

Protocole d'évaluation des émissions des véhicules Euro 6d-TEMP

OBJET DE CE DOCUMENT

Le présent document précise le protocole d'évaluation des émissions envisagé pour cette étude. Il s'agit du livrable du premier lot de l'étude. Ce document technique décrit précisément le protocole et servira de référence pour les réunions du groupe d'expert organisées par le MTES.

Sommaire

I.	Introduction	3
II.	Organisation et rôle des acteurs	4
	IFP Energies Nouvelles (IFPEN)	4
	Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES)	5
	Comité externe d'expertise	5
III.	Données d'entrées	6
	Données d'homologation	6
	Base de données d'usage réel	6
	Caractéristiques du véhicule	7
	Cycles de roulage et parcours	7
IV.	Matériel et mesures	10
	Banc à rouleaux – Synthèse	10
	Banc à rouleaux – Détails et mesures réglementaires	11
	Système de prélèvement réglementé	11
	Analyses des polluants règlementés	12
	Mesures de polluants non règlementés (PNR)	12
	Mesures de polluants particuliers (PM/PN)	13
	Banc à rouleaux climatique	15
	Mesures embarquées sur route	15
	Mesure sur route - PEMS	15
	Mesure sur route – système prototype IFPEN	17
	Matériel nécessaire hors mesures	18
	Carburants utilisés et impacts associés	18

V.	Protocole de caractérisation des émissions	22
	Etape 1 : Les véhicules	22
	Etape 1.a : Sélection et mise à disposition des véhicules.....	22
	Etape 1.b : Vérification et préparation des véhicules	22
	Etape 2 : Campagne d’essais	23
	Etape 2.a : Prise de référence véhicule au banc à rouleaux.....	23
	Etape 2.b : Essai spécifique pour la caractérisation de l’impact de la régénération du filtre à particule sur les émissions.....	25
	Etape 2.c : Roulage sur route	26
	Etape 2.d : Roulage sur banc à rouleaux climatique	29
	Synthèse des données recueillies et essais opérés.....	30
	Etape 3 : Analyses et synthèse	31
	Etape 3.1 Sensibilité de chaque véhicule aux conditions d’usage	31
	Etape 3.2 Comparaison inter-véhicule basée sur les mesures expérimentales	31
	Etape 3.3 Cas de vie spécifiques représentatifs de différents usages réels	32
VI.	Livrables de l’étude	34
VII.	Glossaire	35

I. Introduction

Cette étude est une évaluation scientifique des émissions des véhicules actuels (Euro 6d-TEMP) essence et diesel, focalisée sur les émissions de CO₂ et de polluants locaux en particulier les oxydes d'azote et particules fines. L'étude portera sur un panel représentatif des véhicules vendus en nombre et en modèle, centré sur le parc français. Les véhicules seront prélevés sur parc, en visant des véhicules ayant un kilométrage élevé et le plus représentatif possible. Cette évaluation a pour objectif d'établir de manière publique et transparente les performances environnementales de l'offre essence et diesel actuelle.

Les émissions du transport routier sont de deux types :

- les gaz à effet de serre (GES), responsables du réchauffement climatique. Un objectif européen de réduction des émissions moyennes de CO₂ de 15% de 2021 à 2025 et 37.5% à 2030 a été établi, et une politique de bonus/malus est instaurée en France pour inciter à l'achat de véhicules faiblement émetteurs.
- les polluants atmosphériques, néfastes pour la santé, dont en particulier les oxydes d'azote (NOx) et les particules fines. L'évolution des limites normatives européennes d'émissions sur les 15 dernières années a été très importante, permettant une réduction très significative des émissions des véhicules récents. Toutefois, l'écart s'est creusé entre norme et usage réel jusqu'à Euro 6 et en particulier pour les véhicules diesel.

Introduite à partir de septembre 2017 pour les nouveaux types de véhicules et généralisée en septembre 2019 pour tous les véhicules, la réglementation Euro 6d-TEMP introduit la mesure des niveaux d'émissions polluantes en situation de vie réelle sur route ouverte, appelée RDE. Cette mesure vise à réduire cet écart entre homologation et usage réel pour assurer des niveaux d'émissions réels faibles.

Un grand nombre de modèles n'ayant été proposés à la vente en Euro6 d-TEMP qu'à partir de l'été 2018, ces véhicules homologués Euro 6-d TEMP ont été encore peu caractérisés en usage réel. Des études récentes commencent à fournir des données, à l'image de l'étude du consortium TRUE publiée par l'ICCT en septembre 2019¹ basée sur des mesures à Paris durant l'été 2018. Cette étude enregistre notamment une réduction de 70% des émissions d'oxyde d'azote sur les Euro 6d-TEMP diesel par rapport à leur prédécesseurs Euro 6b, mais souligne la trop faible quantité de mesures pour conclure, confirmant la nécessité d'études complémentaires focalisées sur ces véhicules.

La présente étude consistera en une évaluation scientifique des émissions des véhicules actuels (Euro 6d-TEMP) essence et diesel, focalisée sur les émissions en usage réel de CO₂, de polluants locaux réglementés (CO, HC, NOx, PM, PN₂₃) et certains polluants non réglementés (NH₃, PN₁₀, CH₄, N₂O). L'étude portera sur un panel représentatif des véhicules vendus en nombre et en modèle, centré sur le parc français. Les véhicules seront prélevés sur parc, en visant des véhicules non neufs (kilométrage minimal de 20000 km) et le plus représentatif possible. Cette évaluation a pour objectif d'établir de manière publique et transparente les performances environnementales de l'offre essence et diesel actuelle.

