



**HAL**  
open science

# Modélisation du risque d'occurrence d'accidents liés à l'hétérogénéité des véhicules au sein d'un peloton

alex coiret, Yves Delanne

► **To cite this version:**

alex coiret, Yves Delanne. Modélisation du risque d'occurrence d'accidents liés à l'hétérogénéité des véhicules au sein d'un peloton. TECHNOLOGICAL INNOVATION FOR LAND TRANSPORTATION - TILT 2003, Dec 2003, lille, France. hal-04443540

**HAL Id: hal-04443540**

**<https://hal.science/hal-04443540v1>**

Submitted on 12 Feb 2024

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

# MODÉLISATION DU RISQUE D'OCCURRENCE D'ACCIDENTS LIÉS A L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DES VÉHICULES AU SEIN D'UN PELOTON

## MODELISATION OF ACCIDENT RISKS LINKS TO THE HETEROGENEITY OF GROUPED VEHICLES

Alex COIRET<sup>1</sup>, Yves DELANNE<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées,  
route de Bouaye, 44340 Bouguenais  
[alex.coiret@lcpc.fr](mailto:alex.coiret@lcpc.fr)*

### RÉSUMÉ

La formation de pelotons de véhicules au sein du trafic routier constitue un élément sensible sur le plan sécuritaire. Intrinsèquement, de part leur densité spatiale, les pelotons représentent une configuration de trafic augmentant le risque d'occurrence d'accidents. Nous proposons une étude du facteur de sur-risque inhérent à l'hétérogénéité des capacités de freinage d'urgence des véhicules qui constituent un peloton. Un modèle d'évolution et une étude statistique sont proposés ; ils sont alimentés par des données mesurées : relevés de pelotons sur le réseau routier d'une part et mesure de lois de décélération de véhicules constituant un panel large du parc automobile actuel d'autre part. Pour une configuration géométrique de peloton donnée, différents tirages aléatoires de véhicules mettent en évidence l'impact de l'hétérogénéité des capacités de freinage des véhicules sur l'occurrence des accidents.

### ABSTRACT

The formation of vehicles groups in the vicinity of the road traffic represents a sensible point for the transport security. Intrinsically, due to its spatial density, groups of vehicles lead to traffic configuration that increase the occurrence risk of accidents. We propose a study of the over-risk factor link to the heterogeneity of vehicles emergency braking capacities. A model of evolution and a statistical study are proposed ; they are based on measured data : vehicles groups on the road network and braking laws of vehicles from a large panel of the actual car park. For a given geometrical configuration of vehicle group, multiple random draws show the impact of the heterogeneity of vehicles braking capacities on accident occurrences.

## **1. INTRODUCTION**

Le contexte est celui des collisions en file : les collisions arrière ou en chaîne constituent plus d'1/8 des accidents corporels en France, et même plus d'1/3 sur autoroute (selon l'ONISR, 1995). Il a aussi été montré [SED.93] que la présence de pluie entraîne le regroupement des véhicules en pelotons, alors même que les conditions d'adhérence et de visibilité sont dégradées...

Le parc automobile actuel est techniquement très varié ; les véhicules peuvent disposer - ou être dénués - d'équipements tels que les systèmes anti-bloquant ou les systèmes d'assistance au freinage. L'objectif de cette étude est d'évaluer le sur-risque accidentogène apporté par la disparité des caractéristiques physiques des véhicules lorsqu'ils sont en pelotons (ici, ensemble de véhicules circulants avec des temps inter-véhiculaires inférieurs à 2 secondes). Un modèle numérique a été développé pour simuler l'évolution d'un peloton dont le véhicule de tête réalise un freinage d'urgence.

## **2. MESURES EXPERIMENTALES**

La compréhension des situations conduisant à des collisions en files nécessite une bonne connaissance des paramètres trafic/comportement/véhicule. Les paramètres trafic et véhicule ont fait l'objet de campagnes de mesure ; le temps de réaction a été estimé selon des sources bibliographiques [ARO.99], [MAL.86], [GRE.00].

