
RAPPORT DE STAGE DE FIN D'ETUDES

Diplôme

Ingénieur en Mathématiques Appliquées et Calcul Scientifique

A l'école d'ingénieur Sup-Galilée

2015 - 2016

Modèle Mathématique de génération de cycles de roulage

Ibrahim SADDOUN

Encadrants entreprise :

Karynn MORAND : Pilote R&I

Florent THIVENT : Tuteur technique

Tuteur école :

Olivier LAFITTE : Directeur de

Formation

SOMMAIRE

1	Remerciements	4
2	Presentation de l'entreprise	5
2.1	Présentation générale de SEGULA TECHNOLOGIES	5
2.2	Présentation de SEGULA MATRA AUTOMOTIVE (SMA)	6
3	Contexte scientifique et technique du projet	7
4	Problématique	9
4.1	Objectifs et performances	9
4.2	Synthèse de l'état de l'art	11
4.2.1	Cycles européens et mondiaux:	11
4.2.2	Méthodes de génération de cycles de roulages :	13
4.2.3	Conclusion de l'état de l'art	15
5	Présentation des travaux de R&D	16
5.1	Démarche de travail	16
5.2	Moyens utilisés	16
5.2.1	GPS (Global Positioning System)	16
5.2.2	OBD (On Board Diagnostics) :	17
5.2.3	Logiciels utilisés :	18
5.3	Description des travaux réalisés	18
5.3.1	Acquisition des données	18
5.3.1.1	Campagnes d'essais	18
5.3.1.2	Extraction des données collectées	22
5.3.2	Analyse des données	23
5.3.2.1	Comparaison Conducteurs	23
5.3.2.2	Comparaisons Véhicules	25
5.3.3	Chaînes de Markov	27
5.3.3.1	Définition	27
5.3.3.2	Classification des états	28
5.3.3.3	Algorithmes	30
5.3.3.4	Résultats	32
5.3.3.5	Validation	33
5.3.3.6	Etude tronçon Stop-Stop	33

5.3.3.7	Conclusion	34
5.3.4	Génération procédurale des cycles de roulage.....	35
5.3.4.1	Modèles de poursuite (Intelligent Driver Model)	35
5.3.4.2	Optimisation	38
5.4	Progrès scientifiques et/ou techniques	38
5.4.1	Valeur ajoutée.....	38
5.4.2	Perspectives	39
5.5	Bibliographie	40
5.6	Annexes.....	41
5.6.1	Profils de vitesses, accélérations lors des essais :	41

1 REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier tout d'abord Madame Karynn MORAND, pour avoir accepté ma candidature au sein de Segula Technologies, pour son suivi tout au long du stage, ses conseils et le temps qu'elle m'a accordé ce qui m'a permis d'aller au bout de mon stage de fin d'études.

Je remercie également Monsieur Florent THIVENT pour son suivi lors de mon stage, ses propositions et son aide précieuse.

Je tiens à remercier Monsieur Enis EL HACHANI, pour son accueil dans l'entreprise et avoir mis à ma disposition les outils nécessaires pour ce travail.

Je remercie également tous les stagiaires qui ont accepté de participer aux campagnes d'essais et de mesures que j'ai réalisées pendant ce stage.

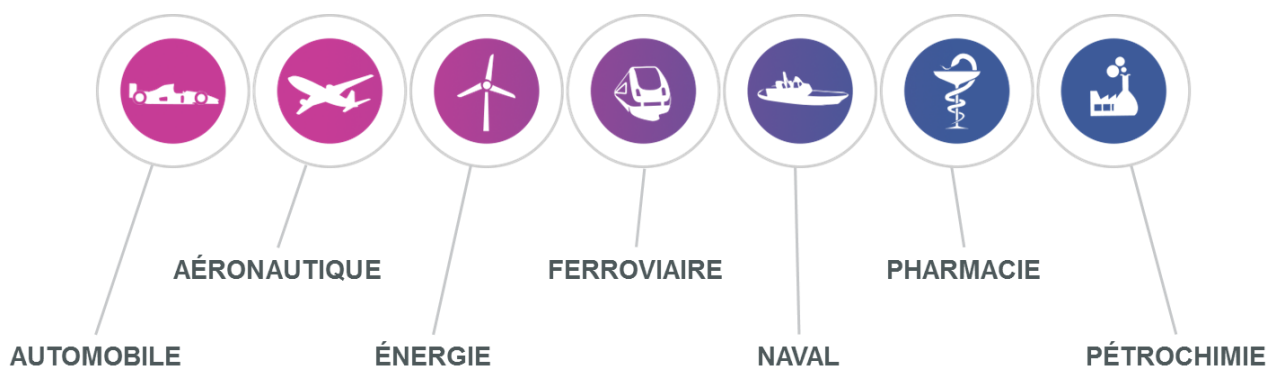
Toutes ces personnes ont contribué, par leurs disponibilités à rendre mon stage enrichissant et motivant.

2 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

2.1 Présentation générale de SEGULA TECHNOLOGIES

SEGULA TECHNOLOGIES est un groupe international d'ingénierie et de conseil en innovation de pointe créé en 1985.

Le Groupe apporte à ses clients ses compétences techniques, l'excellence de ses collaborateurs, et des ressources et expertises spécifiques aux secteurs d'activités suivants :



SEGULA Technologies intervient en France et à l'étranger en partenariat avec ses clients sur les projets des grands constructeurs, dans les domaines de :

- l'ingénierie technique : produit, industrialisation, infrastructure industrielle ;
- l'ingénierie des fonctions support : informatique, qualité, pilotage de projets, fonctions transverses

De plus, SEGULA Technologies développe une politique axée sur l'apport de solutions globales en ingénierie, à l'appui :

- d'une gestion complète de projets industriels hébergés au sein de ses Bureaux d'Etudes.
- d'un investissement fort en Recherche et Innovation : plus de 100 projets par an ;
- d'une culture d'entreprise apprenante, afin d'optimiser ses process par un partage des connaissances et une gestion du retour d'expériences.



Fort de ses 30 ans d'expériences, la société emploie environ 8500 collaborateurs et réalise un chiffre d'affaire de 450 M€. Elle est présente dans 24 Pays avec 80 implantations pour servir au mieux les intérêts des plus de 300 clients industriels majeurs.

2.2 Présentation de SEGULA MATRA AUTOMOTIVE (SMA)

SEGULA Matra Technologies (SMA) est une filiale de SEGULA Technologies, née de l'acquisition en Janvier 2009 de Matra Automobile Engineering, fleuron de l'industrie automobile dont le siège social est implanté à Nanterre (92). SMA est une SA par action simplifiée à associé unique.

SMT s'adresse aux marchés de l'automobile et du véhicule industriel en leur proposant des prestations relatives au développement des produits (électroniques et logiciels embarqués) et des process permettant de fabriquer ces produits.

Les équipes de SMA interviennent principalement dans les caisses et les équipements, les prototypes et maquettes, la sécurité passive et l'électronique ; elles ont aussi acquis une forte expérience dans la conception des véhicules électriques.

Missions R&D de Segula Matra Technologies

De façon à améliorer son positionnement auprès de ses clients, SMA traite, chaque année, des travaux de recherche sur des problématiques liées aux défis que ses clients doivent relever.

Ces travaux se répartissent en trois catégories :

- Les recherches sur des thèmes techniques et/ ou technologiques ;
- Les recherches sur des méthodologies pouvant avoir un caractère général ;
- Les recherches sur des thèmes d'organisation.

Les activités de recherche de SEGULA Matra Automotive s'inscrivent dans une réelle démarche d'innovation : des brevets sont régulièrement déposés au titre de la propriété industrielle.

3 CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU PROJET

Le débat en cours sur le réchauffement climatique par les émissions des gaz à effet de serre a donné un nouvel élan au développement de systèmes de propulsion alternatifs. En effet, le secteur du transport représente à lui tout seul un tiers de la demande d'énergie dans le monde entier.

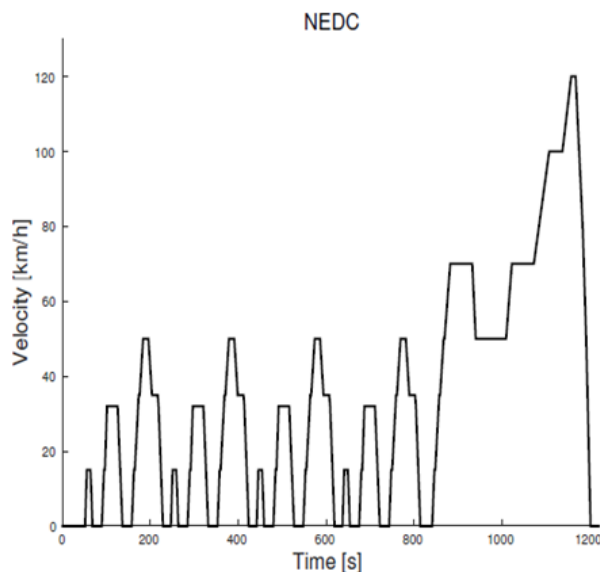
Parmi les différents modes de transport en France, l'automobile présente 80 % de la consommation d'énergie et dépend à 98% des produits pétroliers selon l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME, 2012).

Il existe plusieurs facteurs qui limitent le développement et la favorisation des véhicules à énergies nouvelles. La forte dépendance au pétrole est principalement le résultat des propriétés des combustibles liquides, tels que la densité d'énergie relativement élevée et la facilité de manipulation de liquides lors l'approvisionnement en carburant contrairement aux véhicules électriques où le chargement pourrait durer plusieurs heures .

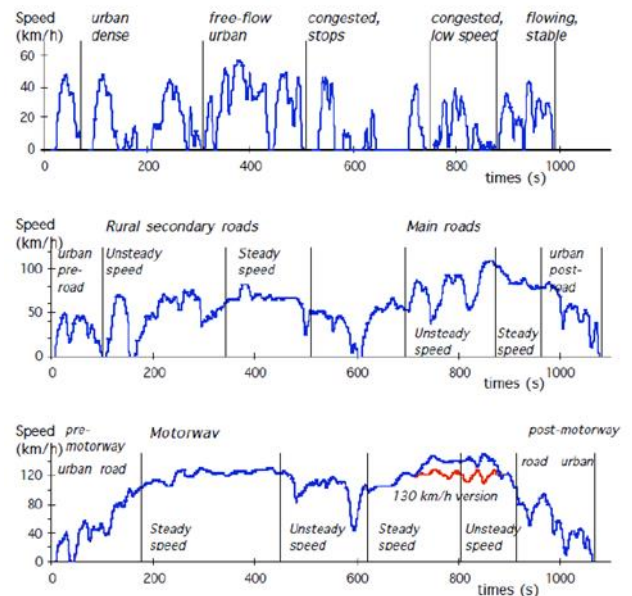
Malgré les qualités environnementales des voitures électriques (pollution limitée, bruit réduit, ...), les technologies de batteries actuelles ne parviennent pas à la densité énergétique des combustibles. Le meilleur compromis afin d'allier les performances aux considérations environnementales serait les véhicules hybrides.

Cependant, les véhicules hybrides sont des systèmes très complexes. Chaque composant supplémentaire nécessite une étude préalable pour l'intégrer dans le système et atteindre le but final : réduire la consommation de carburant en utilisant l'énergie électrique récupérée le long du parcours.

La consommation en énergie est au centre des préoccupations lors de la conception de ces véhicules. Afin de déterminer le comportement énergétique d'un véhicule et de tester ses performances, des cycles de roulages sont utilisés pour mettre les véhicules dans différents situations de fonctionnement. Les cycles de roulages sont des profils de vitesse en fonction du temps, qui permettent de simuler des parcours (urbain, extra-urbain,...), et d'observer les paramètres de sorties des véhicules. La Figure 1 présente deux cycles : NEDC (New European Driving Cycle) à réalité limitée et CADC (Common Artemis Driving Cycles) conçu à partir de mesures réelles pour pallier aux faiblesses du cycle NEDC.



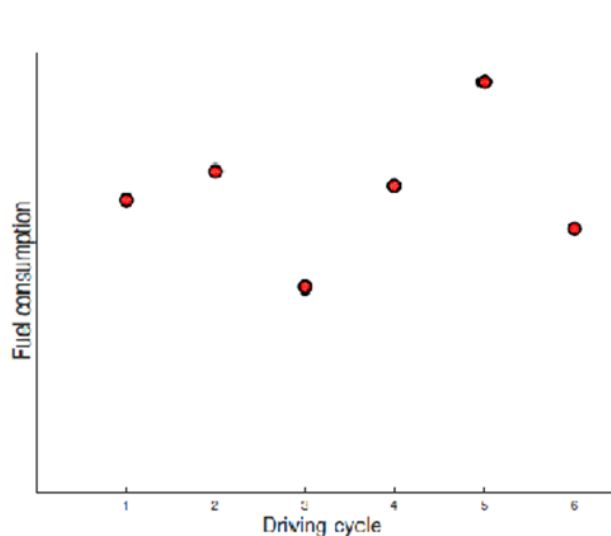
a)



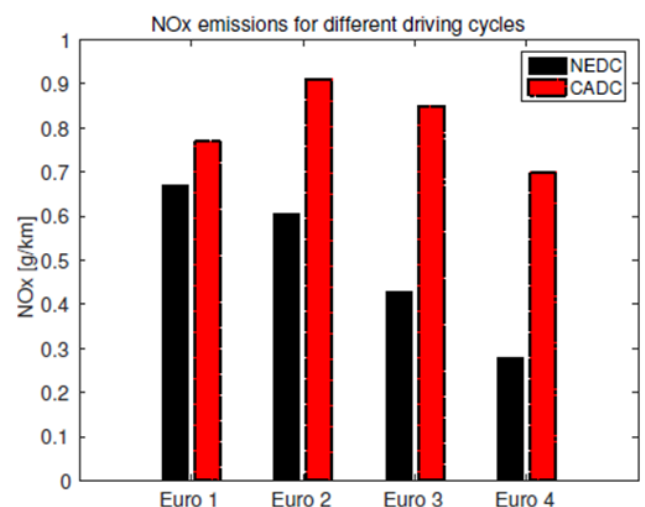
b)

Figure 1 : Nouveau cycle européen de conduite NEDC et CADC [1]

Les cycles de roulage ou de conduite sont également utilisés par les autorités afin d'imposer des standards et des seuils d'émission de particules pour chaque véhicule et pour tous types de carburant avant sa commercialisation. Il existe plusieurs cycles de références qui sont appliqués dans différentes régions dans le monde suivant la législation des pays. Ces cycles parfois peu représentatifs de la réalité sont critiqués pour leur non prise en compte de plusieurs paramètres qui influent fortement la consommation énergétique. Ils sont parfois faciles à contourner par les constructeurs qui peuvent optimiser leurs véhicules pour certains types d'essais.



a)



b)

Figure 2 : Comparaison d'émissions de voitures Diesel lors de cycles différents [2]

La Figure 2-a) présente les résultats de la consommation en carburant de 6 cycles différents de conduite. On peut en déduire qu'il y'a une disparité remarquables les cycles de roulage existants.

Cela est confirmé par la Figure 2-b) qui présente une comparaison entre la consommation en carburant des cycles NEDC et CADC.

Ces résultats montrent l'importance d'utiliser plusieurs cycles afin de valider la consommation d'un véhicule, car il existe un risque considérable qu'un véhicule soit optimisé pour un type de cycles mais pas pour tous ses cas d'utilisation.

