



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.

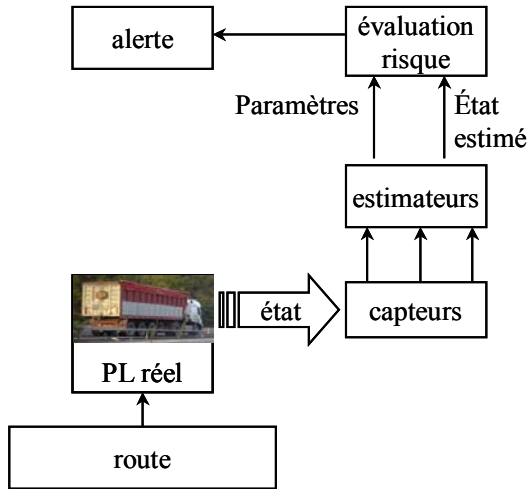


Fig 1-a : Système de prévention des retournements

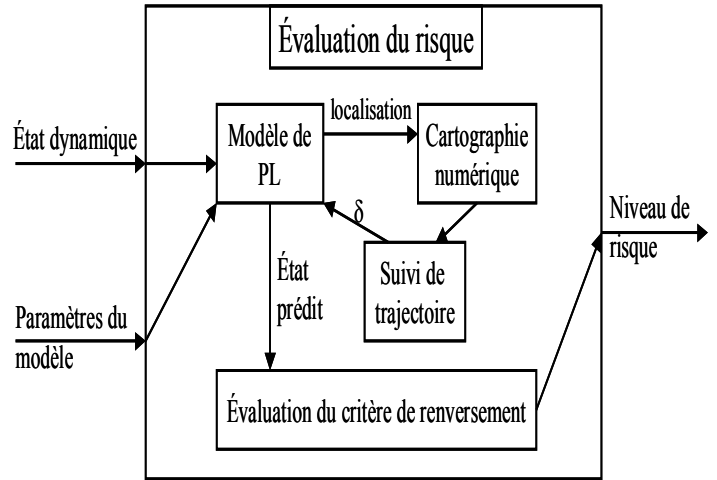


Fig 1-b : Partie évaluation du risque

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.

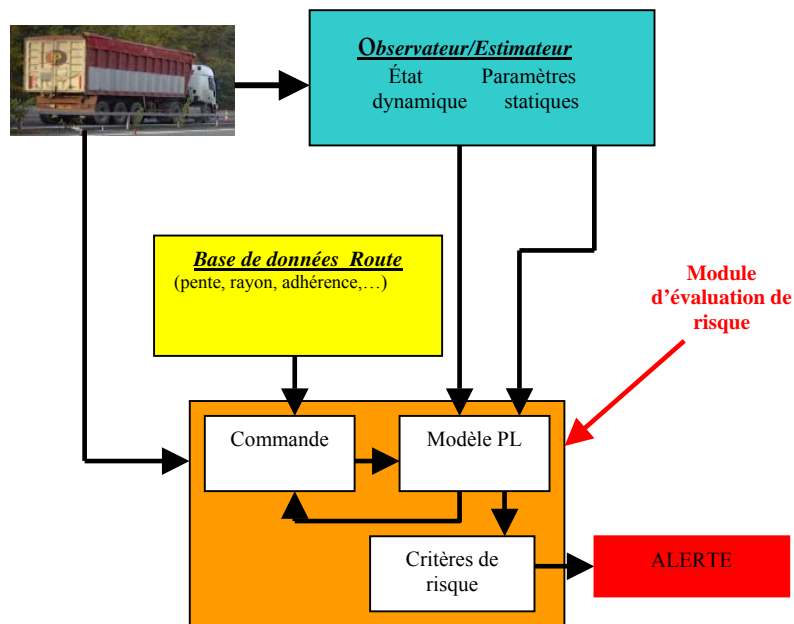


Fig 2 : Schéma de principe de génération d'alerte

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.