Plus de 10000 configurations de pelotons réels ont été relevés à l'aide de stations SIREDO (CETE Normandie-Centre du réseau scientifique et technique de l'Equipement). Une centaine d'entre elles ont été sélectionnées pour être utilisées dans cette étude (chaussée mouillée et vitesse moyenne proche de 70 km/h pour être homogène avec les conditions d'essais sur piste des véhicules).

Une campagne d'essais de freinage a été menée sur un parc constitué de 24 véhicules, non préparés, issus d'un panel très large : autobus, utilitaire, berline, citadine, avec ou sans ABS et de générations différentes (années 1978 à 2002). Ce travail a été réalisé sur une piste du LCPC de Nantes (béton bitumineux semi-grenu) présentant un état de surface mouillé non ruisselant. L'information enregistrée est la loi de variation de vitesse lors d'un freinage d'urgence, depuis 70 km/h et jusqu'à l'arrêt complet.

## **3. MODELE D'EVOLUTION**

### **3.1. Modèle**

Préalablement à ce modèle, une étude a été effectuée sous l'environnement ARCHISIM à l'INRETS-Arcueil. Elle n'a porté que sur 3 pelotons mais a donné des indications de l'influence des temps de réaction et de l'occultation visuelle sur le risque de collision en file. L'étude présentée ici tient compte de cette étude de sensibilité.

En données d'entrée, les relevés de pelotons précisent la classe de véhicule: PL, VI ou VL. Les pelotons simulés sont créés en tenant compte de ces classes pour l'association des véhicules testés sur piste (les véhicules d'index 0 à 18 sont de type VL, 19 à 22: VI, 23 et 24 : PL).

Les essais de freinage d'urgence pour les 24 véhicules testés ont montré des décélérations constantes sur les durées de freinage, conformément au principe fondamental de la dynamique :

$$\left(\sum F_{Ext}\right)^i = M^i \Gamma^i = C^i \quad i \in [1..24] \quad (1)$$

Le freinage maximal est un effort constant  $C^i$  (si on néglige la décroissance d'efficacité par effet Joule) directement proportionnel à la décélération. On néglige également les variations des efforts extérieurs autres que le freinage : résistante aérodynamique (ordre de  $V^2$ ), frottements de transmissions. Chaque véhicule est donc considéré comme un objet auquel on associe une masse  $M^i$ , une vitesse et une position initiales, une décélération moyenne constante  $\Gamma^i$ , une longueur. Les différents véhicules sont identifiés par un index: les marques et types de véhicules n'aurait pas été correctement représentés par des véhicules isolés, testés en l'état et sans vérification technique (l'objectif étant de tester un « parc » automobile tel qu'il se présente habituellement sur le réseau routier).

Un calcul itératif a été choisi pour permettre des évolutions telles que la prise en compte de variations dans le comportement des conducteurs (arrêt temporaire de freinage, reprise, modèles de type "ARCAM" attention-based rear-end collision avoidance model [BRO.00]). Les pas de temps sont calculés de manière à limiter le déplacement de chaque véhicule à 0.5 mètre par pas de temps. Cette adaptation conduit à des pas de temps courts en début de calcul, sans pénaliser le temps de convergence.

Le véhicule de tête freine en urgence à l'instant  $t=0$ . Les véhicules suivants freinent par perception directe des feux stop du véhicule précédent ou par perception des feux stop du véhicule  $n-2$  au travers du véhicule  $n-1$  si celui-ci est un véhicule léger (notion de non occultation visuelle, dans ce cas un temps de pré-perception est ajouté). Le critère d'arrêt d'une simulation est soit l'arrêt en sécurité de tous les véhicules ( $V^i = 0 \quad i \in [1..24]$ ) soit la détection d'une collision.

Les constantes sont basées sur les références ou les contraintes de convergence :

- temps de réaction : 0,7 s auquel s'ajoute une variabilité aléatoire de 0,2 s ;
- réaction secondaire : fixe, de 0,4 s en cas de pré-perception ;
- dx max : 0,5 m soit la distance maximale de parcours en un pas de temps.

### 3.2. Résultats de simulation

Une simulation est effectuée sur un peloton physique donné et une association aléatoire de véhicules. En figure 1, est représenté l'évolution spatio-temporelle d'un peloton (ici d'index n°12). En légende, nous retrouvons les types de véhicules qui ont été associés aléatoirement à chaque véhicule de peloton. Le véhicule "0" est le véhicule de tête ; il est représenté par la courbe supérieure (la plus claire). Initialement sa position est  $x=0m$ , les positions des autres véhicules sont relatives à cette origine.

