

## CARACTERISATION DE L'ECO-CONDUITE ET CONSTRUCTION D'UN INDICATEUR DYNAMIQUE POUR VEHICULES THERMIQUES

Docteur en Statistique de l'Université Toulouse III en 2003 et membre successif de divers laboratoires de recherches (Université d'Orsay, INRIA, IRCAM, INRETS). Chargé de recherche depuis 2007 au LIVIC, unité mixte INRETS/LCPC.



### **Guillaume SAINT PIERRE**

Laboratoire sur les Interactions Véhicules-Infrastructure-Conducteurs (LIVIC).  
Unité mixte INRETS/LCPC.  
Bâtiment 824, 14 route de la Minière  
78000 Versailles



Titulaire d'un diplôme de Master2 en Statistique de l'Université Paris VI. Ingénieur contractuel au LIVIC, unité mixte INRETS/LCPC.

### **Cindie ANDRIEU**

Laboratoire sur les Interactions Véhicules-Infrastructure-Conducteurs (LIVIC).  
Unité mixte INRETS/LCPC.  
Bâtiment 824, 14 route de la Minière 78000  
Versailles

### **Résumé**

Les effets de l'éco-conduite sur la consommation de carburant et les émissions de GES sont bien connus, mais il y a encore peu de moyens à disposition pour la caractériser et la détecter. Ce travail présente les premiers résultats d'une expérience destinée à mesurer les effets des consignes d'éco-conduite sur le comportement. Après une description multicritère des effets observés, il est procédé à une sélection statistique des variables les plus pertinentes à partir d'une grande quantité de mesures et d'indicateurs tirés de la littérature. L'objectif étant d'ouvrir la voie à la mise au point d'un système embarqué d'aide à l'éco-conduite, les caractéristiques principales du comportement de conduite sont utilisées pour construire un indicateur dynamique et agrégé du niveau d'efficacité énergétique de la conduite. Un tel indicateur reposant sur un modèle probabiliste peut être utilisé pour détecter une conduite souple ou consommatrice, et afficher des informations ciblées destinées à permettre au conducteur de corriger et d'auto-évaluer son efficacité énergétique.

**Mots-clés** : éco-conduite, systèmes embarqués d'aide à la conduite économe, régression logistique, systèmes de transports intelligents.

### **Abstract**

Effects of eco-driving on fuel consumption and greenhouse gas emissions are well known, but less studied are its characterization. This paper present the first results of an experimental study designed to measure eco-driving behavior. Relevant indicators are identified among a wide range of parameters using multidimensional statistical methods. In order to clear the path leading to the construction of an efficient Ecological Driving Assistance System (EDAS), an attempt is made to construct a dynamic indicator of a fuel-efficient driving style using logistic regression. Such an indicator can be used to detect low-consumption behavior and to display useful advices in order to help the driver improving his driving efficiency without deteriorating safety.

**Keywords:** eco-driving, ecological driving assistance system, logistic regression, intelligent transportation systems.

## 1. Introduction

La prise de conscience des problèmes liés à l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère a modifié la perception des actions de sécurité routière. Il y a encore peu de temps, l'enjeu principal était de faire baisser l'accidentologie, au prix d'une politique de contrôle-sanction et d'aménagements routiers. Les systèmes d'aides à la conduite avaient eux aussi pour objectif essentiel de prévenir les défaillances du conducteur ou de diminuer la gravité des accidents. Le paradigme a maintenant changé, et un nouveau champ d'étude s'intéresse aux systèmes d'aide à la conduite écologique (EDAS, Ecological Driving Assistance System), destinés à associer gestion du risque et efficacité énergétique..

En effet, la recherche d'une conduite optimale en termes à la fois de sécurité, d'efficacité économique (temps de trajet par ex) et d'économies d'énergie, est devenue un enjeu majeur de notre mobilité moderne. L'adaptation des systèmes d'aides existants semble cependant difficile. Quelques tentatives ont néanmoins été faites pour réduire la consommation de carburant en agissant de façon simple sur le comportement de conduite, mais se sont révélées décevantes. Par exemple, l'idée d'une pédale d'accélérateur résistante au-delà d'un certain point semble judicieuse mais n'apporte aucune réduction de consommation (Larsson and Ericsson, 2009). De même l'étude de l'impact des systèmes de régulation automatique de la vitesse (ISA, Intelligent Speed Adaptation, cf Ehrlich (2010) pour un état de l'art), sur la consommation de carburant, montre qu'il n'y a pas de réduction significative (Regan et al. 2006, Carsten et al. 2008, Saint Pierre and Ehrlich, 2008). Le simple respect des limitations, tout autant qu'une légère adaptation des systèmes d'aides à la conduite existants, ne semblent pas de nature à produire une meilleure efficacité énergétique. Une conduite économe en carburant ne semble donc pas relever de la seule vitesse comme paramètre, et il nous semble que le meilleur compromis existant est représenté par ce que l'on nomme « éco-conduite », ou conduite « éco-responsable ».