4 PROBLEMATIQUE

4.1 Objectifs et performances

Le but de ce projet est de proposer un outil de génération de cycles de roulage à destination de différents types de véhicules, afin de répondre aux besoins liés à l'optimisation énergétique des véhicules récents.

En effet, pouvoir simuler le comportement des véhicules et plus précisément la vitesse instantanée en fonction de plusieurs paramètres (internes et externes au véhicule), permettra d'améliorer la consommation (Carburant ou Electrique) et d'adapter les véhicules à différents modes d'utilisation.

La Figure 3 ci-dessous explique le principe de l'outil recherché. Ce schéma intègre la plupart des paramètres jugés influents sur la vitesse d'un véhicule lors d'un parcours donné. Ces paramètres seront traités dans l'ordre de leur importance en commençant par les caractéristiques du parcours tels que les obstacles, ainsi que l'accélération maximale du véhicule et en finissant par les paramètres les moins influents tels que les virages et la météo.

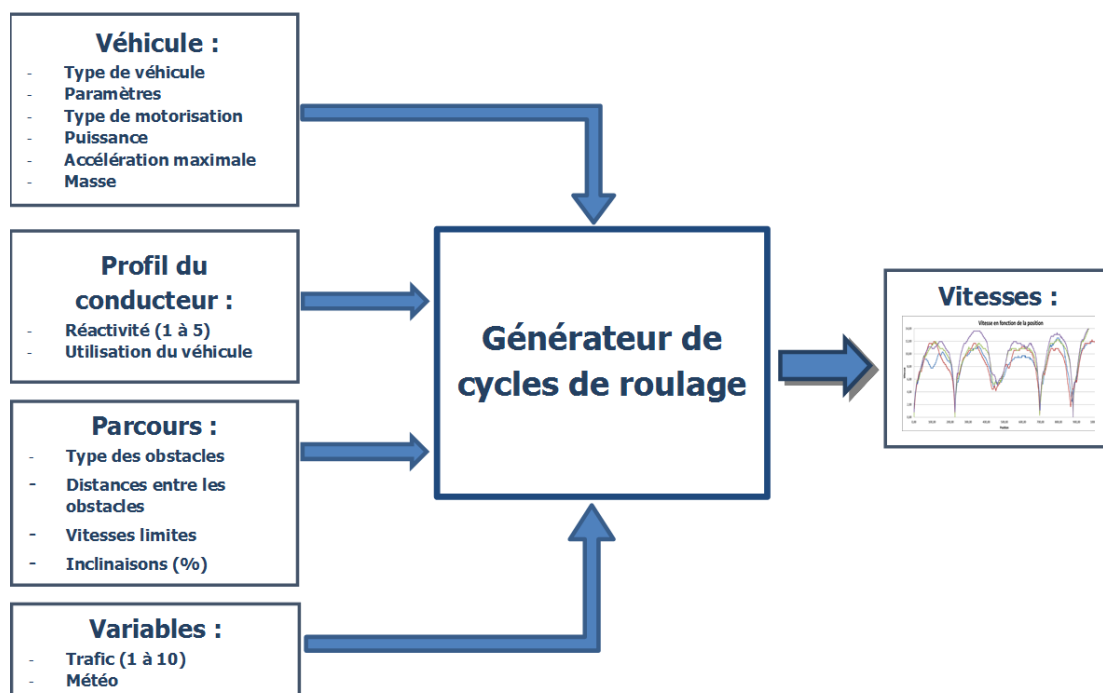


Figure 3 : Schéma global du générateur de cycles de roulages

L'objectif de ce projet de recherche est ainsi d'élaborer un modèle mathématique permettant de simuler la vitesse et l'accélération d'un véhicule quelconque sur la base des paramètres ci-dessous. Le niveau de performance global de l'outil pourra être évalué vis-à-vis de sa représentativité et en détail, il pourra être estimé en fonction de la qualité de l'intégration et de la prise en compte de chacun des paramètres dans les courbes de vitesses et d'accélération simulées vs des situations réelles.

Ci-après une liste non-exhaustive des différents paramètres qui influent sur les profils de vitesses d'un véhicule :

1. Véhicule :

- **Type de véhicule** : Voiture, Utilitaire, Poids-lourd,...
- **Paramètres** : Dimensions, roues, empattement,...
- **Type de motorisation** : Essence, Diesel, Electrique, Gaz, Hybride.
- **Puissance** : (Watt).
- **Accélération maximale** : (m/s^2).
- **Masse** : (en Kilogramme).

2. Profil du conducteur :

- **Réactivité (1 à 5)** : présente la capacité du conducteur à réagir rapidement face aux obstacles.
- **Utilisation du véhicule** : présente le style de conduite. Chaque conducteur utilise différemment les capacités du véhicule (accélération, freinage, ...).

3. Parcours :

- **Type des obstacles** :
 - Stops : (Arrêt obligatoire)
 - Cédez le passage : (Arrêt en fonction du trafic).
 - Ronds-Points : (Ralentissement, arrêt en fonction du trafic).
 - Feux tricolores : (en fonction du trafic : sans arrêt, ou arrêt + attente).
 - Ralentisseurs : (Ralentissement).
- **Distances entre les obstacles** : Distance en (m) du parcours global et entre les obstacles.
- **Vitesses limites** : Vitesses limites dans les différentes parties du parcours.
- **Pentes** : l'angle de la pente interviendra dans le calcul de l'accélération.

4. Variables :

- **Trafic (1 à 10)** : sera utilisé dans le calcul des probabilités de présences d'autres véhicules lors du franchissement des obstacles.
- **Météo** : Température, Pluie, etc. Ce paramètre a une influence importante sur le contact pneu/route.

4.2 Synthèse de l'état de l'art

Comme cité précédemment, il existe plusieurs méthodes de génération de cycle de roulage. Plus de 200 cycles sont répertoriées dans [3]. Seules quelques méthodes parmi les plus répandues sont explicitées ci-après, en soulignant les avantages et les inconvénients de chacune.

4.2.1 Cycles européens et mondiaux:

Les états européens ont conçu plusieurs cycles afin d'homologuer les véhicules et de mesurer les émissions des gaz. Parmi ces cycles, figure le ECE-15 à faible vitesse : il représente des conditions urbaines de 2003 à 2013. En Europe, les cycles ECE-15 et EUDC (Extra Urban Driving Cycle) sont les références.

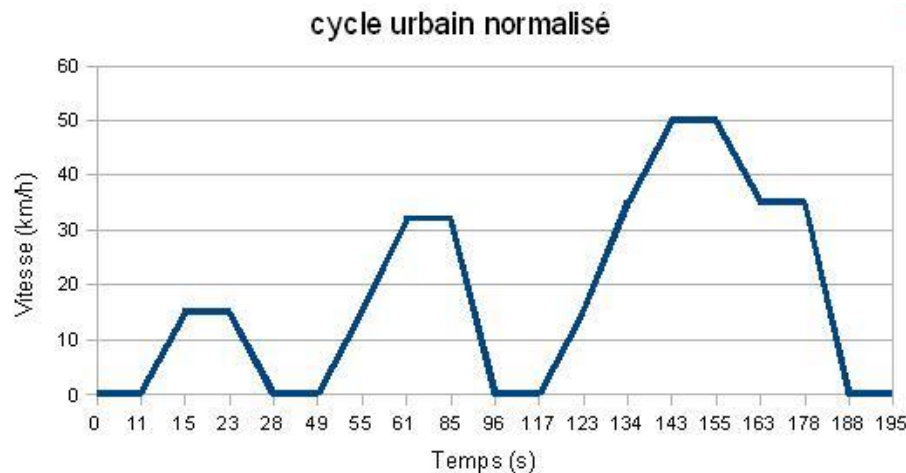


Figure 4 : Cycle urbain normalisé ECE-15 [4]

Le cycle ECE-15 [4], en Figure 4 qui dure 195 secondes a été conçu pour représenter les conditions d'utilisation d'un véhicule en ville. Il est caractérisé par une faible vitesse et 30 % de temps d'arrêt.

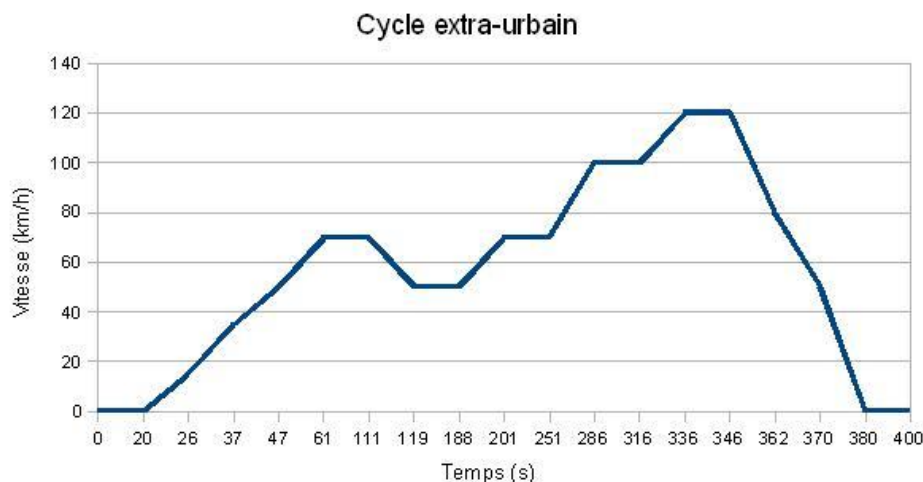


Figure 5 : Cycle extra-urbain ECE [4]

Le cycle ECE extra-urbain [4], en Figure 5, tient compte des modes de conduite à haute vitesse afin de présenter une utilisation extra-urbaine. La vitesse maximale du cycle EUDC a été fixée à 120 km/h et est maintenue sur une très courte durée.

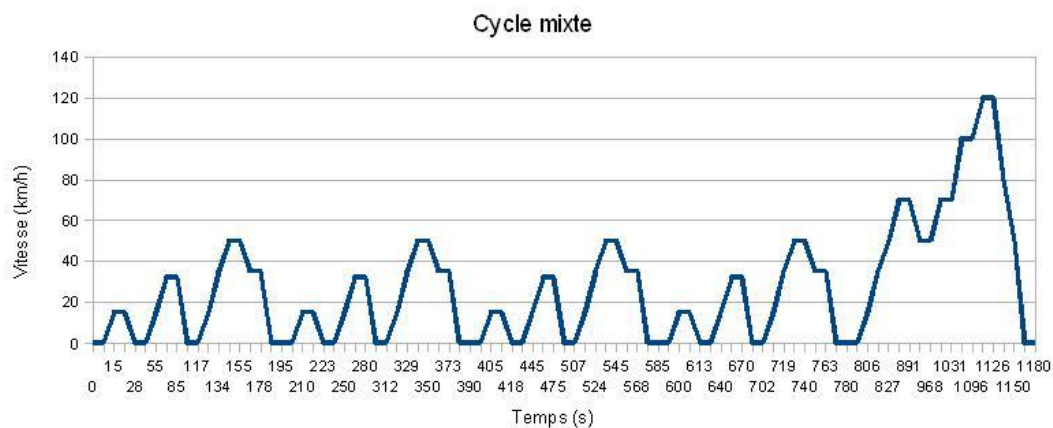
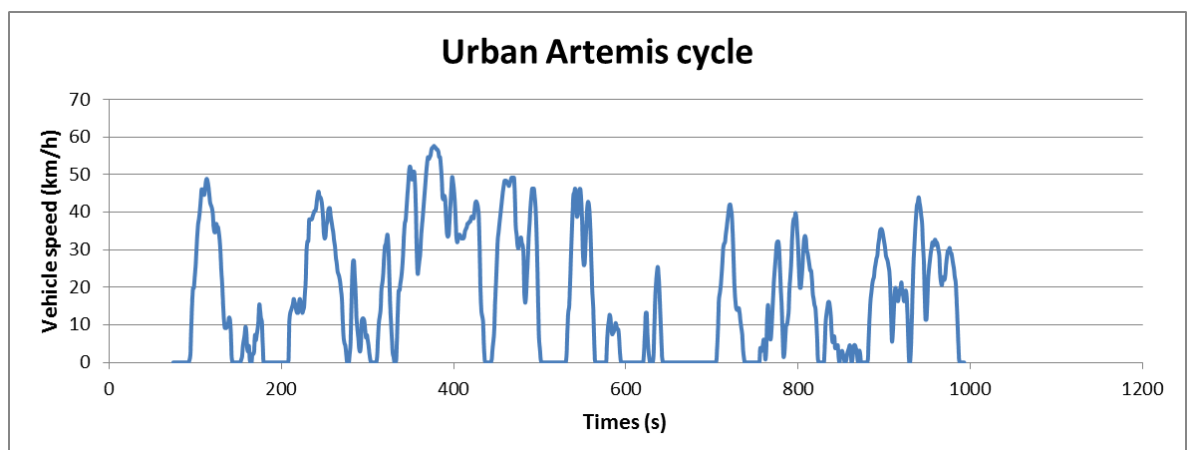


Figure 6 : Cycle NEDC (New European Driving Cycle) [4]

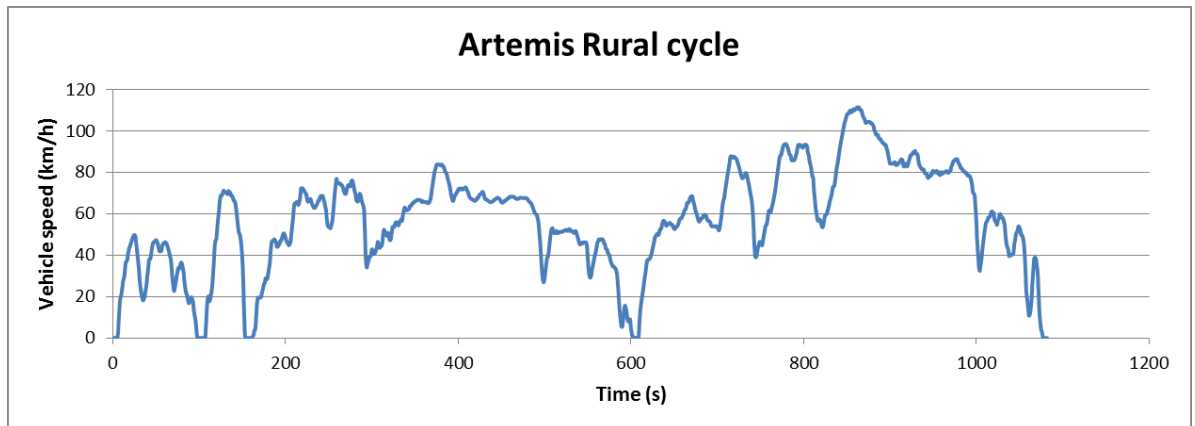
Le cycle NEDC (New European Driving Cycle) [4] sur la Figure 6 est composé de 4 cycles urbains et d'un cycle extra-urbain pour parcourir une distance de 11km. Il représente donc l'utilisation typique d'un véhicule en Europe. En ce qui concerne l'accélération, le cycle NEDC présente un passage de 0 à 50 km/h en 27 secondes, un passage de 0 à 70 km/h en 40 secondes et un passage de 70 à 100 km/h en 35 secondes. Ce cycle est donc loin d'être réaliste pour estimer la consommation ou l'émission en CO₂.