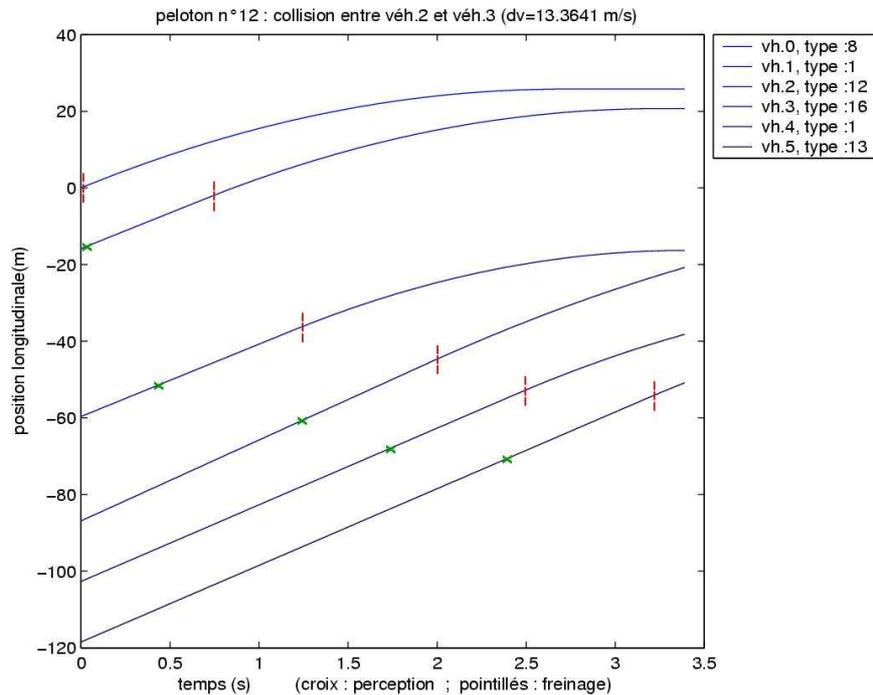


Fig.1 : Simulation conduisant à une collision pour le peloton n°12  
Simulation leading to a collision for the 12th vehicle group

Le titre indique les véhicules impliqués dans la *première* collision ainsi que leur vitesse différentielle (indication de gravité de la collision). Les instants de perception - où les conducteurs ressentent le *besoin* de freinage - sont symbolisés par des croix. Dans le cas d'une perception directe, il s'agira de l'instant d'allumage des feux de stop du véhicule précédent. Dans le cas d'une perception indirecte, par vision au travers du véhicule "n-1" des feux stop du véhicule "n-2", cet instant de perception est séparé de l'instant d'allumage des feux stop d'un temps de pré-perception estimé à 0,4 s.

Dans ce cas de figure, l'anticipation de freinage par non-occultation justifie la perception du véhicule "vh.2" dès 0,4 seconde et son freinage peu de temps après son prédécesseur "vh.1". L'instant de début de freinage (d'urgence) succède à l'instant de perception après un temps de réaction compris entre 0,7 et 0,9 secondes. Cet instant est représenté par un segment pointillé coupant la courbe d'évolution du véhicule concerné.

