

**HETEROGENEITE D'UN PELOTON EN SITUATION DE FREINAGE D'URGENCE :
ETUDE AVEC LE MODELE DE SIMULATION DE TRAFIC ARCHISIM**

**HETEROGENEOUS PLATOON IN THE CASE OF EMERGENCY BRAKING:
STUDY WITH TRAFFIC SIMULATION TOOL ARCHISIM**

**Mounia NADJI¹, Jean-Michel AUBERLET², Stéphane ESPIÉ²,
Yves DELANNE³, Gilles SCHAEFFER¹**

¹ SERA CD 10 Avenue du Québec B.P.545 - Bât. D1 91946 COURTABOEUF 1 CEDEX

² INRETS 2, av. du Gal Malleret-Joinville 94114 Arcueil

³ Laboratoire Central des Ponts-et-Chaussées BP 4119 44341 BOUGUENAI CEDEX

jean-michel.auberlet@inrets.fr

RESUME

L'adoption par les conducteurs de temps inter-véhiculaires inadaptés est la cause la plus souvent retenue pour expliquer les accidents liés aux collisions en chaîne. Les travaux présentés concernent : i) une modélisation fonctionnelle du freinage d'urgence des véhicules ; ii) l'étude par simulation de l'hétérogénéité d'un peloton de véhicules en cas de freinage d'urgence. Deux paramètres majeurs d'hétérogénéité ont été identifiés et étudiés : le gabarit des véhicules et les effets d'occultation (masquage) induits d'une part, la capacité de freinage des véhicules en fonction de leur type, de leur âge, de leur niveau d'entretien et de leur équipement (ABS par exemple) d'autre part. Les études réalisées sur ces deux paramètres illustrent la dangerosité de l'hétérogénéité des pelotons en situation de freinage d'urgence.

ABSTRACT

The way drivers choose their time headway allows to explain the accidents related to the pile-ups. Our works deal with: i) a functional modelling of the vehicles emergency braking; ii) a study by simulation of heterogeneous platoons in case of emergency braking. Two major parameters were identified and analysed: on one hand, the gauge of the vehicles producing screening effects, and on the other hand the braking properties of vehicles in function of type, level of equipment (ABS)... The studies carried out show that, in the case of emergency braking, heterogeneous platoons can be unsafe.

INTRODUCTION

Les collisions en file représentent 3,5% des accidents corporels qui surviennent en France, soit environ 4000 par an. Ce type de collision arrive le plus souvent lorsqu'un ou plusieurs véhicules effectuent un freinage d'urgence en réponse à un événement imprévu. Le non-respect des temps inter-véhiculaires (notion parfois imparfaitement médiatisée par le concept de distance de sécurité) est la cause la plus souvent retenue pour expliquer ce genre de situation.

Les travaux que nous avons réalisés concernent l'étude de l'impact de l'hétérogénéité d'un peloton de véhicules sur la dangerosité de ce peloton en cas de freinage d'urgence. Différentes configurations de pelotons ont été étudiées. Ces configurations "représentatives" sont fondées sur des compositions de peloton relevées sur le terrain.

Pour des raisons de sécurité et d'éthique, la simulation a été utilisée. Deux paramètres majeurs d'hétérogénéité ont été identifiés et étudiés :

- Le gabarit des véhicules et les effets d'occultation (masquage) induits,
- La capacité de freinage des véhicules en fonction de leur type, de leur âge, de leur niveau d'entretien et de leur équipement (ABS par exemple).

A partir de données réelles relevées par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) pour différents types de véhicules mis en situation de freinage d'urgence, une *modélisation "fonctionnelle"* du comportement dynamique de différentes classes de véhicule en situation de freinage d'urgence a été définie et introduite dans le *modèle de trafic* INRETS-ARCHISIM. Ce modèle, fondé sur un *modèle de comportement des conducteurs*, permet de prendre en compte les phénomènes d'occultation visuelle (masquage de véhicules par des éléments de l'infrastructure ou par d'autres usagers).

