

Essai de la Toyota Prius en conditions réelles en région parisienne

**Jean-Pierre Ponsard (École Polytechnique),
Yannick Perez (CentraleSupélec)
Sri Srikandan (École Polytechnique)**

Cette étude a été financée par Toyota Motor Europe. Les avis exprimés dans ce document relèvent de la seule responsabilité des auteurs.

Sommaire

Résumé.....	3
Trajet retenu.....	4
Les conducteurs et les essais.....	6
Méthode.....	7
Indicateurs de performances.....	7
Détermination des indicateurs à partir des données recueillies par Techstream	8
Analyse des résultats.....	9
Les indicateurs et leur interprétation.....	9
Incidence des caractéristiques du conducteur.....	12
Extrapolation des résultats à d'autres trajets	16
Conclusions.....	17
Annexes	18
Encadrement des essais routiers.....	18
Signification statistique des résultats.....	19
Qui sont les auteurs ?	20

Résumé

Objectifs de l'étude

Cette étude examine les avantages potentiels d'un véhicule hybride en matière de réduction des émissions. L'analyse a été menée sur la Toyota Prius de 4^e génération, en conditions de conduite réelles. Le véhicule a été testé sur un itinéraire représentatif par un large éventail de conducteurs représentatifs, afin de garantir sa pertinence scientifique.

L'itinéraire retenu offrait la possibilité de tester les performances sur des trajets bien différenciés, à savoir : trajet péri-urbain, urbain et autoroute urbaine. Il couvrait une distance d'environ 33 km, pour un temps de parcours moyen d'environ 44 minutes. Les conducteurs ont été choisis parmi les étudiants, les chercheurs et le personnel administratif du campus de l'École Polytechnique à Palaiseau, en France. 81 essais routiers ont été effectués.

Deux séries d'indicateurs complémentaires ont été sélectionnées afin d'évaluer les performances de la Toyota Prius en termes d'émissions nulles :

- le pourcentage d'utilisation du véhicule où le moteur thermique est coupé, par rapport à la **totalité du trajet** ;
- le pourcentage d'utilisation du véhicule où la puissance motrice transmise aux roues **provient uniquement du moteur électrique, par rapport à l'utilisation totale** (moteur électrique et moteur thermique confondus).

Ces pourcentages ont été évalués au regard du temps et de la distance de parcours.

L'étude montre que sur la **totalité du trajet**, la Toyota Prius roule en mode tout électrique – donc sans émission – **70,1 % du temps et 51,4 % de la distance**. En **zone urbaine**, ces pourcentages grimpent respectivement à **86,9 % et 77,4 %**.

Si l'on considère uniquement les phases d'entraînement électrique des roues (donc à l'exclusion des phases d'arrêt et de décélération), la Toyota Prius fonctionne en mode zéro émission **45,9 % du temps et 30,7 % de la distance de parcours**. En **zone urbaine**, ces pourcentages grimpent respectivement à **71,6 % et 60,3 %**.

Qualitativement, ces résultats sont conformes à l'intuition, mais l'étude apporte une quantification éloquente en conditions réelles.