Ce type de conduite est connu et étudié depuis longtemps par nos voisins européens, mais la France reste encore prudente quand à sa généralisation, et ce malgré des décisions prises en ce sens lors du Grenelle de l'environnement. Les gains de consommation varient pourtant entre 5 et 20% selon les estimations (Vermeulen, 2006 par exemple), avec un effet positif sur le confort de conduite et un faible impact sur le temps de trajet. Il semble qu'il y ait pourtant un grand nombre de questions encore sans réponses, qui justifient la poursuite d'un travail d'étude de l'« éco-conduite ». On peut trouver dans le rapport de la Commission Internationale des Examens de Conduite Automobile (CIECA, 2007), une présentation exhaustive des questions qui agitent le monde des professionnels : L'éco-conduite est-elle source de confusion pour le conducteur novice ? La consigne consistant à éviter les freinages a-t-elle un impact sur les distances inter-véhiculaires ? Comment harmoniser les consignes et les rendre aisément interprétables ? Ces interrogations sont à ce jour sans réponses scientifiques claires et c'est pour tenter d'en apporter que le travail présenté ici a été mené au LIVIC.

Après une description détaillée des moyens mis en œuvre et du plan d'expérience utilisé pour cette expérimentation, nous rappellerons les résultats obtenus concernant l'impact des consignes d'« éco-conduite » sur le comportement. Des analyses statistiques multidimensionnelles seront ensuite menées afin de déterminer les indicateurs les plus pertinents associés à une conduite économe en énergie. Après avoir convergé vers une sélection de seulement cinq paramètres aisément interprétables, nous en déduisons un modèle statistique caractéristique de l'« éco-conduite ». De ce modèle, il est possible de déduire mathématiquement un « éco-index » entre 0 et 100, variant de façon dynamique, et permettant au conducteur d'évaluer simplement ses propres capacités de conduite. Dans la conclusion

nous tenterons de montrer qu'un tel indicateur agrégé peut être utilisé pour concevoir un système de type EDAS.

## 2. Méthodologie

### 2.1 Description de l'expérience

Le but de cette expérience était d'identifier clairement deux types de conduite : une conduite « normale » et une conduite économique en termes de consommation de carburant. L'expérience s'est déroulée en juin et juillet 2009 à Ponchartrain (Yvelines 78). Dix sept conducteurs volontaires recrutés parmi le personnel du LCPC et de l'INRETS y ont participé, ainsi que quatre moniteurs d'éco-conduite issus de l'AFT-IFTIM et du Ministère de la Défense. Le circuit choisi est un trajet de type inter-urbain, d'une longueur de 14km, et comportant une variabilité intéressante des situations de conduite. Tous les trajets ont été effectués sur route sèche et à des heures où la circulation est fluide (10h-12h et 14h-16h) afin de limiter l'influence du trafic. Le véhicule utilisé est une Renault Clio III Essence 1,2l TCE 100cv à boîte manuelle. Après une prise en main du véhicule et une découverte du parcours effectuée par l'expérimentateur, chaque conducteur a effectué deux fois le trajet: une fois en conduisant normalement, et une seconde fois en suivant les consignes d'éco-conduite issues du projet EcoDrive financé par la Commission Européenne. Ces consignes sont les suivantes:

1) **Passer à la vitesse supérieure dès que possible.**

Passer à la vitesse supérieure entre 1500 et 2000 tr/min.

2) **Maintenir une allure constante.**

Enclencher la plus haute vitesse possible et conduire avec un régime moteur faible.

3) **Anticiper le trafic.**

Regarder le plus loin possible et anticiper le trafic environnant.

4) **Décélérer progressivement.**

S'il faut ralentir ou s'arrêter, décélérer progressivement en relâchant l'accélérateur à temps et en laissant la voiture en prise.

5) **Vérifier régulièrement la pression des pneus.**

Une pression 25% trop faible accroît la résistance au roulement de 10% et la consommation de carburant, de 2%.

Ces consignes ont été données au conducteur avant son trajet en conduite économique. Notons que la dernière consigne ne concerne pas le conducteur pour cette expérience, le véhicule ayant été contrôlé au préalable par l'équipe expérimentale. D'autre part, afin de limiter les effets d'apprentissage, une inversion de l'ordre des trajets ("Normal" et "Economique") a été effectuée pour la moitié des sujets.

