

Évaluation des impacts d'une formation à l'éco-conduite sur la consommation énergétique de véhicules légers : le cas du CETE de l'Ouest

Contribution du CETE de l'Ouest
au projet SERRES, action 5

Emmanuel Kemel

Février 2013

Ressources, territoires et habitats
Énergies et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mg

Présent
pour
l'avenir



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie,
du Développement durable et de la mer.
En charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat

www.cete-Ouest@developpement-durable.gouv.fr - www.inrest.fr

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
Provisoire	Décembre 2011	Présentation de la méthode
V1	Février 2013	Version remise aux commanditaires

Affaire suivie par

Gilles Blanchard - CETE de l'Ouest / DIMER / Groupe sécurité routière
<i>Tél. : 04 40 12 85 03</i>
<i>Courriel : Prénom. Gilles.blanchard@developpement-durable.gouv.fr</i>

Rédacteur

Emmanuel KEMEL - CETE de l'Ouest / DIMER / Groupe sécurité routière

Relecteur

Bertrand RODARY - CETE de l'Ouest / DIMER

Résumé

Ce rapport présente la méthode et les résultats d'une démarche d'évaluation d'une campagne de formation à l'éco-conduite menée auprès des agents du CETE de l'Ouest. Plusieurs types de données ont été mobilisées pour mesurer l'évolution de la consommation énergétique des déplacements avant et après la formation. Un effet notable est mis en évidence. La baisse est de l'ordre 10 à 20 % suivant les conditions de mesure, le type de déplacements ou de véhicule considéré. Une enquête menée auprès des stagiaires par questionnaire complète l'analyse par des éléments qualitatifs sur les motivations et difficultés associées à la pratique de l'éco-conduite.

Remerciements

La réalisation de cette étude a mobilisé la contribution de plusieurs personnes, dans la collecte et l'accès aux données. L'auteur souhaite les remercier ici.

Alexandre Hublart et Cyrille Le Lez, du CETE Normandie Centre, ont recueilli des observations expérimentales permettant d'évaluer le biais de mesure du dispositif Ecogyzer utilisé dans cette étude,

Jean-Luc Benoist, du CETE de l'Ouest, a programmé la version internet du questionnaire adressé aux stagiaires éco-conduite,

Didier Crinquette, du CETE de l'Ouest, a contribué à la mise à disposition des appareils Ecogyzer pour les stagiaires et a fourni les données permettant de travailler sur la consommation du parc automobile du CETE de l'Ouest.

Les formateurs du CFM DUPE ont accepté de mettre à disposition de l'étude, les données relevées au cours des formations.

L'ensemble des agents du CETE de l'Ouest ayant accepté d'utiliser l'Ecogyzer pour enregistrer certains de leurs déplacements professionnels, ou ayant rempli le questionnaire sont remerciés pour leur collaboration.

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet de recherche SERRE, et son pilote, Guillaume Saint Pierre est remercié pour sa bienveillance et sa compréhension vis-à-vis du glissement dans le temps, qu'à subi le calendrier de cette étude.

Table des matières

Résumé.....	3
Remerciements.....	4
1. Introduction.....	7
2. Contexte.....	8
2.1 La commande.....	8
2.2 Les enjeux.....	9
2.3 L'éco-conduite	10
3. Méthode.....	13
3.2 Recueil de données pour comparaisons avant-après.....	14
3.2.1 Evolution des consommations individuelles au cours de la formation	14
3.2.2 Evolution des consommations individuelles au cours du mois précédent et suivant la formation	15
3.2.3 Evolution de la consommation énergétique du parc du CETE sur la période 2011-2012.....	16
3.3 L'appareil de mesure en données individuelles : l'écogyzer.....	17
Limites de l'appareil	18
3.4 Analyse qualitative de la perception et l'impact de la formation sur les comportements	19
4. Résultats.....	25
4.1 Analyse des données recueillies au cours de la formation	25
4.2 Évolution des consommations kilométriques avant et après la formation, en données individuelles	28
4.3 Evolution de la consommation énergétique du parc du CETE sur la période 2011- 2012.....	33
4.4 Réponses au questionnaire	35
4.4.1 Intérêt pour l'éco-conduite	35
4.4.2 Connaissance des principes de l'éco-conduite.....	37
4.4.3 Mise en application des principes de l'éco-conduite	37
5. Discussion.....	42
5.1 Principaux résultats.....	42
5.2 Perspectives.....	43
5.3 Limites	44

Références.....	45
Annexe 1 : note d'informations proposée au stagiaires.....	46
Annexe 2 : note d'information diffusée auprès des stagiaires.....	48

1. Introduction

La France s'est engagée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre, en 2050, d'un facteur quatre par rapport au niveau de 1990. Le secteur des transports représente une part importante de ces émissions et a fait l'objet depuis ces dernières années d'un ensemble de mesures en vue d'atteindre cet objectif. La promotion et le développement de l'éco-conduite est l'une d'entre elles. Ce concept peut en effet se définir comme un ensemble de consignes permettant de réduire la consommation kilométrique des déplacements automobiles.

Les expériences d'entreprises offrant des formations d'éco-conduite à leurs employés, se multiplient. Au niveau de l'État, la démarche d'« État exemplaire », fondée sur l'idée que les administrations représentent un levier important de changement des comportements, a inscrit en 2011 la promotion de l'éco-conduite auprès de ses agents.

Il est généralement considéré que la pratique de l'éco-conduite est porteuse de gains budgétaires, environnementaux et de sécurité. Au-delà de l'accumulation de divers retours d'expériences, peu d'études sont disponibles aujourd'hui pour appuyer ce point.

L'objectif de cette étude est l'évaluation des économies de carburant réalisées à la suite de stages éco-conduite, organisés auprès des agents du CETE de l'Ouest. La focale sera portée sur les effets de ces formations, au travers de comparaisons « avant-après » à court et moyen terme. L'étude s'attachera également à distinguer les effets mesurables au niveau agrégé (sur le parc automobile du CETE), des effets observables au niveau individuel (sur le comportement des conducteurs).

L'analyse au niveau agrégé portera sur le suivi de la consommation d'un panel de véhicules. Au niveau individuel, le style de conduite des agents bénéficiant de la formation sera analysé sur une série de déplacements effectués avant et après la formation. Enfin, un questionnaire diffusé auprès des stagiaires permettra de recueillir des éléments qualitatifs sur la mise en œuvre de l'enseignement reçu et ses conséquences.

L'une des originalités de cette étude est le recueil et l'analyse de plusieurs sources d'informations pour essayer d'appréhender l'impact des formations éco-conduite.

Le rapport présente le contexte de l'étude, en rappelant la commande et en introduisant les enjeux associés à l'éco-conduite. Une brève présentation du principe d'éco-conduite et de ses effets sera également proposée. La troisième partie du rapport présente la campagne de formation à l'éco-conduite mise en œuvre au sein du CETE de l'Ouest ainsi que la méthode utilisée pour son évaluation. Cette partie offrira notamment une description de la procédure mise en œuvre auprès des agents pour suivre l'évolution de leur consommation kilométrique avant et après la formation.

Les données ainsi collectées seront présentées dans la quatrième partie, ainsi qu'une analyse des résultats d'évaluation.

2. Contexte

2.1 La commande

SERRES action 5

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la participation du CETE de l'Ouest à l'opération de recherche SERRES : « Solutions pour une Exploitation Routière Respectueuse de l'Environnement et de la Sécurité ». Ce programme de recherches pluri-annuel implique plusieurs organismes du réseau scientifique et technique du MEDDTL, tels que l'IFSTTAR ou divers CETE. Cinq thèmes sont abordés dans différentes « actions » :

- action 1 : Métrologie du trafic et des nuisances associées,
- action 2 : Gestion dynamique de l'espace de circulation,
- action 3 : Evaluation pluri-critères du système routier,
- action 4 : Nouvelles Conceptions de la voirie,
- action 5 : Eco-conduite.

La présente étude est réalisée au sein de l'action 5.

Le PCI EPSR CU

Le groupe sécurité routière du CETE de l'Ouest contribue au PCI « Évaluation des politiques de sécurité routière, comportement des usagers ». Plusieurs agents mènent des travaux de recherche appliquée portant sur l'analyse de l'impact de mesures de sécurité routière sur les comportements. Le suivi de l'impact de formations à l'éco-conduite sur les comportements de conduite fera appel aux compétences relatives à l'étude des comportements développées au sein du PCI.

L'éco-conduite au CETE de l'Ouest

La démarche d'État exemplaire a été fixée par la circulaire du Premier ministre du 3 décembre 2008 (JORF 2009), relative à l'exemplarité de l'État au regard du développement durable. Devant le succès des objectifs 2010, plusieurs objectifs supplémentaires ont été ajoutés à la démarche pour 2011. La mise en place de formations à l'éco-conduite en fait partie. Le secrétariat général du CETE de l'Ouest s'est donc appliqué à mettre en œuvre cette démarche par la mise en place d'une campagne de formation à l'éco-conduite auprès de ses agents.

2.2 Les enjeux

Enjeux nationaux

La France s'est engagée en 2005, au même titre que les autres pays signataires du Protocole de Kyoto, à réduire la consommation énergétique et les émissions de gaz à effets de serre. Alors qu'à l'échelle mondiale, le secteur des transports représente près de 20% des émissions, cette part s'élève à près de 30% pour la France, compte tenu, notamment, de la part importante représentée par l'énergie nucléaire. Le Grenelle de l'environnement a réaffirmé en 2007 l'objectif de réduction du niveau d'émission de 1990 d'un facteur quatre d'ici 2050.

Un large éventail de mesures, allant des outils incitatifs tels que la taxe carbone ou les « bonus malus », aux politiques d'investissement dans le rail ou de sensibilisation, a été étudié, et /ou mis en œuvre pour atteindre cet objectif.

La promotion de l'éco-conduite fait partie de ces mesures. Le plan climat 2004 incluait ainsi la sensibilisation à l'éco-conduite dans le nouveau permis de conduire. Cette mesure représentait 5% des gains escomptés, en terme d'émissions annuelles en 2010 (Gastaud, 2006).

Enjeux pour les ménages

Après un épisode de pic en 2001, les prix des carburants ont connu une hausse quasi continue de 2003 à nos jours, avec une accélération des prix en 2008. De telles évolutions offrent des incitations « naturelles » à la réduction de la consommation automobile. Elles présentent néanmoins des enjeux sociaux, vis-à-vis notamment des ménages victimes de la « dépendance automobile » c'est à dire dont le choix de localisation limite les alternatives à l'automobile. Kemel et al. (2011) ont mis en évidence que sur la période 1999-2007, en période de hausse quasi continue des prix des carburants, les ménages français sont parvenus à limiter la réduction de leur kilométrage en améliorant l'efficacité énergétique de leur parc.