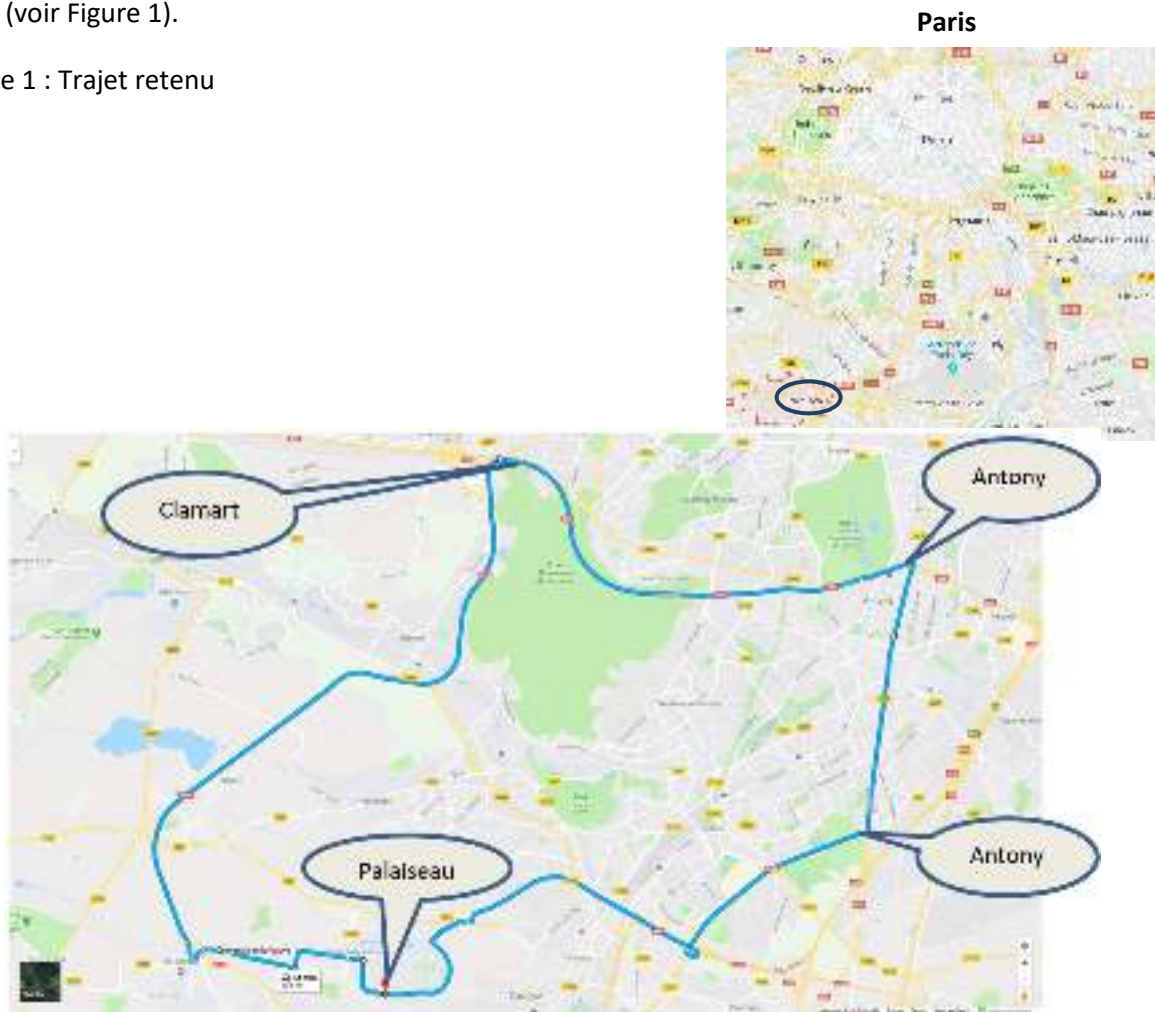
Protocole expérimental

Le Laboratoire expérimental du Département d'Économie s'est intégralement chargé de concevoir cette expérience et de la superviser pour la compte de l'École Polytechnique et CentraleSupélec.

Trajet retenu

L'ensemble du trajet dessine une boucle passant par Palaiseau, Antony et Clamart, en banlieue sud de Paris (voir Figure 1).

