa trajectoire, et un algorithme permettant de comparer son état avec les limites de sécurité.



Figure 26 : Schéma de la fonction « Prévenir les sorties de route »

En cas de situation à risque élevé, le système doit envoyer un message d'alerte, soit au conducteur qui devra agir sur le véhicule (volant, pédales), soit directement au calculateur du véhicule qui sera contrôlé par des actionneurs de vitesse ou de direction. Une loi de commande sera définie pour diminuer la vitesse à l'approche de virages, pour limiter l'amplitude des écarts latéraux ou pour guider le véhicule sur une route multivoies. Des niveaux de risque sont établis qui sont évalués par le système.

La figure 26 illustre les différentes actions de cette fonction.

Il y a des situations d'accidents propres aux poids lourds qui peuvent engendrer des sorties de route. Ce sont les situations de renversement ou de mise en portefeuille. Le thème 11 s'est intéressé à la génération d'alerte en cas de risque de renversement. La mise en portefeuille n'a pas fait l'objet de recherche au niveau du thème

Lorsqu'un poids lourd aborde un virage trop rapidement, soit il glisse soit il se renverse.

La fonction de risque à adapter devra indiquer une vitesse maximale de passage : c'est celle qui engendre l'accélération maximale latérale. Cette dernière devra être inférieure au minorant entre l'accélération latérale de renversement (fonction croissante de la charge et de la position du centre gravité) et l'accélération latérale de glissement (fonction du coefficient de frottement transversal). Ainsi à vide, un poids lourd qui aborde un virage a tendance à glisser alors qu'il a tendance à se renverser à pleine charge.

D. Gérer les distances entre véhicules

La gestion des distances entre véhicules permet d'éviter les collisions en file. Cette fonction vise à faire respecter aux véhicules les distances de sécurité, faute de quoi un message d'avertissement est envoyé par l'infrastructure ou son gestionnaire, un véhicule tiers, ou les forces de l'ordre. Il faut déterminer d'abord un périmètre de sécurité dans la voie de circulation, c'est à dire une distance minimale obligatoire à respecter entre deux véhicules en fonction de leurs vitesses. A partir de consignes de distances entre véhicules, et de leurs positions relatives et vitesses fournies par des capteurs et des caméras de surveillance, le calculateur du système analysera et comparera les données recueillies par rapport à la consigne (loi de commande). La consigne donne une distance minimale à respecter en fonction des caractéristiques de la route, du temps de réaction des conducteurs, de la position relative des véhicules, des conditions météorologiques, du type de véhicule, etc.. Ici encore des niveaux de risque sont définis et quantifiés par le système.

En cas de besoin, le conducteur alerté sera invité à réduire sa vitesse, ou des actionneurs intégrés au véhicule le feront pour lui.

Cette fonction permet d'anticiper des situations dangereuses, d'aider les conducteurs à « lever le pied » s'ils ne respectent pas les distances de sécurité, et donc d'éviter des collisions en file ou d'en réduire la gravité et les conséquences.

Cette fonction devra être généralisée au cas de la circulation mixte VL/PL puisqu'elle a été conçue au niveau du thème 3 (Traitement de l'information et élaboration de la commande) pour une gestion des interdistances essentiellement VL/VL. Il est nécessaire de pouvoir identifier le type de véhicule en amont et en aval du véhicule considéré et de gérer l'interdistance en fonction des combinaisons VL/VL, PL/VL, VL/PL, PL/PL. En effet, la capacité de décélération des poids lourds est plus faible que celle des véhicules légers (jusqu'à 50% de moins). Ce qui implique qu'en cas de freinage brusque, les distances d'arrêt des poids lourds sont sensiblement plus grandes par rapport à celles des VL et cela surtout sur sol mouillé et en descente : le risque de collision est par conséquent plus élevé pour un PL par rapport à un VL dans ces conditions.