### 2.2 Données issues de l'expérience

De manière similaire à Beusen et al. (2009), les données recueillies au cours de l'expérience proviennent en grande partie du bus CAN du véhicule. Ces données concernent les paramètres du moteur et du véhicule, ainsi que les actions du conducteur. Le véhicule a aussi été équipé d'un GPS, d'une caméra et d'un radar situés à l'avant du véhicule. Un débitmètre (DFL1x-5bar) a également été utilisé afin de valider la consommation de carburant mesurée par le bus CAN. Enfin, d'autres variables ont été ajoutées telles que les consignes de limitation de vitesse, les rapports de boîte de vitesse, ainsi que de nombreux indicateurs donnés au tableau 1 et inspirés de Ericsson (2001).

**Tableau 1 – Variables et indicateurs**

Variable nom	Description	Moyenne conduite normale	Moyenne eco-conduite	pourcentage écart
MeanVitesse	Vitesse Moyenne	50.71	47.52	-6.30
MeanAccelPos	Accélération moyenne du véhicule	0.50	0.38	-24
MeanAccelNeg	Décélération moyenne du véhicule	-0.62	-0.52	-16.13
MeanRegime	Moyenne du régime moteur	2100.37	1824.07	-13.15
MeanPosAcc	Moyenne du pourcentage d'enfoncement de la pédale d'accélérateur	15.83	13.90	-12.18
StdVitesse	Ecart-type de la vitesse	18.29	16.35	-10.60
StdAccel	Ecart-type de l'accélération/décélération	0.71	0.57	-19.77
stdRegime	Ecart-type du régime moteur	490.69	428.91	-12.59
stdPosAcc	Ecart-type du % d'enfoncement de la pédale d'accélérateur	15.76	13.61	-13.62
SumChangeVitesse	Nombre de changements de vitesse	110.86	115.95	4.60
ConsoCanL100	Consommation moyenne (l/100km) mesurée par le bus CAN	6.90	5.99	-13.11
TempsArrete	% de temps de trajet passé à l'arrêt	2.78	2.71	-2.79
TempsHorsConsigne	% de temps de trajet passé au-delà de la vitesse de consigne	37.77	25.85	-31.55
RM_sup_3500	% de temps passé avec un régime moteur > 3500 tr/min	0.58	0.31	-45.36
va_sup_15	% de temps passé avec (va) > 15	26.12	20.52	-21.42
TempsFreinMoteur	% de temps passé en frein moteur (vitesse > 0 et pas de pression sur la pédale d'accélérateur)	36.18	36.98	2.20
TempsPointMort	% de temps passé au point mort	3.63	3.52	-3.12
TempsVitesseNonOptimale	% de temps passé avec une vitesse non-optimale (régime moteur > 3000 tr/min et pression sur la pédale d'accélérateur)	2.27	0.38	-83.17
PKE	Positive kinetic energy : $PKE = \frac{\Sigma (v_f^2 - v_s^2)}{x}$ avec $dv/dt > 0$ $v_f$ = final speed, $v_s$ = start speed, $x$ = distance	0.35	0.24	-30.84
MeanRMChangeVitesse	Moyenne du régime moteur auquel se fait le changement de vitesse	1798.86	1587.25	-11.76
SumArret	Nombre d'arrêts	1.62	1.95	20.59
MeanDureeArret	Durée moyenne des arrêts (sec)	9.18	10.97	19.54
RPA	Relative positive acceleration : $\frac{1}{x} \int v a^+ dt$ with $x$ = durée totale du trajet $v$ = vitesse, $a^+$ = accélération > 0	2.97	2.15	-27.60
IntegraleCarreAcc	Intégrale du carré de l'accélération	0.03	0.02	-36.24
MaxVitesse	Vitesse maximale	84.73	77.35	-8.72
MaxRegime	Régime moteur maximal	3749.68	3313.59	-11.63
MaxPosAcc	Maximum du % d'enfoncement de la pédale d'accélérateur	65.00	52.20	-19.69
FreinageParKm	Nombre de freinages par kilomètre	2.74	1.94	-29.37
DistFreinTot	Distance parcourue en freinant		1.39	-33.11
Gear_1	% de temps passé en vitesse 1	2.05	1.56	-24.08
Gear_2	% de temps passé en vitesse 2	8.68	6.39	-26.37
Gear_3	% de temps passé en vitesse 3	29.79	21.01	-29.49
Gear_4	% de temps passé en vitesse 4	31.12	29.95	-3.77
Gear_5	% de temps passé en vitesse 5	24.72	37.57	52.01
Vit_inf_30	% de temps passé avec une vitesse comprise entre 0-30 km/h	12.78	13.28	3.97
Vit_30_70	% de temps passé avec une vitesse comprise entre 30-70 km/h	72.61	81.23	11.87
Vit_sup_70	% de temps passé avec une vitesse > 70 km/h	14.61	5.49	-62.43
TempsAccNeg	% de temps passé avec une accélération comprise dans l'intervalle $[-10, -1]m/s^2$	7.01	4.51	-35.76
TempsAccMed	% de temps passé avec une accélération comprise dans l'intervalle $[-1, 1]m/s^2$	86.25	92.42	7.16
TempsAccPos	% de temps passé avec une accélération comprise dans l'intervalle $[1, 10]m/s^2$	6.74	3.07	-54.42