Après plusieurs critiques du NEDC pour ses faibles accélérations et ses vitesses constantes, un nouveau projet a vu jour. Urban Artemis Cycle est une étude statistique qui a été menée en Europe afin de recueillir les données réelles sur des milliers de véhicules et de construire finalement plusieurs cycles en différentes situations. Elles sont illustrées en Figure 7. La Figure 7-a) présente les résultats obtenus sur le cycle urbain, la Figure 7-b) pour le cycle rural et la Figure 7-c) sur autoroute à 130 km/h et à 150 km/h.

a)



b)



c)

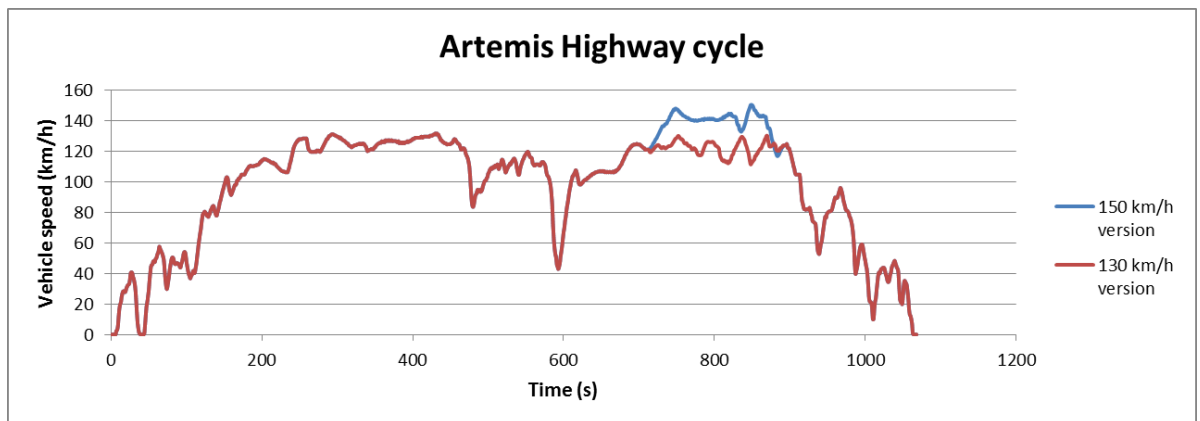


Figure 7 : Cycle Artemis [14]

Ces cycles ne sont pas utilisés par les autorités pour évaluer les émissions et la consommation mais seulement par les constructeurs pour évaluer les performances réelles de leurs véhicules. Cependant, un nouveau cycle WLTP (Harmonized Light Vehicle Test Procedure) est à l'étude et va être probablement mis en place pour la norme Euro 7.

4.2.2 Méthodes de génération de cycles de roulages :

Il existe plusieurs méthodes de génération de cycles de roulages. Par exemple le projet Artemis cité dans la partie précédente utilise une large base de données recueillie en plusieurs pays européens pour 3000 véhicules différents. Ci-dessous, une classification faite après l'analyse de ces données en les regroupant en 12 classes est présenté sur la Figure 8 portant sur le type de route et le trafic.

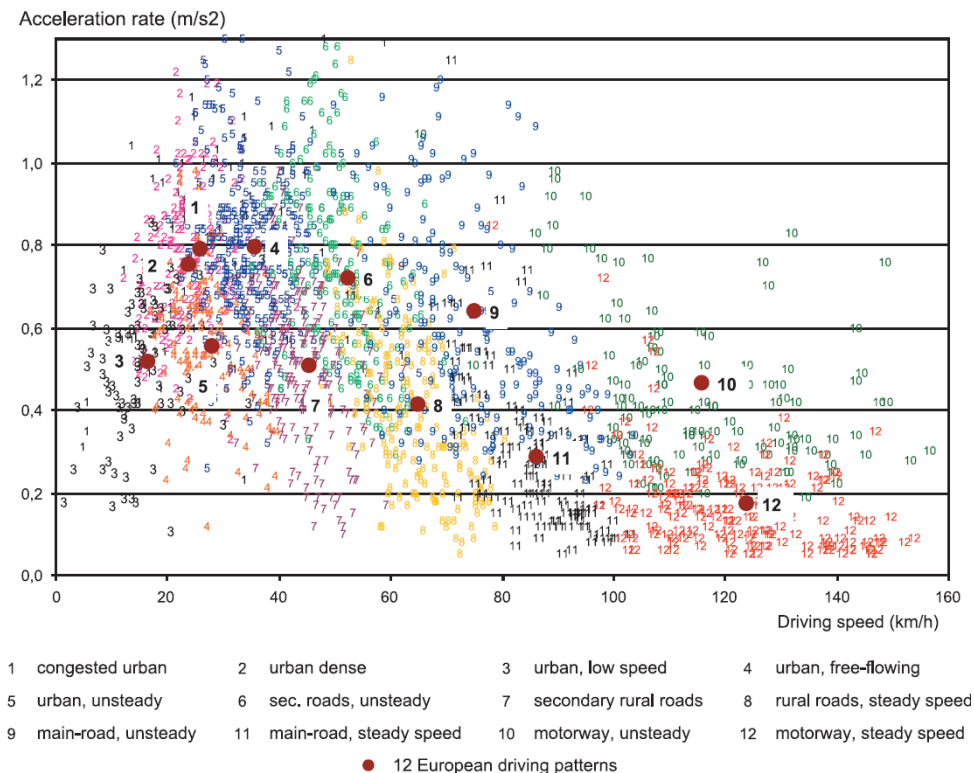


Figure 8 : 12 classes de conditions de conduite après observations des échantillons [1]

Il existe également une approche probabiliste pour modéliser le parcours d'un véhicule. L'étude [6] présente un modèle statistique d'une mission de camion à ordures qui réalise un parcours de collecte. Plusieurs variables telles que la distance entre deux maisons, la vitesse, le poids des ordures et l'inclinaison de la route ont été pris en compte pour ce modèle probabiliste. La Figure 9-a) présente les variations de vitesse du camion entre le point de départ et le point d'arrivée, et la Figure 9-b) montre la progression de la masse totale du camion au fur et à mesure de son avancement. La masse unitaire des ordures et la distance entre deux maisons suivent deux lois gaussiennes.

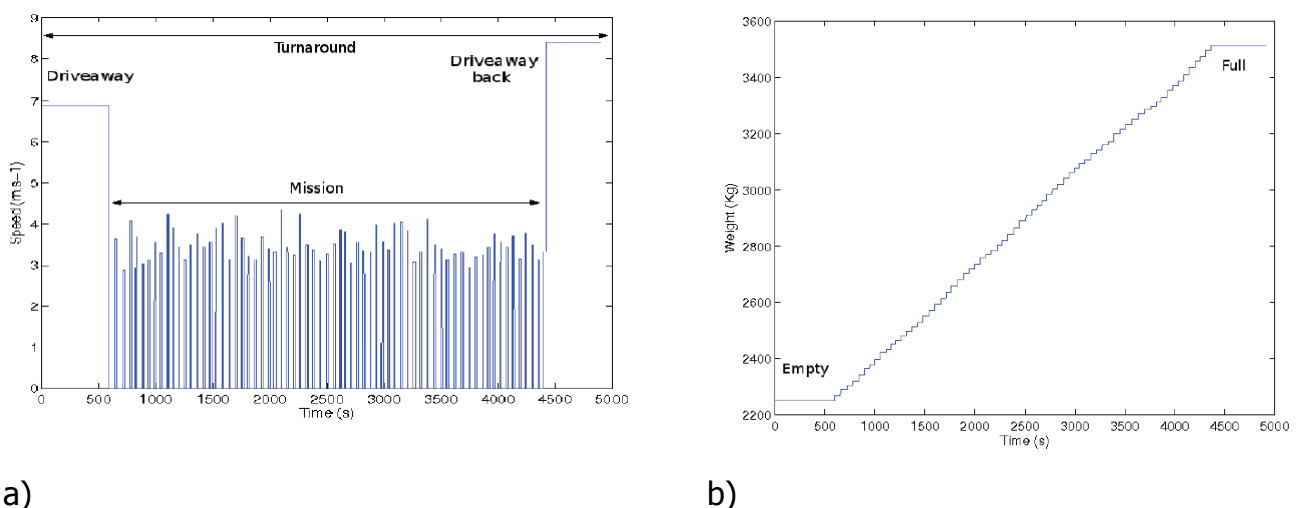


Figure 9 : Progression (Vitesse, Masse) d'un camion à ordures [6]

Le but de cette étude [6] était de dimensionner les besoins énergétiques d'un camion hybride, il était nécessaire de réaliser plusieurs essais pour afin de prendre en compte tous les cas de figures.

4.2.3 Conclusion de l'état de l'art

Ces méthodes de génération de cycles de roulage ont été conçues dans des conditions spécifiques, et sont donc à utiliser telles quelles. En revanche, le but de l'outil de génération de cycles est de prendre en compte plusieurs paramètres définis par l'utilisateur. Les méthodes citées précédemment sont donc inadaptées puisque ces paramètres ne peuvent pas être pris en considération. Il est nécessaire de développer d'autres méthodes de modélisation numérique déterministes ou probabilistes qui soient adaptées à plusieurs types de véhicules et de conditions externes.

5 PRESENTATION DES TRAVAUX DE R&D

5.1 Démarche de travail

Dans un premier temps, les travaux de recherche se baseront sur les mesures réalisées au cours des travaux précédents. Ces données seront mises à profit pour établir le profil de vitesses en fonction des paramètres choisis et pour élaborer une première approche / un premier modèle mathématique.

Afin de simplifier le problème, seule l'accélération maximale sera prise en compte comme paramètre interne au véhicule, car tous les autres paramètres (Puissance, poids, etc...) ont une influence directe sur l'accélération maximale.

Sur la base de ces analyses, une approche probabiliste est proposée et testée. Cette approche permet de générer des cycles de roulage cohérents avec les mesures réalisées pendant les tests de conduite. Toutefois, les premiers tests réalisés montrent qu'il est complexe d'intégrer les différents paramètres influents dans cette approche statistique. Il faut ainsi intégrer dans ce modèle des conditions supplémentaires pour supprimer les cas non cohérents avec les données d'entrée (un stop peut en effet être décalé par la génération probabiliste), ce qui augmente le temps de calcul. Pour cette raison, une génération procédurale est ensuite testée.

La génération procédurale se repose sur un modèle de poursuite, utilisé notamment dans l'étude microscopique du trafic automobile. Ce modèle a l'avantage de pouvoir intégrer plusieurs paramètres influents sur la vitesse d'un véhicule. Afin de rendre ce modèle plus proche de la réalité, d'autres événements aléatoires vont s'ajouter par la suite. Ainsi les paramètres relatifs aux conditions extérieures (Vitesses limites, Stops, obstacles, etc.) sont intégrés successivement.

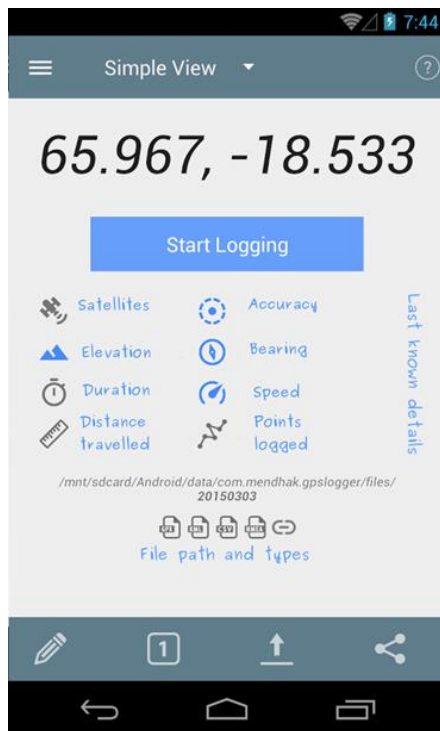
5.2 Moyens utilisés

Pour la prise de mesures, et afin de se prémunir de tout dysfonctionnement ou coupures de données prélevées, deux systèmes de prélèvement ont été choisis : le GPS (*Global Positioning System*) et OBD (*On Board Diagnostics*). Les données montrent que les valeurs recueillies ne sont pas identiques mais très proches, surtout en vitesse constante, et présentent un retard lors d'une transition de vitesse. Mais les différences ne sont pas au point d'influer les résultats puisque une seule méthode est choisie pour traiter les données à chaque fois.

5.2.1 GPS (Global Positioning System)

La première méthode qui est la plus simple à implémenter nécessite un récepteur GPS et un logiciel capable de traduire les fichiers GPX qui proviennent du récepteur GPS en des fichiers CSV. Ces fichiers CSV contiennent des tableaux d'informations sur la position, le temps, la distance parcourue et la vitesse. Les dernières générations de téléphones Android contiennent

des puces GPS qui sont assez précises et stables pour être utilisées lors des campagnes d'essais. La Figure 10 : GPS Logger sur Android et Exemple de Fichier généré par GPS Track Viewer présente un logiciel capable de générer des fichiers GPX avec un échantillonnage défini à l'avance, ainsi que les paramètres à inclure dans l'enregistrement.



a)

GPS Track Viewer - 20160425.gpx									
Fichier Edition Outils Options Aide									
Trackpoints Waypoints									
	Id	Latitude	Longitude	Altitude	Date	Heure	Distance	Vitesse	Cap
0	45.7265492	4.9249673	239	25/04/16	15:01:34				
1	45.7265701	4.9249601	242	25/04/16	15:01:35		2.389	8.600	346.5
2	45.7265854	4.9249785	247	25/04/16	15:01:36		2.214	7.971	40.0
3	45.7265869	4.9249810	252	25/04/16	15:01:37		0.261	0.939	47.6
4	45.7265889	4.9249817	251	25/04/16	15:01:38		0.229	0.823	14.6
5	45.7265929	4.9249828	254	25/04/16	15:01:39		0.447	1.610	10.7
6	45.7265925	4.9249785	254	25/04/16	15:01:39		0.332	0.000	262.1
7	45.7265923	4.9249764	255	25/04/16	15:01:40		0.166	0.599	262.4
8	45.7265919	4.9249731	254	25/04/16	15:01:41		0.263	0.946	259.8
9	45.7265922	4.9249691	254	25/04/16	15:01:42		0.313	1.127	276.3
10	45.7265919	4.9249648	254	25/04/16	15:01:43		0.335	1.206	265.0
11	45.7265919	4.9249643	254	25/04/16	15:01:44		0.036	0.130	272.3
12	45.7265936	4.9249680	254	25/04/16	15:01:45		0.341	1.227	56.3
13	45.7266003	4.9249661	254	25/04/16	15:01:46		0.754	2.714	349.2
14	45.7266200	4.9249461	254	25/04/16	15:01:47		2.688	9.676	324.8
15	45.7266380	4.9249039	254	25/04/16	15:01:48		3.837	13.812	301.3
16	45.7266450	4.9248469	254	25/04/16	15:01:49		4.489	16.159	279.9
17	45.7266442	4.9247869	252	25/04/16	15:01:50		4.653	16.750	268.9
18	45.7266347	4.9247254	252	25/04/16	15:01:51		4.889	17.600	257.5

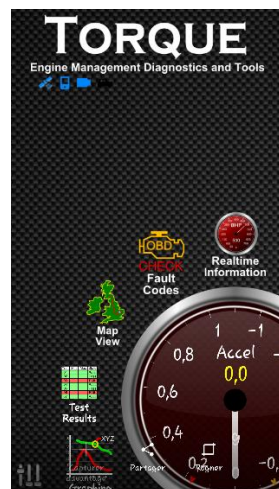
Départ		Arrivée		Distance (m)	
te	25/04/16	25/04/16		2808.755	
ure	15:01:34	15:08:39		Durée	00:07:05
itude (m)	239	255		Vitesse moy (km/h)	23.792
Altitude min (m)		239	Dénivelé + (m)		57
Altitude max (m)		261	Dénivelé - (m)		42
Altitude moy (m)		257			

b)

Figure 10 : GPS Logger sur Android et Exemple de Fichier généré par GPS Track Viewer

5.2.2 OBD (On Board Diagnostics) :

La deuxième méthode consiste à prélever les données sur la vitesse directement sur le véhicule. Pour cela un module OBD est utilisé à l'aide d'une application qui établit une connexion Bluetooth entre le module et le téléphone Android. Cette application (Figure 11 : Torque Pro sur Android et module Bluetooth OBD) permet l'enregistrement de plusieurs paramètres du véhicule tels que la consommation, le régime moteur, la température interne et la vitesse du véhicule. Comme pour la méthode GPS, ces données seront traitées par un Script qui va permettre d'extraire les vitesses et calculer les accélérations et les distances parcourues.



a)



b)

Figure 11 : Torque Pro sur Android et module Bluetooth OBD

5.2.3 Logiciels utilisés :

Les parties d'extraction et d'analyse des données sont effectuées principalement avec les logiciels Matlab et Scilab. Ce sont deux logiciels de calcul et de programmation, complets et faciles d'utilisation. Ces deux outils ont l'avantage d'inclure des outils graphiques et interactifs de présentation et de modifications des données. Scilab qui est développé par l'INRIA (institut national de recherche en informatique et en automatique) est un équivalent gratuit de Matlab dont la syntaxe diffère un peu de celui-ci.