Figure 1 : Trajet retenu

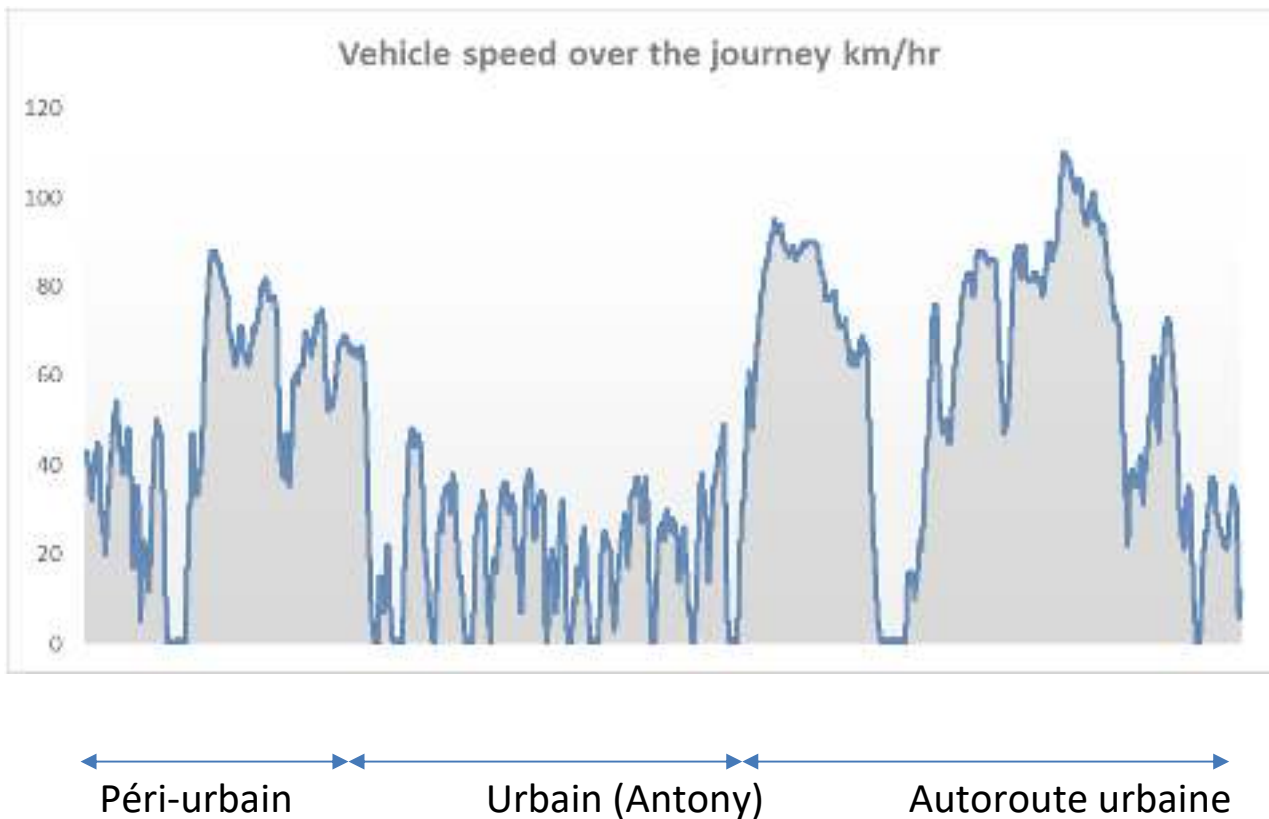


Caractéristiques générales du trajet :

- Distance totale d'environ 33 km
- Temps de conduite moyen d'environ 44 minutes
- Parcours comprenant des côtes et des descentes
- Température extérieure comprise entre 16 et 22 °C (sans pluie) pendant les deux semaines d'essais
- Densité du trafic allant de faible (le matin et en début d'après-midi) à moyenne (en fin d'après-midi)

L'itinéraire retenu a permis de tester les performances sur des profils de route bien différenciés, dans l'ordre : péri-urbains, urbains et sur autoroute urbaine.

Figure 2 : Composantes et profil altimétrique du trajet



Les conducteurs et les essais

Comme il a été indiqué plus haut, les conducteurs ont été choisis parmi les étudiants, les chercheurs et le personnel administratif du campus de l'École Polytechnique et de CentraleSupélec.

Sur les 81 essais, on comptait :

- 21 % de femmes
- 64 % de moins de 35 ans
- 17 % seulement de personnes ayant une expérience de la conduite hybride

Avant chaque trajet, le logiciel Techstream¹, notre outil de diagnostic, a été installé dans chaque véhicule.

Chaque essai était placé sous la responsabilité d'une personne chargée de :

- Vérifier l'identité et le permis de conduire du participant
- Expliquer l'objectif global de l'essai
- Expliquer les particularités du véhicule (hybride, boîte automatique)
- Veiller à ce que l'essayeur conduise toujours en mode Normal (et non en mode Eco ou Power)
- Expliquer qu'il convient de conduire comme d'habitude, en respectant les panneaux de signalisation et la réglementation routière
- S'assurer que durant tout le trajet, les vitres resteront fermées, la radio et la climatisation coupées
- Veiller au respect de l'itinéraire prévu

Quatre sessions étaient organisées par jour (à 9 h 30, 11 h 30, 14 h 00 et 16 h 00), à raison de quatre véhicules utilisés simultanément par session. Ainsi, 81 essais ont été effectués sur une période de deux semaines (du 15 au 2 mai 2018).

Ils ont couvert une distance totale de 2 670 km sur une durée totale d'environ 60 heures.

Globalement, ce protocole expérimental a permis de quantifier de façon systématique les performances de la Toyota Prius pour différents profils d'itinéraires et différents types de conducteur.

¹ Techstream est un outil de diagnostic qui, dans cette étude, a servi à collecter les données et à mesurer les performances électriques du véhicule.

Méthode

Indicateurs de performances

Les niveaux d'émissions de CO₂ et de matières particulaires (PM 2.5) d'un véhicule à moteur à combustion interne (*ICE, internal combustion engine*) dépendent de son utilisation.

Les deux séries suivantes d'indicateurs complémentaires fournissent une fourchette raisonnable d'évaluation de ces performances.

ZEV

La première série correspond au pourcentage d'utilisation en mode tout électrique zéro émission ZEV (Zero Emission vehicle), par rapport à la distance ou au temps total du parcours. Il se définit ainsi :

- Pourcentage d'utilisation du véhicule moteur thermique coupé [noté ZEV], ce qui englobe les périodes d'arrêt [notées $zev(V=0)$], de décélération [notées $zev(PW=0)$] et les périodes où la puissance motrice provient uniquement du moteur électrique [notées $zev(EV)$].
- Le pourcentage est évalué en termes de temps (pendant lequel le véhicule a roulé en mode ZEV) et de distance (sur laquelle le véhicule a roulé en mode ZEV), chaque indicateur étant affecté d'un indice correspondant : par exemple, ZEV_t désigne le pourcentage de temps et ZEV_s le pourcentage de distance.
- On obtient au final cinq indicateurs :
 - o pour le temps : ZEV_t , qui peut se décomposer en $zev_t(V=0)$, $zev_t(PW=0)$ et $zev_t(EV)$
 - o et pour la distance : ZEV_s , qui peut se décomposer en $zev_s(PW=0)$ et $zev_s(EV)$.