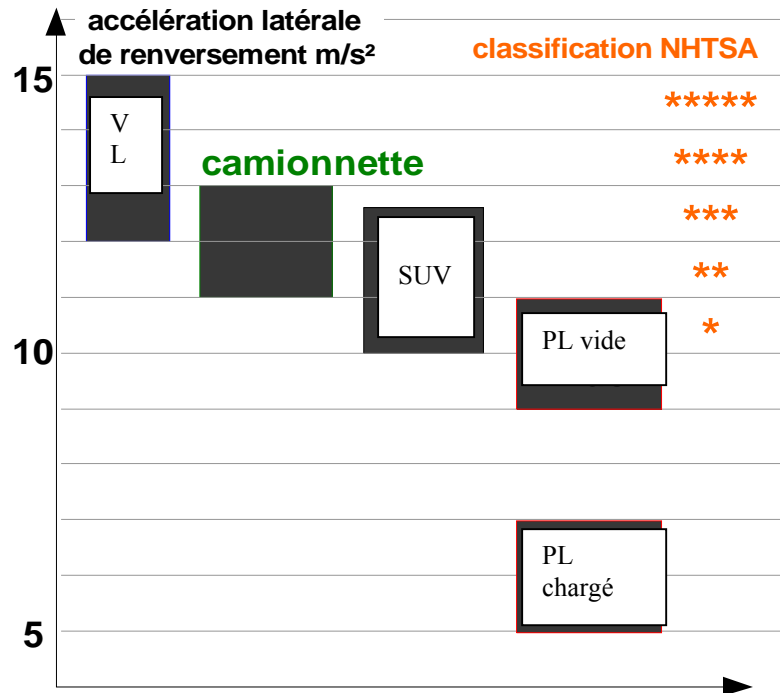


Figure 2 : Classification NHTSA des accélérations latérales de renversement

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.

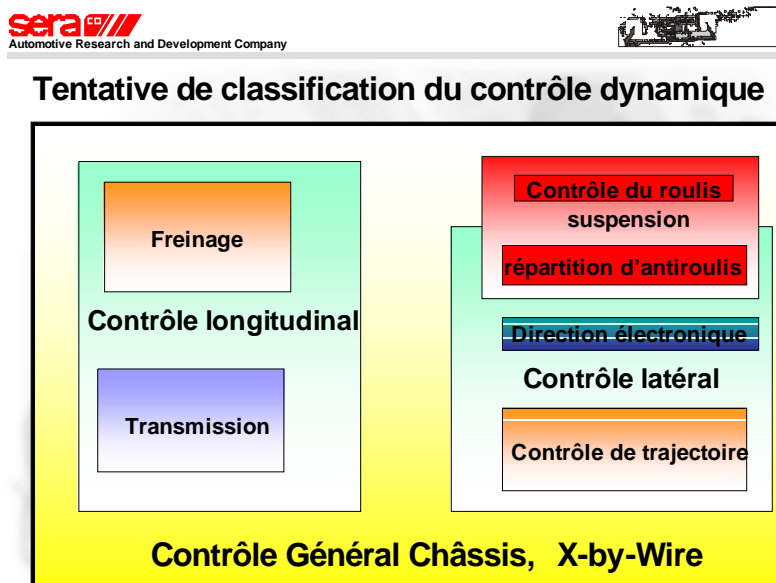


Figure 3 : Classification du contrôle dynamique

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.