¹ <https://theicct.org/publications/on-road-emissions-paris-201909>

Elle s'inscrira également dans un contexte pré-Euro 7 en fournissant des éléments sur les polluants non règlementés, à savoir les particules fines en dessous de 23 nanomètres, ainsi que les émissions de NO₂, NH₃, N₂O et CH₄.

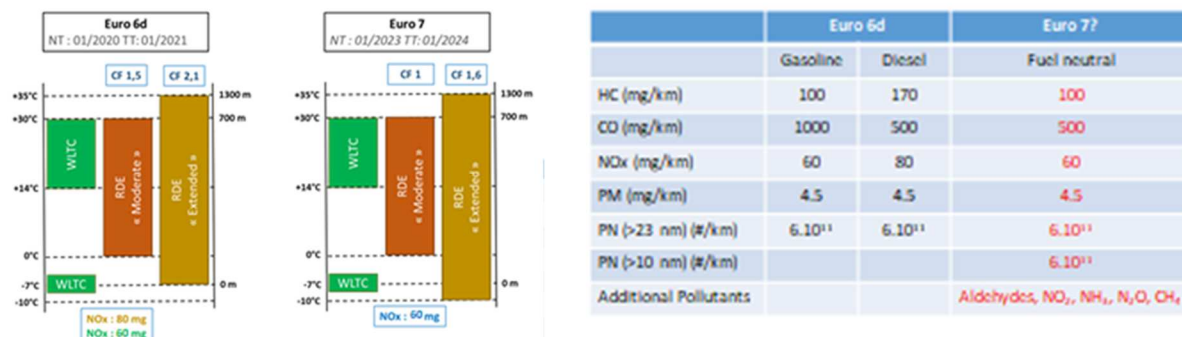


Figure 1 : Potentielles évolutions Euro 6d à Euro 7

II. Organisation et rôle des acteurs

IFPEN Energies Nouvelles (IFPEN)

IFPEN est un organisme de recherche français ayant une expertise dans la caractérisation des émissions polluantes des véhicules. IFPEN opère de nombreux projets de recherche français et européens dans ce domaine. A ce titre, le Ministère de la transition écologique et solidaire a mandaté IFPEN pour mener cette étude scientifique d'évaluation des émissions polluantes et de gaz à effet de serre (GES) pour les véhicules Euro 6 d-TEMP majoritairement vendus en France.

Dans le cadre de cette étude, IFPEN est en charge de la proposition des protocoles techniques, de l'organisation et réalisation des expérimentations, de l'analyse des résultats et de la synthèse de l'étude. IFPEN apporte son support pour la sélection du panel de véhicules opérée par le ministère.

IFPEN a historiquement développé une expertise dans la caractérisation des émissions polluantes des véhicules au sein de projets dont voici une sélection :

- IFPEN a été mandaté par ses ministères de tutelles pour la Commission Royal et par la DGCCRF sur des analyses pointues sur certains véhicules, dans l'objectif d'identifier des comportements suspects, ou « AES » (Auxiliary Emission System) sur des situations de roulage très simples proches de l'homologation NEDC, puis pour remonter aux causes des déviations. Ces travaux ont débouché sur la mise en place de protocoles plus systématiques pour caractériser les comportements en termes d'émissions polluantes des véhicules en roulage réel en faisant appel à des modèles de simulation. Les intervenants IFPEN sur cette étude seront les mêmes que les experts mandatés par la commission Royal et la DGCCRF ;
- le projet H2020 SUREAL-23 (projet Européen en cours ; essais sur route réalisés ces derniers mois) dont l'objectif est d'évaluer les émissions de particules de véhicules récents y compris en dessous de 23nm et de contribuer aux évolutions normatives et de protocoles associées, que ce soit pour les mesures en laboratoire ou embarquées ;

- les projets ADEME CORTEA CAPPNOR (2015) et CAPPNOR2 (2016) qui se sont intéressés respectivement aux émissions polluantes réglementées et non réglementées de véhicules Euro 5 (essence/diesel) puis Euro 6 (diesel), en particulier en ce qui concerne la phase particulaire (fraction volatile et solide, y compris inférieure à 23 nm) ;
- les projets ADEME CORTEA RHAPSODIE et RHAPSODIE2 (en cours) qui s'intéressent aux émissions polluantes réglementées et non réglementées de véhicules Euro 6 (essence/diesel, 6b et 6d-TEMP), et plus particulièrement à la répartition entre phase gazeuse et particulaire, des HAP et de leurs dérivés. Le projet RHAPSODIE2 s'intéresse en particulier à l'impact des carburants (diesel).

IFPEN est également fortement impliqué dans des études pour l'amélioration de la connaissance de l'usage réel et des impacts associés en termes d'émissions :

- le projet Geco air depuis 2016 visant la sensibilisation du grand public à l'impact environnemental de sa mobilité et la collecte de données massives d'usage à des fins de recherche ;
- les projets AIRMES et AIRMAP menés à Lyon et Marseille en 2019 pour établir des méthodes plus fines d'évaluation des sources d'émissions à l'échelle des villes et notamment l'impact des infrastructures routières et des mesures de contrôle du trafic ;
- les projets REVEAL et CAPTURE à venir en 2020 afin d'identifier et caractériser finement les cas de vie réels à l'origine d'émissions importantes pour chaque technologie du parc automobile.

Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES)

Le ministère de la transition écologique et solidaire est le commanditaire et pilote de l'étude. Il est également en charge de fournir les données relatives à l'homologation des véhicules testés.

Comité externe d'expertise

Le comité d'expertise externe a pour rôle d'assurer le respect des bonnes pratiques et la qualité des résultats délivrés. Il sera composé de représentants de l'UTAC et de l'ADEME. Il sera réuni à l'initiative d'IFPEN, sans périodicité fixe préétablie, et permettra un suivi de l'avancement de l'étude et des échanges techniques sur les aspects méthodologiques, les moyens de mesure et les travaux opérés.

III. Données d'entrées

Dans cette étude, deux sources de données vont être majoritairement utilisées : la première constituée des données d'homologation incluant les mesures instantanées de polluants sur le banc à rouleaux et sur route pour les véhicules neufs. La deuxième concerne les données d'usage, issues de Geco air sur des roulages de particuliers, qui vont permettre de projeter les mesures sur des cas d'usage de foyer français.

Données d'homologation

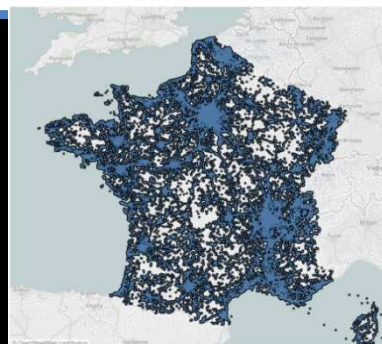
Les données d'homologation des véhicules Euro 6d-TEMP testés (données WLTP et RDE) sont collectées par le MTES et mises à disposition d'IFPEN, qui assurera leur mise en forme et analyse.

Base de données d'usage réel

45 millions de km

15000 conducteurs non professionnels

Données 1Hz vitesse et pente



Une base de données d'usage réel France IFPEN sera utilisée. Elle se compose des trajets de plus de 15000 conducteurs non professionnels représentant plus de 45 millions de kilomètres d'acquisitions à 1 Hz, de la vitesse du véhicule, de l'accélération, de l'altitude (enregistrés par les capteurs du smartphone) et de la température ambiante (à l'extérieur du véhicule, fournie par un webservice d'informations météorologiques), collectée dans le cadre du projet Geco air. IFPEN utilise cette base de données à des fins de recherche visant à améliorer la compréhension de l'usage des véhicules. A titre d'exemple, les Figure 2 et Figure 3 illustrent une comparaison des conditions de conduite et de dénivelé rencontrées en usage réel par rapport aux limites considérées par la norme RDE. Cette base de données offre une opportunité quasi unique d'étudier les usages de plusieurs milliers de conducteurs non professionnels et ainsi de caractériser leurs impacts sur les émissions polluantes, mais aussi de caractériser les spécificités spatiales, temporelles et technologiques de l'usage réel des véhicules.

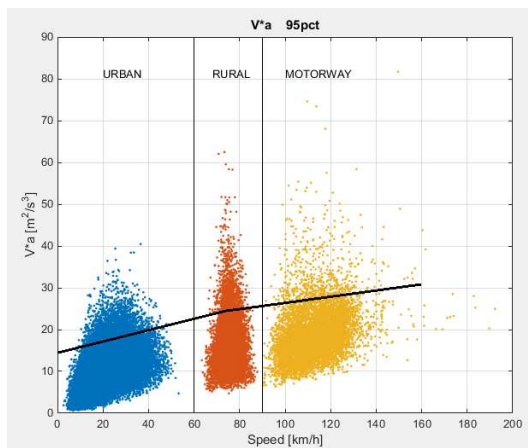


Figure 2 : Base de données usage réel, analyse du style de conduite

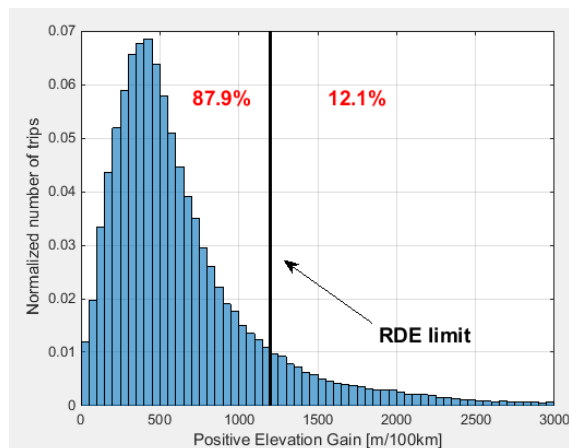


Figure 3 : Base de données usage réel, analyse de la topologie des trajets (pentes)

Au sein de cette étude, cette base de données sera utilisée à deux fins :

- s'assurer que les trajets de type RDE « sévères » réalisés seront représentatifs de l'usage le plus sévère observé en usages réels (dans la limite du respect du code de la route).
- établir des cas d'usage types (scénarii d'usage) sur lesquels les niveaux d'émissions seront établis par projection (calcul) à défaut de pouvoir être tous caractérisés expérimentalement (cf. chapitre V Etape 3.3).