SIMULATION COMPORTEMENTALE DE TRAFIC

Le trafic routier constitue un problème dynamique qui est caractérisé par l'interaction de ses participants : usagers de la route, infrastructures et opérateurs. Le trafic peut être considéré comme un problème d'offre et de demande dont la difficulté repose sur deux postulats opposés. L'offre répond à un usage collectif : le réseau routier est dimensionné pour un certain flot de véhicules. La demande est individuelle : chaque conducteur désire voyager sous ses propres conditions. Parallèlement au développement des modèles de simulation mathématique, qui décrivent le trafic de manière statistique [Liber 97], l'INRETS a mené depuis plus de dix ans des recherches sur l'élaboration d'une simulation de trafic routier fondée sur le comportement réel des conducteurs. L'outil de simulation ARCHISIM fait usage d'un sous-modèle comportemental pour les décisions du conducteur. Ce modèle résulte d'études approfondies menées par le Laboratoire de Psychologie de la Conduite (LPC) de l'INRETS sur des situations réelles [Espié 97]. Dans ARCHISIM, le comportement des conducteurs n'est pas normatif et les phénomènes de trafic proviennent des actions individuelles et des interactions des différents acteurs de la situation routière.

L'intérêt de l'utilisation d'un modèle comportemental est, en particulier, de permettre de modifier dynamiquement les conditions de simulation (préférences des conducteurs, algorithmes de contrôle des feux...) sans (re)calibrage du modèle [Champ 99]. Ce type de modèle permet d'appréhender les conditions d'apparition des phénomènes de trafic et les effets de modifications concernant notamment l'infrastructure et les équipements embarqués ou de bord de route. ARCHISIM a été validé pour des situations autoroutières complexes [Hadou 00 ; Champ 02]. Des développements sont en cours pour la prise en compte des situations urbaines.



**Fig1. : exemple de situation de trafic simulée
example of a simulated traffic situation**

L'outil a été conçu pour être un outil ouvert dédié à l'étude du "système de trafic". Une caractéristique originale de l'outil est sa capacité à accueillir un simulateur de conduite (voir Fig. 1). Dans ce cas, le sujet humain au volant interagit avec le trafic simulé. Cette fonctionnalité autorise un ensemble d'applications : tests de nouveaux types de route, évaluation de systèmes d'aides à la conduite (détection automatique d'incident, régulateurs de vitesse...).

MODELISATION ET SIMULATION D'UN FREINAGE D'URGENCE

Une campagne de mesures menées par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées a permis de constituer une base de données décrivant le freinage d'urgence d'une vingtaine de véhicules. Le freinage était déclenché à une vitesse de 70 km/h, sur piste mouillée. Ces essais ont été réalisés par un pilote professionnel. Plusieurs types de véhicules, avec ou sans ABS, ont été testés. Les données ont été recueillies à une fréquence de 50 Hz. Une analyse des données a permis de définir une modélisation du freinage d'urgence selon 3 paramètres : la masse du véhicule, sa décélération maximale, et le jerk maximal de décélération. A partir d'une vitesse initiale donnée et de ces trois paramètres, il est possible de simuler un freinage d'urgence de façon réaliste. La masse vitesse du véhicule en cours de freinage est une donnée relevée au cours de la campagne de mesure du LCPC. La méthode suivie pour obtenir la décélération maximale et le jerk maximal est la suivante :

- La décélération est obtenue à partir des vitesses recueillies après application de la méthode des différences finies et d'un filtre de Chebyev d'ordre 1. La décélération maximale est déduite des courbes obtenues.
- Le jerk est défini expérimentalement par calibration.