EV

La seconde série d'indicateurs notée **EV (Electric Vehicle)** correspond au pourcentage d'utilisation en mode zéro émission, par rapport au temps ou à la distance de parcours, **où le véhicule accélère uniquement en mode électrique**. Il se définit ainsi :

- Pourcentage d'utilisation du véhicule où la puissance motrice provient **uniquement** du moteur électrique [noté EV], par rapport à l'utilisation totale durant laquelle les roues sont entraînées **indifféremment** par le moteur électrique **ou** le moteur thermique.
- Là encore, le pourcentage est évalué soit en termes de temps (pendant lequel le véhicule a roulé en mode ZEV), soit de distance (sur laquelle le véhicule a roulé en mode ZEV), chaque indicateur étant affecté d'un indice correspondant : par exemple, EV_t désigne le pourcentage de temps et EV_s le pourcentage de distance.

Détermination des indicateurs à partir des données recueillies par Techstream

Les résultats recueillis directement par Techstream nous ont permis de calculer les quatre pourcentages d'utilisation du véhicule (arrêt, décélération, accélération uniquement sous moteur électrique, accélération uniquement sous moteur thermique).

Nous avons respectivement noté ces pourcentages $zev(V=0)$, $zev(PW=0)$, $zev(EV)$, et $1 - ZEV$, où $ZEV = zev(V=0) + zev(PW=0) + zev(EV)$. De même, $EV = zev(EV) / (zev(EV) + 1 - ZEV)$. Ces éléments sont résumés dans le Tableau 1.

Chaque série d'indicateurs a été calculée pour chaque trajet ainsi que pour ses trois composantes : péri-urbain, urbain et autoroute urbaine. Elles ont ensuite été compilées pour l'ensemble des essais puis analysés (voir chapitre suivant).

Tableau 1 : Détermination des indicateurs à partir des données de Techstream

Interpretation of indicators				
The four different percentages obtained through Techstream				
Total, time or space	Stationary	Deceleration	Acceleration ELEC	Acceleration ICE
100%	$zev(V=0)$	$zev(PW=0)$	$zev(EV)$	$1 - ZEV$
Zero Emission mode				Positive Emission mode
$ZEV = zev(V=0) + zev(PW=0) + zev(EV)$				$= 1 - ZEV$
No power to wheels			Power to wheels	
			$EV = zev(EV) / (zev(EV) + 1 - ZEV)$	

Par souci de clarté, nous utilisons dans cette étude des **pourcentages absolus**.

Analyse des résultats

Les indicateurs et leur interprétation

Les Tableaux 2 et 3 résument les résultats de la première série d'indicateurs.

Tableau 2 : Pourcentage et décomposition du **temps** de parcours effectué moteur thermique coupé

Tableau 2	ZEV_t	zev _t (V=0)	zev _t (PW=0)	zev _t (EV)
Péri-urbain	65,9 %	10,8 %	30,0 %	25,1 %
Urbain	86,9 %	21,2 %	32,9 %	32,8 %
Autoroute urbaine	65,0 %	16,9 %	26,1 %	22,0 %
Parcours total	70,1 %	16,4 %	28,5 %	25,1 %

D'après le Tableau 2, la Toyota Prius fonctionne en mode **zéro émission** 70,1 % du temps total de trajet ; sur ce pourcentage, elle passe 16,4 % du temps à l'arrêt, 28,5 % en décélération et 25,1 % en accélération électrique (où les roues sont entraînées uniquement par le moteur électrique). Le reste du temps, soit 29,1 % (100 % - 70,1 %), elle accélère en faisant appel au moteur thermique.

Le Tableau 2 précise en outre les pourcentages respectifs pour chaque composante du trajet.

Tableau 3 : Pourcentage et décomposition de la **distance** de parcours effectuée moteur thermique coupé

Tableau 3	ZEV_s	zev _s (PW=0)	zev _s (EV)
Péri-urbain	58,5 %	35,3 %	23,2 %
Urbain	77,4 %	43,7 %	33,7 %
Autoroute urbaine	43,6 %	25,9 %	17,7 %
Parcours total	51,4 %	30,3 %	21,1 %

Le Tableau 3 montre que la Toyota Prius fonctionne en mode **zéro émission 51,4 % de la distance totale du trajet** ; sur ce pourcentage, 30,3 % sont en décélération et 21,1 % en accélération électrique (où les roues sont entraînées uniquement par le moteur électrique).