Outre l'achat de véhicules moins énergivore, l'éco-conduite est une façon d'y parvenir (Rouwendal, 1996). Hivert et Wingert (2010) montrent que près de 30% des conducteurs français affirment avoir changé leur style de conduite, pour conduire à l'économie.

2.3 L'éco-conduite

Qu'est ce que l'éco-conduite ?

De façon intuitive, il pourrait être considéré qu'une première façon de réduire la consommation kilométrique automobile (i.e. la quantité de carburant requise pour parcourir une distance donnée) consiste à réduire la vitesse de conduite. Anable et Bristow (2007) observent à cet égard que c'est ce que tendent à faire des conducteurs à qui il est demandé d'améliorer l'efficacité énergétique de leurs déplacements. Ces auteurs présentent des estimations des gains d'émissions de CO₂ qui pourraient être réalisées en abaissant les limites de vitesse sur les routes anglaises. Cependant, la diminution des vitesses pratiquées ne saurait être la seule façon d'envisager l'éco-conduite, du fait notamment que c'est entre 60 et 80 km/h que l'efficacité énergétique du moteur est à son maximum. Cette tranche optimale de vitesse résulte d'un arbitrage entre la force d'entraînement du véhicule et la résistance aérodynamique (Young 2010).

Evans (1979) a mis en évidence qu'une conduite visant à limiter les arrêts et redémarrages présentait des gains supérieurs à une conduite à vitesse réduite. En demandant à deux groupes de conducteurs d'appliquer l'une et l'autre de ces approches, l'auteur observe que le groupe des conducteurs ayant réduit leur vitesse présentaient des gains énergétiques de 6,4% pour une augmentation de 8,2% des temps de parcours alors que le second groupe, limitant ses arrêts à économisé 13,9% en n'augmentant les durées de parcours que de 1,5%.

L'objectif de l'éco-conduite serait donc d'améliorer les performances énergétiques des déplacements, à vitesse quasiment constante.

Les piliers de l'éco-conduite :

La pratique de l'éco-conduite consiste en une modification de la pratique de la conduite, permettant d'exploiter au mieux les performances du véhicule.

Les changements de pratique se regroupent sous deux axes : la préparation du véhicule et la technique de conduite.

Les recommandations en termes de préparation du véhicule sont les suivantes :

- entretenir son véhicule
- vérifier la pression des pneus
- ne pas rouler surchargé
- limiter l'usage de la climatisation

Les recommandations en termes de technique de conduite sont les suivantes :

- changer les rapports à bas régime
- maintenir une allure constante
- anticiper pour limiter les arrêts
- utiliser un régime moteur le plus bas possible : en passant la vitesse supérieure dès que possible
- couper le moteur en cas d'arrêt prolongé ou d'embouteillages

Une présentation plus approfondie des grands principes de l'éco-conduite est proposée par Andrieu (2009)

Impact de l'éco-conduite sur la consommation énergétique

De nombreux sites internet vantent les vertus de l'éco-conduite et notamment ses effets bénéfiques sur la consommation énergétique. La valeur de -25% revient souvent¹ pour évoquer l'impact que peut avoir la pratique de l'éco-conduite sur la consommation kilométrique des véhicules de loisir. Rares sont cependant les études citées, justifiant ce résultat et les valeurs annoncées varient sensiblement d'une source à l'autre. Le site *conduite-economique.vivre-aujourd'hui.fr* annonce par exemple des gains pouvant aller de 5 à 15% et le site *www.gestes-environnement.fr*, place la fourchette haute à 40%.

Les travaux scientifiques sont plus nuancés, Saint Pierre et al. (2010) mentionnent le résultat d'un programme de formation organisé par l'organisme suisse Quality Alliance Eco-drive affirmant que des programmes de formation des conducteurs et d'apprentissage de l'éco-conduite peuvent permettre d'espérer une réduction de la consommation moyenne de 10 à 15%. Une étude menée sur un an aux Pays Bas, a mis en évidence que des conducteurs de véhicules légers déclarant appliquer les consignes de l'éco-conduite présentaient une consommation inférieure de 7% à celle des autres (CfIT, 2007).

Saint Pierre et Andrieu (2010) évoquent deux aspects pouvant limiter les effets de l'éco-conduite. Le premier concerne la pérennité des changements observés. Les auteurs mentionnent notamment une étude de l'ADEME menée sur des conducteurs de poids lourd. Celle-ci indique que des gains importants ont été observés à la suite de formations à l'éco-conduite, mais qu'un phénomène d'érosion s'opère quelques mois après. Le gain « à l'équilibre » se stabilisant entre 80 et 20% de gain consécutifs à la formation.

Certains dispositifs d'aide à l'éco-conduite peuvent également avoir un effet négatif sur la consommation énergétique. Une étude menée au LIVIC² a par exemple montré que l'utilisation de certains limiteurs de vitesse pouvait dégrader la qualité de la conduite, d'un point de vue énergétique : « le conducteur « colle » à la limitation de vitesse et n'utilise pas un rapport de boîte adapté » (Saint Pierre, 2008).

1) www.ecoconduite.org, www.laconduiteadaptee.com, www.members.shaw.ca/greendriving/index.htm, www.eco-conduite.net

2) Laboratoire sur les Interactions Véhicules-Infrastructure-Conducteurs

Eco-conduite et sécurité routière

Certains effets négatifs de l'éco-conduite pourraient également porter atteinte à la sécurité routière (Young et al., 2010). De façon générale l'idée est que la conduite étant une tâche complexe, l'ajout de critères non habituels peut être source de perturbation, au même titre que l'utilisation d'appareils d'aide à la conduite peut présenter une source de distraction. Plus précisément, le principe de l'éco-conduite consistant à chercher à préserver au maximum l'inertie du véhicule peut entrer en contradiction avec certaines nécessités d'action rapide imposées par des manœuvres de sécurité.

3. Méthode

3.1 Formation

Afin de sensibiliser et former ses agents à l'éco-conduite, le CETE de l'Ouest a fait appel à une société de formation indépendante, le CFM DUPE³. Initialement spécialisé dans la formation de formateurs à la conduite, le CFM DUPE dispense depuis quelques années des formations à l'éco-conduite. Les séances sont réalisées par groupe de 3 à 6 stagiaires et visent à allier, sur une journée, théorie et pratique. Le matin, les stagiaires reçoivent une sensibilisation aux enjeux environnementaux et économiques liés à la consommation de carburant. Une sortie est ensuite organisée au cours de laquelle, chaque stagiaire est invité à prendre le volant sur un parcours urbain d'une vingtaine de minutes. La consommation énergétique est relevée, au terme du trajet, sur l'ordinateur de bord et fait office de référence état 0 pour chaque individu.

L'après midi, les stagiaires reçoivent les recommandations sur les principes de base de l'éco-conduite. Cet enseignement est suivi d'une seconde séance pratique, au cours de laquelle chaque stagiaire reprend de nouveau le volant, sur le même parcours que le matin et dans des conditions de trafic similaires. Pour ce second passage, il est invité à mettre en place les règles fraîchement enseignées. Un formateur est à ses côtés pour promulguer des conseils au cours du trajet. La consommation kilométrique moyenne du second passage est également relevée et permet de mettre en évidence les gains réalisés par la pratique de l'éco-conduite.

Cette formation a été offerte aux agents utilisant régulièrement les véhicules du parc automobile du CETE de l'Ouest. Les « gros rouleurs » i.e. les agents pratiquant le plus grand kilométrage par an ont été ciblés en priorité. Entamé sur le site de Nantes, la formation s'est prolongée au fil de l'eau et a été étendue aux agents des autres sites (Angers et Saint Briec).

Le tableau ci-dessous présente le planning des formations réalisées.

Date	Nombre de participants	Site
9 juin 2011	5	Nantes
16 juin 2011	6	Nantes
14 octobre 2011	3	Nantes
21 octobre 2011	4	Angers
15 novembre 2011	5	Nantes
17 novembre 2011	4	Angers
13 mars 2012	5	Nantes
24 avril 2012	6	Saint Briec

Tableau 1 : listes des séances de formation et nombre de participants

3 /www.cfm-dupe.com

3.2 Recueil de données pour comparaisons avant-après

Cette partie présente le protocole mis en place pour mesurer l'impact de la campagne de formations à l'éco-conduite sur la consommation énergétique du parc ainsi que sur les comportements individuels. L'originalité de cette évaluation est de travailler sur trois types de données correspondant à différentes échelles temporelles et différents niveaux d'agrégation. Un questionnaire complète l'analyse de façon plus qualitative.

3.2.1 Evolution des consommations individuelles au cours de la formation

Les formations comportent une partie pratique. Un parcours d'une vingtaine d'une quinzaine de kilomètres est pratiqué le matin, en l'absence de consignes, et l'après midi, où le stagiaire est invité à mettre en application les principes de l'éco-conduite.

Les deux parcours sont réalisés à des périodes différentes (matin et après midi) mais dans des conditions de trafic similaires (heures creuses).

La consommation kilométrique moyenne (en l/100km) est relevée pour chaque passage, sur l'ordinateur de bord du véhicule. Il en est de même pour la vitesse moyenne.

Ces mesures permettent une comparaison avant-après des effets « immédiats » de la formation.

La condition de l'après-midi durant laquelle le stagiaire est invité à appliquer les principes fraîchement acquis de l'éco-conduite souffre de deux particularités :

- d'une part, le stagiaire venant de recevoir la formation, il n'a pas encore nécessairement eu le temps de s'approprier la méthode. En ce sens, la comparaison effectuée pourrait avoir tendance à sous estimer les gains pouvant être attendus de l'éco-conduite.
- d'autre part, la mise en œuvre de l'éco-conduite se fait en présence d'un formateur qui peut donner des conseils en temps réel. De ce point de vue, la comparaison directe des performances du matin et de l'après midi peut amener à sur-estimer les gains de la formation.

3.2.2 Evolution des consommations individuelles au cours du mois précédent et suivant la formation

Compte tenu des spécificités des mesures collectées au cours de la formation, il a été décidé compléter l'analyse individuelle par des observations recueillies sur une période plus longue et dans le cadre d'une conduite « naturelle ».