### 3. Résultats

#### 3.1 Impact des consignes d'éco-conduite

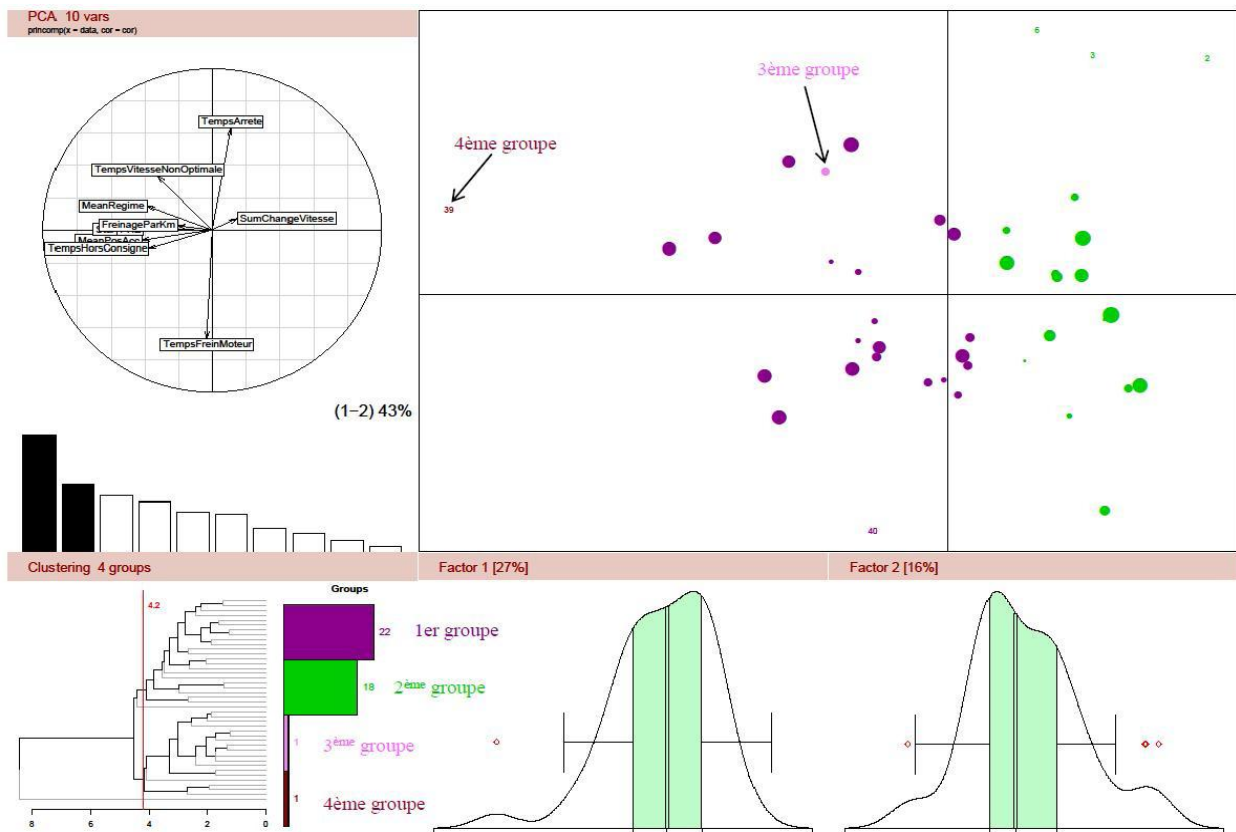
Les résultats numériques obtenus sont résumés dans le tableau 1. La consommation moyenne de carburant pour les vingt et un conducteurs est de 6.90l/100km en conduite normale et de 5.99l/100km en conduite économique, soit une baisse de 13% entre les deux types de conduite, cette baisse allant jusqu'à 26% pour certains. Ces résultats montrent qu'il semble assez simple de réduire sa consommation de carburant en appliquant certaines règles de base de l'éco-conduite. La vitesse moyenne et le pourcentage de temps passé au-delà de la vitesse limite ont baissé respectivement de 6.3% et 31.6%, ce qui traduit un meilleur respect des limitations de vitesse en conduite économique. Les résultats relatifs à la gestion de l'accélération et du freinage sont en accord avec les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> principes de l'éco-conduite, soit anticiper le trafic et maintenir une vitesse constante. Ainsi l'accélération est de 0.50 m/s<sup>2</sup> en moyenne en conduite normale et 0.38 m/s<sup>2</sup> en conduite économique, et le pourcentage d'enfoncement de la pédale d'accélérateur a baissé d'environ 12%. Le nombre de freinage par kilomètre a baissé d'environ 30%. Cependant le pourcentage de temps passé en frein moteur n'a augmenté que de 2% en conduite économique. Cette différence n'est pas significative statistiquement mais montre que cette technique est encore peu familière de la plupart des conducteurs et nécessiterait une formation d'ordre pratique. Ceci est confirmé par le fait que les moniteurs d'éco-conduite ont davantage utilisé le frein moteur lors de leur trajet en conduite économique que les autres conducteurs. Enfin, l'un des principes fondamentaux de l'éco-conduite est de conduire avec un rapport de boîte élevé et un régime moteur faible. Comme le montre le tableau 1, le régime moteur moyen ainsi que le régime moteur auquel s'effectue le changement de vitesse sont plus faibles en conduite économique. De plus, la vitesse 5 est nettement plus utilisée en conduite économique, alors que la vitesse 3 l'est beaucoup moins, ce qui implique un régime moteur plus faible et donc une consommation de carburant plus faible.