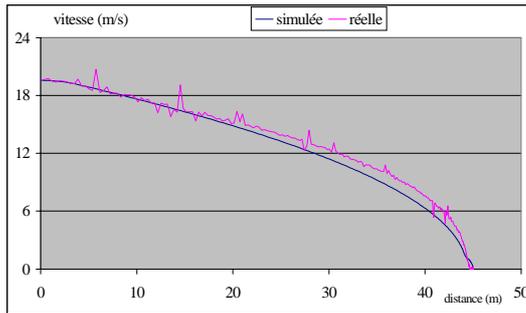


Fig. 2 décélération : vitesse expérimentale vs simulée
braking : experimental speed vs simulated speed

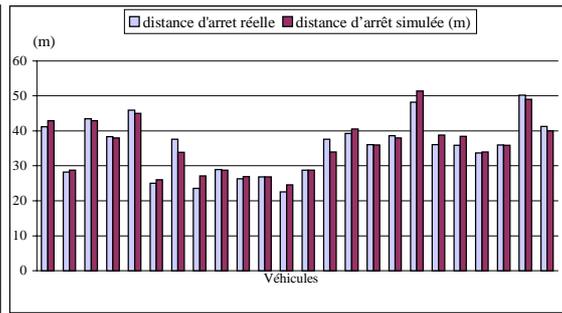


Fig. 3 distances d'arrêt (expérimentale vs simulée)
braking distances (experimental vs simulated)

A partir des ces données, les freinages d'urgence peuvent être simulés et comparés aux données réelles (voir Fig 2.). Les résultats obtenus montrent que cette modélisation fonctionnelle permet d'obtenir des distances d'arrêt simulées très proches des distances d'arrête réelles (Fig 3.).

OCCULTATION VISUELLE EN CONDUITE EN FILE

L'hétérogénéité d'un peloton (en situation de conduite en file) peut provenir de différents facteurs. Un des facteurs majeurs est certainement le gabarit des véhicules et les effets d'occultation induits. Ces effets qui empêchent le conducteur d'anticiper sont identifiés comme une source importante de gêne (peu de conducteurs de véhicules légers acceptent de suivre un poids-lourd par exemple). Le modèle d'occultation visuelle inclus dans le modèle de trafic ARCHISIM permet de mettre en évidence l'impact du gabarit des véhicules sur les situations de freinage d'urgence en autorisant ou non l'anticipation du freinage. Trois modalités ont été étudiées : occultation totale, partielle et sans occultation. La situation simulée était identique et consistait en deux véhicules arrivant à 20m/s sur un obstacle fixe. La simulation débute ($t = 0$) lorsque le premier véhicule (V1) est à 40m de l'obstacle. Le deuxième véhicule (V2) est à 18,7 m du premier. Les paramètres de freinage d'urgence de V2 sont de $-6,26\text{m/s}^2$ pour la décélération maximale et de -25m/s^3 pour le jerk maximal de décélération. V2 est considéré comme ayant un temps de réaction de 1s. Afin de démontrer l'effet de l'occultation sur l'anticipation, V1 ne freine pas et sert de masque à V2. Cet artifice nous permet d'étudier par simulation les 3 situations. La figure 4 montre les effets de l'occultation sur les capacités d'anticipation à $t=3$ secondes.

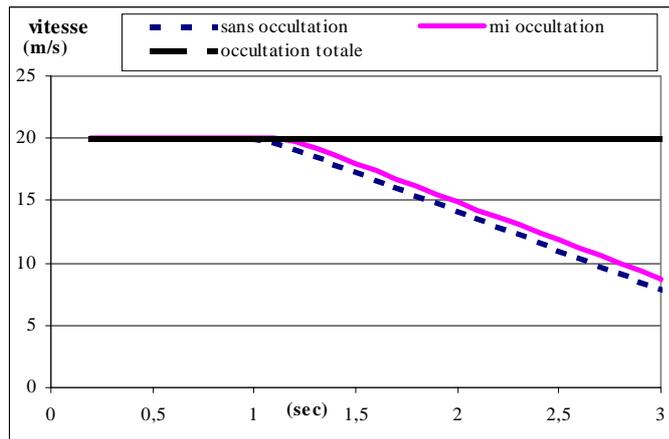


Fig. 4 impact des effets d'occultation sur l'anticipation
impact of screening effects on the anticipation