La partie implémentation de l'outil final est réalisée en langage C afin d'être adapté aux autres outils de modélisation de comportement de véhicules et de consommation déjà réalisés (MTC-Sim).

5.3 Description des travaux réalisés

5.3.1 Acquisition des données

5.3.1.1 Campagnes d'essais

Ce projet s'appuie en grande partie sur les données recueillies lors des campagnes d'essais. Ces données sont très importantes car elles interviennent à la fois lors de la conception du générateur de cycles mais aussi lors de la validation de celui-ci. L'environnement et les paramètres des essais seront pris en compte en fonction des besoins progressifs.

Une campagne d'essais a été réalisée en 2015 lors d'une étude [5] qui porte sur le même sujet. Il s'agit d'un parcours de 14 km environ, qui contient plusieurs types de routes (rues, autoroutes, départementales,...). 4 conducteurs différents ont réalisé chacun 4 fois le même parcours à des heures différentes de la journée.

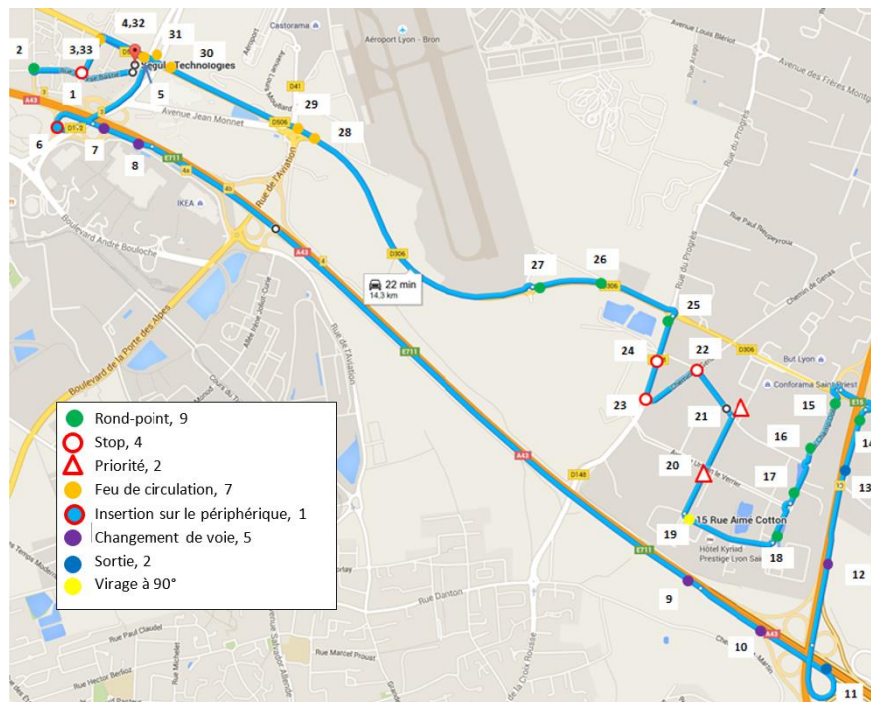


Figure 12 : Parcours de 14 km – Campagne d’essais 2015

La Figure 12 présente le parcours réalisé et les différents obstacles rencontrés. La multitude des obstacles doit permettre de comprendre le comportement d’un véhicule (ici il s’agit d’une Renault Clio) face à chaque type d’obstacles. Les données ont été prélevées grâce à une Prise OBD (On Board Diagnostics) installée dans le véhicule avec un taux d’échantillonnage de 0.1 seconde.

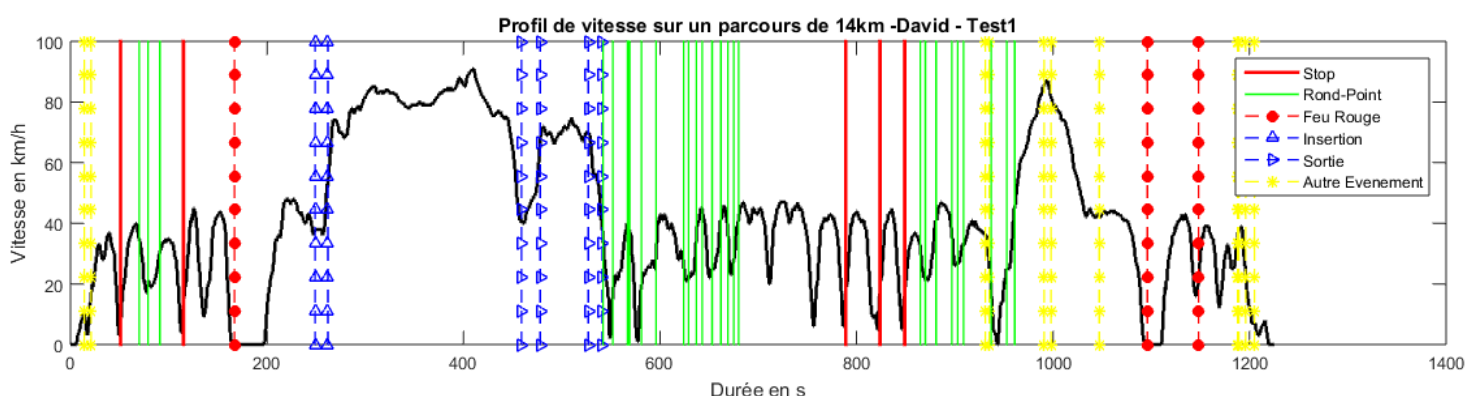


Figure 13 : Profil de vitesse en fonction du temps – Parcours de 14 km

Après traitement des données de mesures de vitesse instantanée, un profil de vitesse tel que celui de la Figure 13 est obtenu. Il s’accompagne de données relatives aux obstacles. Ces données seront utilisées dans la suite de cette étude afin de générer d’autres profils de vitesses dans des conditions fixées arbitrairement par l’utilisateur.

Les méthodes qui vont être utilisées au cours de cette étude sont principalement statistiques et probabilistes, d'où l'intérêt d'avoir une base de données assez grande pour couvrir la majorité des cas possibles et générer des modèles qui s'approchent le plus à la réalité. La campagne d'essai réalisée en 2015 ne contient pas assez de données pour répondre aux besoins des méthodes statistiques et probabilistes. Pour cela, de nouveaux essais sont réalisés. Comme précédemment, ce sont plusieurs tests, effectués par différents conducteurs sur un même parcours. Cette fois, le parcours sélectionné est plus court afin d'augmenter le nombre d'essais et d'avoir ainsi une multitude de données sur un même parcours.



Figure 14 : Parcours de 2,9 km présentant des conditions de conduite urbaines

La Figure 14 présente le trajet de 2.9km qui est composé comme décrit dans le Tableau 1 suivant :

Tableau 1 : Tronçons du circuit

TRONÇON	OBSTACLES	DISTANCE
1 – 2	Stop - Stop	200 m
2 – 3	Stop - Feux	190 m
3 – 4	Feux - Feux	220 m
4 – 5	Feux - Insertion	230 m
5 – 6	Insertion - Sortie	380 m
6 – 7	Sortie – Rond-point	100 m
7 – 8	Rond-point – Stop	220 m
8 – 9	Stop – Feux	190 m
9 - 10	Feux – Cédez-le-passage	350 m
10 – 11	Cédez-le-passage - Rond-point	270 m
11 – 12	Rond-point – Stop	220 m
12 – 13	Stop - Stop	200 m

Ce parcours est réalisé par 6 conducteurs différents en utilisant deux véhicules différents lors de 3 campagnes d'essais. Les conditions de circulation sont semblables pour toutes ces mesures (Trafic très fluide). Le Tableau 2 ci-dessous présente le nombre d'essais menés par les différents conducteurs en utilisant deux véhicules :

Tableau 2 : Répartitions des essais par conducteur et véhicule

CONDUCTEUR	RENAULT CLIO 4	PEUGEOT 208
CONDUCTEUR 1	10	5
CONDUCTEUR 2	10	5
CONDUCTEUR 3	10	5
CONDUCTEUR 4	5	5
CONDUCTEUR 5	5	5
CONDUCTEUR 6	5	0

5.3.1.2 Extraction des données collectées

Il existe deux façons de présenter les profils de vitesse, soit en présentant la vitesse en fonction du temps (Figure 15) ou bien en fonction la distance parcourue (Figure 16). Chacune de ces représentations possède des avantages et des inconvénients. Par exemple, lorsque la vitesse est présentée en fonction du temps, les temps d'arrêts sont visibles sur les courbes mais il est impossible de superposer différents courbes car les distances parcourues et les temps effectués ne sont pas identiques.

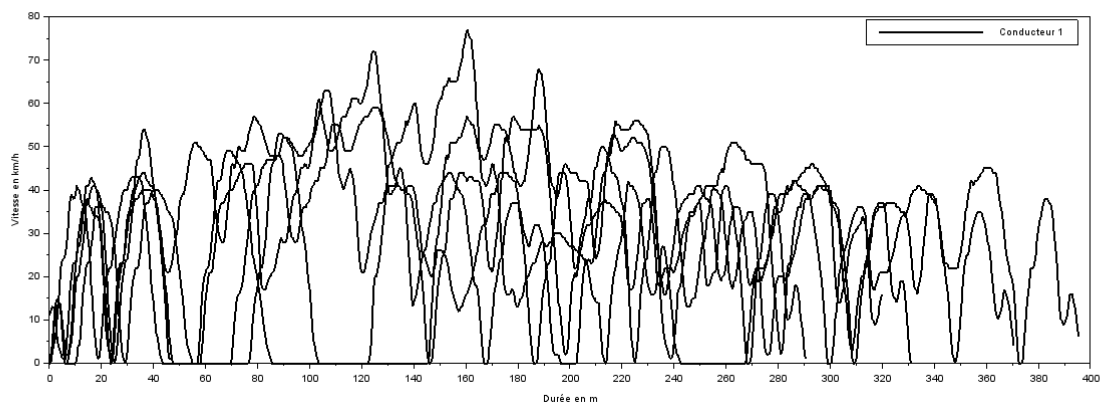


Figure 15 : Présentation de la vitesse mesurée d'un même conducteur en fonction du temps

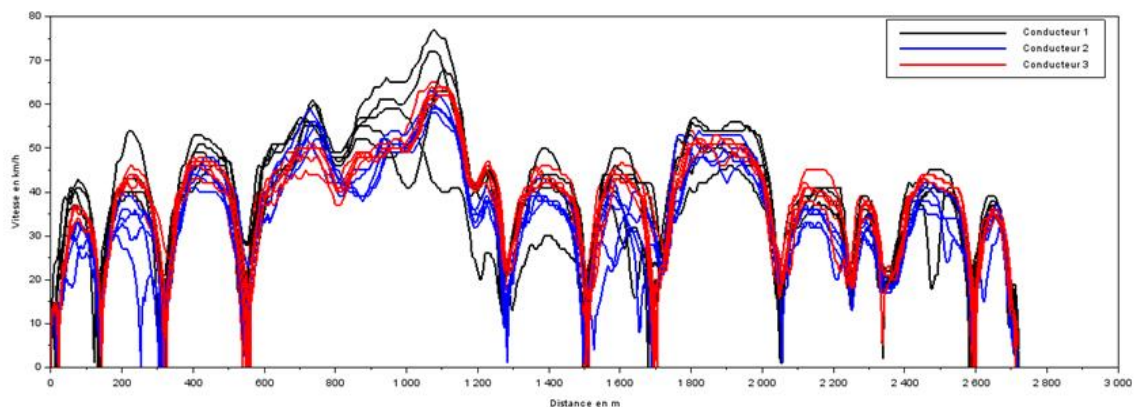


Figure 16 : Présentation de la vitesse mesurée de 3 conducteurs en fonction de la distance

Cependant, les présentations de la vitesse en fonction de la distance peuvent très bien être superposées afin de comparer les différents cycles, mais la notion du temps disparaît, il devient impossible de connaître visuellement les temps d'arrêt ou de changement de vitesse.

Il est donc nécessaire de garder les deux présentations, et les utiliser en fonction des paramètres étudiés.

5.3.2 Analyse des données

5.3.2.1 Comparaison Conducteurs

L'intérêt d'avoir plusieurs conducteurs pour le même véhicule est de mesurer l'impact qu'a le type de conduite sur les profils de vitesses. Les figures suivantes présentent l'analyse faite sur les profils de 3 conducteurs réalisant chacun 10 fois le même parcours. La moyenne et l'écart-type sont calculés pour chaque position et sont présentés dans la même figure. Les cycles obtenus par les conducteurs 1,2 et 3 sont présentés sur les figures ci-dessous (Figure 17 à Figure 19). Les premières mesures de chaque conducteur ne sont pas présentées car elles correspondent à des phases de familiarisation avec le véhicule.