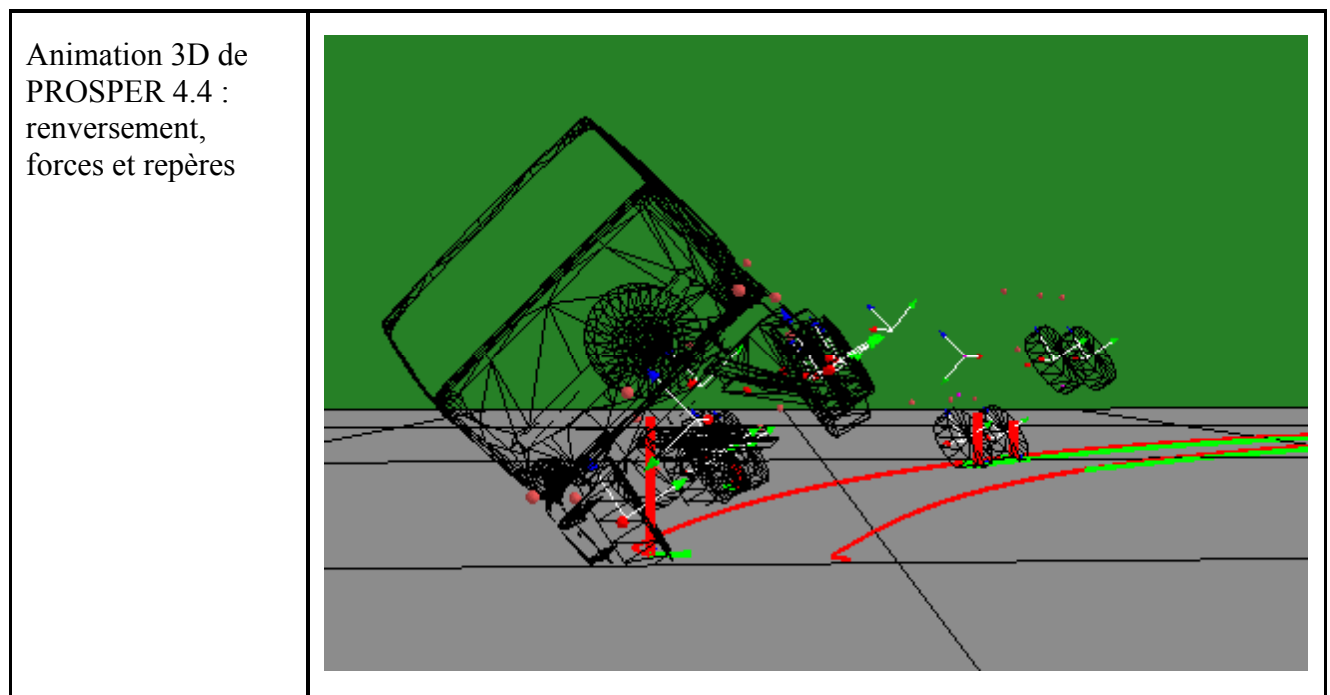


Figure 4 : Animation 3D de PROSPER 4.4 - Simulation de renversement

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).

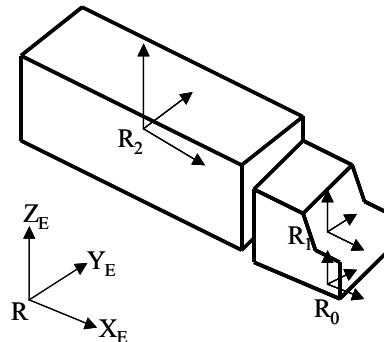


Figure 5 : Modèle de véhicule référence

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).