Cette approche impose cependant de prendre en considération des facteurs propres au contexte de conduite. La consommation énergétique est, comme nous l'avons mentionné dans la partie 2 largement dépendante des vitesses pratiquées. Le type de route emprunté influence lui aussi la consommation et les marges de progrès pouvant être attendus de l'éco-conduite. Certaines analyses empiriques de l'éco-conduite basent leurs mesures sur des parcours constants, afin de pouvoir raisonner « toutes choses égales par ailleurs » dans les comparaisons. Une des valeurs ajoutées de notre approche est de faire porter l'analyse sur des déplacements réalisés dans un cadre « naturel ». Nos mesures auront pour originalité de faire référence à une large gamme de types de trajets. Il est donc nécessaire de pouvoir collecter des informations sur le contexte du déplacement pour mener nos comparaisons.

C'est pour cette raison que nous avons demandé aux stagiaires de procéder à l'enregistrement de certaines données relatives à leur conduite et à son contexte, dans le cadre de leurs déplacements professionnels.

Ces enregistrements ont été réalisés à l'aide de l'appareil Ecogyzer (présenté dans la section suivante). Cet appareil nous a permis de recueillir, pour chaque trajet, la vitesse moyenne ainsi que la consommation kilométrique moyenne du véhicule.

Un bouton poussoir permet de distinguer plusieurs séquences au sein d'un trajet. Les données moyennes sont ensuite disponibles pour chaque séquence. Afin de disposer de données moyennes mesurées sur des séquences homogènes, notamment en termes de vitesse, il était demandé aux utilisateurs d'appuyer sur le bouton poussoir pour signaler tout changement de type d'itinéraire. De façon générale, il était entendu par changement de type d'itinéraire, le changement de type de réseau routier (urbain, inter-urbain, autoroute), ou de vitesse. Par exemple, un usager pris dans un bouchon sur un périphérique devait presser le bouton pour que la durée de parcours en régime dégradé fasse l'objet d'une séquence spécifique.

Les enregistrements Ecogyzer offrent donc, pour chaque déplacement effectué par un stagiaire, des mesures de vitesse et de consommation kilométrique, sur des séquences correspondant à des sous trajets homogènes (sous réserve que le stagiaire n'oublie pas d'appuyer sur le bouton).

Cette approche apporte une réponse aux « biais » des données présentées dans le paragraphe précédent. Le choix d'une période étendue de mesure permet de niveler les effets d'apprentissage. De plus, les mesures étant réalisées dans le cadre de conduite naturelle, l'impact de la présence du formateur est neutralisé.

Une autre limitation se substitue cependant aux précédentes. D'une part, l'utilisation de l'Ecogyzer repose sur le volontariat alors que l'analyse avant-après réalisée dans le cadre de la formation était systématique. De fait, cette seconde série de mesure peut souffrir d'un biais de sélection. On pourrait par exemple craindre que seuls les stagiaires les plus intéressés par l'éco-conduite acceptent et prennent la peine d'utiliser l'appareil.

Le fait même d'utiliser l'appareil pourrait également influencer les comportements en rappelant au conducteur qu'il participe à une campagne de mesures.

3.2.3 Evolution de la consommation énergétique du parc du CETE sur la période 2011-2012

Une première approche pour suivre l'évolution de la consommation énergétique du parc consiste à relever les consommations de carburants des véhicules utilisés par les stagiaires ainsi que leur kilométrage. Cependant, les véhicules du parc du CETE de l'Ouest ne sont pas individualisés, mais sont utilisés en pool. Il est donc, de fait, impossible de suivre l'évolution des consommations kilométriques des agents.

Les données relevées au niveau du parc peuvent cependant permettre d'observer, au niveau agrégé, l'évolution des consommations kilométriques. L'oedomètre des véhicules est relevé au terme de chaque déplacement. Il est donc possible de connaître le kilométrage exact effectué à chaque utilisation. La mesure de la consommation de carburant est plus difficile. En théorie, il est demandé aux agents de faire le plein après chaque usage, il serait donc théoriquement possible de connaître la consommation de carburant propre, là encore, à chaque déplacement, avec le niveau de remplissage du plein comme imprécision. Il s'avère cependant que cette consigne est peu respectée, ce qui rend impossible le recours à ce type de données.

Chaque véhicule bénéficie en revanche d'un compte propre chez une grande enseigne de distribution de carburants et des relevés de consommation sont disponibles de façon bimensuelle. Cette donnée nous permet de calculer une consommation énergétique moyenne, tous les quart mestres. Cet indicateur est moins fin, mais plus fiable que ceux qui pourraient être calculés pour chaque déplacement.

Ces données nous permettront de construire un panel au niveau du parc, c'est à dire un ensemble de véhicule présents sur l'ensemble de la durée d'étude.

Ce panel permettra de suivre la consommation kilométrique moyenne de chaque véhicule, tous les quart mestres sur la période 2011-2012. Cette base de données devrait être en mesure de mettre en évidence un impact éventuel de la campagne de formation sur la consommation globale du parc.

3.3 L'appareil de mesure en données individuelles : l'écogyzer

L'appareil

Le dispositif Ecogyzer se compose d'un boîtier équipé d'un GPS et d'un accéléromètre d'une part, d'un logiciel d'analyse de données, d'autre part.



Le boîtier doit être simplement fixé sur le tableau de bord du véhicule, sans contact moteur. Il enregistre les informations dynamiques et spatiales du déplacement. Plusieurs variables indicatrices du style de conduite sont ensuite inférées, à partir des données constructeur du véhicule :

- consommation instantanée et moyenne
- accélérations ou freinages brusques

Ces derniers événements peuvent être, au moment de l'analyse, localisés dans le temps et l'espace (coordonnées géographiques). Le logiciel calcule également une note globale pour le déplacement, indicatrice de la qualité de la conduite au sens de l'éco-conduite.

Les données

Le dispositif découpe les données enregistrées en « trajets ». Une fois les données recueillies, il est possible de re-dérouler chaque trajet et d'observer en temps réel les données suivantes :

- cinématique (position, vitesse, accélération suivant les axes x, y et z).
- consommation instantanée
- régime du moteur (en tour minute)
- émissions instantanées de CO₂

Les trois dernières données ne sont pas mesurées mais inférées en fonction des données cinématiques et des données constructeur du véhicule. L'algorithme utilisé pour inférer la consommation à partir des données cinématiques n'est pas rendu public par le constructeur.

L'analyse d'un trajet produit également les données agrégées suivantes :

- émission moyenne de CO₂ (en kg et g/km),
- consommation moyenne et totale de carburant (en l et l/100km)
- régime moyen du moteur (en tr/mn)
- une note globale évaluant « l'attitude du conducteur ».

Un volet plus précis indique enfin :

- le % de trajet (en temps et km) effectué en Urbain, Extra-urbain ou Autoroute (cette donnée est inférée à partir du type de conduite)
- la position moyenne de la pédale d'accélération
- le temps de conduite sans consommation
- le temps de freinage brutal (vitesse <30km/h)
- les temps de freinage brutal (vitesse >30km/h)
- le temps de freinage doux.

Au cours d'un trajet, des « incidents » peuvent être relevés, ceux-ci concernent les accélérations ou les freinages brusques. La sensibilité de détection des incidents peut être modifiée.

Pour chaque incident, une fenêtre présente les données cinématiques 20 secondes avant et 10 secondes après. Cliquer sur le graphique offre la possibilité d'ouvrir une fenêtre Google Earth permettant de localiser l'incident sur une carte.

Dans le cadre de la présente étude, nous ne nous focaliserons que sur les estimations de consommations kilométriques.

Limites de l'appareil

L'appareil utilisé dans cette étude a été développé récemment et n'a pas fait l'objet d'évaluation autre que celle présentée par le constructeur. Une étape du travail préparatoire à cette étude a consisté à réaliser une expérience visant à mesurer la qualité des mesures réalisées par l'Ecogyzer. Les résultats de cette analyse ont fait l'objet d'une note de travail. Les données relevées par le CETE Normandie Centre et traitées par le CETE de l'Ouest montrent que l'Ecogyzer souffre d'une erreur relative de l'ordre de 30%. Cette marge est considérable. Le « filtre » constitué par l'appareil reste cependant monotone et son utilisation reste pertinente dans le cadre d'une comparaison avant-après.

3.4 Analyse qualitative de la perception et l'impact de la formation sur les comportements

La mobilisation de données issues d'observations expérimentales est une d'une importance primordiale pour la démarche d'évaluation. Cependant, ce type de données ne permet pas forcément d'aborder toute la richesse des dimensions à l'œuvre dans les changements de comportements.

C'est la raison pour laquelle la présente analyse mobilise également les résultats d'un questionnaire adressé aux stagiaires plusieurs mois après la campagne de formation. Celui-ci a été programmé de façon à pouvoir être rempli en ligne et se compose de quatre parties.

La première partie porte sur l'intérêt des agents pour l'éco-conduite et sur leur satisfaction vis-à-vis de la formation reçue. La seconde partie demande si les techniques enseignées ont été appliquées dans le cadre des déplacements professionnels. Dans la mesure où tous les agents formés ne sont pas de gros utilisateurs de véhicules de services, la troisième partie porte sur l'application de l'éco-conduite dans les déplacements personnels. Pour ces deux parties, les répondants avaient la possibilité d'indiquer quel aspect l'éco-conduite a été le plus difficile à mettre en œuvre.

Enfin, la dernière partie porte sur la perception du danger ou de l'insécurité qui pourrait être générée par l'application des principes de l'éco-conduite.

La capture d'écran du questionnaire est présentée dans les pages suivantes.

Questionnaire Évaluation Formation Eco-conduite

Vous avez participé au cours de l'année 2011 à une session de formation à l'éco-conduite.
Vos impressions sur la formation et ses enseignements nous intéressent. Nous serions heureux de pouvoir recueillir ces impressions.

Tel est l'objectif de ce court questionnaire qui ne devrait prendre que moins de 10 minutes à remplir.

Par avance merci pour votre aimable et précieuse collaboration.