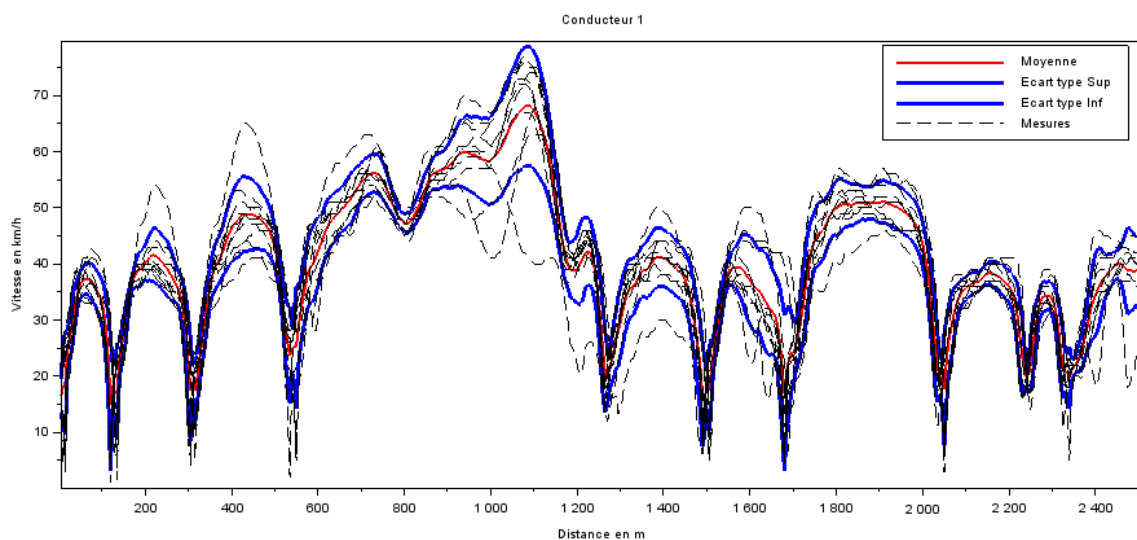


Figure 17 : Moyenne et Ecart-type du conducteur 1 lors de 10 prises de mesures

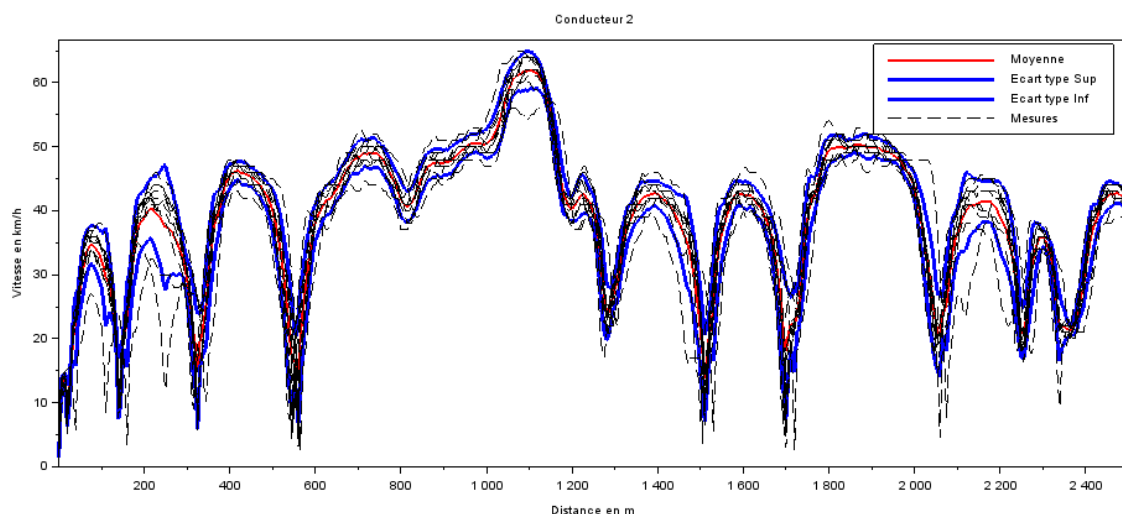


Figure 18 : Moyenne et Ecart-type du conducteur 2 lors de 10 prises de mesures

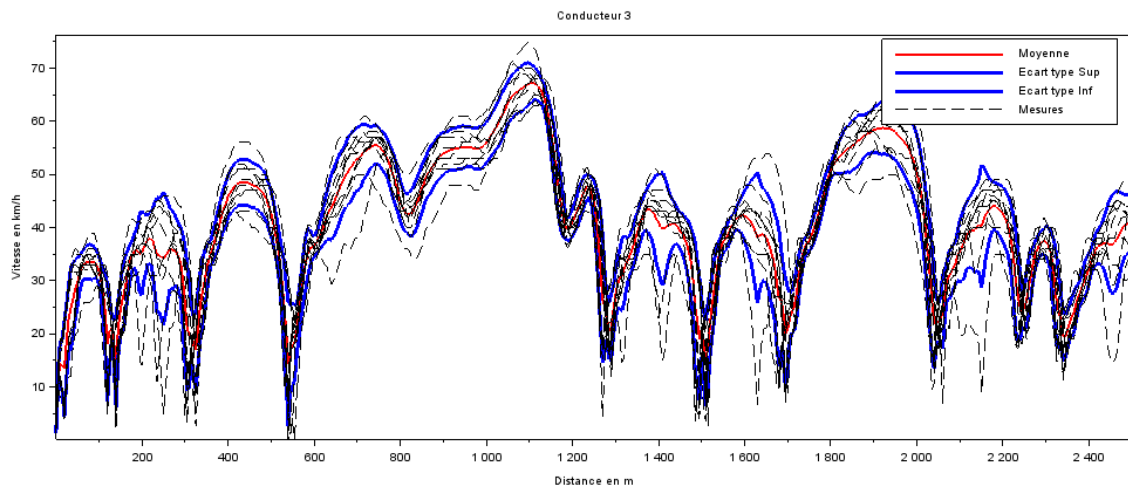


Figure 19 : Moyenne et Ecart-type du conducteur 3 lors de 10 prises de mesures

Ces 3 figures présentent des moyennes semblables ce qui montre que la tendance générale est la même pour tous les conducteurs. Cependant, même quand il s'agit du même conducteur, certains profils montrent des disparités remarquables notamment à l'approche des stops, et à l'accélération, ce qui est confirmé par les courbes d'écart-type. Les cycles obtenus par le conducteur 1 (Figure 17) présentent des courbes très différentes d'un essai à l'autre, ce qui donne lieu à des écarts-type de plus de 10 % de la valeur de la vitesse maximale, cela peut être interprété par un type de conduite « agressive ».

Les essais effectués par le conducteur 2 (Figure 18) sont très semblables et ne présentent pas une grande disparité, d'où une courbe d'écart-type relativement faible.

Quant au conducteur 3 (Figure 19), les courbes obtenues présentent une disparité jugée normale puisque c'est également le cas des conducteurs 4 et 5 (Figure 38 et Figure 39 en Annexe).

Ces différences de types de conduite peuvent être intégrées à l'outil de génération de cycles comme des paramètres qui modifient l'accélération du véhicule et le temps de réponse face aux obstacles (un conducteur plus calme réagira tôt face un obstacle et freinera plus longtemps et plus doucement).

En conclusion, un même conducteur peut avoir plusieurs comportements différents en réalisant le même parcours et dans les mêmes conditions. Les conducteurs qui conduisent avec une vitesse modérée ont une tendance à avoir le même comportement lors des différents essais, comme c'est le cas pour le conducteur 2. Cependant, les conducteurs plus nerveux réalisent des cycles qui sont loin d'être identiques même sous les mêmes conditions.

5.3.2.2 Comparaisons Véhicules

Afin de voir l'impact du type de véhicules sur les profils de vitesse, 2 véhicules ont été utilisés. Une voiture Renault Clio IV et une voiture Peugeot 208. Ces 2 véhicules présentent les caractéristiques suivantes, telles qu'elles figurent sur les cartes grises :

Caractéristiques	Renault ClioIV 1.5dCi 75cv	PEUGEOT 208 1.4 HDI FAP 68
<i>Dimensions [données Constructeur]:</i>		
Longueur	4.06 m	3.96 m
Largeur	1.73 m	1,73 m
Hauteur	1.44 m	1,46 m
<i>Caractéristiques moteur :</i>		
Moteur	4 cylindres, 8 soupapes	4 cylindres, 8 soupapes
Cylindrée	1461 cm ³	1397 cm ³
Puissance	75 ch à 4000 trs/min	68 ch à 4000 trs/min
Couple	200 Nm à 1750 trs/min	160 Nm à 1750 trs/min
Puissance fiscale	4 CV	4 CV
Carburant	Diesel	Diesel
Boîte de vitesse	Mécanique 5 Rapports	Mécanique 5 Rapports
<i>Performances/Consommation :</i>		
Vitesse maxi	168 km/h	163 km/h
0 à 100 km/h	14,3 s	13,5 s
Consommation mixte	3,6l / 100 km	3,8l / 100 km
Emission de CO₂	85 g/km	98 g/km

Ces deux véhicules de type « voiture citadine » ont des caractéristiques très proches, sauf pour la motorisation. Renault annonce un couple de 200 Nm pour la Clio IV contre 160 Nm pour la Peugeot 208, et une puissance de 75 ch contre 68 ch. Ceci a un impact sur l'accélération qui sera plus importante pour le premier véhicule.

La Figure 20 : Profils du conducteur 2 en conduisant CLIO 4 et Peugeot 208 illustre 5 essais du conducteur 2 (dont le comportement est le plus régulier) pour chaque véhicule. Ces courbes montrent que le comportement du conducteur est similaire. En effet, les courbes rouges ne sont pas systématiquement au-dessus des courbes de couleur noire.

Ceci est confirmé également par la courbe d'accélération (Figure 21 : Profils d'accélération du conducteur 2 en conduisant CLIO 4 et Peugeot 208, qui ne présente pas d'écart important entre les courbes du premier et du deuxième véhicule. C'est également le cas pour les autres conducteurs (voir Figure 40 : Profils d'accélération du conducteur 1 en conduisant CLIO 4 et Peugeot 208 et Figure 41 : Profils d'accélération du conducteur 3 en conduisant CLIO 4 et Peugeot 208 en annexes).

En conclusion, après une phase de familiarisation avec le véhicule, les accélérations dépendent principalement de la nature de conduite de l'utilisateur.

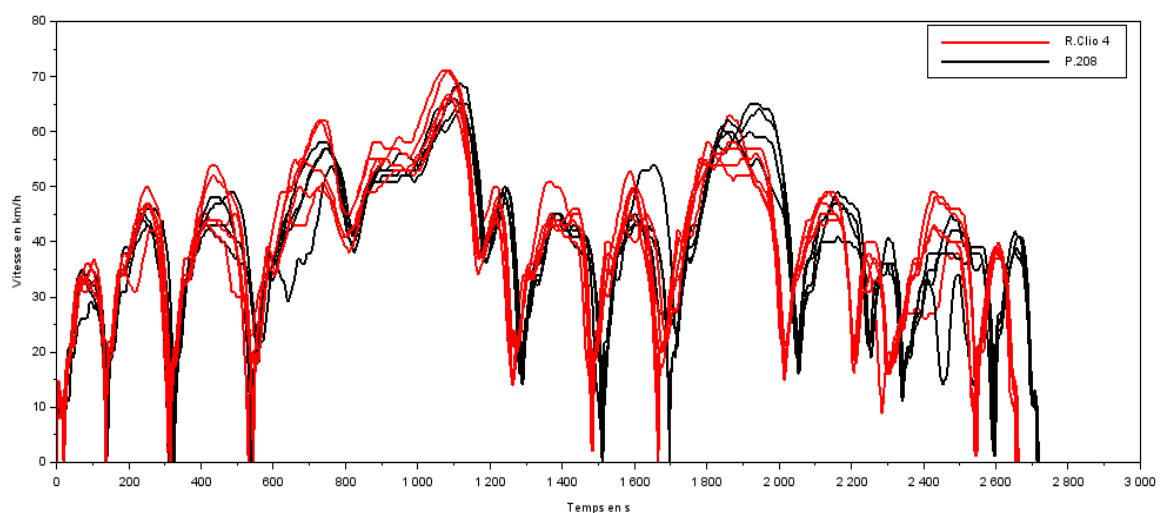


Figure 20 : Profils du conducteur 2 en conduisant CLIO 4 et Peugeot 208

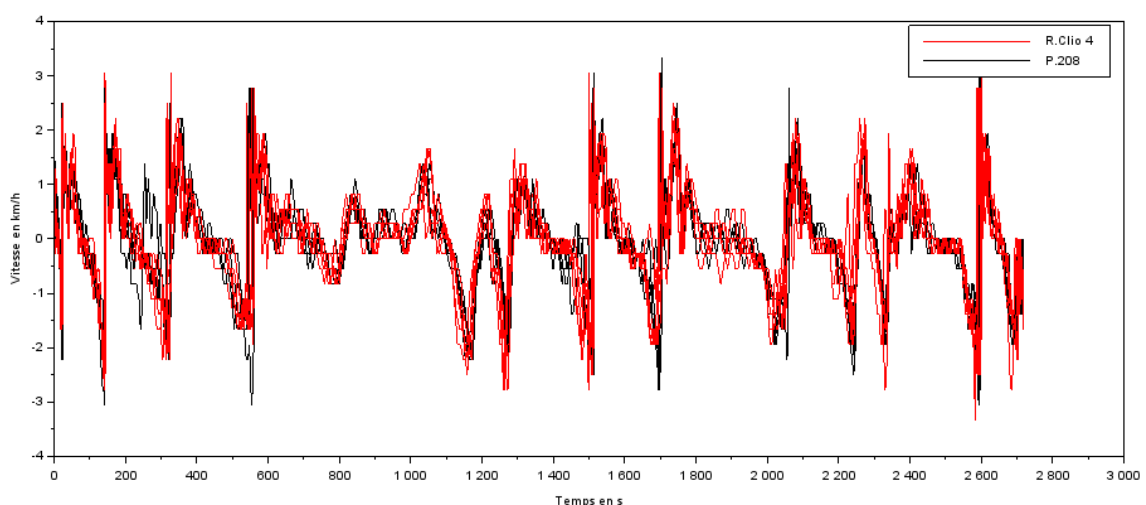


Figure 21 : Profils d'accélération du conducteur 2 en conduisant CLIO 4 et Peugeot 208

5.3.3 Chaînes de Markov

5.3.3.1 Définition

Une chaîne de Markov est un processus aléatoire portant sur un nombre fini d'états, avec des probabilités de transition sans mémoire, c'est-à-dire que la probabilité de l'état futur $t+1$ ne dépend que de l'état passé t . La chaîne de Markov permet à partir d'une chaîne existante de générer plusieurs chaînes qui ont les mêmes caractéristiques et la même dynamique de la chaîne d'origine.

$$P(X_{n+1} = j | X_0 = i_0, X_1 = i_1, \dots, X_{n-1} = i_{n-1}, X_n = i) = P(X_{n+1} = j | X_n = i)$$

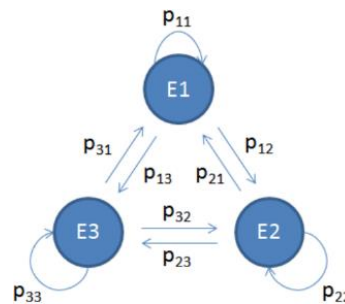


Figure 22 : principe de la chaîne de Markov, transitions entre trois états

La Figure 22 présente le principe des chaînes de Markov. A partir d'un état initial, et à chaque pas de temps, les autres états sont parcourus en fonction des probabilités de passages respectives, ces probabilités sont rassemblées dans une matrice de transition.

Une matrice de transition est une matrice qui contient toutes les informations nécessaires afin de générer un processus aléatoire. C'est une matrice carrée. Chaque élément est indexé par sa ligne i et sa colonne j , qui présente la probabilité de passer d'un état i à un état j . La somme des lignes de cette matrice est donc égale à 1.

$$P = \begin{pmatrix} 1/2 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 1/4 & 1/2 & 1/4 & 0 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 & 1/2 \end{pmatrix}$$

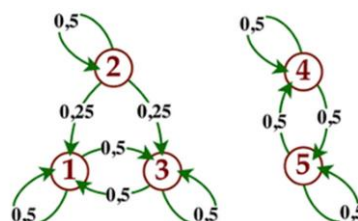


Figure 23 : Exemple d'une chaîne de Markov et sa matrice de transition

La Figure 23 illustre les deux présentations possibles d'une chaîne de Markov, la première sous forme de matrice et la deuxième sous forme de schéma. Cet exemple, contient deux classes d'états : $\{1, 2, 3\}$ et $\{4, 5\}$ car aucune possibilité de passage entre ces deux états n'est possible. Il s'agit de classes absorbantes.