Caractéristiques du véhicule

Masse

Une masse de référence ciblée pour les essais sur route sera définie pour chaque véhicule en fonction de sa masse à vide et d'une masse forfaitaire de chargement (passagers + bagages).

Loi de route

La loi de route définie lors de l'homologation WLTP du véhicule sera utilisée pour les essais sur banc à rouleaux et banc à rouleaux climatique.

Pressions pneumatiques préconisées

Cycles de roulage et parcours

Les résultats attendus sont la mesure des émissions polluantes en usage réel : elle seront déterminées sur des roulages type RDE sur route ouverte en conditions nominales mais aussi plus sévères, tant dans le type de conduite que dans les conditions de température (roulages à températures -2°C et 35°C). Des cycles règlementaires WLTC seront également utilisés pour un aspect méthodologique, ainsi que des cycles RDE en laboratoire pour une comparaison fine inter-véhicule.

Le déroulement des différents essais ainsi que les mesures associées sont détaillés dans les paragraphes dédiés. Ce paragraphe décrit seulement les cycles et parcours utilisés.

Les cycles de roulages banc à rouleaux

Le cycle WLTC, conformément à la procédure WLTP sera réalisé pour chaque véhicule testé.

Un cycle RDE référence sera déterminé et reproduit sur banc à rouleaux avec chaque véhicule pour permettre une comparaison équitable.

Les parcours RDE

Les parcours de type RDE seront proposés autour du site IFPEN de Rueil-Malmaison. La Figure 4 donne un exemple d'itinéraire utilisé et le profil altimétrique associé.

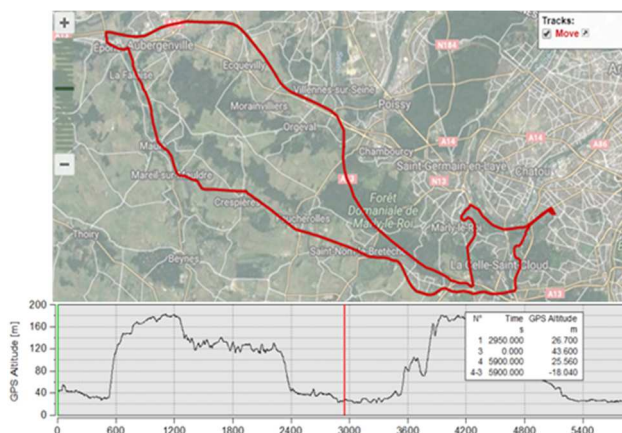


Figure 4 : Parcours RDE établi au départ d'IFPEN

L'objectif étant de caractériser les niveaux d'émissions des véhicules, d'une part dans des conditions moyennes d'utilisation, et d'autre part les niveaux maximaux d'émissions lors d'usages sévères observables en vie réelle, chaque essai de type RDE réalisé sera positionné : d'une part vis-à-vis des limites de sévérité établies dans le protocole RDE, mais également par rapport à la base de données d'usage réel. La Figure 5 illustre la méthodologie de caractérisation de la sévérité d'un roulage en prenant en compte à la fois les limites de la norme RDE – *RDE boundaries* - et la base de données d'usage réel.

Pour un véhicule donné, les émissions de polluants sont impactées par plusieurs facteurs : le style de conduite, les conditions de trafic et les conditions ambiantes. Ces facteurs sont d'ordre 1 sur les niveaux d'émissions polluantes, par des impacts, parfois antagonistes, sur les émissions polluantes à la source (en sortie moteur) et sur l'efficacité du système de dépollution et donc les émissions à l'échappement.

Ainsi une utilisation sévère d'un véhicule moderne peut-être une conduite très souple à basse vitesse pendant plusieurs kilomètres, limitant l'apport de chaleur au système de post-traitement pour qu'il s'active et ainsi laissant passer à l'échappement une part plus importantes de polluants. Aussi une utilisation sévère peut s'apparenter à une conduite majoritairement autoroutière avec une possible dégradation des performances du système de post-traitement lorsqu'il est soumis à de fortes contraintes thermiques. De plus un trajet court, par exemple moins de 10km, exacerbe les émissions émises lorsque le système de post-traitement est moins efficace ou non activé et peut représenter un cas critique d'utilisation. L'association de ces utilisations notamment dans le RDE dit sévère permettra de donner un point de vue intéressant sur la sensibilité du véhicule aux usages critiques.