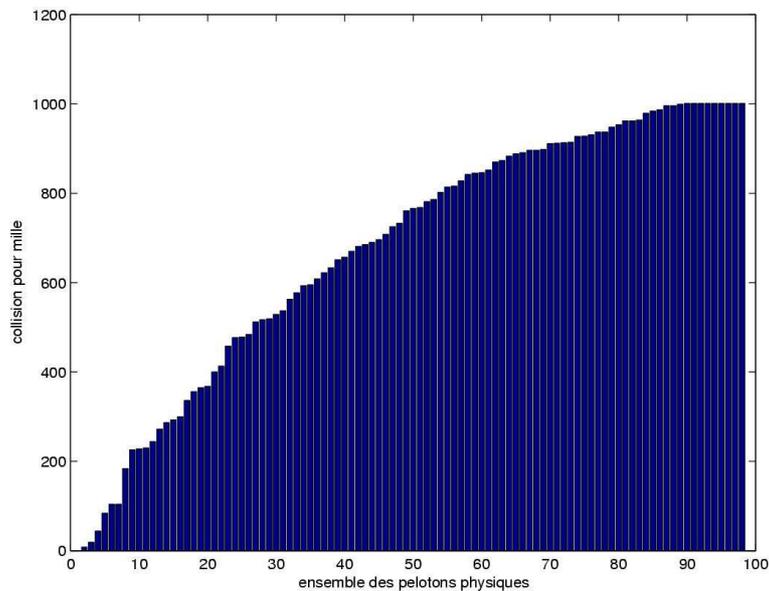
## 4. ANALYSE STATISTIQUE

### 4.1. Paramétrage

La question globale à laquelle le modèle doit pouvoir répondre est : "Etant donné un ensemble de pelotons physiques relevés sur route, quel taux d'accident est associable à l'application de différentes répartitions de véhicules dont les caractéristiques physiques sont connues ?". Pour cela, un millier de combinaisons pseudo-aléatoires a été associé à

chaque peloton physique relevé. Sur les 98000 simulations résultantes, 66114, soit les 2/3, aboutissent à une collision (en fait, "au moins une collision").

Un certain nombre de "pelotons physiques" a systématiquement conduit à une collision, ce qui dénote des cas très défavorables (temps inter-véhiculaires très courts ; probablement des situations de dépassement de véhicules). D'autres, n'ont conduit à aucune collision (pelotons homogènes, TIV proches des 2 secondes réglementaires).



*Fig.2 : nombre de simulations avec collision, sur l'ensemble trié des pelotons (pour mille)  
Number of simulations with crash, on the sorted vehicle group set (for one thousand)*

On peut construire un histogramme qui dénombre pour chaque peloton physique, d'index "0" à "97", le nombre de simulations pour mille ayant conduit à une collision. L'histogramme, classé de manière croissante, en figure 2 montre que les combinaisons véhicules/pelotons forment des ensemble homogènes sur le plan accidentogène : la courbe de croissance de 0 à 1000 cas pour 1000 est régulière, sans discontinuité marquée.

Les échantillons pelotons et véhicules semblent donc statistiquement représentatifs de situations à plus grande échelle, en ne comportant pas un nombre important de combinaisons visiblement aberrantes.

Un autre point de vérification des paramètres du modèle est le lieu de la collision : il donne des indications sur le mode de propagation des alertes, le niveau de risque initial du peloton géométrique ou le niveau de disparité des capacités des véhicules. La figure 3 indique l'appartenance du véhicule percuté à l'un des quatre quarts de chaque peloton ayant conduit à une collision (66114 cas).

Les occurrences d'accidents sont quasiment homogènes sur les 3 premiers quarts géométriques et sont divisées par 3 sur le dernier quart. Une hypothèse de temps de réaction trop long par rapport au temps moyen "courant" aurait conduit à augmenter le nombre de collisions dans le premier quart. La propagation des temps de réaction semble

ici indiquer l'inverse, à savoir un temps assez court et/ou une bonne préperception, permettant aux véhicules de fin de file d'éviter beaucoup de collisions. Les choix des temps de réaction et de préperception ne semblent pas aberrants en première approche, toutefois, cette répartition devrait être comparée à des données réelles. Une autre relation aurait pu être exploitée : l'implication d'un véhicule en fonction du nombre de véhicules arrêtés [HUA.01], mais la restriction à une file n'est pas trop favorable à l'utilisation de ce critère.