5.3.3.2 Classification des états

Afin d'appliquer les chaînes de Markov aux cycles de roulage, une classification des états est nécessaire. Un état donné contient deux valeurs, une pour la vitesse et l'autre pour l'accélération. Bien que l'accélération puisse être calculée directement à partir de la vitesse, il est nécessaire d'inclure la vitesse et l'accélération dans la définition d'un état, car il existe une corrélation entre les deux variables. En effet, dans les mesures, la valeur de l'accélération a tendance à décroître lorsque la vitesse devient importante, et à croître lors des faibles vitesses.

Les mesures de vitesse recueillies dans un milieu urbain incluant des routes limitées à 80 km/h, et les accélérations calculées sont compris entre -5 m/s^2 et 5 m/s^2 . On choisissant un pas convenable pour chaque variable on peut construire un ensemble d'état, par exemple :

- Vitesses: $0 < V < 40 \text{ m/s}$, $dV = 1 \text{ m/s}$.
- Accélérations : $-5 < A < 5 \text{ m/s}^2$, $dA = 0,1 \text{ m/s}^2$

Dans l'exemple précédent, ils existent 40 valeurs de vitesses possibles et 100 valeurs d'accélération. Ce qui porte le nombre total d'états à 4000.

La matrice de transition est estimée à partir des données mesurées. A chaque pas de temps, le terme de la matrice qui correspond au passage de l'état actuel à l'état futur est incrémenté de 1. A la fin du processus, une matrice de transition respectant les conditions de chaînes de Markov est obtenue en divisant chaque élément par la somme de la ligne correspondante, et cela afin de garder la somme de chaque ligne de la matrice égale à 1, comme suit :

$$\text{Pour tout } i \text{ et } j : M(i, j) = \frac{M(i, j)}{N_i} \text{ avec } N_i = \sum_{j=1}^n M(i, j)$$

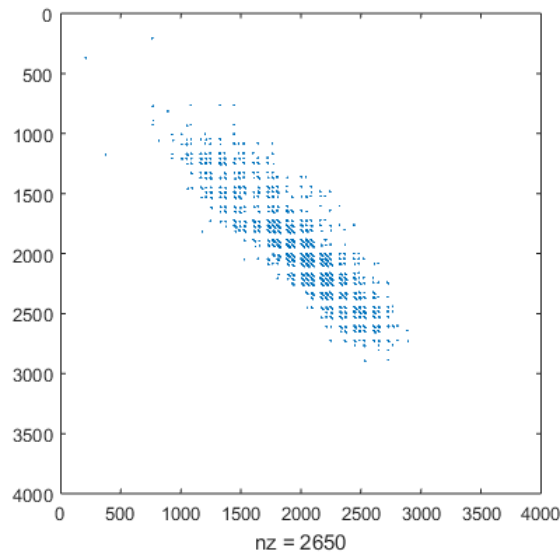


Figure 24 : Matrice de Transition estimé grâce aux données mesurées

La Figure 24 ci-dessus présente une matrice de transition estimée grâce aux données d'un seul conducteur sur le parcours de 14 km. C'est une figure générée par la fonction *Spy* de matlab, le nombre *nz* présente le nombre de points non nul de la matrice. Les 4000 états ne sont donc pas tous présents dans la matrice. La plupart des transitions se font sur la « zone diagonale » de la matrice ce qui assure un comportement continu lors des processus générés par la suite.

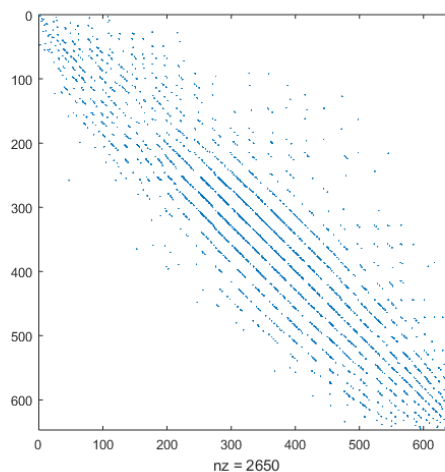
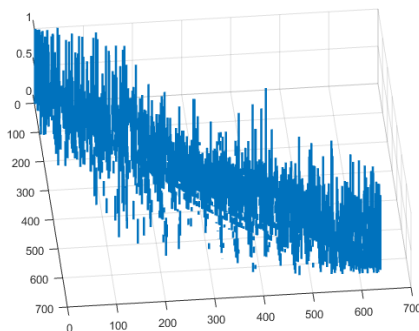


Figure 25 : Matrice de transitions après élimination des états non-existants

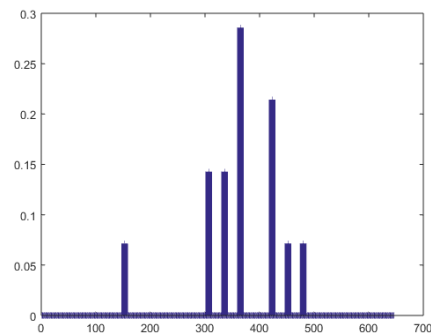
La Figure 25 ci-dessus présente la même matrice mais dans laquelle les états et les transitions non-existants ne sont pas présentés. Sur la Figure 25 : Matrice de transitions après élimination des états non-existants , le nombre d'états possibles est passé de 4000 états à un peu plus de 600.

5.3.3.3 Algorithmes

La simulation d'un profil de vitesse par les chaînes de Markov nécessite la connaissance préalable d'un état initial ainsi que d'une matrice de transition et aussi un temps final. L'état initial (Accélération et vitesse) est utilisé comme point de départ de la simulation, le passage d'un état à un autre suit la loi décrite par les éléments de la ligne correspondante de la matrice de transition.



a)



b)

Figure 26 : La matrice de transition et les valeurs d'une ligne de cette matrice

Sur la Figure 26 : La matrice de transition et les valeurs d'une ligne de cette matrice a) la matrice de transitions est présentée en perspective afin de faire apparaître les différentes valeurs. Sur la figure b), une seule ligne de cette matrice est présentée.

En calcul probabiliste, la fonction de répartition F d'une loi aléatoire est la fonction qui à chaque variable X associe :

$$F_X(x) = P (X < x)$$

Cette fonction est facile à estimer dans ce cas (cas discret), car elle est calculée en cumulant les valeurs de probabilités précédentes. F est donc une fonction croissante comprise entre 0 et 1.

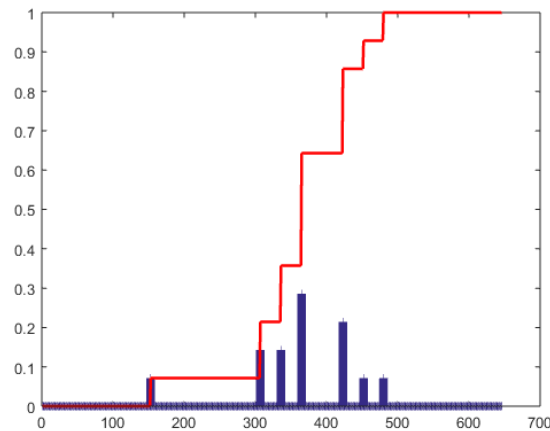
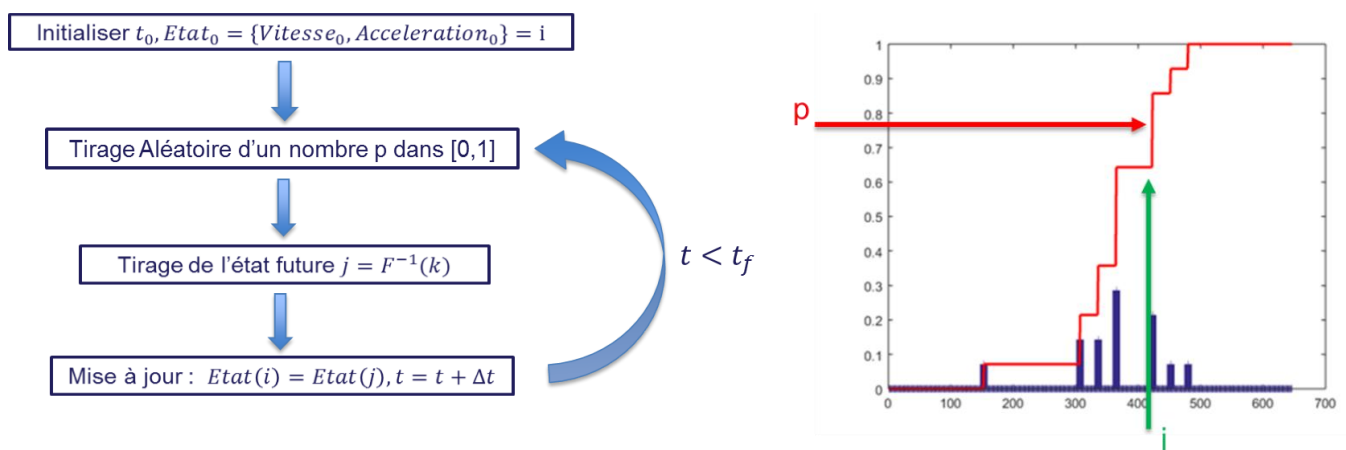


Figure 27 : Valeurs des probabilités des états futurs et fonction de répartition en rouge

Le graphe ci-dessus, Figure 27, montre une estimation d'une densité de probabilité en bleu, et sa fonction de répartition en rouge qui sera utilisé dans la génération en fonction des probabilités.

L'intérêt d'inclure cette notion dans cette étude est qu'il n'existe pas de moyen informatique simple et direct pour générer des variables aléatoires respectant des lois de probabilités discrètes. La particularité des fonctions de partitions est qu'elles suivent une loi uniforme en $[0,1]$. Un générateur de nombre uniforme sur $[0,1]$ existe dans la plupart des logiciels et compilateur informatique, d'où l'intérêt d'utiliser ces fonctions de répartitions.

La génération d'un processus de Markov obéit à l'algorithme de la Figure 28 suivante :



a)

b)

Figure 28 : Algorithme de génération de suite d'états

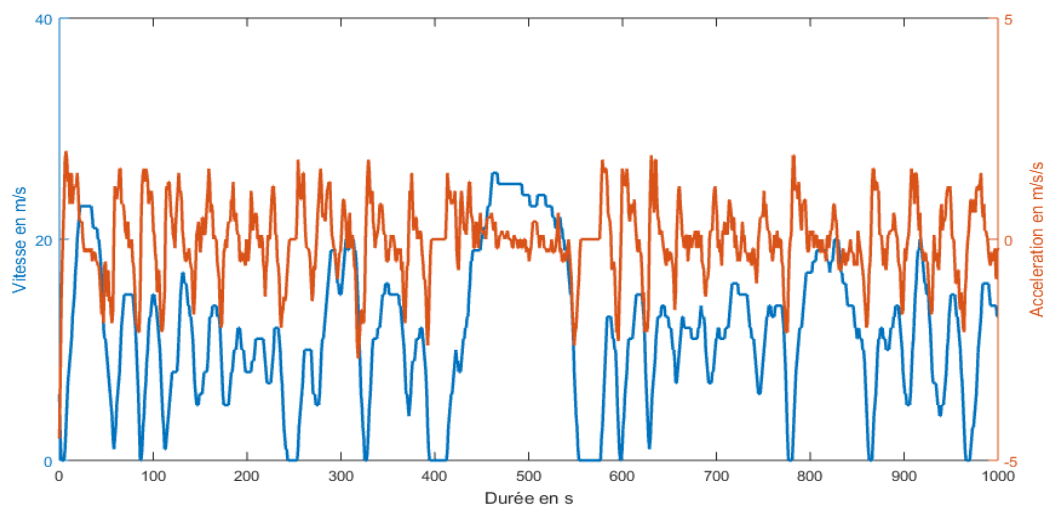
L'algorithme ci-dessus résume les étapes principales de génération de suite d'états. En effet, après avoir renseigné un état initial et un temps final, un nombre p est tiré d'une façon aléatoire sur $[0,1]$. L'antécédent j de ce nombre p par la fonction de répartition F est calculé par $j =$

$F^{-1}(p)$. Une fois l'état futur trouvé, le temps est incrémenté et la même opération est répétée jusqu'à atteindre le temps final, l'algorithme est alors terminé.

5.3.3.4 Résultats

L'algorithme précédent a permis de générer plusieurs cycles de vitesses différents. Les cycles générés ne peuvent être semblables même s'ils proviennent des mêmes données mesurées. Les deux cycles ci-dessous ont les mêmes caractéristiques (vitesses maximales, accélérations maximales,...) même si les obstacles virtuels qui sont à l'origine des baisses de vitesses ne se trouvent pas au même endroit. La difficulté est de fixer des contraintes d'arrêt sur certaines positions définies à l'avance.

a)



b)

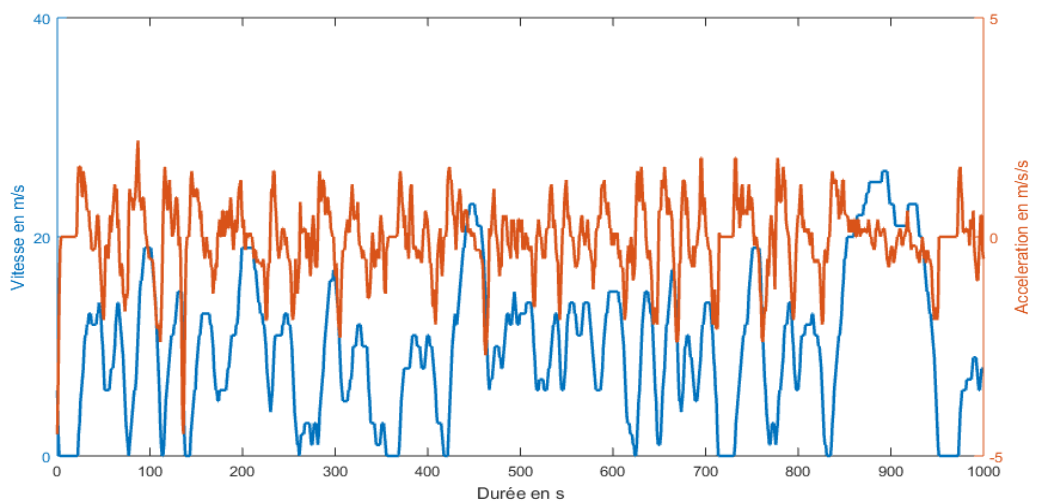
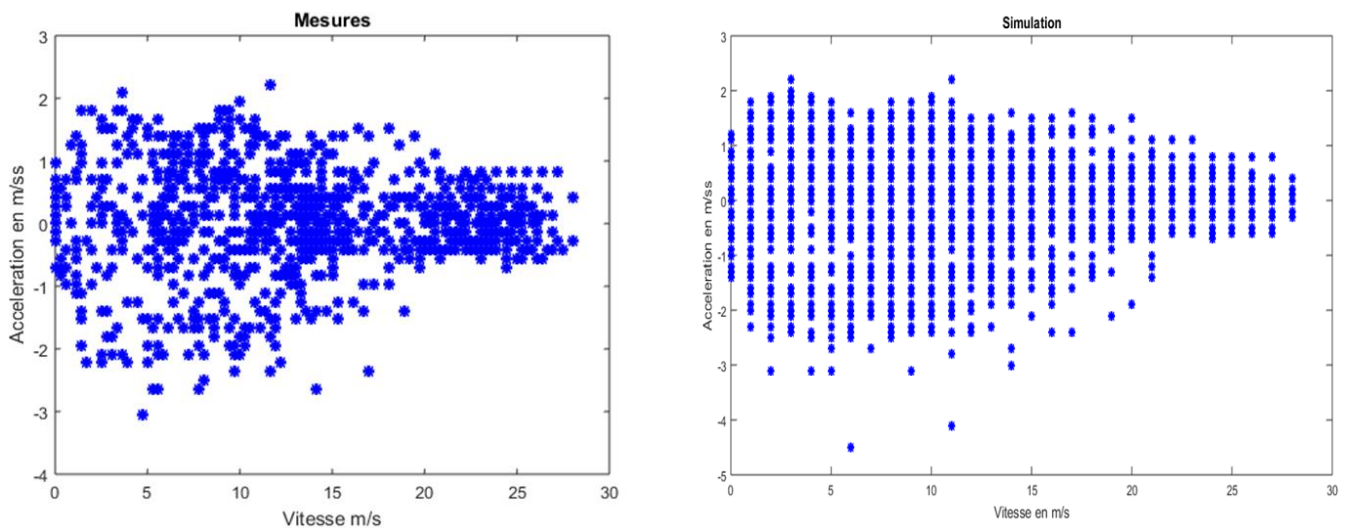