#### 3.2 Analyse factorielle

Dans une première partie, une classification ascendante hiérarchique (CAH) des 40 variables décrites dans le tableau 1, hormis la variable relative à la consommation (les raisons seront exposées à la section 3.3), a été effectuée afin de réduire le nombre de variables. L'objectif de cette méthode est de regrouper les variables les plus corrélées, c'est-à-dire portant les mêmes informations. Le principe est basé sur la méthode de Wald et les résultats sont généralement illustrés par un dendrogramme (non représenté ici). Cette CAH a permis de distinguer dix principaux groupes de variables. Pour chacun de ces groupes, les variables les plus significatives mais aussi les plus simples à interpréter ont été conservées. En effet, l'objectif de cette étude étant la réalisation d'un système d'aide à l'éco-conduite, il est nécessaire de sélectionner des variables simples à interpréter même si ce ne sont pas les plus significatives d'un point de vue statistique. Ainsi, les dix variables sélectionnées sont les suivantes: MeanRegime, MeanPosAcc, StdAccel, SumChangeVitesse, TempsArrete, TempsHorsConsigne, TempsFreinMoteur, TempsVitesseNonOptimale, PKE, FreinageParKm.

Dans une seconde partie, une analyse en composantes principales (ACP) de l'ensemble des trajets a été effectuée à partir des dix variables sélectionnées précédemment, afin de détecter les liaisons entre les variables. L'ACP est une méthode d'analyse de données permettant de représenter le nuage de points en deux dimensions par projection sur des axes discriminant au mieux les trajets. L'objectif de cette méthode est de définir de nouvelles variables non-corrélées, combinaisons linéaires des variables initiales et faisant perdre le moins

d'information possible. Ces nouvelles variables appelées "composantes principales" sont de variance maximale. La figure 1 est un graphique mis au point par Eric Lecoutre et réalisé avec le logiciel R. Ce graphique représente les résultats de l'ACP avec le cercle des corrélations et le premier plan factoriel, et aussi le dendrogramme résultant d'une classification ascendante hiérarchique de l'ensemble des trajets. Sur le premier plan factoriel, la couleur de représentation des individus correspond à leur groupe d'appartenance, et leur taille varie selon leur poids dans la définition des axes. Les individus représentés par leur numéro correspondent aux valeurs extrêmes (trajets atypiques).



**Figure 1** - Analyse en composantes principales et classification ascendante hiérarchique.

Ce graphique permet de distinguer deux groupes principaux :

- les trajets avec de fortes accélérations, un régime moteur élevé, de nombreux freinages, et donc une consommation de carburant élevée;
- les trajets avec de faibles accélérations, un régime moteur peu élevé, peu de freinages, et donc une consommation de carburant plus faible.

Le premier groupe est constitué principalement de trajets effectués en conduite normale (16 "normal" et 6 "eco"), alors que le second groupe correspond à des trajets effectués en conduite économique (15 "eco" et 3 "normal"). Notons aussi que la classification a fait apparaître deux groupes constitués chacun d'un seul trajet. Ainsi le troisième groupe correspond à un trajet avec un régime moteur élevé et peu de changements de rapport de boîte de vitesse, ce qui caractérise une conduite non optimale. Le quatrième groupe possède les mêmes caractéristiques que le troisième groupe avec en plus de très fortes accélérations et un temps passé avec une vitesse non optimale particulièrement élevée, ce qui caractérise une conduite nerveuse.