[\[Sortir et effacer le questionnaire\]](#)

Figure 1 : Message d'accueil du questionnaire en ligne

0% 100%

A PROPOS DE LA FORMATION

*** Quel était votre intérêt pour l'éco-conduite (avant la formation) ?**

nul	très faible	plutôt faible	plutôt élevé	très élevé
<input type="radio"/>				

*** Sur quel site avez-vous assisté à la formation ?**
Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous

- Nantes
- Angers
- St-Brieuc

*** Estimez quel était votre niveau de connaissance sur l'éco-conduite AVANT la formation**

nul	très faible	plutôt faible	plutôt élevé	très élevé
<input type="radio"/>				

*** Estimez quel était votre niveau de connaissance sur l'éco-conduite APRES la formation**

nul	très faible	plutôt faible	plutôt élevé	très élevé
<input type="radio"/>				

Figure 2 : Premières questions sur l'intérêt porté à l'éco-conduite

*** Quel est votre niveau de satisfaction global sur la formation ?**

	très insatisfait	plutôt insatisfait	sans avis	plutôt satisfait	très satisfait
	<input type="radio"/>				

*** Quel est votre niveau de satisfaction pour chacun des éléments suivants :**

	très insatisfait	plutôt insatisfait	sans avis	plutôt satisfait	très satisfait
qualité des intervenants	<input type="radio"/>				
réponse aux attentes	<input type="radio"/>				
compréhension des principes de l'éco-conduite	<input type="radio"/>				
originalité des techniques enseignées	<input type="radio"/>				
rappels sur les règles de conduite	<input type="radio"/>				
exercice pratique	<input type="radio"/>				

*** Juste après la formation, avez-vous cherché à appliquer les principes enseignés ?**

	sans objet	jamais	parfois	souvent	systématiquement
	<input type="radio"/>				

*** Aujourd'hui cherchez-vous à appliquer les principes enseignés ?**

	sans objet	jamais	parfois	souvent	systématiquement
	<input type="radio"/>				

Figure 3 : Questions relatives à l'évaluation de l'intervention pédagogique et sa mise en œuvre

*** Aujourd'hui, avez-vous encore des besoins en complément de formation sur l'éco-conduite ?**

Oui Non

Si vous souhaitez formuler d'autres commentaires sur la tenue ou le contenu de la formation, utilisez l'espace ci-dessous.

Reprendre plus tard << Précédent Suivant >> [Sortir et effacer le questionnaire]

Figure 4 : Expression de besoins ou remarques complémentaires

0% 100%

A PROPOS DES CONSÉQUENCES SUR VOTRE CONDUITE LORS DE DÉPLACEMENTS PROFESSIONNELS

*** A quelle fréquence utilisez-vous les véhicules du CETE ?**
 Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous

moins d'une fois par mois
 une à deux fois par mois
 une fois par semaine
 plus d'une fois par semaine

*** Avez-vous cherché à appliquer les principes enseignés à votre conduite lors de déplacements professionnels ?**

sans objet	jamais	parfois	souvent	systématiquement
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pourquoi ?

[\[Sortir et effacer le questionnaire\]](#)

Figure 5 : Fréquence d'utilisation des véhicules du CETE, et mise en œuvre des principes de l'éco-conduite

*** Pensez-vous y être parvenu ?**

pas du tout	plutôt pas	plutôt	parfaitement
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*** Pour chacun des aspects suivants, évaluez votre niveau de mise en pratique de ces principes dans le cadre de vos déplacements professionnels :**

	jamais	parfois	souvent	systématiquement
accélérations franches	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
monter rapidement dans les rapports	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
anticiper pour limiter les arrêts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
gérer le chargement du véhicule	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
vérifier régulièrement le gonflage des pneus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figure 6 : Niveau de mise en pratique de l'éco-conduite, global et point par point

A PROPOS DES CONSÉQUENCES SUR VOTRE CONDUITE LORS DE DÉPLACEMENTS PERSONNELS

*** A quelle fréquence utilisez-vous un véhicule personnel ?**
Veillez sélectionner une réponse ci-dessous

moins d'une fois par mois
 une à deux fois par mois
 une fois par semaine
 plus d'une fois par semaine

*** Votre véhicule indique-t-il la consommation kilométrique en temps réel ?**

Oui Non

*** Avez-vous cherché à appliquer les principes enseignés à votre conduite lors de déplacements personnels (intégrant les trajets domicile travail) ?**

	sans objet	jamais	parfois	souvent	systématiquement
	<input type="radio"/>				

*** Pour chacun des aspects suivants, évaluez votre niveau de mise en pratique de ces principes dans le cadre de vos déplacements personnels :**

	jamais	parfois	souvent	systématiquement
accélération franches	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
monter rapidement dans les rapports	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
anticiper pour limiter les arrêts	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
gérer le chargement du véhicule	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
vérifier régulièrement le gonflage des pneus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figure 7 : Questions portant sur les déplacements personnels : fréquence, mise en œuvre de l'éco-conduite

*** Avez-vous mesuré l'évolution de votre consommation suite à la mise en œuvre des principes de l'éco-conduite ?**

Oui Non

*** Quelle a été la tendance observée ?**
Veillez sélectionner une réponse ci-dessous

augmentation de la consommation
 pas d'effet
 baisse d'environ 5 %
 baisse d'environ 10 %
 baisse d'environ 20 %
 baisse supérieure à 20 %

*** Avez-vous incité vos proches à pratiquer l'éco-conduite ?**

	pas du tout	plutôt	tout à fait
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

[\[Sortir et effacer le questionnaire\]](#)

Figure 8 : Questions portant sur l'évaluation faite individuellement des effets de l'éco-conduite sur la consommation énergétique

0% 100%

ÉCO-CONDUITE ET SÉCURITÉ

*** D'après vous, la pratique de l'éco-conduite peut-elle générer des situations d'insécurité ?**

	jamais	parfois	souvent	systématiquement
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

*** Pour chacun des aspects suivants, évaluez le risque de leur mise en œuvre, pour la sécurité de la conduite**

	nul	très faible	plutôt faible	plutôt important	très important
accélération franches	<input type="radio"/>				
monter rapidement dans les rapports	<input type="radio"/>				
anticiper pour limiter les arrêts	<input type="radio"/>				

*** Classer par ordre d'importance les raisons qui motivent votre intérêt pour l'éco-conduite**
Classez les éléments de la liste de gauche en commençant par le plus important jusqu'au moins important.

<p>Vos choix:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>économie sur le budget carburant limiter l'impact environnemental de l'automobile découvrir un mode de conduite en plein développement avoir une conduite plus souple et plus sûre refaire un point sur ma manière de conduire</p> </div>	<p>Votre classement:</p> <p>1: <input type="text"/></p> <p>2: <input type="text"/></p> <p>3: <input type="text"/></p> <p>4: <input type="text"/></p> <p>5: <input type="text"/></p>
--	--

Cliquer sur les ciseaux à côté de chaque élément à droite pour enlever la dernière entrée de votre liste classée

[Sortir et effacer le questionnaire]

Figure 9 : Questions complémentaires sur le lien entre éco-conduite et sécurité, et sur les principales motivations sur l'éco-conduite.

4. Résultats

Ce chapitre présente les résultats de l'analyse statistique de chacun des jeux de données recueilli. Les trois types de données recueillies permettent de mesurer l'évolution de la consommation énergétique du parc. Afin de raisonner à utilisation constante, c'est la consommation kilométrique, en litre pour 100 km qui sera systématiquement étudiée. On pourra également parler d'efficacité énergétique pour faire référence à cette grandeur (quantité de carburant nécessaire pour parcourir 100km).

4.1 Analyse des données recueillies au cours de la formation

La consommation énergétique (l/100km) moyenne a été relevée manuellement par les formateurs pour chacun des 38 stagiaires, le matin et l'après midi.

Un parcours a été choisi sur chaque site. Les trajets étaient réalisés soit sur une Peugeot 308, soit sur une Citroën C3. Bien entendu, chaque stagiaire effectuait le déplacement du matin et de l'après midi sur le même véhicule.

Le tableau suivant présente, les statistiques descriptives des valeurs mesurées pour chaque itinéraire (à partir de l'ordinateur de bord), le matin et l'après midi.

		Vitesse moyenne sur le parcours (km/h)			Consommation moyenne sur le parcours (l/100km)		
		Matin	Après Midi	Evolution (%)	Matin	Après Midi	Evolution (%)
Nantes (15 km)	308	31	32	3,2	5,1	4,4	-13,7
	C3	31	32	3,2	4,7	3,9	-17,0
Angers (13 km)	308	38	37	-2,6	4,7	4,2	-10,6
	C3	37	32	-13,5	4,6	3,8	-17,4
St Brieuc (11 km)	308	31	32	3,2	5,4	4,7	-13,0
	C3	35	31	-11,4	5,1	4,3	-15,7

Tableau 2 : vitesse et consommation kilométrique moyennes par session, site et véhicule

On remarque que, quel que soit le véhicule ou le parcours considéré, les trajets de l'après midi (lorsque les principes de l'éco-conduite sont mis en œuvre) ont une consommation énergétique

nettement inférieure à celle du matin.

La C3 semble pouvoir offrir de meilleurs gains de performance que la 308. Cela rappelle que la consommation énergétique reste contrainte par les caractéristiques mécaniques du véhicule utilisé.

La vitesse de parcours connaît des variations moins marquées que la consommation énergétique. Il est également à noter que la direction de l'évolution de la vitesse varie d'une condition à l'autre.

Ce point présente une importance particulière. Sur les déplacements réalisés sur Nantes, et sur ceux réalisés sur St Briec en 308, la vitesse moyenne des trajets a légèrement augmenté alors que la consommation énergétique moyenne a fortement diminué.

Cette observation illustre tout à fait l'objectif de l'éco-conduite qui est d'améliorer la performance énergétique de la conduite indépendamment de la vitesse pratiquée.

Afin de pouvoir évaluer les gains de performance énergétique réalisés, indépendamment de la vitesse pratiquée, une régression linéaire est réalisée sur ces données. Le modèle suivant est considéré :

$$\log(c) = K + \alpha \log(v) + \beta \text{periode} + c_{\text{conducteur}} + \varepsilon$$

c représente la consommation énergétique mesurée sur un trajet, et v la vitesse.

« periode » est une variable indicatrice prenant la valeur 1 pour les mesures réalisées l'après midi.

Afin de prendre en compte l'hétérogénéité des mesures d'un conducteur à l'autre, une constante propre à chaque conducteur $c_{\text{conducteur}}$ peut être estimée. Cette spécification assure que les estimations des paramètres α et β sont des estimateurs « within ». K est une constante et ε est un terme d'erreur supposé suivre les hypothèses classiques du modèle de régression linéaire.

La spécification logarithmique est utilisée ici pour pouvoir interpréter directement α comme une élasticité de la consommation à la vitesse, c'est à dire que lorsque la vitesse évolue de $n\%$, la consommation évolue de $\alpha n\%$. β pourra directement être interprété comme l'évolution en pourcentage de l'efficacité énergétique, entre le matin et l'après midi.

Les résultats de l'estimation sont présentés dans le tableau ci-dessous

	Estimation	Std Erreurs	Probabilité associée au test de significativité
K	1.90	0.13	0.00
α	-0.09	0.04	0.02
β	-0.16	0.01	0.00
R ² =0,79			

Tableau 3 : Résultats du modèle d'analyse d'évolution de la consommation kilométrique le matin et l'après midi de la formation

Les 38 valeurs $c_{\text{conducteur}}$ ne présentent pas d'intérêt ici et ne sont pas rapportées.