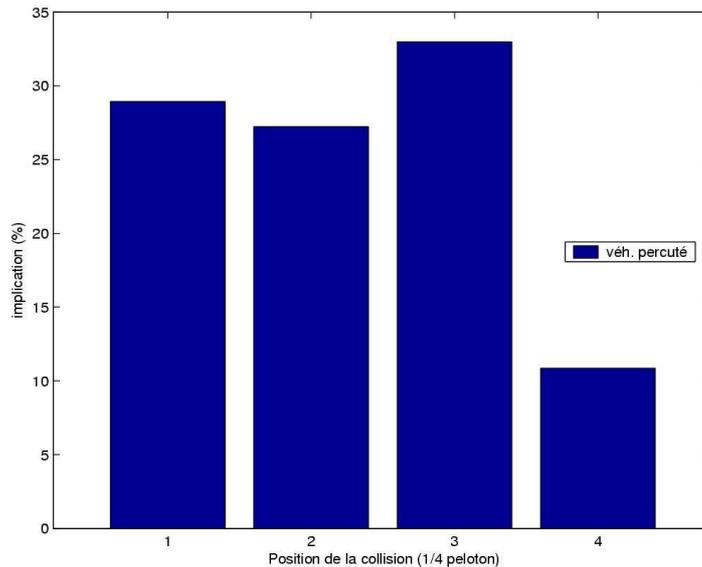


Fig.3 : Taux d'accident moyen pour chaque quart de peloton  
Mean accident rate for each quarter of vehicle group

## 4.2. Taux d'implications individuels

Nous souhaitons déterminer l'influence de l'hétérogénéité d'un parc automobile sur le risque de collision. Le critère choisi est la propension d'un véhicule à être impliqué dans la collision initiale, en distinguant les rôles de "percuté" ou de "percutant". La figure 4 présente les taux d'implications des 24 véhicules en pourcentage (66000 col.).

Un premier groupe est constitué des véhicules citadins (segment "B"). Ces véhicules, du n°1 au n°5 (excepté le n°2) ont des faibles capacités de décélérations ( $\sim 4,5 \text{ m/s}^2$ ) et sont très souvent impliqués en tant que "percutants". Ils le sont peu en tant que "percutés", le véhicule le suivant ayant des capacités de freinage statistiquement supérieures. Le véhicule n°2 est aussi un véhicule citadin mais de conception très récente (équipé de l'ABS, de l'ESP, faible ratio H/L des pneumatiques ( $\Gamma_{moy} \sim 7,3 \text{ m/s}^2$ )).

Un deuxième groupe est constitué des voitures routières : véhicules n°6 à 13, segments "M1" et "M2". Avec le véhicule n°2 précédent, ils constituent l'ensemble des véhicules assez fréquemment "percutés" et très peu percutants. Leurs très hautes performances en termes de freinage d'urgence ( $7 \leq \Gamma \leq 8,7 \text{ m/s}^2$ ) les pénalise ici visiblement au sein d'un parc contenant des véhicules moins performants. Le véhicule n°

14 est le même véhicule que le n°13 mais son système anti-bloquant "ABS" a été débrayé. Le véhicule est ainsi beaucoup moins "percuté", mais plus percutant... Son conducteur est plus souvent "responsable" de l'accident, mais il est mieux intégré au parc automobile : somme des implications percuté/percutant inférieure au n°13.

Les véhicules "15" à "18" sont de gabarits moyens ("M2") mais de conception ancienne (15 à 17 : de 1992) ou orienté utilitaire (le 18<sup>ème</sup> : fourgonnette). Leurs performances moyennes les rend plus "percutants".

Les véhicules 19 à 24 sont visuellement occultants : c'est pourquoi ils sont presque autant "percutés" que "percutants", malgré des performances de freinage assez faibles (3,7 à 5,6 m/s<sup>2</sup>). Leur représentation plus rare dans les pelotons justifie les niveaux assez bas des implications globales de ces véhicules. Le camion et le bus (23 et 24) ont des niveaux plus élevés d'implication dans ce dernier groupe, à associer à leurs très faibles performances en freinage et leur occultation...