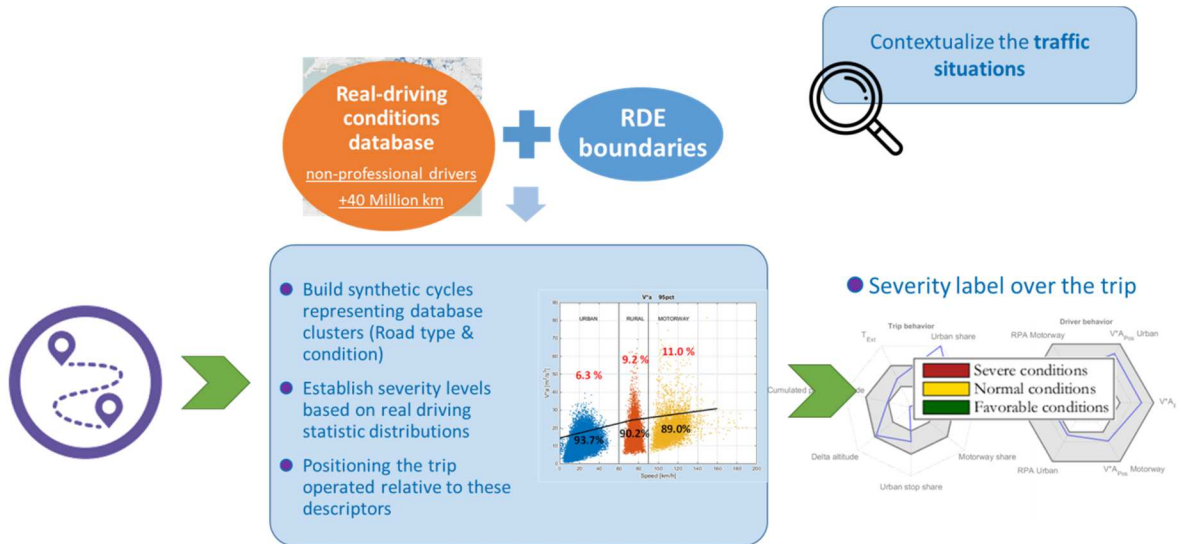


Figure 5 : Méthodologie de caractérisation de la sévérité d'un trajet au regard d'une base de données d'utilisateur

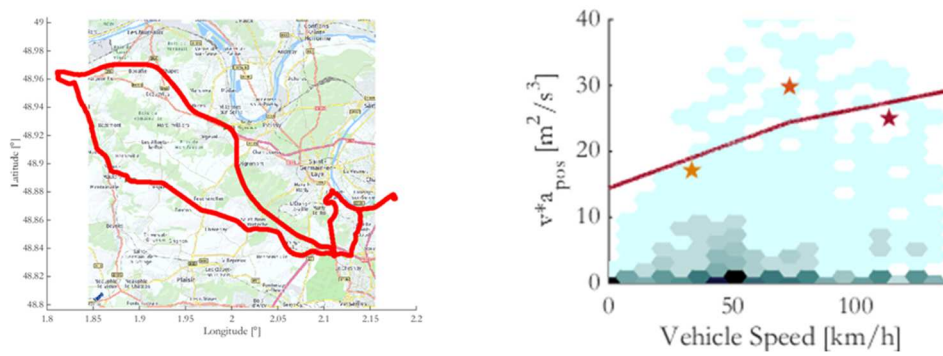


Figure 6 : Exemple de positionnement du trajet, sévérité du style de conduite (dynamisme caractérisé par le critère $v \cdot a_{pos}$)

IV. Matériel et mesures

Les différents système de mesures utilisés seront de deux types :

- ceux dits de laboratoire au banc à rouleaux et banc à rouleaux climatique : matériel de référence permettant une caractérisation très fine des émissions réglementées et non réglementées dans des conditions maîtrisées et répétable, ainsi qu'une validation des moyens de mesures embarqués ;

- ceux embarqués pour les essais sur route et la caractérisation en usage réel des émissions.

Ce chapitre décrit ces matériels de mesures. Le détail des essais opérés avec ces moyens et de leurs objectifs seront définis dans le Chapitre V.

Banc à rouleaux - Synthèse

Les dispositifs de mesure des émissions règlementées font partie des équipements permanents du banc d'essai: CO₂, NO/NO₂, CO, HC, PM et PN>23nm. Les mesures de THC, CH₄, CO, CO₂, NOx sont réalisées par une baie d'analyse Horiba MEXA 7000. Les particules sont déterminées en nombre (de diamètre supérieur à 23nm) par un SPCS2000 et en masse par CVS et prélèvements sur filtre et pesées. Enfin les mesures de NO, NO₂, N₂O et NH₃ sont mesurées par une baie Horiba MEXA-ONE-QL-NX. Un compteur de particules supplémentaire sera mis en œuvre pour le comptage des particules jusqu'à 10 nm, de sorte que le comptage simultané de particules entre 10 et 23 nm soit possible. Un système de mesure PEMS sera ponctuellement utilisé au banc à rouleaux pour sa validation (test de corrélation PEMS-banc à rouleaux détaillé dans un chapitre dédié). La Figure 7 fourni une synoptique de synthèse des analyse de gaz mise en œuvre au banc à rouleaux dans le cadre de cette étude.