SIMULATIONS DE PELOTONS

Deux configurations de peloton ont été étudiées. La première, est un peloton dit "standard", composé de véhicules légers, d'un poids lourds; la deuxième Un peloton dit "sandwich", composé de véhicules légers et de poids lourds avec en particulier un véhicule léger entre deux poids lourds. Ces deux configurations de pelotons sont issues de configurations réelles relevées sur le terrain par une campagne de mesure menée par le LCPC. Pour les simulations plusieurs hypothèses ont été émises :

- Le temps de réaction du peloton (i.e. des conducteurs qui le composent) est de 1 seconde ;
- L'occultation visuelle est totale (un PL voit "au travers" d'un VL, un VL ne voit pas "au travers" d'un VL) ;
- Les décélérations maximales et les jerks maximaux de décélération utilisés sont ceux identifiés pour la modélisation du freinage d'urgence ;
- Les données expérimentales précisent les vitesses initiales et les TIV ;
- Pour chaque catégorie de véhicules, deux performances de freinage possibles. Le premier qualifié de bon et le second qualifié de moins performant. Les véhicules seront notés PL+ et V+ dans le premier cas et PL- et V- pour le second. Ces caractéristiques de décélération maximale sont les suivantes :
(V+ ; -8 m/s^2), (V- ; $-5,5 \text{ m/s}^2$), (PL+ ; $-4,8 \text{ m/s}^2$) et (PL- ; $-4,2 \text{ m/s}^2$)
- Les jerks sont de -25 m/s^3 pour les véhicules légers et les poids lourds.

De plus, comme il n'existe aucun modèle de déformation ou de reconstruction de trajectoire dans ARCHISIM, les simulations ont donc été arrêtées dès le premier choc dans le peloton. On trouvera ci-dessous l'exemple du peloton "sandwich".

Cas du peloton sandwich

La configuration du peloton est la suivante (de la queue du peloton vers la tête) : V_2 , PL_2 , V_1 , PL_1 . L'obstacle est à 40m du premier véhicule du peloton. Les vitesses (en m/s) et les tiv (en seconde) sont respectivement (15,63; 1,84), (18,19; 0,75), (16,18; 1,79) et (16,18; non défini). Plusieurs types de configuration en terme de caractéristiques de freinage ont été envisagés : cas 1 (V+ et PL+) - cas 2 (V+ et PL-) - cas 3 (V- et PL+) - cas 4 (V- et PL-). A l'issue des simulations, on note que :

- Le poids lourds en tête de peloton ne peut éviter la collision. Les 2 variantes de capacités de freinage de celui-ci influencent la vitesse au moment du choc, qui a lieu à 3,2 secondes, avec une vitesse de 7,2m/s pour les cas 2 et 4 ; et à 3,4 secondes avec une vitesse de 4,91m/s pour les cas 1 et 3.
- Du fait du masquage de l'obstacle par PL_1 en tête du peloton, les véhicules constituant le reste du peloton ne peuvent pas anticiper.

Afin de permettre une comparaison des résultats pour les différentes variantes, sachant que le choc n'a pas lieu au même instant, de nouvelles simulations sont faites avec les hypothèses suivantes :

- Les données initiales sont celles des simulations précédentes stoppées à $T_0 = 3,1$ secondes;
- Tous les véhicules sont en freinage d'urgence, i.e. Ils ont atteint leur capacité maximale de décélération ;
- La période de temps étudiée est $[T_0 ; T_0 + 1]$;
- L'obstacle est disposé de telle manière que d'une part le poids de lourds en tête de peloton n'entre pas en collision avec l'obstacle et d'autre part le freinage d'urgence perdure sur l'intervalle de temps retenu ;

Les figures 5, 6 et 7 montrent les variations en mètre de la distance intervéhiculaire (DIV) entre respectivement (V_2 et PL_2), (PL_2 et V_1) et (V_1 , PL_1).