On remarquera les pourcentages d'utilisation tout électrique en ville : $ZEV_t = 86,9 \%$ et $ZEV_s = 77,4 \%$. Ils sont systématiquement plus élevés que sur trajet péri-urbain et autoroute urbaine. D'un point de vue statistique, ces différences sont vraiment significatives compte tenu du grand nombre d'observations.²

Concernant la conduite en parcours péri-urbain et sur autoroute urbaine (65,9 % et 65,0 %), la différence n'est pas significative, contrairement à l'indicateur ZEV_s dont les résultats (58,5 % et 43,6 %) sont clairement distincts. Cet écart ne provient pas d'une différence d'usage entre accélération et

² En référence à un test standard avec seuil d'erreur de 1 %.

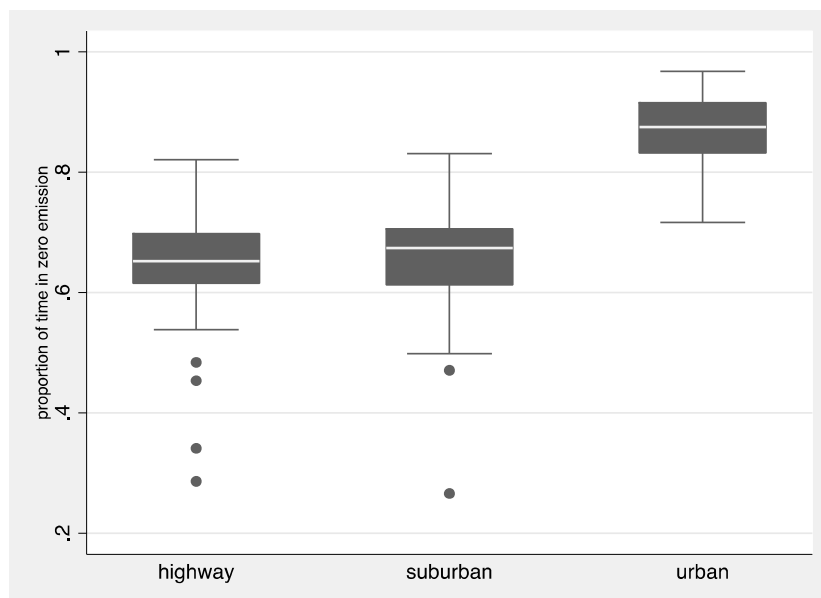
décélération (quasi identiques en termes de pourcentage) : il traduit vraisemblablement un recours plus important au moteur thermique sur voie rapide, par rapport à la banlieue.

Les graphiques ci-dessous illustrent cette analyse, en faisant appel à une représentation statistique classique :

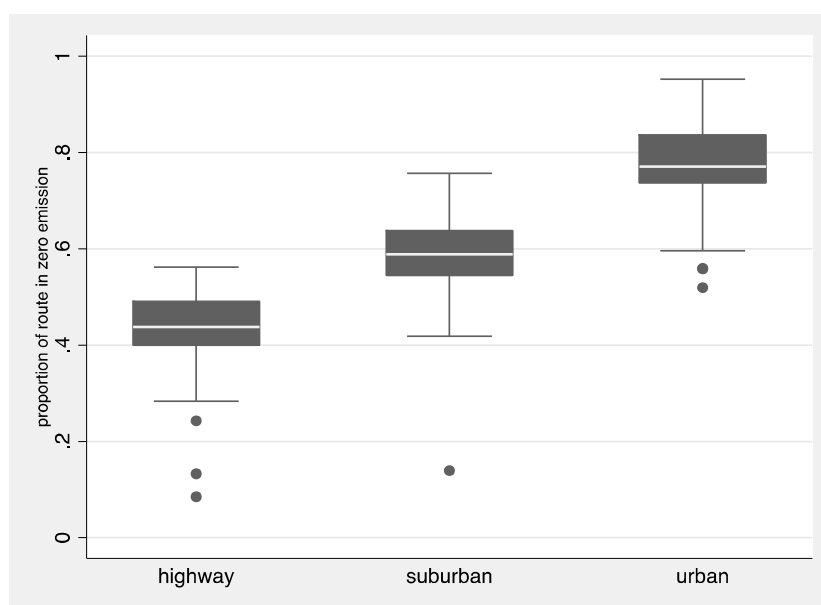
- le milieu de la boîte à moustache donne la position de la médiane (c'est-à-dire marquant un nombre d'observations égal de part et d'autre) ;
- la boîte elle-même s'étend du premier quartile au troisième quartile : elle contient donc 75 % des observations ;
- les points correspondent à des **valeurs aberrantes** : des observations extrêmes que l'on peut éliminer des statistiques.

Les graphiques 1 et 2 présentent respectivement les résultats de ZEV_t et ZEV_s pour la conduite sur autoroute urbaine, routes péri-urbaines et urbaines.

Graphique 1 : ZEV_t pour chaque composante du trajet



Graphique 2 : ZEV_s pour chaque composante du trajet



Le Tableau 4 résume les résultats de la seconde série d'indicateurs.