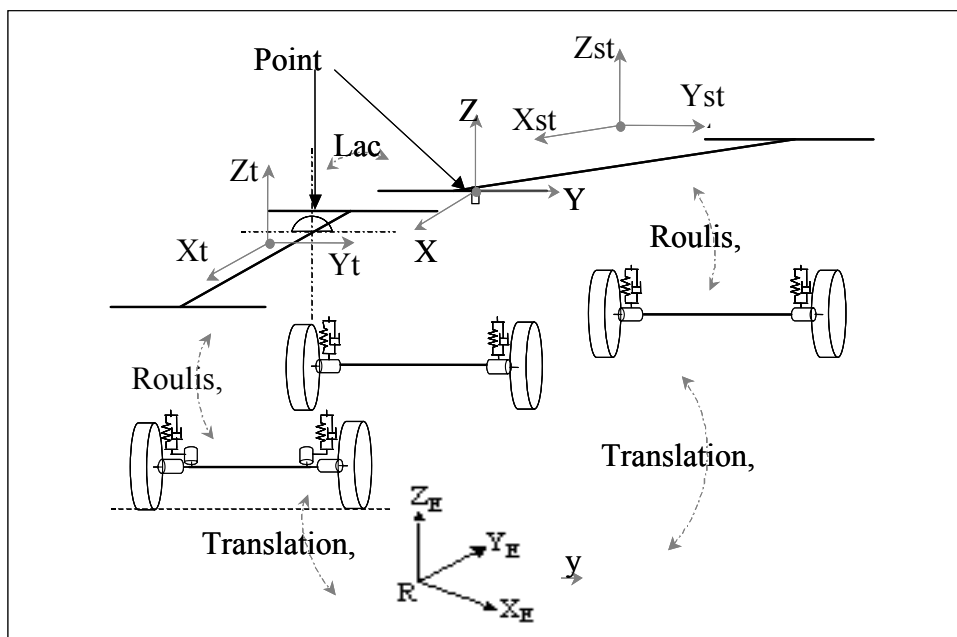


Figure 6 : Les repères

(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_z : 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 $q = [x_E, y_E, z_E, \phi_x, \phi_z, \phi_{zs}, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6]$, 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).

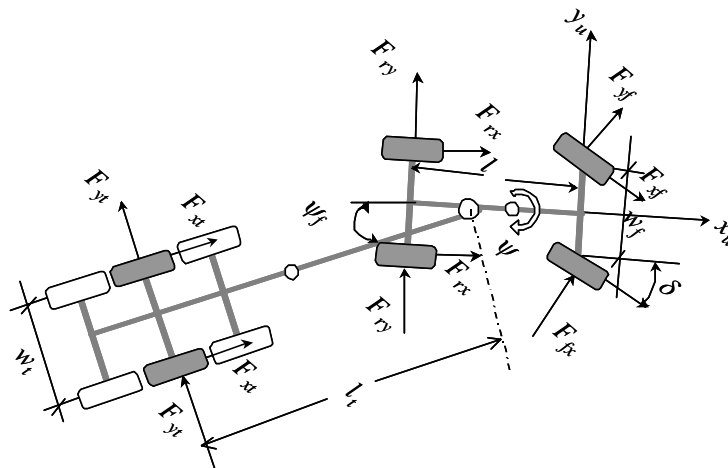


Figure 7 : Représentation des forces appliquées sur le véhicule lourd

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.

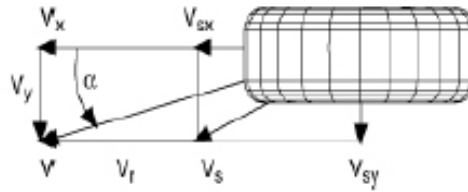


Figure 8 : Vecteurs vitesses sur un pneu

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.

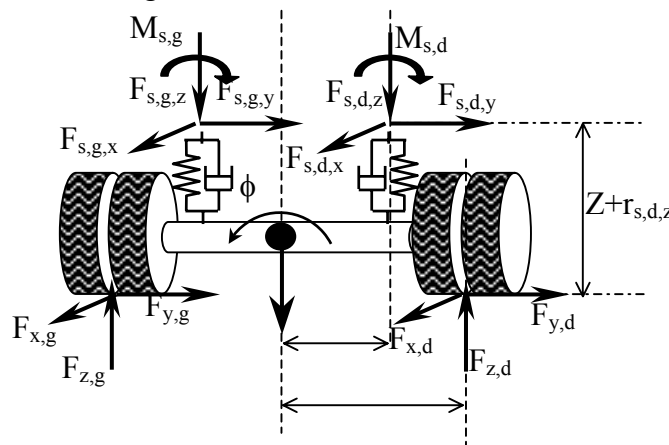


Figure 9 : Modèle de suspension

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.