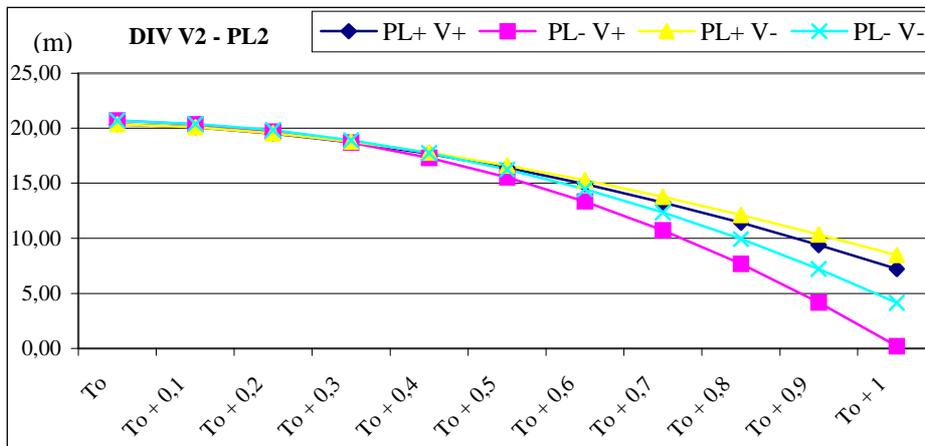


Fig 5 : distance intervéhiculaire de V2 avec PL2
distance gap of V2 with PL2

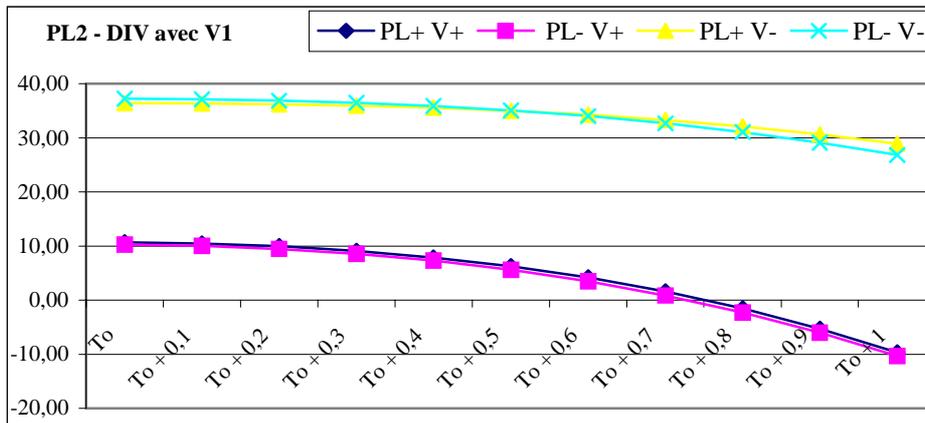
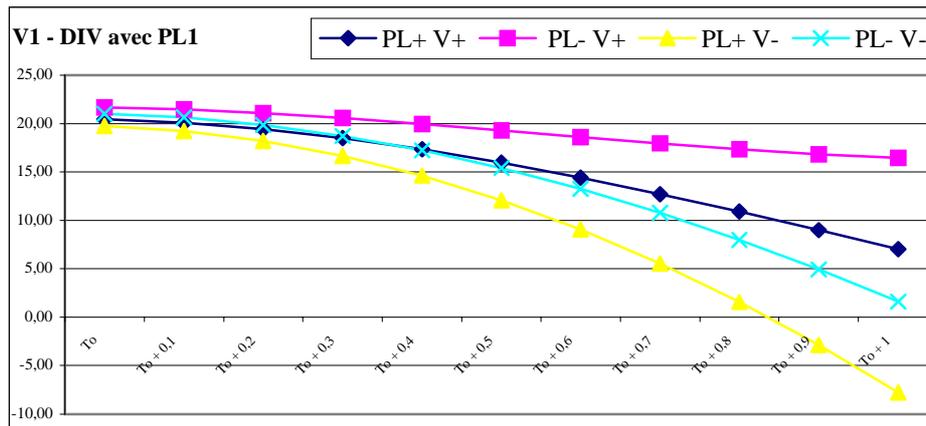


Fig. 6 : distance intervéhiculaire de PL2 avec V1
distance gap of PL2 with V1



**Fig. 7 : distance intervéhiculaire de V1 avec PL1
distance gap of V1 with PL1**

Ces trois figures montrent que les collisions potentielles diffèrent selon les configurations étudiées. Deux exemples :

- dans le cas (PL- et V+), le V2 entrerait en collision avec le PL2, le PL2 avec le V1 alors que ce dernier semblerait éviter la collision avec le PL1.
- Dans le cas (PL+ et V-), le V1 n'éviterait pas la collision, alors que le PL2 semblerait l'éviter.