Tableau 4 : Pourcentage d'utilisation du véhicule où la **puissance motrice provient uniquement du moteur électrique** :

Tableau 4 Parcours	EV _t	EV _s
Péri-urbain	42,6 %	36,5 %
Urbain	71,6 %	60,3 %
Autoroute urbaine	39,2 %	24,4 %
Parcours total	45,9 %	30,7 %

Ainsi qu'il a été dit, c'est à l'accélération – c'est-à-dire **lorsqu'il transmet sa puissance aux roues** – qu'un moteur thermique émet le plus de CO₂. À l'accélération, la Toyota Prius roule sans émission **45,9 % du temps et 30,7 % de la distance** du trajet total.

En **zone urbaine**, les pourcentages respectifs sont de **71,6 % du temps et 60,3 % de la distance de parcours**. La chute est la plus sensible sur autoroute urbaine où ces pourcentages passent à 39,2 % et 24,4 %.³

³ Là encore, les écarts du Tableau 4 sont tous statistiquement significatifs pour un seuil d'erreur de 1 %, sauf pour EV_t entre la conduite sur parcours péri-urbain et sur autoroute urbaine (où ils ne sont significatifs que pour un seuil d'erreur de 10 %).

Incidence des caractéristiques du conducteur

Nombreux sont les facteurs susceptibles d'influencer les résultats : le style de conduite, les facteurs humains (état d'esprit, de santé, de fatigue), la fluidité de la circulation (normale ou embouteillée), les conditions météorologiques (beau temps ou pluie), ainsi que la connaissance et l'expérience de la conduite hybride, lesquels peuvent affecter le style de conduite et l'utilisation de la voiture. Dans cette expérience, nous avons réalisé 81 essais avec 64 hommes et 17 femmes. Le Tableau 5 présente les principales caractéristiques des conducteurs et conductrices de cet échantillon.

Tableau 5 : Principales caractéristiques des personnes de l'échantillon						
	Hommes	Femmes	Sans expérience de l'hybride	Avec expérience de l'hybride	Moins de 35 ans	Plus de 35 ans
% de l'échantillon total	79 %	21 %	83 %	17 %	64 %	36 %

Le Tableau 6 exprime en pourcentage le sexe et l'âge des personnes de l'échantillon.

Tableau 6 : Âge et sexe			
	Moins de 35 ans	Plus de 35 ans	Total
Hommes	69 %	31 %	100 %
Femmes	47 %	53 %	100 %

Le Tableau 7 indique la répartition par sexe des utilisateurs ayant une expérience de l'hybride.

Tableau 7 : Expérience de la conduite hybride en fonction du sexe			
	Hommes	Femmes	Total
Personnes de l'échantillon ayant une expérience de l'hybride	86 %	14 %	100 %

Les tableaux suivants répondent à la question de savoir si les valeurs moyennes de l'ensemble de l'échantillon varient pour différents sous-groupes. **Comme l'on s'y attendait, il ressort que le sexe, l'expérience antérieure de la conduite hybride et l'âge influent sur les résultats moyens, mais à un degré relativement faible.** Dans les tableaux ci-dessous, des codes de couleur aident le lecteur à

comprendre l'incidence de ces caractéristiques : vert signifie que le résultat affiché est supérieur à la moyenne, orange qu'il est inférieur. L'absence de couleur indique qu'il se situe dans la moyenne. Compte tenu des tailles restreintes d'échantillons, il n'a pas été possible de tester la signification statistique des résultats.

Le Tableau 8 présente les moyennes obtenues pour ZEV_t et EV_t sur les 81 participants.

Tableau 8 : Résultats moyens pour ZEV_t et EV_t		
Parcours	ZEV_t	EV_t
Urbain	87 %	72 %
Autoroute urbaine	65 %	39 %
Parcours total	70 %	46 %

Les chiffres des femmes sont légèrement inférieurs à la moyenne générale :

Tableau 9 : Résultats moyens pour ZEV_t et EV_t pour les femmes		
Parcours	ZEV_t	EV_t
Urbain	82 %	69 %
Autoroute urbaine	62 %	38 %
Parcours total	67 %	45 %

Les chiffres des personnes ayant déjà conduit une hybride sont légèrement supérieurs à la moyenne :

Tableau 10 : Résultats très légèrement meilleurs pour les personnes ayant une expérience de l'hybride		
Parcours	ZEV_t	EV_t
Urbain	88 %	75 %
Autoroute urbaine	65 %	41 %
Parcours total	71 %	49 %

Les résultats des participants de plus de 35 ans s'avèrent légèrement supérieurs à la moyenne pour le parcours urbain, et légèrement inférieurs pour le parcours sur autoroute urbaine.