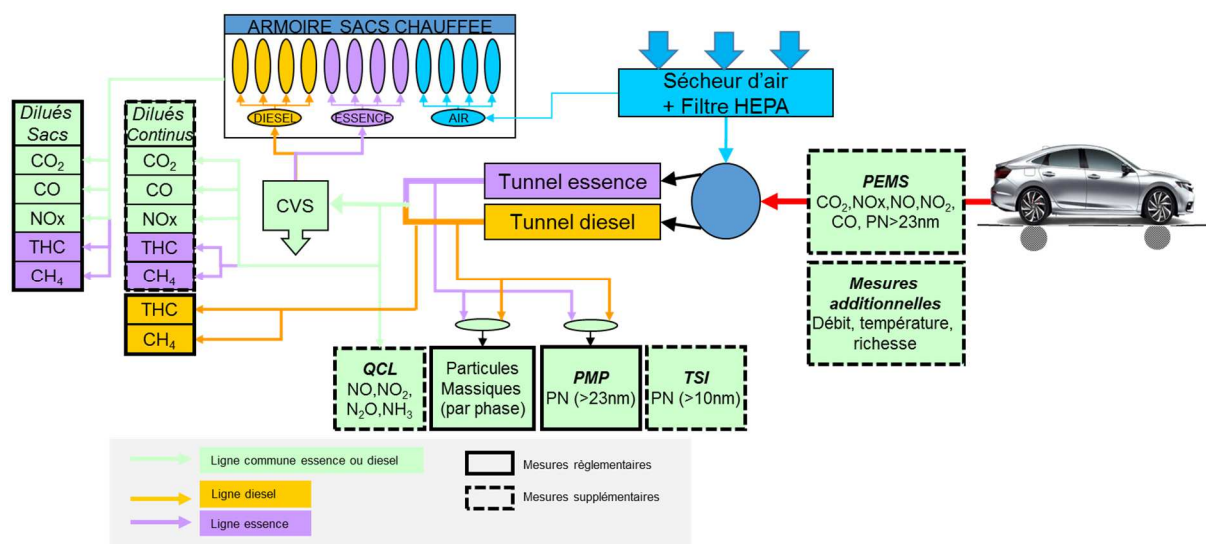


Figure 7 : Synoptique de l'analyse de gaz mise en œuvre sur banc (IFPEN)

Banc à rouleaux – Détails et mesures réglementaires

Les émissions de polluants d'un véhicule sont mesurées pendant un parcours dont la vitesse est définie par la réglementation. Le véhicule roule sur un banc à rouleau dont l'absorption de puissance est réglée pour reproduire les conditions d'avancement du véhicule sur route plate et simuler sa masse totale en ordre de marche. Un chauffeur assisté d'un système de pilotage conduit le véhicule en suivant le cycle défini.

Pendant la durée du cycle, un prélèvement de gaz d'échappement est nécessaire pour en assurer l'analyse. Les systèmes de prélèvement (ainsi que les méthodes d'analyse) sont maintenant identiques pour tous les pays. Ils sont basés sur le prélèvement d'un échantillon dans un débit de gaz constant. Ce système basé sur le prélèvement à volume constant du gaz d'échappement dilué est dénommé CVS (Constant Volume Sampling) ou également prélèvement à débit variable. Un ensemble de pompes permet de collecter en continu dans des sacs des fractions constantes, d'une part, des gaz d'échappement dilués et, d'autre part, de l'air de dilution. A la fin de l'essai, le contenu de chaque sac, dont la composition est représentative de l'ensemble du gaz prélevé, est analysé afin de déterminer les pourcentages moyens des différents polluants. Un calcul simple donne la valeur des émissions pour la durée du test.

Tableau 1 : Caractéristiques du banc à rouleaux IFPEN

Elément de l'installation	Performance
Banc à rouleau(x)	Puissance absorbée maximum : 230 kW Vitesse maximale : 200 km/h Empattement de 1800 à 3400 mm <ul style="list-style-type: none"> Smart Fortwo à Renault Master Voie de 800mm à 2330mm Inertie simulable: <ul style="list-style-type: none"> De 450 kg (un essieu) à 4500 kg De 750 kg (deux essieux) à 4500 kg
Ventilation	Régulation de la température et de l'hygrométrie <ul style="list-style-type: none"> 23°C ±3°C 50%Hr ±10°C Ventilateur de calandre de 0.3m ² <ul style="list-style-type: none"> Asservie à la vitesse véhicule entre 0 et 150 km/h Réglage de la buse en hauteur de 200 à 500 mm
Système de prélèvement des gaz d'échappement	Traite les gaz d'échappement du véhicule De type CVS 7400S <ul style="list-style-type: none"> Débit réglable de 4 à 15m³ Quatre phases de prélèvements
Baie d'analyse	MEXA 7400 DETR
Balance	METTLER Toledo XP6

Système de prélèvement réglementé

Le système de prélèvement des gaz d'échappement basé sur le principe de l'aspiration à volume constant du gaz dilué (Constant Volume Sampler) a vu le jour aux Etats Unis dans les années 70 avec la réglementation des émissions de polluants, il a été adopté en Europe en 1982 en remplacement d'un système prélevant la totalité des gaz bruts. Malgré l'inconvénient de devoir analyser des gaz dilués donc à faible concentration, le système présente de nombreux avantages :

- pouvoir déterminer directement les masses des polluants émis ;
- éviter les problèmes de condensation de l'eau contenue dans le gaz d'échappement ;
- travailler sur un échantillon et non sur la totalité du gaz d'échappement.

Analyses des polluants règlementés

Les règlements sur les mesures des émissions de polluants précisent les types d'analyseurs qui doivent être utilisés pour les polluants règlementés. Les gammes de mesures utilisées doivent tenir compte du fait que le gaz d'échappement est dilué, donc les teneurs à analyser sont basses et même très basses avec les véhicules actuels fortement dépollués. Les contrôles et les étalonnages du matériel d'analyse seront détaillés ultérieurement.

Analyseur à absorption de rayonnement infrarouge pour l'analyse du CO et du CO₂

Les rayonnements électromagnétiques sont absorbés par la matière. Le mode d'absorption dépend à la fois de la longueur d'onde du rayonnement et de la structure moléculaire ou atomique de la matière. En particulier, le rayonnement infrarouge est absorbé à des degrés divers par certaines molécules qui retiennent donc une partie de l'énergie du rayonnement. En choisissant des longueurs d'onde bien spécifiques, on peut déterminer la teneur en CO ou en CO₂ du gaz placé sur le trajet du rayonnement en mesurant le niveau d'absorption de ce rayonnement.