Figure 29 : Deux profils de vitesses générés avec les mêmes conditions initiales et la durée totale

5.3.3.5 Validation

Afin de valider les simulations précédentes, à savoir leur réalisme et respect des contraintes extérieures rencontrés lors des campagnes de mesures, les profils vitesses-accélérations mesurées et simulées peuvent être comparés comme sur la figure ci-dessous.



a)

b)

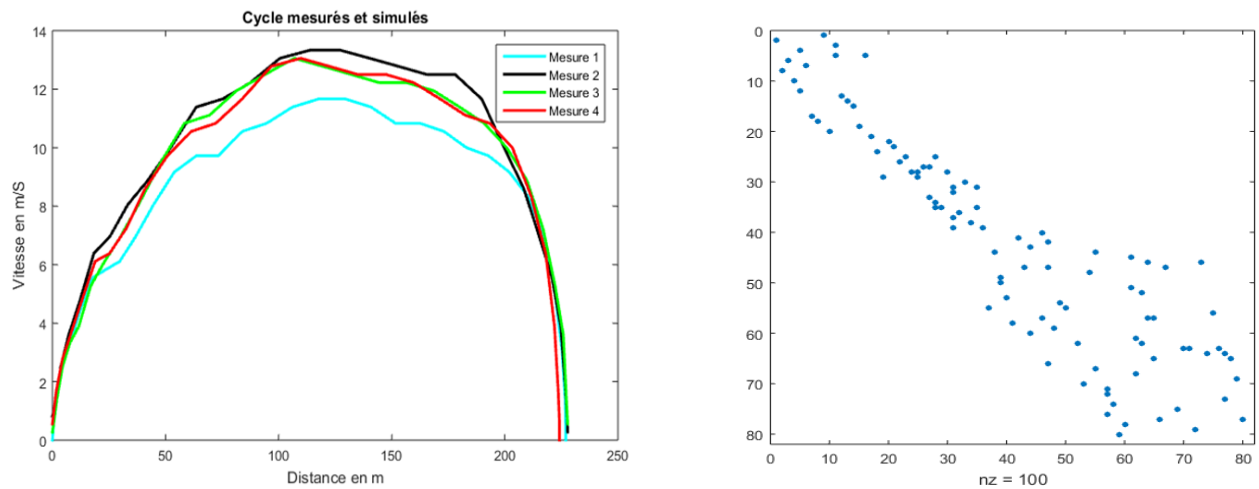
Figure 30 : Comparaison Profils accélération en fonction de la vitesse mesurées et simulés

En répétant les simulations plusieurs fois, des profils Accélération-Vitesse sont obtenus. Malgré la disparité observée surtout en faibles vitesses, l'allure générale de ces deux figures se ressemble, ce qui prouve la bonne adéquation entre les mesures et les simulations.

Cette comparaison montre également que la corrélation entre la vitesse et l'accélération a été conservée lors de la simulation par les chaînes de Markov.

5.3.3.6 Etude tronçon Stop-Stop

Afin de générer des cycles de vitesses entre 2 Stops successifs, la démarche précédente est appliquée sur 4 mesures effectuées entre 2 Stops. La Figure 31 : Matrice de Markov obtenu par 4 mesures entre 2 Stops illustre les mesures ainsi que la matrice de Markov générée.



a)

b)

Figure 31 : Matrice de Markov obtenu par 4 mesures entre 2 Stops

Les cycles obtenus sur la Figure 32 présentent les mêmes propriétés que les mesures, c'est-à-dire une phase d'accélération dans un premier temps puis une phase de décélération. Tous les cycles générés n'ont pas le même point d'arrêt final, ce qui rend cette méthode inadaptée à l'utilisation voulue.

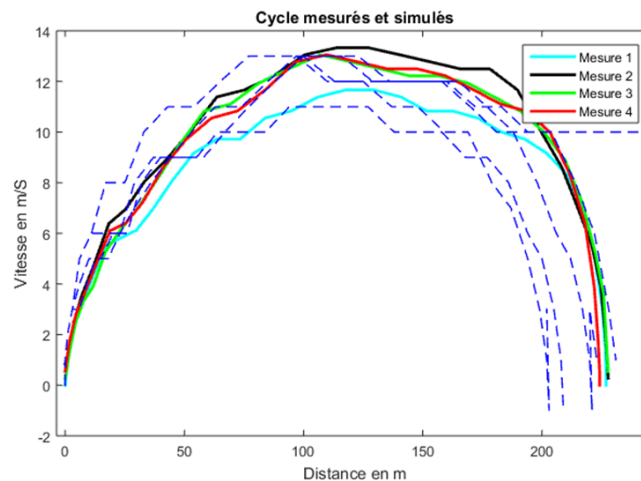


Figure 32 : Comparaison des mesures et des cycles générés

5.3.3.7 Conclusion

La méthode des chaînes de Markov génère des cycles réalistes, mais il reste difficile d'inclure d'autres paramètres tels que les obstacles du parcours et le profil du conducteur, car cela présentera un nombre très grand d'états possibles. Cela sera difficile à gérer au niveau de la mémoire de l'ordinateur.

Pour cette raison, la suite du projet se reposera sur une autre méthode qui est la génération procédurale.

5.3.4 Génération procédurale des cycles de roulage

5.3.4.1 Modèles de poursuite (Intelligent Driver Model)

Ils existent plusieurs modèles de profil de roulage de type poursuite. Il s'agit d'une modélisation à l'échelle microscopique du comportement d'un véhicule suiveur en fonction de la vitesse et la position du véhicule suivi. Parmi les modèles de poursuites les plus connus, le Modèle Gipps [8] (Figure 33 : Représentation de la vitesse calculée par le modèle de Gipps. Ce modèle contient deux expressions, une pour l'accélération et l'autre pour la décélération.

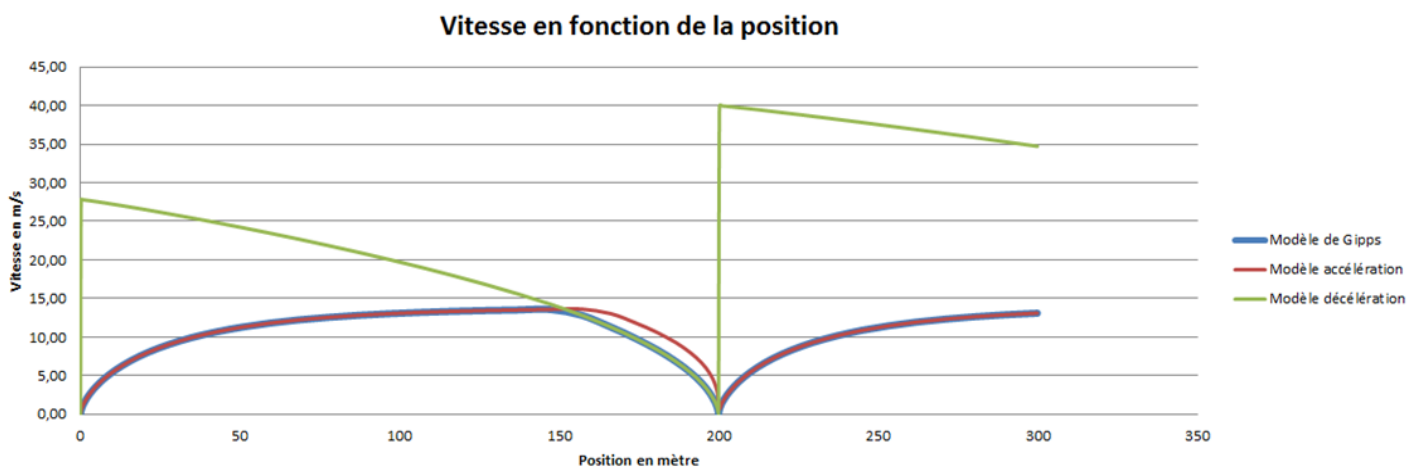


Figure 33 : Représentation de la vitesse calculée par le modèle de Gipps [7]

La présence de deux expressions différentes dans le modèle de Gipps ne permet pas son utilisation dans un générateur de profils de vitesse, car la continuité de la vitesse et de l'accélération n'est pas garantie.

The Intelligent Driver Model [7] est un modèle de roulage de type poursuite. Ce modèle permet de calculer l'accélération d'un véhicule à partir d'une seule expression, en fonction de sa vitesse désirée, de son accélération maximale, des distances de sécurité, et de la vitesse du véhicule suivi [5].

Equation générale :

$$v_{(t)} = a \left[1 - \left(\frac{v_{(t)}}{v_d} \right) \delta - \left(\frac{S_{(v_{(t)}, \Delta v)}^*}{s} \right)^2 \right]$$

- $v_{(t)}$: Accélération du véhicule (en m/s^2)
- a : Accélération désirée (en m/s^2)
- $v_{(t)}$: Vitesse du véhicule à l'instant t (en m/s)
- v_d : Vitesse désirée (en m/s)

- δ : coefficient dont la valeur est prise à 4 afin d'obtenir un comportement réaliste de l'accélération
- $s_{(v(t), \Delta v)}^* = s_0 + vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}}$: l'inter-distance idéale, avec :
 - s_0 correspondant à la distance limite à ne pas dépasser (en m),
 - T correspond au temps de réaction (en s),
 - Δv égale à la différence entre la vitesse du véhicule et celui du véhicule suivi (en m/s),
 - a et b représentent les valeurs absolues de l'accélération et de la décélération maximales (en m/s²)
- $s = x_{n-1}(t) - x_n(t) - l_{n-1}$: correspond à l'inter-distance (en m) entre le véhicule suivi (n-1) et le véhicule suiveur (n). l_{n-1} représente la longueur du véhicule suivi. » [5]

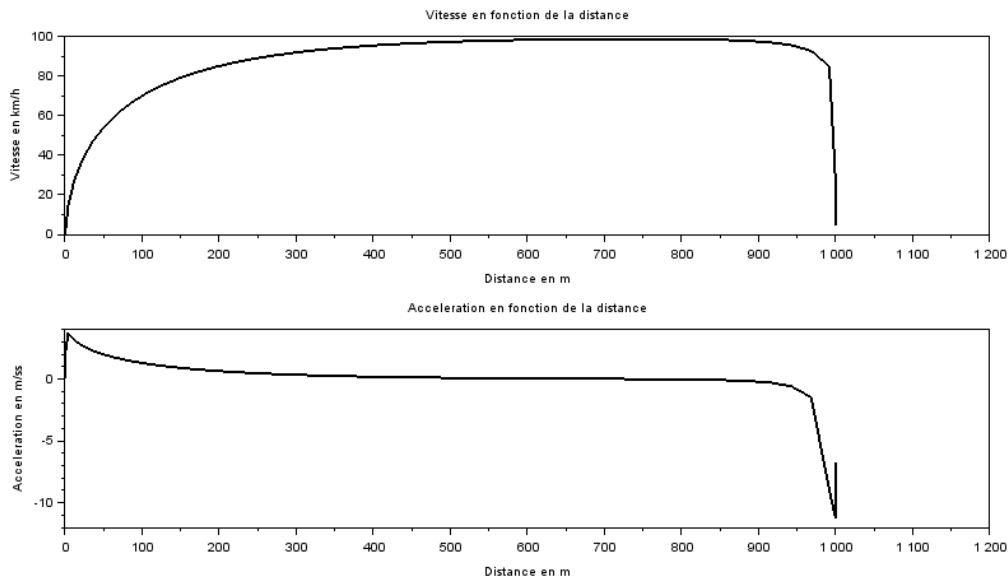


Figure 34 : Profil de vitesse et d'accélération générés par le modèle IDM

Afin de simuler le comportement du véhicule entre 2 Stops, la Figure 34 : Profil de vitesse et d'accélération générés par le modèle IDM est obtenue en fixant la vitesse du véhicule suivi à 0 ($\Delta v = v - 0$), et sa longueur $l_{n-1} = 0$. La position du véhicule suivi $x_{n-1}(t)$ est toujours fixe.

En répétant le même procédé pour plusieurs obstacles, un profil de vitesse est obtenu. La Figure 35 présente la vitesse et l'accélération sur un parcours composé de plusieurs tronçons. Chaque tronçon est caractérisé par sa distance et une vitesse limite (maximale).