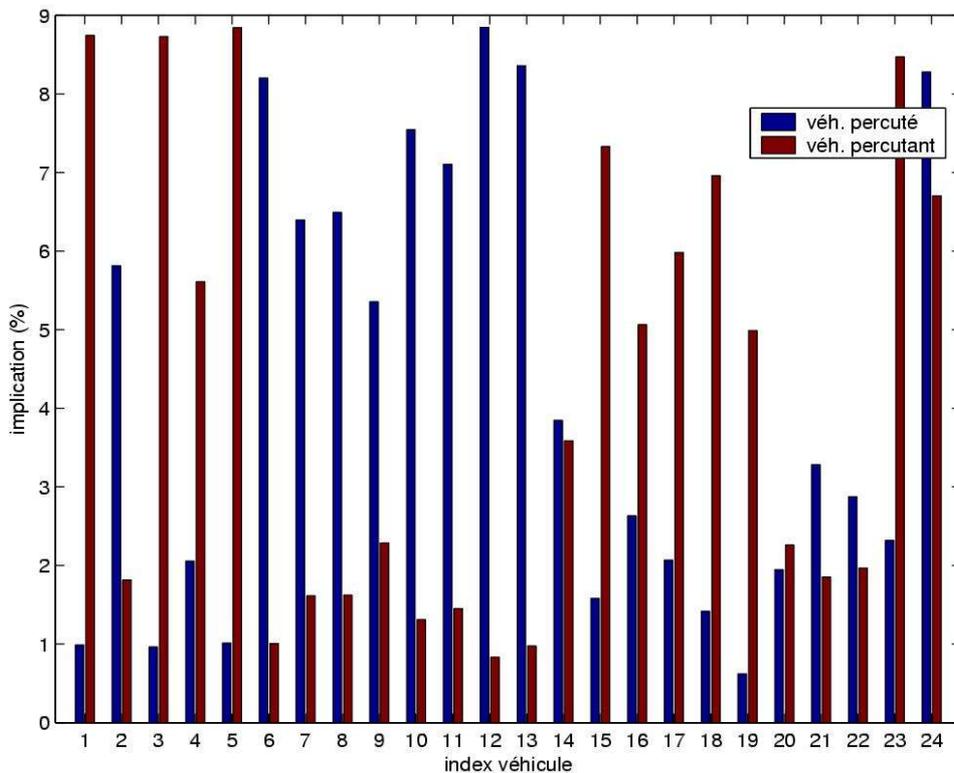


Fig.1 : Taux global d'implication des véhicules, percutant ou percuté  
Implication global rate of the vehicles, impacting or impacted

## 5. CONCLUSION

Des relevés réels de pelotons ont été exploités, représentatifs des temps inter-véhiculaires pratiqués et des schémas de constitution des pelotons. Les véhicules modélisés ont des caractéristiques déterminées par essais sur un revêtement courant en France. De plus le panel des véhicules choisis est large : de 1978 à 2002, bus, citadines,

utilitaires. Le choix d'utiliser un modèle est lié à l'impossibilité de réaliser des expériences à échelle réelle (même avec automates) ou en grand nombre.

Les limitations du modèle sont nombreuses : par exemple, les calculs ne sont pas poursuivis après la première occurrence de collision (sinon des calculs énergétiques complexes devraient être menés) et les conducteurs effectuent un freinage d'urgence (en réalité, le freinage est souvent en plusieurs phases, en compensation pour cette étude un temps de réaction assez élevé a été choisi).

L'impact des performances en terme de freinage des véhicules a cependant été évalué sur un grand nombre de simulations représentatives du trafic routier actuel. L'hétérogénéité du parc actuel est élevée et est responsable de la forte implication de véhicules très performants dans les collisions en file, situation pour laquelle ces véhicules ne bénéficient pas d'avantage réel par rapport aux véhicules peu performants, contrairement à d'autres situations comme l'arrêt d'urgence sur obstacle.

### ***Références***

[ARO.99] M. Aron. "*Temps intervéhiculaires et vitesses*", Recherche Transports Sécurité, n° 64,1996, pp. 3–17.

[BRO.00] T. Brown, J. Lee, D. McGehee "*Attention-based model of driver performance in rear-end collisions*", Transportation Research Record, N°1724, 2000, pp. 14–20.

[GRE.00] M. Green, "How long does it take to stop ? methodological analysis of driver perception-brake times", *Transportation Human Factors*, N°2(3), pp.195-216, 2000.

[HUA.01] Ding-wei Huang and Yu-ping Wu. Car accidents on a singlelane highway. *Am. Phys. Soc.*, 63 :1–4, 2001.

[MAL.86] Gilles Malaterre. Temps de réponse et manœuvres d'urgence. *Recherche transport sécurité*, pages 11–16, décembre 1986.

[SED.93] Elias Seddiki. Impact de la pluie sur le trafic autoroutier. *recherche transport sécurité*, 41 :14–24, 1993.