#### 4. Modèles de prédiction

L'objectif de cette section est l'élaboration d'un modèle de prédiction de la probabilité d'être en situation d'éco-conduite, basé sur des variables simples à interpréter et ne contenant pas la variable relative à la consommation de carburant. En effet, la consommation de carburant est étroitement liée au type de route (urbain, inter-urbain, autoroute) et au trafic, et ne peut donc pas être considérée comme un indicateur pertinent d'éco-conduite. Il est évident que même un conducteur très efficace aura une consommation de carburant élevée en présence d'un fort trafic ou sur une route de montagne. Un bon indicateur d'éco-conduite ne doit donc pas trop dépendre des conditions extérieures et doit être davantage basé sur les actions du conducteur.

##### *Modèle de prédiction de la consommation moyenne*

Une première partie a consisté en la construction d'un modèle de prédiction de la consommation moyenne afin de sélectionner les variables les plus explicites pour cette étude. Ce modèle a été obtenu par régression linéaire à partir des dix variables sélectionnées précédemment. Cependant certaines variables étant très corrélées et rendant les résultats de la régression très instables, une sélection des variables a été effectuée à l'aide de la méthode stepwise. Le modèle obtenu avec la procédure REG du logiciel SAS est un modèle avec cinq variables explicatives :

$$\begin{aligned} \text{ConsoCanL100} = & 3.558 + 0.117 \times \text{MeanPosAcc} + 0.040 \times \text{TempsArrete} \\ & - 0.021 \times \text{TempsFreinMoteur} + 4.973 \times \text{PKE} + 0.146 \times \text{FreinageParKm} \quad (1) \end{aligned}$$

Le coefficient de détermination  $R^2$  de ce modèle est égal à 0.934, ce qui signifie que 93.4% de la variabilité de la variable réponse Y est expliqué par le modèle. Les cinq variables explicatives du modèle sont relatives à l'accélération, la décélération, les arrêts et l'énergie cinétique du véhicule, avec une forte influence de l'indicateur PKE. Ces variables seront utilisées dans l'élaboration du modèle logistique défini à la section suivante.

##### *Modèles de prédiction de la probabilité d'être en éco-conduite*

Cette seconde partie est basée sur l'élaboration d'un modèle de prédiction de la probabilité d'être en situation d'éco-conduite. L'objectif ici est de prédire la variable binaire "Trajet" qui prend la valeur 0 lorsque le trajet a été effectué avec une conduite normale (noté "normal"), et la valeur 1 lorsque le trajet a été effectué avec une conduite économique (noté "eco"). Le modèle a été obtenu par régression logistique, qui est une méthode appropriée lorsque la variable de réponse Y n'est pas quantitative mais qualitative ou catégorielle. La régression logistique a été effectuée avec les cinq variables explicatives issues du modèle de prédiction de la consommation moyenne. Le modèle ainsi obtenu à l'aide de la procédure LOGISTIC du logiciel SAS est le suivant :

$$\begin{aligned} \text{Logit} [ P [\text{Trajet} = \text{Eco} \mid \Theta ] ] = & 38.581 - 1.432 \times \text{MeanPosAcc} - 0.855 \times \text{TempsArrete} \\ & + 0.138 \times \text{TempsFreinMoteur} - 44.702 \times \text{PKE} - 2.961 \times \text{FreinageParKm} \quad (2) \end{aligned}$$

où le paramètre  $\Theta$  désigne  $[\text{MeanPosAcc}, \text{TempsArrete}, \text{TempsFreinMoteur}, \text{PKE}, \text{FreinageParKm}]$  et où la fonction logit est définie par :  $\text{logit}(p) = \frac{p}{1-p}$

Le coefficient  $R^2$  de ce modèle est égal à 0.608 avec une forte influence de la variable PKE. Ainsi la probabilité d'être en éco-conduite baisse fortement dès que la variable PKE augmente. Le tableau 2 indique la proportion de trajets bien classés et mal classés par le modèle.

**Tableau 2** – Table de classification pour un seuil de 0.5.

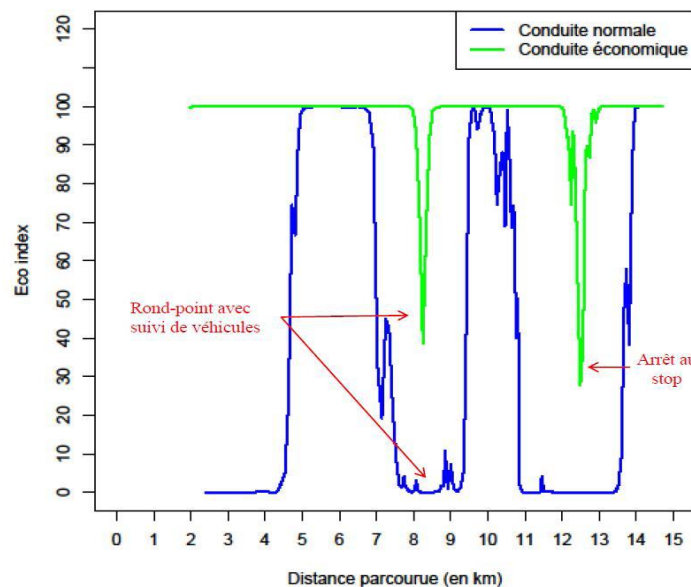
Valeur observée	Valeur prédite		
	0	1	Total
Fréquence			
0	19	2	21
1	2	19	21
Total	21	21	42