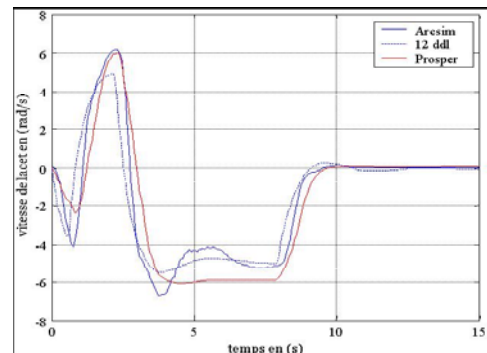
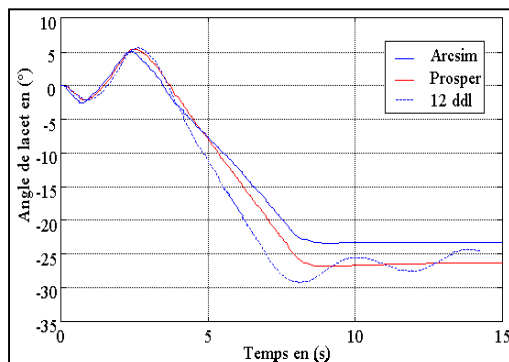


Figure 10: Comparaison de l'angle de lacet **Figure 11:** Comparaison de la vitesse de lacet

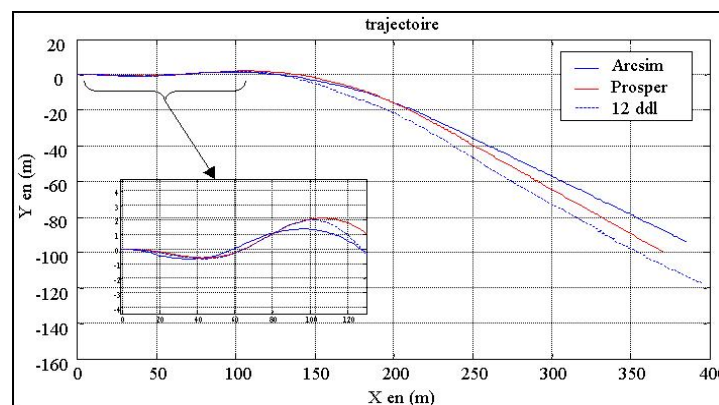


Figure 12 : Comparaison des trois trajectoires

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.

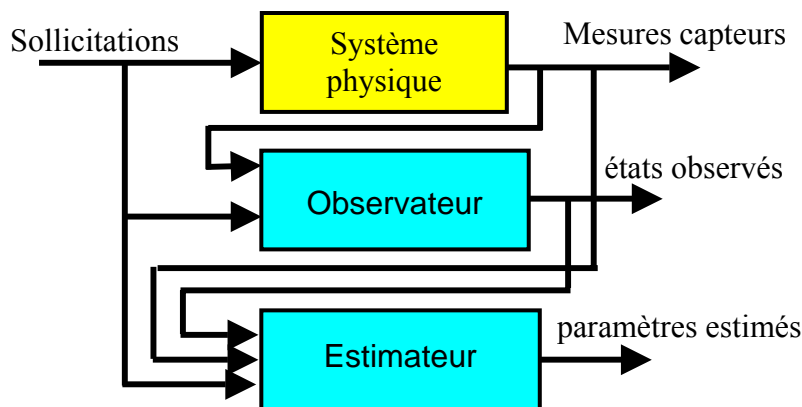


Figure 13 : Observateur et estimateur d'état

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.