Il faut aussi prendre en compte la réglementation propre à l'interdistance qui varie de 50 à 150 mètre en fonction des décisions du préfet de région (cas de la traversée d'un tunnel par

exemple) pour la configuration PL/PL et le temps intervéhiculaire réglementaire minimum qui est de 2 seconde pour les configurations PL/VL, VL/PL ou VL/VL

La figure 27 schématise les actions de cette fonction.

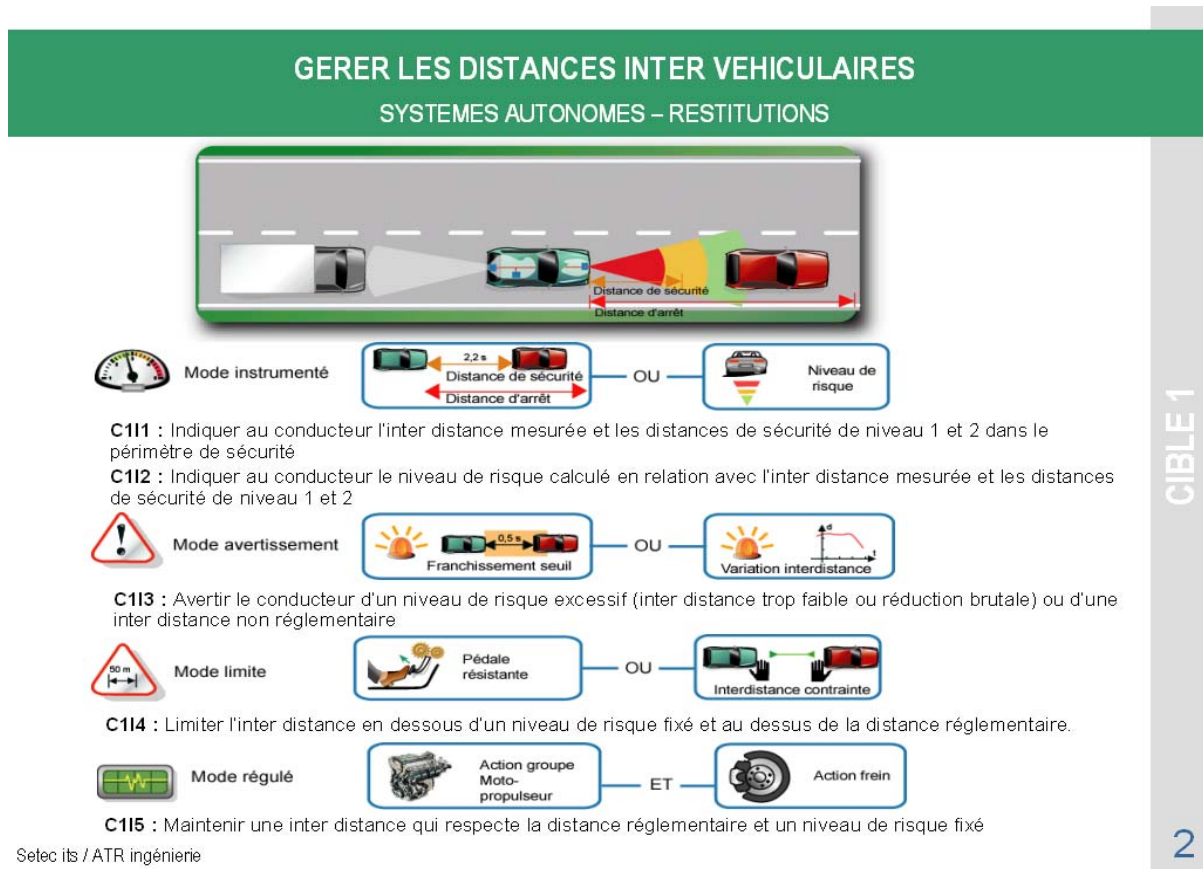


Figure 27 : Schéma de la fonction « Gérer les distances inter-véhiculaires »