Pour un seuil de 0.5, le pourcentage de trajets bien classés est de 90.5%. Cependant, il est important de noter qu'ici le modèle a été construit à partir de toutes les observations, ce qui peut biaiser les résultats. C'est pourquoi l'option CTABLE de la procédure LOGISTIC, permettant d'effectuer une validation croisée par la méthode du leave-one-out, a aussi été utilisée. Pour un seuil toujours égal à 0.5, le pourcentage de trajets bien classés est alors de 85.7%, ce qui est proche du résultat précédent et laisse donc à penser que le modèle obtenu est robuste.

De plus, afin d'explorer la possibilité de simplifier le modèle, un second modèle basé uniquement sur la variable PKE a été construit :

$$\text{Logit} [ P [\text{Trajet} = \text{Eco} \mid PKE ] = 9.910 - 34.558 \times PKE ] \quad (3)$$

Ce modèle a été obtenu par régression logistique en appliquant la méthode stepwise aux dix variables sélectionnées à la section 3.2. Le coefficient  $R^2$  est égal à 0.465 et le pourcentage de trajets bien classés pour un seuil de 0.5 est de 83.3%. Ce modèle présente l'avantage d'être simple puisqu'il ne dépend que d'une seule variable. Cependant ce modèle est moins bien adapté à cette étude que le premier modèle. En effet, l'objectif ici est la création d'un système d'aide à la conduite, basé sur le comportement de conduite du conducteur. Il est donc nécessaire de conserver dans le modèle, divers indicateurs relatifs au style de conduite.



**Figure 2** - Evolution de l'éco-index d'un même conducteur selon les deux types de conduite.



### ***Création d'un "eco-index" : vers la conception d'un système d'aide à l'éco-conduite***

Afin d'obtenir un indicateur d'éco-conduite, la probabilité d'être en situation d'éco-conduite issue du modèle logistique à cinq variables explicatives a été convertie en un nombre compris entre 0 et 100. Cet indice d'éco-conduite appelé "eco-index", est calculé à partir de l'ensemble du trajet, et constitue donc un indicateur global. Or, l'objectif de cette étude est de concevoir un système d'aide à l'éco-conduite permettant au conducteur de s'auto-évaluer au cours du trajet. Il est donc nécessaire de renvoyer au conducteur des informations relatives à sa conduite tout au long du trajet. C'est pourquoi cet éco-index a aussi été calculé toutes les cinq secondes en se basant sur les trois dernières minutes de la conduite. Il s'agit là d'une version dynamique de l'indicateur précédent, mieux à même de capter les petites variations de conduite. La figure 2 représente l'évolution de l'éco-index au cours des deux trajets ("Normal" et "Eco") pour un même conducteur. Au cours du trajet effectué en conduite économique, on distingue clairement deux chutes de l'éco-index : la première correspondant au franchissement d'un rond-point avec suivi de véhicules, et la deuxième correspondant à un arrêt au stop. Ces résultats montrent la forte influence de l'infrastructure sur le comportement de conduite, et donc sur la consommation de carburant. De par l'utilisation d'un modèle mathématique, il devient possible de chiffrer l'augmentation de l'éco-index associée à une évolution de chacun des paramètres séparément.

## **5. Conclusion**

La mise au point d'un système d'aide à la conduite est souvent difficile en termes d'ergonomie, de simplicité et d'efficacité. Il est en effet important de résumer l'information nécessaire à une conduite complexe avec peu de paramètres compréhensibles et utilisables par le conducteur. Cela est généralement effectué en agissant sur la vitesse, par le biais de systèmes qui cherchent à renvoyer une vitesse de consigne au conducteur, celle-ci dépendant soit d'un niveau de risque « contrôlé », soit de conditions de conduites modifiées (météorologiques ou dues à des limitations par ex.). Nous avons montré que cette approche ne suffisait pas à favoriser une conduite économe en énergie. Des tentatives plus prometteuses utilisent des informations dynamiques sur le trafic environnant pour réduire les bouchons sur autoroute. Ce travail de Barth & Boriboonsomsin (2009) relève plutôt des systèmes de type ISA en version adaptative, mais constitue ce qui se rapproche le plus d'un système de type EDAS, hélas uniquement testé sur autoroute. Il faut noter qu'une tentative de construction d'une EDAS a déjà eu lieu en France (cf Barbé et al. 2007) lors du projet GERICO, sans avoir pu être testée en situation réelle.