Il est étonnant de constater que l'élasticité de la vitesse moyenne est négative. Pour les trajets considérés, lorsque la vitesse moyenne augmentait de 10%, la consommation énergétique moyenne diminuait de 1%. Cet effet est statistiquement significatif. Il vient certainement du fait que la légère augmentation de la vitesse moyenne de l'après midi est due à la diminution des arrêts.

L'estimation du coefficient β indique une baisse moyenne de 16% de la consommation énergétique, entre le matin et l'après midi.

Puisque les statistiques descriptives suggèrent que les gains escomptés peuvent dépendre du type de véhicule utilisé, le modèle économétrique est estimé sur les deux types de véhicules (C3 et 308) séparément.

Pour la 308, l'impact est estimé à -14%. L'estimation est de -19% sur la C3. Cette différence est statistiquement significative ($p=0,04$).

4.2 Évolution des consommations kilométriques avant et après la formation, en données individuelles

Les Ecogyzers étaient disposés dans les véhicules de services et les stagiaires étaient libres de les utiliser ou non dans le mois qui précédait et le mois qui suivait la formation à l'éco-conduite.

Afin de pouvoir distinguer différents types d'itinéraires, il était demandé aux utilisateurs de signaler les changements de types de route (urbain dense, urbain, inter-urbain, autoroute). Sur les 38 stagiaires, 12 ont utilisé l'Ecogyzer (12 sur le site de Nantes) avant et après la formation. Au total, 223 trajets ou morceaux de trajets ont été enregistrés et sont exploitables.

Ce panel de données n'est pas équilibré puisque nous disposons de 158 observations relevées par des conducteurs avant la formation, et 65 relevées après.

Le graphique ci-dessous présente les distributions cumulées des consommations énergétiques (en l/100m) pour les trajets enregistrés avant et après la formation.

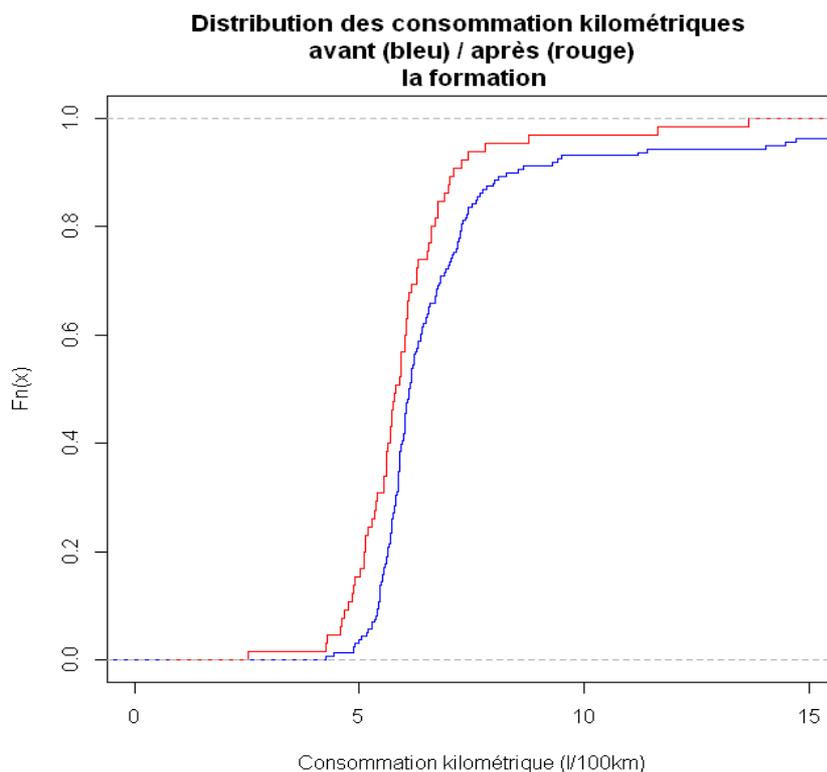


Figure 10 : Distributions cumulées des consommations kilométriques mesurées avant et

après la formation

On remarque que les déplacements réalisés après la formation présentent des consommations kilométriques moins importantes que ceux réalisés avant la formation.

La différence entre les moyennes de ces deux différences (7,1 vs 6,0) est significative d'après un test de Student ($p=0,001$).

Afin d'affiner l'analyse, un modèle d'explication de la consommation kilométrique est estimé, afin de neutraliser les effets autre que la formation, pouvant expliquer cette tendance.

Par exemple, la baisse de la consommation kilométrique pourrait être due :

- au fait que les vitesses pratiquées étaient différentes entre les deux étapes
- au fait que le type d'itinéraire pratiqué était différent
- au fait que certains conducteurs pouvait être représenté un nombre différent de fois avant et après la formation.

Le facteur vitesse peut être intégré en considérant la vitesse moyenne mesurée sur le déplacement.

Cette vitesse nous renseigne également sur le type de réseau pratiqué.

Nous considérons ainsi trois types de situations :

$0 < v \leq 20$ km/h : congestion

$20 < v \leq 50$ km/h : circulation en milieu urbain

$50 < v \leq 90$ km/h : circulation en milieu inter-urbain

$v > 90$ km/h : circulation sur autoroute.

Le tableau ci-dessous présente la moyenne des consommations kilométriques (en l/100km) mesurées sur chaque type de route et pour chaque période (avant et après la formation).

Itinéraire	Consommation kilométrique (l/100km)		Evolution	Probabilité associée au t-test de la différence
	Avant	Après		
Urbain dense $v \in (0,20]$	14.53	9.30	-36%	p=0,03
Urbain $v \in (20,50]$	6.73	5.95	-11,6%	p=0,04
Inter-urbain $v \in (50,90]$	6.19	5.63	-9,0%	p=0,005
Autoroute $v \in (90, 130]$	5.90	5.77	-2,2%	p=0,33

Tableau 4 : Consommations kilométriques par type de trajet, avant et après la formation

Une analyse de variance met en évidence un effet significatif, du type de route, un effet de la période (avant après) et un effet croisé des deux facteurs ($p < 0,05$).

La baisse observée est en effet beaucoup plus importante sur les déplacements réalisés en conditions de congestion que dans les autres conditions.

Une baisse de l'ordre de 10% est observée sur les trajets urbains et inter-urbains. Ces différences sont statistiquement significatives. Aucune différence n'est cependant observée sur autoroute.

Ces variations ne résultent pas d'une analyse « toute chose égale par ailleurs » puisque certains conducteurs peuvent être présents un nombre différent de fois dans les données avant et après. Il en est de même pour les véhicules sur lesquels les déplacements ont été enregistrés. Enfin, les vitesses de circulation peuvent également avoir évolué entre les deux périodes comparées.

Comme dans la partie précédente, un modèle économétrique est considéré de façon à pouvoir mesurer les différences « avant-après », tout chose égale par ailleurs.

Le modèle suivant est considéré :

$$\log(c) = K + \alpha \log(v) + \beta \text{periode} + c_{\text{conducteur}} + c_{\text{véhicule}} + \varepsilon$$

Les variables en jeu sont les mêmes que dans la partie précédente. Ici, une constante propre à chaque véhicule est proposée puisque les conducteurs n'ont pas forcément utilisé les mêmes véhicules avant et après la formation.

Le modèle est estimé sur chacun des 4 types de trajets considéré. Les résultats des estimations sont présentés dans le tableau ci-dessous.

	Paramètre	Estimation	Erreur standard	Probabilité associée au t-test
Urbain dense $v \in (0,20]$	K	3,58	0,24	P<0,001
	α	-0,60	0,10	P<0,001
	β	-0,22	0,15	0,07
Urbain $v \in (20,50]$	K	2,35	0,37	P<0,001
	α	-0,13	0,11	0,1
	β	-0,13	0,06	0,012
Inter-urbain $v \in (50,90]$	K	1,95	0,38	P<0,001
	α	-0,03	0,09	0,34
	β	-0,097	0,031	0,00007
Autoroute $v \in (90, 130]$	K	0.86	0.52	0,051
	α	0,20	0.11	0,042
	β	-0.030	0.02	0,054

Tableau 5 : Résultats des estimations de l'évolution de la consommation kilométrique avant et après la formation, par type d'itinéraire.

Pour les trajets urbains et inter-urbain, on remarque une élasticité (α) de la vitesse qui est négative : plus la vitesse moyenne est élevée, et moins la consommation énergétique est importante. Comme dans la partie précédente, ce résultat provient certainement du fait que l'anticipation et la minimisation des arrêts, tels que prescrits par l'éco-conduite, permettent d'augmenter la vitesse moyenne.

Pour les trajets sur autoroute, on remarque que la consommation énergétique augmente avec la vitesse.

Dans le cadre de la présente étude, notre attention se porte plus particulièrement sur le paramètre β . Comme dans la partie précédente, ce coefficient s'interprète directement comme l'évolution en pourcentage de la consommation énergétique entre l'avant et l'après formation.

La différence d'efficacité énergétique entre avant et après la formation est estimée à :

22% sur trajets urbains congestionnés,

13% sur les autres trajets urbains

10% sur les trajets inter-urbain.

La différence observée sur autoroute est estimée à 3% et n'est pas statistiquement significative.

L'ordre de grandeur de la différence observée sur les trajets urbains est cohérente avec le -16% observé dans la partie précédente, sur les données relevées le matin et l'après midi de la formation.

L'amplitude de l'effet, tel que mesure dans le cadre d'une conduite « naturelle » est cependant légèrement plus faible que celui observé l'après midi de la formation en présence du formateur.

4.3 Evolution de la consommation énergétique du parc du CETE sur la période 2011-2012

Seul l'accès aux données descriptives du parc automobile du site de Nantes a été possible. Sur l'ensemble du parc, un panel de véhicules présents tout 2011 et tout 2012 a été constitué. 19 véhicules ont été recensés. Parmi ceux-ci 4 véhicules ont un moteur mixte permettant d'utiliser du GPL. Ces véhicules ont été retirés de l'analyse.

Enfin, sur les véhicules restants, 4 sont dédiés à des agents n'ayant pas suivi la formation éco-conduite. Ceux-ci auraient pu constituer un échantillon témoin si leur nombre avait été plus important. A défaut, ils sont retirés de l'analyse.

Nous travaillons donc avec un panel de 11 véhicules, pour lesquels des efficacités énergétiques moyennes sont mesurées sur 6 quart mestres.

La consommation kilométrique moyenne observée sur l'ensemble du panel, sur les 3 quart-mestres de 2011 est de 7,2 l/100km. Cette moyenne est de 7,8 l/100km en 2012 et n'est pas statistiquement significative.