Globalement, dans les situations correspondant à des VL au freinage performant (V+), le V1 pourrait éventuellement éviter la collision, mais pas les véhicules qui le suivent, c.-à-d. le PL2 et le V2 ; et dans les situations avec des VL au freinage moins performant, le V1 ne semble pas pouvoir éviter la collision alors que le PL2 qui le suit le pourrait.

Ces résultats montrent les effets de l'hétérogénéité des capacités de freinage pour un peloton type.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les accidents liés aux collisions en file représentent plusieurs milliers de victimes en 2002 (plus de 5000). Ce type d'accident arrive le plus souvent lorsqu'un ou plusieurs véhicules effectuent un freinage d'urgence en réponse à un événement imprévu. L'adoption par les conducteurs de temps inter-véhiculaires inadaptés est la cause la plus souvent retenue pour expliquer ce genre de phénomène.

Les travaux que nous avons réalisés concernent : i) une modélisation fonctionnelle du freinage d'urgence des véhicules ; ii) l'étude par simulation de l'impact de l'hétérogénéité d'un peloton de véhicules sur la dangerosité de ce peloton en cas de freinage d'urgence. Les limites de nos études concernent l'absence de simulations "après choc" qui nous a obligé à utiliser une projection "non physiquement réaliste" des simulations obtenues.

Deux paramètres majeurs d'hétérogénéité ont été identifiés et étudiés : le gabarit des véhicules et les effets d'occultation (masquage) induits d'une part, la capacité de

freinage des véhicules en fonction de leur type, de leur âge, de leur niveau d'entretien et de leur équipement (ABS par exemple) d'autre part. Les résultats obtenus sur la modélisation dynamique du freinage d'urgence montrent qu'il est possible d'utiliser une modélisation fonctionnelle "simple" pour reproduire de manière "fidèle" la cinématique.

Les études réalisées sur les effets d'occultation et sur l'influence des capacités de freinage illustrent la dangerosité de l'hétérogénéité des pelotons et démontrent l'intérêt d'un système "personnalisé" de préconisation de temps inter-véhiculaires en fonction des caractéristiques des véhicules et de leurs positions dans un peloton.

Références bibliographiques

- [Liber 97] Lieberman E., Rathi A.K., " Traffic simulation ", Traffic flow theory, Rathi A.K. (Ed.), Oak Ridge National Laboratory, Chapitre 10, 1997.
- [Espié 97] Espié S., Saad F., Schnetzler B., " Microscopic traffic simulation and driver behaviour modelling: the ARCHISIM project " Actes du Strategic Highway Research Program and Traffic Safety on Two continents, Lille, 1997.
- [Champ 99] Champion, A., Mandiau R., Kolski C., Heidet A. and Kemeny A. "Traffic generation with the SCANer II simulator: towards a multi-agent architecture." Proceedings of the Driving Simulation Conference '99, Paris, France, 311-324, 1999.
- [Hadou 00] El Hadouaj S., Espié S. and Drogoul A. "To combine reactivity and anticipation: the case of conflicts resolution in a simulated road traffic." Proceedings of the MABS 2000 at ICMAS 2000 (Boston, USA). Springer Verlag LNAI series, 2000.
- [Champ 02] Champion, A., Zhang M-Y. Auberlet J-M. Espié S. "Behavioural simulation: towards high-density network traffic studies", Proceedings of the Third International Conference on Traffic and Transportation Studies, Guilin, P.R. China, 2002.