Tableau 11 : Plus de 35 ans		
Parcours	ZEV_t	EV_t
Urbain	89 %	76 %
Autoroute urbaine	64 %	38 %
Parcours total	70 %	46 %

Le Tableau 8 présente les moyennes obtenues pour ZEV_s et EV_s sur les 81 participants.

Tableau 12 : Résultats moyens pour ZEV_s et EV_s		
Parcours	ZEV_s	EV_s
Urbain	77 %	60 %
Autoroute urbaine	44 %	24 %
Parcours total	51 %	31 %

Les femmes obtiennent des résultats légèrement inférieurs pour ZEV_s et EV_s, comme on le voit ci-dessous :

Tableau 13 : Résultats moyens pour ZEV_s et EV_s pour les femmes		
Parcours	ZEV_s	EV_s
Urbain	74 %	60 %
Autoroute urbaine	41 %	23 %
Parcours total	49 %	30 %

Les personnes ayant déjà conduit une hybride obtiennent des résultats légèrement supérieurs à la moyenne, comme on le voit ci-dessous :

Tableau 14 : Résultats légèrement supérieurs pour les personnes ayant une expérience de l'hybride		
Parcours	ZEV_s	EV_s
Urbain	78 %	62 %
Autoroute urbaine	47 %	28 %
Parcours total	55 %	34 %

Les résultats des participants de plus de 35 ans s'avèrent légèrement supérieurs à la moyenne pour le parcours urbain et légèrement inférieurs pour le parcours sur autoroute urbaine. Sur la totalité du parcours, les résultats restent identiques.

Tableau 15 : Participants de plus de 35 ans		
Parcours	ZEV_s	EV_s
Urbain	80 %	64 %
Autoroute urbaine	42 %	23 %
Parcours total	51 %	30 %

Extrapolation des résultats à d'autres trajets

S'ils fournissent directement un éclairage éloquent pour divers types de trajets, les résultats peuvent aussi servir à établir des estimations personnalisées. Si un trajet comporte des tronçons de conduite en zone péri-urbaine, urbaine et sur voie rapide/autoroute, ces résultats permettent par exemple d'évaluer les indicateurs pour ce parcours spécifique. Ce type d'extrapolation peut être très précieux pour les différents acteurs concernés.

Pour illustrer le processus, prenons deux exemples simples de trajets spécifiques :

- Trajet n° 1, constitué à 50 % de voie rapide/autoroute urbaine et à 50 % de ville
- Trajet n° 2, constitué à 75 % de ville et à 25 % de péri-urbain.

Le Tableau 16 présente les résultats obtenus pour ces deux trajets. Ils correspondent aux moyennes pondérées des valeurs figurant dans les Tableaux 2, 3 et 4.

Tableau 16 : Extrapolation des résultats

Tableau 16 Trajet	ZEV_t	EV_t	ZEV_s	EV_s
1/2 autoroute urbaine, 1/2 urbain	76,0 %	55,4 %	60,5 %	42,4 %
3/4 urbain, 1/4 péri-urbain	81,6 %	64,3 %	72,6 %	54,3 %

Conclusions

Les émissions dues aux transports terrestres sont une source majeure de gaz à effet de serre (24 % environ pour l'UE28). Une grande partie de ces émissions provient des véhicules de tourisme et des poids lourds, fortement dépendants des carburants fossiles. Le nombre de véhicules utilitaires légers pourrait doubler d'ici à 2050 (IEA, 2013). La pollution urbaine – en particulier les particules fines (PM2,5) – et l'ozone troposphérique sont responsables de trois millions de décès prématurés par an (OECD, 2014).⁴

Si les véhicules électriques à batterie proposent déjà des technologies séduisantes, il reste de la place pour d'autres alternatives. De fait, les véhicules 100 % hybrides (Full Hybrid) offrent une baisse conséquente des émissions à un prix raisonnable pour les consommateurs et – atout important – ils évitent l'angoisse de la panne.

Cette étude montre que la Toyota Prius affiche à cet égard de remarquables résultats. Sur la **totalité du trajet**, elle roule en mode tout électrique – donc zéro émission – **70,1 % du temps et 51,4 % de la distance**. En zone urbaine, c'est-à-dire où les problèmes de pollution sont les plus critiques, ces pourcentages grimpent respectivement à **86,9 % et 77,4 %**.

Si l'on considère uniquement le **mode accélération**, c'est-à-dire les phases où la puissance motrice est transmise aux roues (**donc à l'exclusion des phases d'arrêt et de décélération**) et qui correspondent aux **plus fortes émissions de CO₂**, la Toyota Prius fonctionne en mode zéro émission **45,9 % du temps et 30,7 % de la distance de parcours**. En zone urbaine, ces pourcentages montent respectivement à **71,6 % et 60,3 %**.

⁴ Statistiques de l'UE consultables à l'adresse http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Climate_change_-_driving_forces ; IEA (2013).

World Energy Outlook.