CO : gamme de mesure : 50, 100, 500, 1000ppm.

CO₂ : gamme de mesure : 4,10%.

Analyseur par chimiluminescence pour les NOx

Le principe de ce type d'analyse repose sur le fait que certaines molécules possèdent la propriété de réémettre des ondes électromagnétiques si on leur fournit une énergie appropriée. Le rayonnement d'onde de l'émission est caractéristique de la molécule analysée et son intensité dépend de sa concentration. Cet effet est utilisé pour l'analyse des oxydes d'azote, la méthode utilise la réaction de NO avec l'ozone qui peut donner naissance à des molécules de NO₂* dites excitées au niveau des couches électroniques, le retour à l'état normal de ces molécules NO₂* s'accompagne d'une émission lumineuse.

NOx : gamme de mesure : 20, 100, 250, 1000ppm

Analyseurs par ionisation de flamme pour les HC et CH₄

L'introduction dans une flamme d'hydrogène, peu ionisée, de composés carbonés, engendre des ions que l'on peut détecter sous forme d'un courant électrique entre une électrode portée à 100-300 v et le brûleur constituant la seconde électrode. Ce phénomène est la base du détecteur FID utilisé dans l'analyse par ionisation de flamme et en chromatographie. Le courant qui s'établit est proportionnel au nombre d'atomes de carbone présents dans les produits hydrocarbonés contenus dans le gaz à analyser.

HC et CH₄ : gamme de mesure : 50, 100, 500, 1000ppmC.

Mesures de polluants non règlementés (PNR)

L'analyseur MEXA-ONE-QL-NX (HORIBA) sera utilisé dans le cadre de cette étude, afin d'analyser en continu les émissions d'ammoniac (NH₃) et de protoxyde d'azote (N₂O) des véhicules. Cet analyseur se compose d'un système d'échantillonnage et de filtration chauffé (T° régulée à 113 °C) et d'une cellule de mesure permettant l'analyse simultanée de 4 composés (NO, NO₂, NH₃, N₂O) sur 2

longueurs de chemin optique distinctes. Cette configuration permet grâce à la sensibilité élevée autorisée par le principe de fonctionnement du laser à cascade quantique (Quantum Cascade Laser [QCL] ; cf. Figure 8), de mesurer une large gamme de concentration. En effet, cet analyseur prélève l'échantillon à analyser dans le tunnel de dilution du banc à rouleau (Constant Volume Sampling [CVS] ; cf. Figure 7) et doit donc être suffisamment sensible pour mesurer des concentrations faibles en raison de la dilution préalable de l'échantillon.

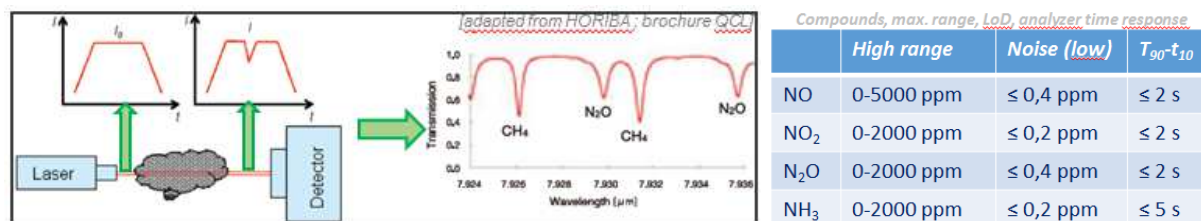


Figure 8 : Principe de fonctionnement du QCL & performances (HORIBA)

Mesures de polluants particuliers (PM/PN)

La caractérisation des émissions particulaires des véhicules au banc à rouleau est classiquement réalisée via 2 protocoles distincts permettant l'obtention de 2 grandeurs caractéristiques :

- Masse de particules (Particulate Mass [PM]) :

Cette mesure est la plus ancienne. Elle est basée sur le prélèvement continu d'un échantillon représentatif de l'aérosol émis par le véhicule (préalablement dilué dans le CVS du banc à rouleau ; cf. figure 7), et la collecte des particules contenues dans l'échantillon sur un support filtrant dédié. La masse de particules est déterminée à posteriori grâce à des pesées du support avant et après collecte via une balance de laboratoire de grande précision.

- Nombre de particules (Particle Number [PN]) :

Cette mesure est plus récente et est en application depuis les normes Euro 5b (diesel) et Euro 6b (essence). Elle fait suite à la réduction constante et importante des émissions massiques de particules à l'échappement des motorisations thermiques au fur et à mesure de l'abaissement des seuils d'émissions. Elle est basée sur le protocole PMP (Particle Measurement Programme) et est réalisée à partir du prélèvement continu d'un échantillon (préalablement dilué dans le CVS du banc à rouleau ; Figure 9) représentatif des émissions du véhicule.

L'analyseur MEXA-2000SPCS (Solid Particle Counting System ; HORIBA) sera utilisé dans le cadre de cette étude afin d'analyser en continu le nombre de particules émis par les véhicules. Il se compose d'un 1^{er} dispositif permettant la suppression de la fraction volatile (Volatile Particle Remover [VPR] ; cf. Figure 9) de l'aérosol, puis d'un 2nd dispositif permettant le comptage des particules (Condensation Particle Counter [CPC] ; cf. Figure 9). L'analyseur MEXA-2000SPCS est conforme aux préconisations du protocole PMP et permet grâce au couplage VPR/CPC, de mesurer le nombre de particules solides supérieures à 23 nm.