Puisque nous travaillons avec un panel et des données agrégées au niveau du CETE de l'Ouest, nous allons chercher à mesurer un éventuel impact du nombre d'agents formés sur la consommation kilométrique moyenne du parc.

Le modèle suivant est considéré :

$$\log(c_t) = K + \alpha \log(c_{t-1}) + \beta \log(\text{nb}_{\text{stagiaires}}) + \gamma \text{periode} + \varepsilon$$

Dans ce modèle γ mesure une tendance au fil des quart-mestres. Cette variable vise à capturer une éventuelle tendance à l'augmentation de la consommation des véhicules avec leur vieillissement.

C_t désigne la consommation moyenne d'un véhicule du panel à une période (quart mestre) t .

La dynamique d'évolution de l'efficacité énergétique du parc est prise en compte par l'introduction d'une variable retardée C_{t-1} dans le modèle. L'ajout de cette variable permet de mesurer l'inertie (ou la dépendance au passé) de la consommation. Le coefficient α , associé à cette variable, mesure, d'une certaine manière, le poids du passé dans la consommation énergétique. Lorsque le coefficient est proche de 0, il n'y a pas d'inertie.

Lorsqu'il est proche de 1, l'inertie est forte et les changements sont lents.

La variable qui nous intéresse tout particulièrement ici est β qui mesure l'impact du nombre d'agents formés sur la consommation énergétique du parc.

Le tableau suivant présente les résultats de l'estimation

	Paramètre	Estimation	Erreur standard	Probabilité associée au t-test
K	-0,938	0,354	-2,647	0,011
α	0,541	0,111	4,878	<0,001
γ	-0,042	0,034	-1,242	0,220
β	-0,076	0,033	-2,289	0,027
$R^2 = 0,35$				

Tableau 6 : Résultats de l'estimation de l'évolution de la consommation énergétique du parc sur 2011-2012

D'après ces estimations, l'élasticité de la consommation du parc, au nombre d'agents formés (β) est de -0,08. Cette valeur est faible mais statistiquement significative. Elle signifie que lorsque le nombre d'agents formés augmente de 10%, la consommation énergétique du parc baisse d'environ 0,8%. Lorsque le nombre d'agents formés double (+100%), la consommation moyenne du parc baisse de 8% environ.

L'introduction d'une variable retardée permet de distinguer les effets de court terme et long terme. L'élasticité indiquée peut être interprétée comme une mesure de court terme. Le long terme se définit comme la situation d'équilibre où la consommation a fini d'évoluer à la suite des formations ($C_t = C_{t-1}$). Sur le long terme, la situation d'équilibre impose que l'élasticité β devienne $\beta/(1-\alpha)$. Compte tenu de la valeur α qui est estimée, l'élasticité est deux fois plus importante sur le long terme que sur le court terme. Sur le long terme, doubler le nombre d'agents formés diminue la consommation énergétique du parc de 16%.

Le faible nombre de données ainsi que la faible qualité d'ajustement du modèle invitent à traiter ces résultats avec précaution.

4.4 Réponses au questionnaire

Le questionnaire a été diffusé en février 2013 aux agents formés. Parmi les 38 agents concernés, 33 ont répondu à l'intégralité du questionnaire. Un agent a interrompu le remplissage en cours avant la fin ; ses réponses partielles n'ont pas été traitées.

Cette section analyse les réponses recueillies.

4.4.1 Intérêt pour l'éco-conduite

L'intérêt déclaré pour l'éco-conduite, avant la formation est mitigé. Environ 50 de l'échantillon déclare avoir un intérêt plutôt élevé, et 40% « plutôt faible ». Les opinions plus marquées sont plus faibles, avec 3 % (respectivement 6 %) des répondants témoignant un intérêt très élevé (respectivement, faible).

Il était demandé aux répondants de classer les facteurs pouvant motiver leur intérêt pour l'éco-conduite, par ordre d'importance.

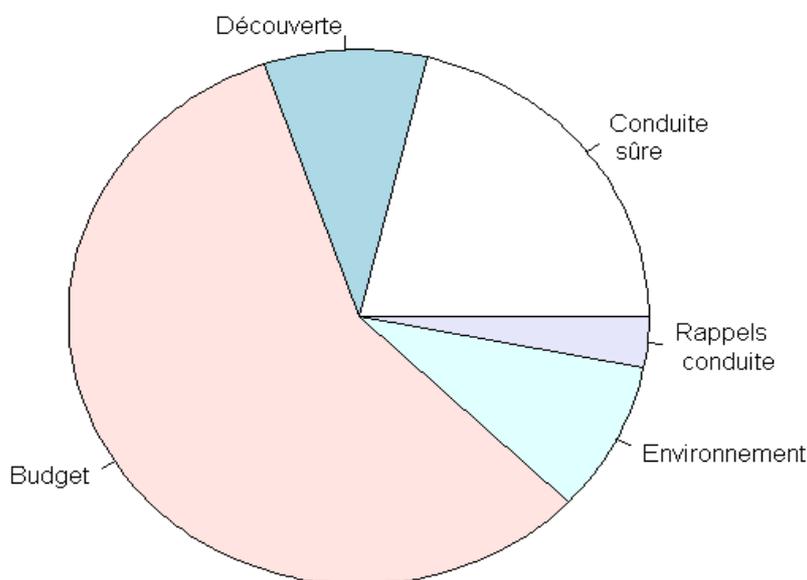


Figure 11 : Motivations principales pour l'éco-conduite.

Pour près de 60% des répondants, la première motivation pour l'éco-conduite est l'économie de carburant. Sont ensuite mentionnés en premier facteurs l'envie d'avoir une conduite plus sûre (20%), la curiosité pour cette approche en développement (10%) et l'envie de limiter l'impact environnemental de l'automobile (10%)

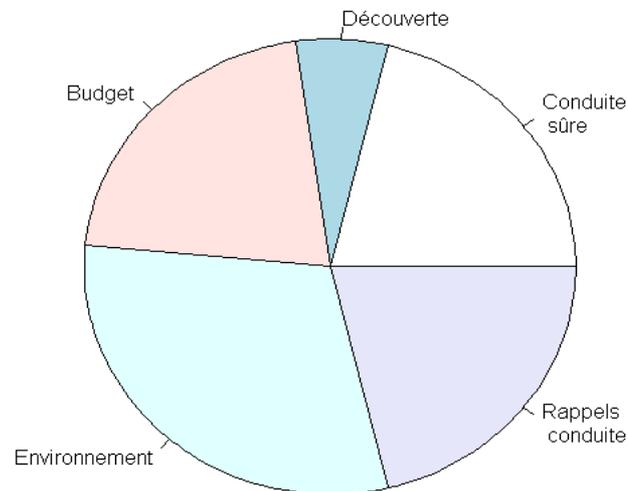


Figure 12 : Motivation exprimé en second, pour l'éco-conduite

Concernant la seconde motivation déclarée, la distribution est plus uniforme. L'argument principal est environnemental (30 %), suivi à ex æquo des arguments budgétaires, sécurité et souplesse et rappel sur la conduite, mentionnés dans 20 % des cas.

4.4.2 Connaissance des principes de l'éco-conduite

Une autre série de questions porte sur le sentiment de connaissance à l'égard de l'éco-conduite, avant et après la formation.

Avant la formation, plus de trois quarts des participants déclarent un niveau de connaissance faible ou très faible avant la formation. Cette proportion chute à 3% après la formation (cf figure 13).

Cette évolution drastique est statistiquement significative d'après un test du Chi2 ($p < 0,001$).

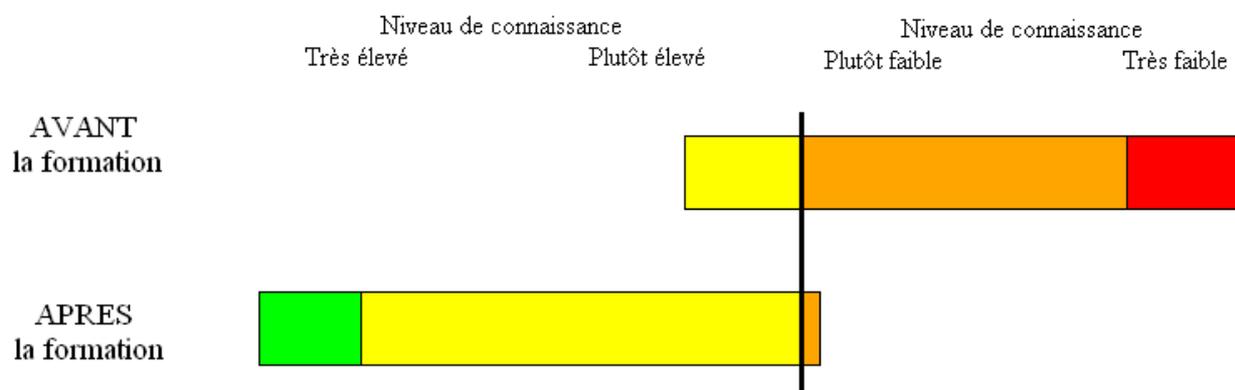


Figure 13 : niveau déclaré de connaissance de l'éco-conduite avant et après la formation.

Les répondants ont donc clairement le sentiment d'avoir acquis les principes de l'éco-conduite lors de la formation. C'est certainement la raison pour laquelle 88% des répondants déclarent ne pas avoir de besoin supplémentaires de formation en éco-conduite.

4.4.3 Mise en application des principes de l'éco-conduite

La grande majorité des répondants déclare avoir essayé de mettre en application les principes de l'éco-conduite juste après la formation : de façon systématique pour 21% et souvent pour 58%. Les autres ont « parfois » appliqué ces principes.

Sur le plus long terme, 3 répondants (10%) des participants déclarent ne jamais chercher à appliquer les principes de l'éco-conduite, ces derniers sont ceux qui avaient répondu « parfois » à la question précédente. Les effectifs des autres classes sont stables.

- Application de l'éco-conduite dans le cadre des déplacements professionnels

Une question mesurait l'intention d'appliquer les principes de l'éco-conduite dans le cadre de déplacements professionnels. Les résultats obtenus sont très similaires à ceux de la question précédente.

La réponse à cette question ne dépend pas de la fréquence des déplacements professionnels ($p=0,7$).

Parmi les répondants n'ayant pas répondu jamais (97% de l'échantillon), 90% estiment avoir plutôt réussi à mettre en œuvre les principes enseignés.

Une série de questions permettait d'aborder plus précisément les aspects de l'éco-conduite qui étaient les plus souvent mis en œuvre.