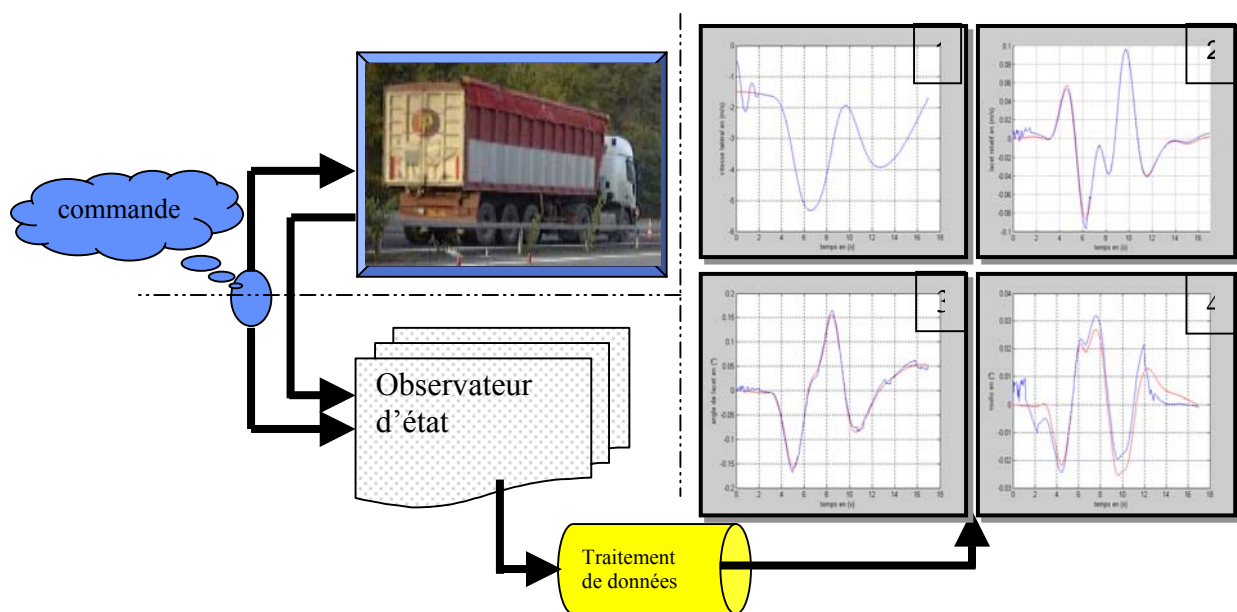


Figure 14 : Observateur et résultats d'observation

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.

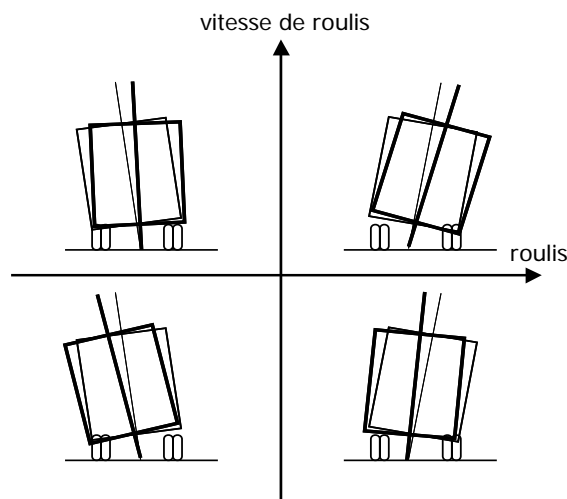


Figure 15 : plan de phase du roulis

(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.

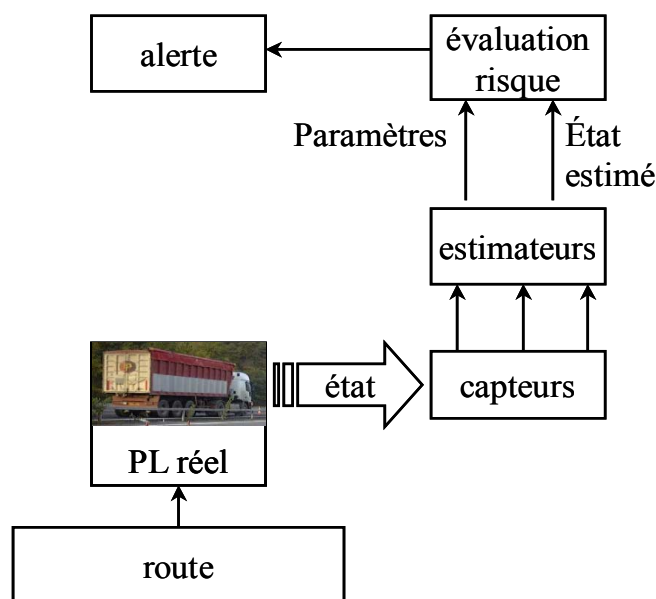


Figure 16 : Système de prévention des retournements