Il nous a semblé qu'une consigne de vitesse est une information trop parcellaire pour pouvoir aider efficacement le conducteur. L'objectif des travaux présentés ici étaient donc de construire un indicateur agrégé, intégrant d'autres informations de conduite comme le régime moteur, l'accélération, ou le nombre de freinages. L'usage de modèles probabilistes associés à une expérience adaptée a permis de construire un indicateur capable de classer efficacement des trajets en termes d'efficacité énergétique. L'indicateur a été validé à l'échelle d'un seul trajet, et d'autres expériences seront certainement nécessaires pour valider l'approche sur d'autres types de routes (milieu urbain notamment). Il apparaît tout de même un intérêt certain à disposer d'un indicateur calculable simplement, non basé sur la consommation de carburant, et à même de rendre compte dynamiquement au conducteur des effets de ses actions sur sa consommation. Cet indicateur étant basé sur des observations statistiques, ne renvoie qu'une notion de probabilité de détection d'un comportement de conduite économe. Il s'agit néanmoins d'une information agrégée qu'il est possible de renvoyer efficacement au conducteur par le biais d'une interface Homme/Machine (IHM) adaptée. Young et al. (2009) ou Van der Voort et al. (2001) ont étudié ces interfaces, et l'on sait maintenant que celles-ci

sont d'autant plus efficaces et appréciées qu'elles sont simples et claires. C'est dans cet objectif que l'indicateur a été construit.

Les travaux présentés ici, et effectués au LIVIC, devraient se poursuivre dans le cadre d'une collaboration INRETS/LCPC autour du projet VERONESE destiné à regrouper les recherches effectuées dans le cadre du Grenelle de l'environnement. Un consortium est en cours de montage et différentes approches concurrentes devraient être testées dans les années qui viennent.

## Références

- G. Barbé, J. Boy and Sans. M. (2007) "Gerico : A human centered eco-driving system," in Proc. Int. Conf. 10th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems, Seoul, Korea, September 2007.
- M. Barth and K. Boriboonsomsin (2009), "Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system," *Transportation Research Part D*, vol. 14, pp. 400–410.
- B. Beusen, S. Broekx, T. Denys, C. Beckx, B. Degraeuwe, M. Gijssbers, K. Scheepers, L. Govaerts, R. Torfs, and L. Int Panis, (2009), "Using on-board logging devices to study the longer-term impact of an eco-driving course," *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, vol. 14, issue 7, pp. 514–520.
- O. Carsten, F. Lai, K. Chorlton, P. Goodman, D. Carslaw, and S. Hess, (2008), "Speed limit adherence and its effect on road safety and climate change," University of Leeds, Tech. Rep.
- CIECA (2007) (International commission for driver testing authorities), *Projet interne de la CIECA concernant l'intégration de l'éco-conduite dans la formation et l'examen des conducteurs de catégorie B*, <http://www.cieca.be/>, Ed. CIECA.
- E. Ericsson, (2001), "Independent driving pattern factors and their influence on fuel-use and exhaust emission factors," *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, vol. 6, pp. 325–345.
- H. Larsson and E. Ericsson, (2009), "The effects of an acceleration advisory tool in vehicles for reduced fuel consumption and emissions," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 14, pp. 141–146.
- M. A. Regan, T. J. Triggs, K. L. Young, N. Tomasevic, E. Mitsopoulos, E. Stephan, and C. Tingvall, (2006), "Onroad evaluation of intelligent speed adaptation, following distance warning and seatbelt reminder systems : Final results of the tac safecar project." Monash University, Tech. Rep.
- G. Saint Pierre and J. Ehrlich, (2008), "Impact of intelligent speed adaptation systems on fuel consumption and driver behaviour." in *Proceedings of 15th ITS World Congress*.
- M. van der Voort, M. Dougherty, and M. van Maarsevee, (2001), "A prototype fuel-efficiency support tool," *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, vol. 9, pp. 279–296.
- R. Vermeulen, (2006), "The effects of a range of measures to reduce the tail pipe emissions and/or the fuel consumption of modern passenger cars on petrol and diesel." TNO science and industry, Tech. Rep..
- M. S. Young, S. A. Birrell, , and N. A. Stanton, (2009), *Lecture Notes in Computer Science : Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*. Springer Berlin / Heidelberg, ch. Design for Smart Driving : A Tale of Two Interfaces, pp. 477–485.