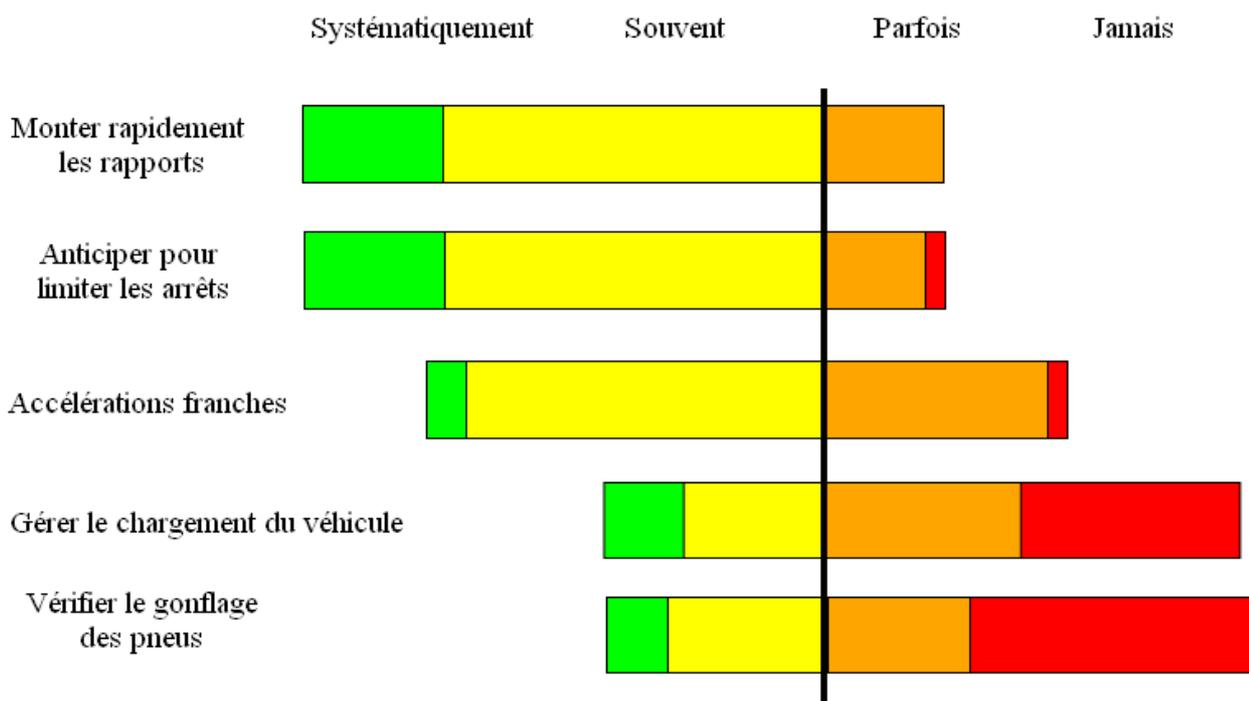


Figure 14 : Fréquence de mise en œuvre des différents aspects de l'éco-conduite dans le cadre de déplacements professionnels.

Il apparaît nettement que tous les aspects de l'éco-conduite ne sont pas appliqués avec la même fréquence. Globalement, les éléments relevant de la conduite sont plus appliqués que ceux relevant de la préparation du véhicule.

Concernant la conduite, les accélérations franches sont moins appliquées que les deux autres conseils.

- Application de l'éco-conduite dans le cadre de la conduite personnelle.

La fréquence d'application des consignes aux déplacements personnels n'est pas significativement différente de celle des déplacements professionnels ($p=0,9$). Il n'y a pas non plus d'interaction détectée entre la fréquence d'utilisation d'un véhicule personnel et la fréquence d'application des principes de l'éco-conduite ($p=0,6$).

Les répondants qui disposent d'un véhicule affichant la consommation énergétique en temps réel (63% des répondants) ne sont pas significativement plus nombreux à avoir essayé d'appliquer les principes de l'éco-conduite.

Concernant le détail des conseils de l'éco-conduite appliqués dans le cadre de la conduite personnelle, les résultats sont très similaires à ceux observés pour les déplacements professionnels.

- Impact de la formation

19 répondants sur 33 ont essayé d'évaluer l'impact de l'éco-conduite sur leur consommation énergétique. Parmi ceux-ci, la majorité des participants ont observé une baisse de 5 ou 10 % de leur consommations (7 et 5 personnes respectivement). Un répondant a observé une absence d'effet et un autre a observé une baisse de 20 %.

- Impact sur la sécurité :

Une question abordait la relation entre éco-conduite et sécurité routière, telle que perçue par les stagiaires : D'après vous, la pratique de l'éco-conduite peut-elle générer des situations d'insécurité ?

Environ 80% des stagiaires considèrent que la mise en œuvre des principes de l'éco-conduite peut « parfois » générer des situations d'insécurité sur la route.

Aucune interaction significative n'est observée entre la réponse à cette question et la fréquence d'utilisation d'un véhicule personnel ($p=0,17$) ou la fréquence d'application des principes de l'éco-conduite ($p=0,99$).

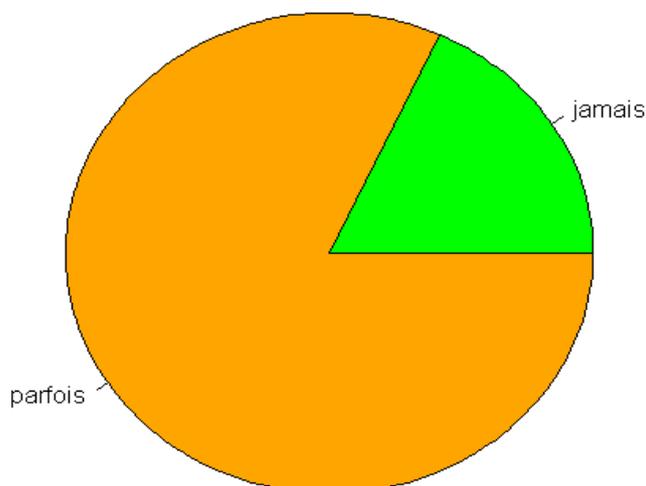


Figure 15 : Fréquence à laquelle la pratique de l'éco-conduite peut générer des situations d'insécurité, d'après les stagiaires.

Afin d'affiner cette réponse, il était également demandé aux répondants d'indiquer, pour chaque aspect de l'éco-conduite, d'indiquer le niveau de risque qu'ils percevaient pour sa mise en œuvre.

La différence de danger perçu varie significativement d'un aspect à l'autre ($p < 0,05$).

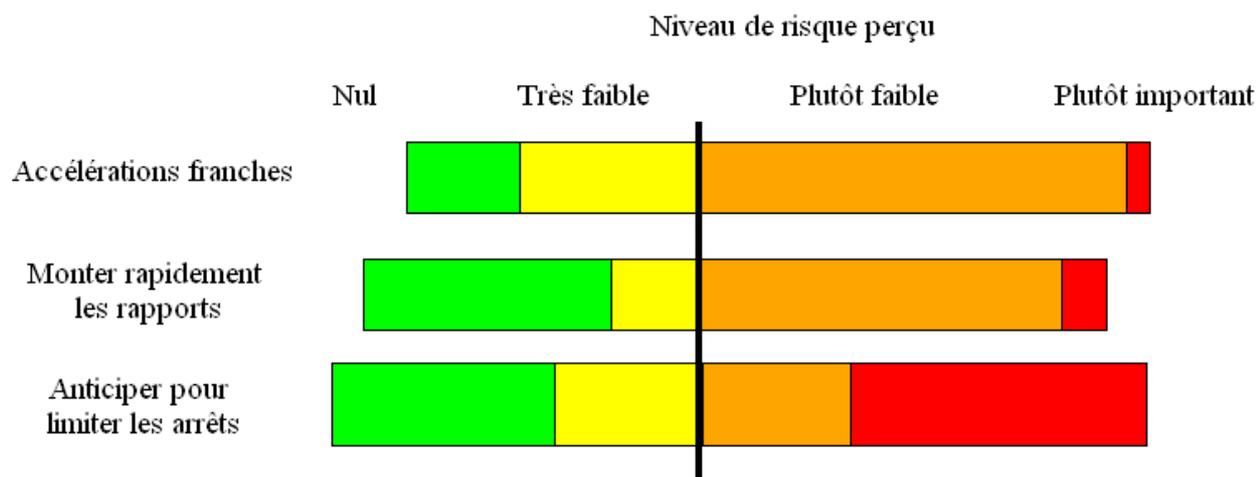


Figure 16 : Risque perçu pour la mise en œuvre des différents principes de l'éco-conduite.

On remarque que c'est pour la partie « anticipation » que le risque perçu est le plus important. 36 % des répondant y associent un risque « plutôt important ». Alors que seuls 6 % et 3 % des répondants perçoivent le risque associé au fait de monter rapidement les rapports ou accélérer franchement, comme « plutôt important ».

5. Discussion

Ce rapport présente la méthode et les résultats d'une démarche de suivi mise en œuvre pour accompagner et évaluer la campagne de formation montée par le CETE de l'Ouest à l'intention de ses agents. L'originalité de cette étude est de mobiliser plusieurs approches afin de mesurer les éventuels effets de cette formation. Trois types de données ont été recueillies et analysées afin de mesurer l'impact de l'éco-conduite sur la consommation énergétique. Un questionnaire a également été déployé auprès des participants afin d'appréhender plus finement les motivations, difficultés et réserves éprouvées à l'égard de l'éco-conduite.

5.1 Principaux résultats

La majeure partie de l'analyse se focalise sur la mesure de l'impact de l'éco-conduite sur la consommation énergétique (ou efficacité énergétique). A cet égard, trois approches complémentaires ont permis de mettre en évidence un impact significatif, et d'en cerner l'ordre de grandeur.

En comparant la conduite sur un même parcours à deux moments d'une même journée, nous observons une baisse entre 14 % et 19 % suivant le véhicule utilisé, entre une conduite « normale » et une « éco-conduite ».

L'analyse sur une période plus longue et sur une plus grande variété de trajets met en évidence des ordres de grandeur similaires. Des gains de l'ordre de 13 % sont observés sur les trajets urbains. Sur les trajets inter-urbains, ils sont légèrement plus faibles (10 %) et aucun impact n'est relevé sur autoroute. La pratique de l'éco-conduite dans un contexte de trafic dense en urbain (vitesse réduite) permet d'économiser plus de 20 %.