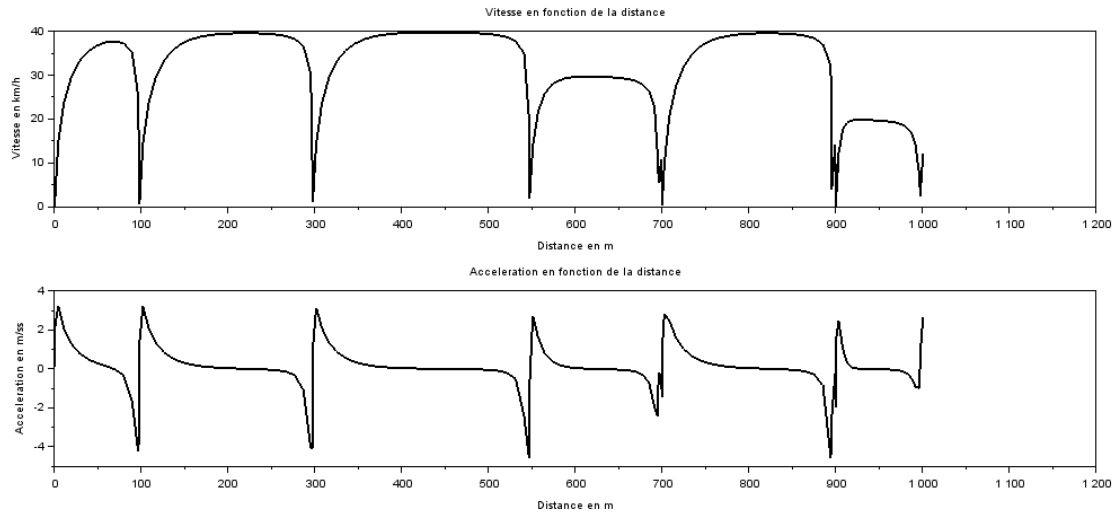


Figure 35 : Profil de vitesse et d'accélération générés par le modèle IDM (Plusieurs obstacles)

Afin de rendre ce modèle plus réaliste, une variable aléatoire suivant une loi uniforme a été additionné à la variation de la vitesse. La vitesse est calculée comme suit :

$$v_{(t)} = a \left[1 - \left(\frac{v_{(t)}}{v_d} \right) \delta - \left(\frac{s_{(v_{(t)}, \Delta v)}^*}{s} \right)^2 \right] + X$$

$$X \sim U[0,1]$$

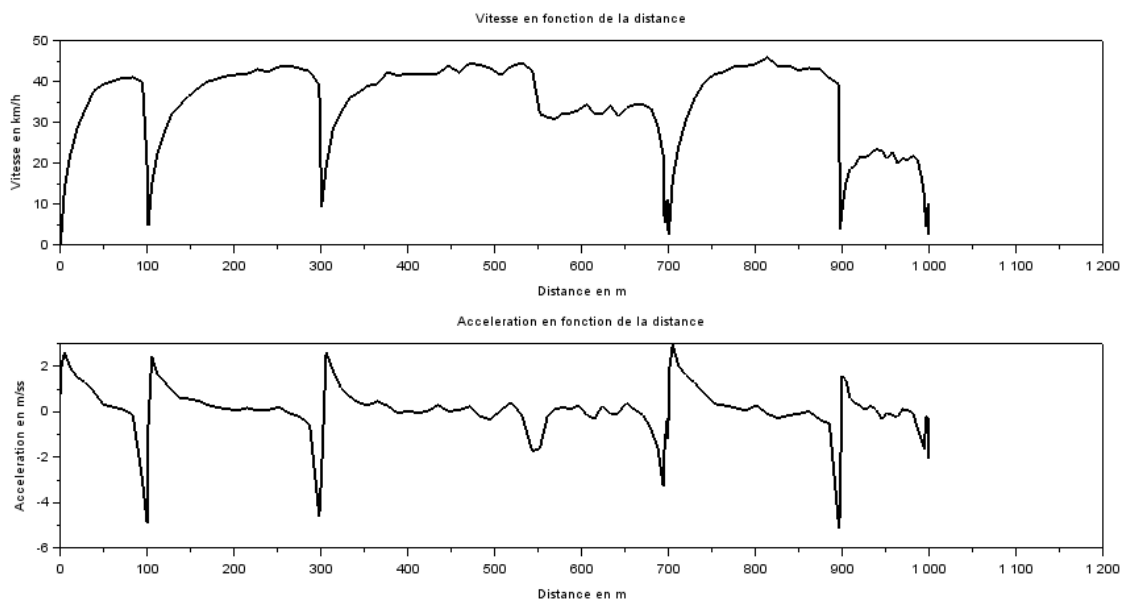


Figure 36 : Profil de vitesse et d'accélération générés par le modèle IDM plus variation aléatoire

5.3.4.2 Optimisation

Pendant un parcours donné, les événements aléatoires dépendent de la nature de la voie parcourue. Il est plus probable de rencontrer un obstacle dans une petite rue que sur une voie d'autoroute. Pour cela, il serait plus réaliste de moduler la variable aléatoire en fonction des paramètres extérieurs, et en fonction de la vitesse à un instant donnée.

5.4 Progrès scientifiques et/ou techniques

5.4.1 Valeur ajoutée

L'ensemble des travaux menés lors de cette étude ont permis de tester 2 méthodes différentes de génération de cycles de roulage. Les données recueillies présentent plus de 70 parcours de 2.9 km chacun, soit plus de 200 km de mesures de vitesse accompagnés de détails concernant les obstacles et événements extérieurs.

La première méthode repose essentiellement sur les données recueillies lors des campagnes d'essais. Elle reproduit des cycles semblables en utilisant le processus temporel de Markov. Les résultats obtenus conviennent à une utilisation macroscopique où la position exacte des obstacles n'est pas aussi importante que la fréquence des obstacles qui caractérise la nature de la voie et les conditions de roulage. La génération de tels cycles a été rendue possible grâce à un programme Matlab qui traite les cycles d'essais, les classe, et génère ensuite des profils de même nature.

En revanche, la deuxième méthode est plus adaptée à une utilisation microscopique d'un véhicule sur un parcours bien défini. Il s'agit d'un modèle de type poursuite qui est utilisé notamment dans les logiciels de modélisation dynamique de trafic urbain. Un programme Scilab (Figure 37) a été conçu afin de répondre à des critères liés à la nature des voies et des obstacles. Ce programme traite les données concernant les vitesses maximales autorisées ainsi que l'accélération maximale et minimale qui peuvent être atteintes.

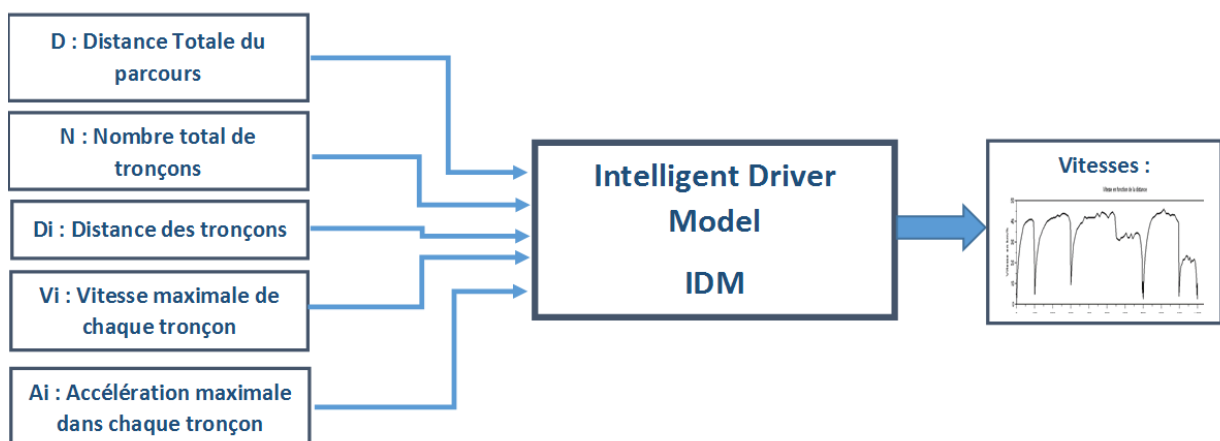


Figure 37 : Schéma expliquant le fonctionnement du programme IDM en Scilab

Ces 2 méthodes peuvent être fusionnées dans un modèle plus global. Chaque méthode prendra le relais en fonction des besoins ponctuels et des résultats attendus.

5.4.2 Perspectives

L'outil conçu peut être développé en rajoutant d'autres paramètres influant sur la vitesse, comme la topographie de la route (pentes, virages, inclinaisons, ...), la météo, ou le style de conduite.

Il sera donc nécessaire d'introduire les variations de vitesses résultantes des paramètres physiques liés au véhicule, en utilisant les équations de la dynamique du véhicule, ce qui aura pour but d'améliorer les estimations en se basant sur des modèles réels.

Il serait intéressant également de classifier les différents obstacles et d'identifier le comportement du conducteur devant chaque type d'obstacles et d'introduire des variables aléatoires afin de caractériser les obstacles ponctuels ou en mouvement.

En ce qui concerne les paramètres non mesurables, il faudra utiliser d'autres méthodes de prédictions telles que l'intelligence artificielle et les réseaux de neurones qui ont comme avantage de reproduire des modèles proches de la réalité même sans compréhension totale du problème ou en l'absence d'un modèle. Ces méthodes nécessitent une grande base de données, organisées sous forme de classes qui caractérisent les différents profils de conduite.

5.5 Bibliographie

- [1] Michel Andre - The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions, INRETS, 2004
- [2] Peter Nyberg - Evaluation, Generation, and Transformation of Driving Cycles, Linköping 2015
- [3] A reference Book of driving cycles for the use in measurement of road vehicle emissions – TRL Limited 2009
- [4] <http://dieselnet.com/standards/cycles> , 2016
- [5] 2015_SMT_BRON_ROULAGE_Rapport - Réalisation d'un modèle pour cycles de roulage
- [6] Alexandre Ravey, Design and control strategy of powertrain in hybrid electric vehicles, HAL, 2010
- [7] Salazar Wilfredo, « Projet de fin d'études, modélisation du trafic routier »
- [8] Sebastian Nerem, « vehicle weight in gipps' car-following model », 2013

5.6 Annexes

5.6.1 Profils de vitesses, accélérations lors des essais :

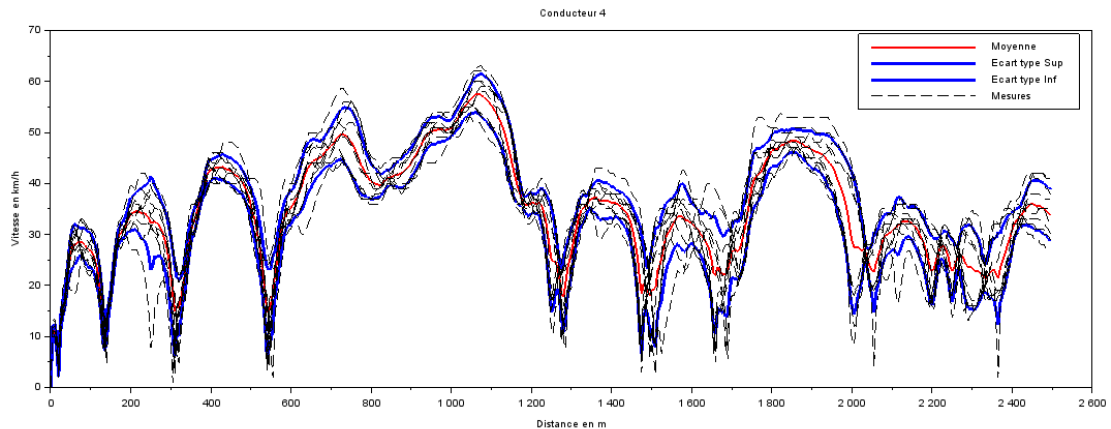


Figure 38 : Moyenne et Ecart-type du conducteur 4 lors de 10 prises de mesures

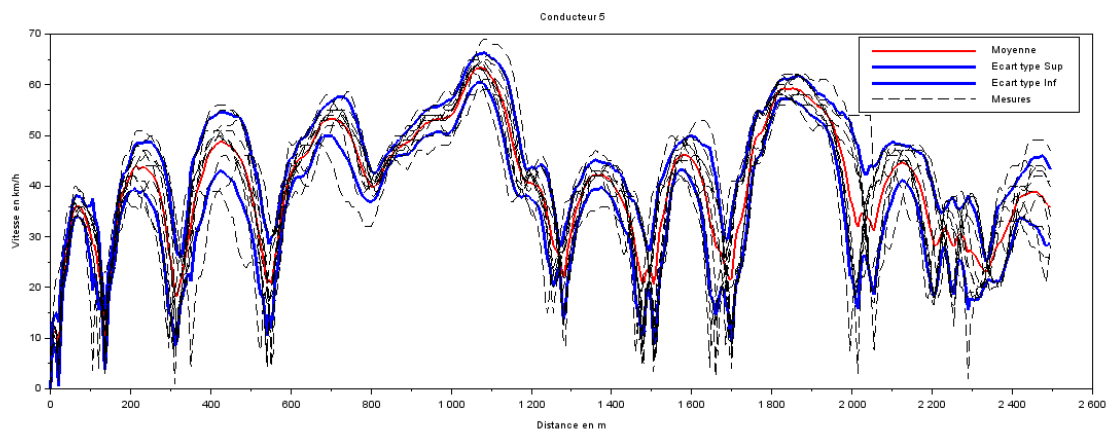


Figure 39 : Moyenne et Ecart-type du conducteur 5 lors de 10 prises de mesures

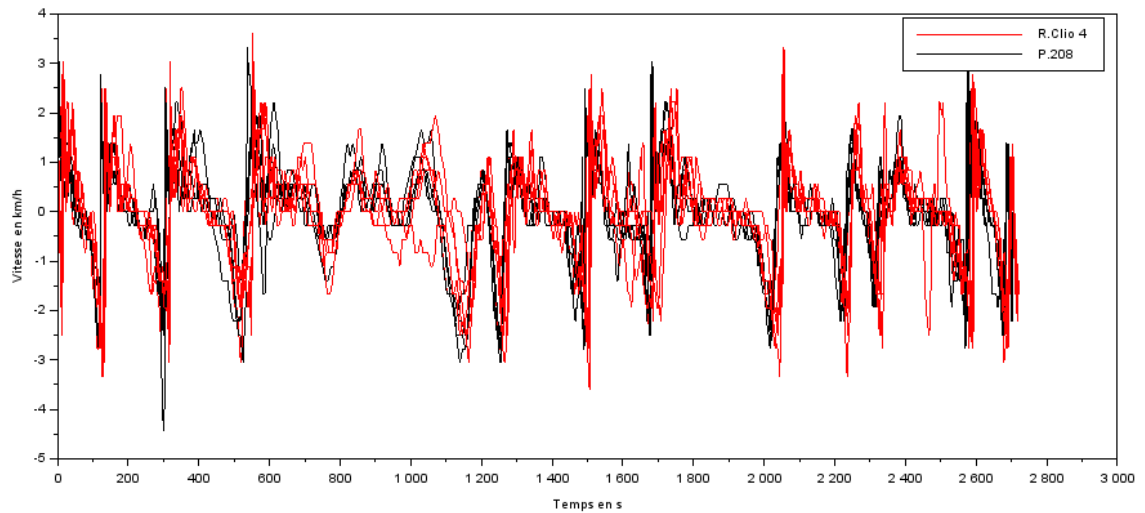


Figure 40 : Profils d'accélération du conducteur 1 en conduisant CLIO 4 et Peugeot 208

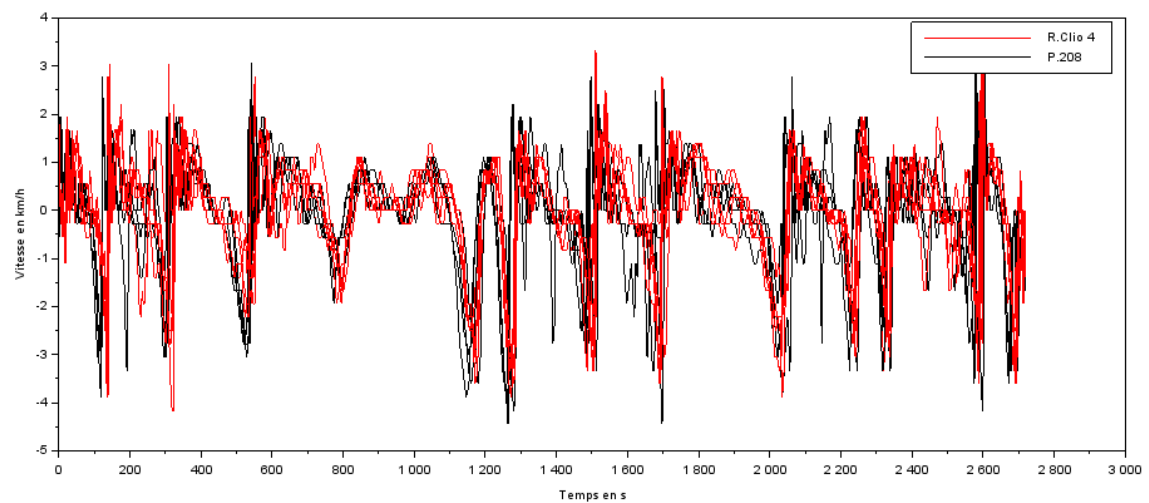


Figure 41 : Profils d'accélération du conducteur 3 en conduisant CLIO 4 et Peugeot 208