Lien : <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2013.pdf>; OECD (2014). The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution.

Lien : <http://www.oecd.org/env/the-economic-consequences-of-outdoor-air-pollution-9789264257474-en.htm>

Annexes

Encadrement des essais routiers

Imad Matallah

Sarah Cespedes

Margarita Kirneva

Aurélien Bigo

Emile Teneziakis

Michaël Auger

Signification statistique des résultats⁵

Les résultats rapportés dans cette étude correspondent aux moyennes obtenues sur 80 observations. Compte tenu de ce nombre d'observations et de leur dispersion, la question se pose de savoir si les différences de résultats sont significatives pour chaque composante du trajet, par exemple si l'utilisation en mode zéro émission est significativement plus élevée en ville que sur autoroute urbaine. L'analyse statistique standard apporte la réponse. Le test de signification a été effectué pour chaque indicateur et chaque couple de comparaisons. Dans les tableaux ci-dessous, trois étoiles *** désignent une signification de 1 %, ** une signification de 5 % et * une signification de 10 % ; partout ailleurs, la différence n'est pas significative (selon un test t de différence de moyennes).

Différence entre les itinéraires sur voie rapide et en banlieue

Variabes	Autoroute urbaine	Péri-urbain	Diff
ZEV _s	0,436	0,585	-0,149***
EV _s	0,244	0,365	-0,120***
ZEV _t	0,650	0,659	-0,00900
EV _t	0,392	0,426	-0,034*

Différence entre les itinéraires sur voie rapide et en ville

Variabes	Autoroute urbaine	Urbain	Diff
ZEV _s	0,436	0,774	-0,337***
EV _s	0,244	0,603	-0,359***
ZEV _t	0,650	0,869	-0,219***
EV _t	0,392	0,716	-0,324***

Différence entre les itinéraires en ville et en banlieue

Variabes	Péri-urbain	Urbain	Diff
ZEV _s	0,585	0,774	-0,189***
EV _s	0,365	0,603	-0,238***
ZEV _t	0,659	0,869	-0,210***
EV _t	0,426	0,716	-0,290***

⁵ Nous sommes très reconnaissants à Emile Teneziakis pour son aide dans la préparation de cette annexe.

Qui sont les auteurs ?

Jean-Pierre Ponsard est directeur de recherche émérite au CNRS, affilié au Département d'Économie⁶ et au centre de recherche CREST⁷ de l'École Polytechnique, France. Il est également chercheur associé à l'Institut Louis Bachelier, au CIRANO (Québec) au CESifo (Allemagne). Ses domaines de spécialisation sont l'économie de l'environnement, la théorie des organisations et la théorie des jeux. Depuis 2016, il est responsable de la chaire Énergie et Prospérité. Ses travaux récents sur l'économie de l'environnement ont été publiés dans les revues *Journal of Economics & Management Strategy*, *Journal of The Association of Environmental and Resource Economists*, *Review of Agricultural and Environmental Studies*, *Journal of Environmental Economics and Management*, *Resource and Energy Economics*, *Environmental and Resource Economics*, *Climate Policy* et *International Journal of Hydrogen Energy*. Il a obtenu son PhD à l'Université Stanford (Californie) en 1971 et son diplôme d'ingénieur à l'École Polytechnique en 1966. Son site personnel : <http://ponsard.net/>

Né en 1971, Yannick Perez est titulaire d'une Maîtrise et d'un Doctorat d'économie de l'Université de la Sorbonne, en France. Il a été Maître de Conférences à l'Université de Cergy (2000-2003) puis a été nommé Maître de Conférences en sciences économiques à l'Université Paris-Sud (depuis 2003). Depuis Octobre 2008, il est conseiller économique en chef de la Chaire Loyola de Palacio sur la politique énergétique européenne à l'Institut universitaire européen de Florence. Depuis Septembre 2011, il est également Maître de Conférences en économie à CentraleSupélec, en France.⁸ En Février 2012, il a rejoint la chaire de recherche Armand Peugeot sur l'électromobilité en tant que chercheur associé. Yannick Perez est l'auteur de plus de quarante articles et participé à des ouvrages collectifs sur le thème de l'énergie. Il a aussi contribué à des publications sur la politique énergétique, l'économie écologique ainsi que les sources d'énergie durables et renouvelables. Son site personnel : <https://sites.google.com/site/yannick-perez/home>

Sri Srikandan est ingénieur de recherche au Département d'Économie de l'École Polytechnique et au CREST. Il est responsable du laboratoire expérimental en sciences de l'économie et de la décision (LabEDS). Ses domaines d'expertise portent sur l'économie expérimentale, l'économie comportementale, la finance comportementale et l'informatique.

⁶ <https://portail.polytechnique.edu/economie/fr>

⁷ <http://crest.science>

⁸ <http://www.centralesupelec.fr/fr/ecole>