Ces ordres de grandeur sont cohérents avec ce qui est généralement observé dans la littérature. Il est également intéressant de constater qu'une majorité des stagiaires ayant cherché à mesurer l'impact de l'éco-conduite sur leur consommation déclarent également avoir observé une baisse de l'ordre de 5 ou 10 %.

L'analyse de l'évolution de la consommation énergétique du parc automobile du CETE de l'Ouest sur deux ans permet également de mettre en évidence un effet significatif du nombre de stagiaires formés. Cependant, la faible quantité de données utilisable invite à traiter les résultats de cette

troisième analyse avec précaution.

Cette étude permet également de présenter plusieurs résultats sur l'attitude des stagiaires vis-à-vis de l'éco-conduite. Un premier résultat est que la participation aux formations a connu un franc succès, bien que reposant sur le volontariat. L'analyse des réponses au questionnaire montre que la grande majorité des participants a appris des choses nouvelles lors de la formation et considère connaître les fondamentaux de l'éco-conduite au terme d'une journée de formation.

L'analyse du questionnaire a également permis de mettre en évidence les principales motivations des agents pour l'éco-conduite. La perspective de pouvoir réaliser des économies de carburant la plus souvent citée en premier motif. La raison la plus citée en seconde motivation est l'intérêt pour la diminution de l'impact environnemental de l'automobile. La sécurité et l'envie de refaire un point sur la conduite sont également des éléments mentionnés.

Les déclarations des stagiaires, telles que recueillies dans le questionnaire, permettent également d'aborder la question de la relation entre pratique de l'éco-conduite et sécurité. A cet égard, 80 % des stagiaires considère que l'éco-conduite peut « parfois » générer des situations d'insécurité. Plus précisément, c'est le fait de chercher à conserver l'inertie du véhicule et limiter les arrêts qui est perçu la source la plus importante de risque.

5.2 Perspectives

Alors que le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie cherche à promouvoir la pratique de l'éco-conduite auprès de ses agents, les résultats de cette étude offrent des résultats encourageant pour la démarche engagée. Elle montre en effet qu'une campagne d'initiation à l'éco-conduite peut intéresser les agents et générer des changements de comportements notables.

L'analyse aborde également les facteurs de motivation pour l'éco-conduite, ainsi que les appréhensions et difficultés rencontrées à son égard. De fait, les résultats de cette étude permettent également de formuler des recommandations sur les éléments à mettre en avant pour motiver les agents (impact sur le budget carburant), et mettre l'accent sur les points pouvant générer de l'appréhension (anticiper pour limiter les arrêts).

5.3 Limites

L'originalité de cette contribution est de reposer sur une étude de terrain : la campagne de formation à l'éco-conduite mise en place au CETE de l'Ouest.

La réalisation de ce type d'étude est donc dépendante de contingences liées au terrain choisi.

La présente étude n'a pas échappé à ce risque. Par exemple, le suivi de l'évolution des la consommation énergétique du parc automobile du CETE de l'Ouest ne porte que sur la période 2011-2012. La campagne de formation ayant commencé mi-2011 et s'étant terminée au premier semestre 2012, il aurait été intéressant de considérer l'année 2010 comme année « témoin » antérieure au démarrage de la campagne. Malheureusement, le passage de l'année 2010 à l'année 2011 a été l'occasion de déployer un nouveau logiciel informatique de gestion du parc, et il n'est plus possible d'accéder aux données 2010.

Concernant le recueil de données, l'étude a également souffert de difficultés logistiques pour l'enregistrement systématique des déplacements réalisés par les stagiaires dans le mois précédant et le mois suivant la formation. L'utilisation de l'appareil Ecogyzer ayant été laissée à la discrétion des stagiaires, un nombre limité d'entre eux a finalement pris la peine de faire usage de l'appareil. Ce point fait reposer l'étude sur un nombre d'observations plus limité que ce qui était initialement envisagé. L'échantillon sur lequel repose l'analyse est malgré tout assez important pour mettre en évidence des résultats statistiquement significatifs.

Références

Anable, J. et Bristow, A. (2007) Transport and Climate Change: Supporting Document to the CfIT Report Report prepared for the Climate Change Working Group of the Commission for Integrated Transport. Available at. <http://cfit.independent>.

Andrieu, C. (2009) Analyse statistique d'une expérience d'étude de l'éco-conduite : vers la conception d'un « éco index », rapport de Master, Université Pierre et Marie Curie, 109 p.

CfIT, 2007. Transport and climate change. Report prepared for Commission for Integrated Transport, London UK.

Evans, L. (1979) Driver behaviour effects on fuel consumption in urban driving, Human Factors 21 (4), 389-398.

Gastaud, A. (2006) Effet de serre, changement climatique et politique des transports, Texte support de l'exposé-débat du 17 janvier 2006 à Nice à la Faculté de Droit et de Sciences économiques de l'Université de Nice-Sophia Antipolis dans le cadre des Conférences du GIR Maralpin.

Hivert, L. et Wingert, J.L. (2010) Automobile et automobilité : quelles évolutions de comportements face aux variations du prix des carburants de 2000 à 2008?,

JORF, 2009, Circulaire du 3 décembre 2008 relative à l'exemplarité de l'Etat au regard du développement durable dans le fonctionnement de ses services et de ses établissements publics, n°0036 du 12 février 2009, p. 2489.

Kemel, E. (2008), Influence de la hausse récente des prix des carburants sur la consommation automobile des ménages : analyse portant sur la France entière sur la période 1999-2006, mémoire de Master, Université Lyon 2, 124 p.

Kemel, E., Collet, R., Hivert, L. (2011) Evidence for an endogenous rebound effect impacting long-run car use elasticity to fuel price, Economics Bulletin 31(4), 2777-27786.

Rouwendal, J. (1996) An economic analysis of fuel use per kilometre by private cars, Journal of Transport Economics and Policy 30, 3-14.

Saint Pierre, G. (2008) Le système LAVIA et la consommation de carburant, Rapport technique.

Saint Pierre, G. et Andrieu, C. (2010) Caractérisation de l'éco-conduite et construction d'un indicateur dynamique pour véhicules thermiques. Communication préparée pour PRAC 2010.

Young, M., Birrell, S., Stanton, N. (2011) Safe driving in a green world : A review of driver performance benchmarks and technologies to support 'smart' driving, Applied Ergonomics 42(4), 533-539.

Annexe 1 : note d'informations proposée au stagiaires

Formation à l'Eco Conduite

9 ou 16 juin 2011 (au choix)

à la MAN

Salle D.E.S. 4^{ème} étage

PROGRAMME

Le matin de 8h30 à 12h00 :

Présentation de la journée & des participants

- Connaître les objectifs de la journée
- Connaître le déroulement de la journée,
- Se connaître.

Apports de contenus : Pourquoi une conduite économique ?

- Plusieurs dimensions et enjeux : l'environnement, la sécurité et les coûts financiers tant sur le plan individuel que celui de l'entreprise

Présentation de l'audit de conduite

- Parcours et organisation

Audit de conduite en sous-groupe de 3 avec un formateur

- Être capable d'évaluer sa propre conduite et celles des autres
- Mesurer sa consommation moyenne

Bilan de la phase conduite en groupe entier

- Prendre conscience des différences intra et inter individuelles

L'après-midi de 13h15 à 17h15 :

Apports de contenu sur le «comment conduire »

- Les actions fondamentales pour conduire rationnellement

Présentation de la séance de conduite

- Parcours et organisation

Séance de conduite avec le même formateur en sous-groupe de 3

- Anticiper et faire évoluer sa technique grâce au guidage du formateur
- Mesurer l'évolution de sa consommation moyenne

Bilan de la séance de conduite

- Discuter des résultats
- Avoir conscience des liens entre l'éco-conduite et la sécurité

Bilan de la journée

- Donner son avis sur les points abordés dans la journée

Annexe 2 : note d'information diffusée auprès des stagiaires

Suivi de l'action de sensibilisation à l'éco-conduite

Le SG du CETE de l'Ouest monte une action de sensibilisation à l'éco-conduite et a demandé à la DES de réaliser une étude de suivi de cette action. Vous avez accepté de participer à une séance de formation à l'éco-conduite, se déroulant en juin. Vous pouvez contribuer à la démarche de suivi de cette action en acceptant de relever des données relatives à votre style de conduite, avant et après la formation.

Ce document présente le fonctionnement de l'appareil utilisé ainsi que le protocole mis en place dans le cadre de cette démarche.

I) Fonctionnement de l'appareil Ecogyzer

L'Ecogyzer est constitué d'un accéléromètre et d'un GPS. Les données relevées lors des trajets enregistrés permettent d'inférer une consommation kilométrique ainsi que différentes variables caractérisant le style de conduite (vitesse, accélérations ou freinages brusques).

1) Installation

Positionner le boîtier sur une surface plane et horizontale (milieu du tableau de bord) à l'aide de la pâte de fixation. Le boîtier doit être fixé en long dans le sens de la marche, diodes orientées vers le haut et l'avant.



2) Utilisation

Pour chaque enregistrement de déplacement :

- mettre le bouton latéral noir (mise en route) sur position «ON»
- à la fin du déplacement, éteindre l'appareil à l'aide du bouton latéral noir.
- au cours du déplacement, pressez le bouton poussoir latéral (« séparation de parcours ») lorsque vous changez d'environnement (urbain, inter-urbain, autoroute). Cette action simple permettra de décomposer le déplacement en parcours homogènes du point de vue du type de route).

Boutons



Mise en route

Séparation de
parcours

3) Entre deux trajets

L'autonomie du boîtier étant d'une vingtaine d'heures de fonctionnement, penser à le recharger une à deux fois par semaines, à l'aide du cordon d'alimentation.

Un appareil à été attribué par binôme. Lorsque vous avez un déplacement à enregistrer, récupérez l'appareil auprès de votre binôme. Si deux personnes ont à réaliser un déplacement au même moment, c'est de préférence la personne qui a enregistré le moins de déplacements qui utilise l'appareil.

4) Autres informations

Nous aimerions pouvoir analyser les données relative à la période précédant la formation. Merci donc de commencer à enregistrer vos déplacements dès que possible, et ce jusqu'à votre date de formation.

La phase de mesure, après formation se fera en septembre ou en octobre.

Le traitement des données sera anonymisé.

Merci par avance de votre participation

Bonne route !

Ressources, territoires, habitats et logement
Énergie et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**

Centre d'Études Techniques de l'Équipement de l'Ouest
MAN – rue René Viviani
BP 46223
44262 NANTES cedex 2
Tél. : 02 40 12 83 01
Fax : 02 40 12 84 44
CETE-Ouest@developpement-durable.gouv.fr

www.cete-ouest.developpement-durable.gouv.fr