■ Euro 5/6 (UN/ECE Regulation No. 83)

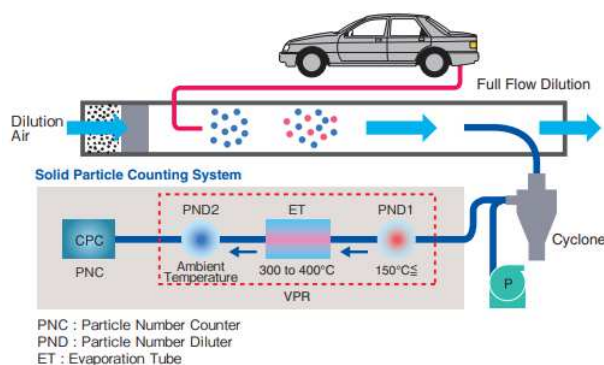


Figure 9 : Schéma de principe du SPCS et protocole PMP (HORIBA)

Une réduction du diamètre minimal des particules prises en compte est envisagée et en cours de réflexion et évaluation en vue des futures normes d'émissions (Euro 7). Pour cela et afin d'assurer la justesse et la robustesse de telles mesures, deux évolutions du protocole PMP sont envisagées : le remplacement du tube évaporateur (Evaporation Tube [ET]) actuellement intégré dans le VPR par un catalyseur d'oxydation (Catalytic Stripper [CS]) jugé plus performant, ainsi que la modification des paramètres de fonctionnement du CPC afin de modifier sa courbe d'efficacité de comptage pour passer d'un diamètre de coupure (d_{50}) = 23 nm à 10 nm.

Les évolutions du protocole PMP étant toujours en cours de réflexions et évaluations (travaux du GRPE PMP ou projets Européens H2020: PEMS4nano, DownToTen, SUREAL-23 notamment), il est encore trop tôt pour faire procéder aux modifications nécessaires à cette évolution (leur mise en œuvre par les fournisseurs d'équipements nécessitant également au préalable la finalisation de l'ensemble des processus de développement/validation internes).

Pour permettre la mesure simultanée du nombre de particules à partir de 23 et 10 nm, il est proposé d'utiliser l'analyseur MEXA-2000SPCS HORIBA du banc à rouleau dans sa configuration actuelle, (conforme aux préconisations officielles actuelles : mesure du nombre de particules solides supérieures à 23 nm), en lui associant un second compteur qui sera positionné en aval du VPR et en parallèle du CPC intégré dans le SPCS, afin de déterminer les émissions de particules en nombre (PN_{10} et PN_{23}). Ce principe de couplage SPCS/CPC est assez récent², mais tend à se développer compte-tenu de son intérêt pendant la période de transition 23-10 nm. De tels couplages ont par exemple été réalisés dans le cadre des travaux du GRPE PMP afin d'évaluer la pertinence et la faisabilité d'une réduction de diamètre de 23 à 10 nm. IFPEN a également mis en œuvre depuis 2018 des couplages SPCS/CPC³, et propose pour cette étude d'utiliser un nouveau modèle de CPC identique à ceux qui seront utilisés à terme dans les futurs analyseurs MEXA-2000SPCS, permettant ainsi d'envisager une double mesure au plus près des recommandations actuelles grâce à la configuration de l'analyseur SPCS et futures grâce au nouveau CPC. Il convient toutefois de garder en mémoire que dans cette solution, « idéale » au regard de la mesure réglementaire actuelle des particules solides supérieures à 23 nm, la non modification du VPR (remplacement du tube évaporateur par un catalyseur) n'est pas conforme à ce qui est envisagé à terme pour la mesure des particules solides supérieures à 10

² Otsuki et Al. ;2014 , Yamada et Al. ;2015

³ Leblanc et Al ; 2019

nm et pourrait engendrer des artéfacts de mesure plus ou moins ponctuels (PN₁₀ uniquement) selon la composition de l'échantillon et les conditions de dilution choisies.

Banc à rouleaux climatique

Il s'agit d'une cellule équipée d'un banc mono-rouleau (x2) qui permet de mesurer les émissions de polluants réglementés sur véhicules légers. L'enceinte est régulée en températures de -30°C à +40°C ainsi qu'en hygrométrie relative de 10% à 100%. Les mesures seront réalisées en gaz bruts à l'échappement ou en gaz dilués en sac par une baie HORIBA MEXA-ONE permettant la mesure de CO (analyse par infrarouge), CO₂ (analyse par infrarouge), HC (analyse par ionisation de flamme), HC intégrés (analyse par ionisation de flamme), CH₄ (analyse par FID+cutter) et NOx (analyse par chimiluminescence). Un comptage des particules à partir de 23nm sera réalisé par AVL APC489. Des mesures complémentaires de NH₃ et N₂O en continu seront réalisées par une baie MEXA-ONE-QL-NX (HORIBA).

Mesures embarquées sur route

Les mesures embarquées s'appuient sur deux types d'appareil : le PEMS est l'appareil certifié de mesure sur route pour les polluants réglementés . On y ajoute un appareil de mesure prototype conçu à IFPEN pour la mesure d'ammoniac potentiellement émis à l'issu du système de post-traitement SCR.

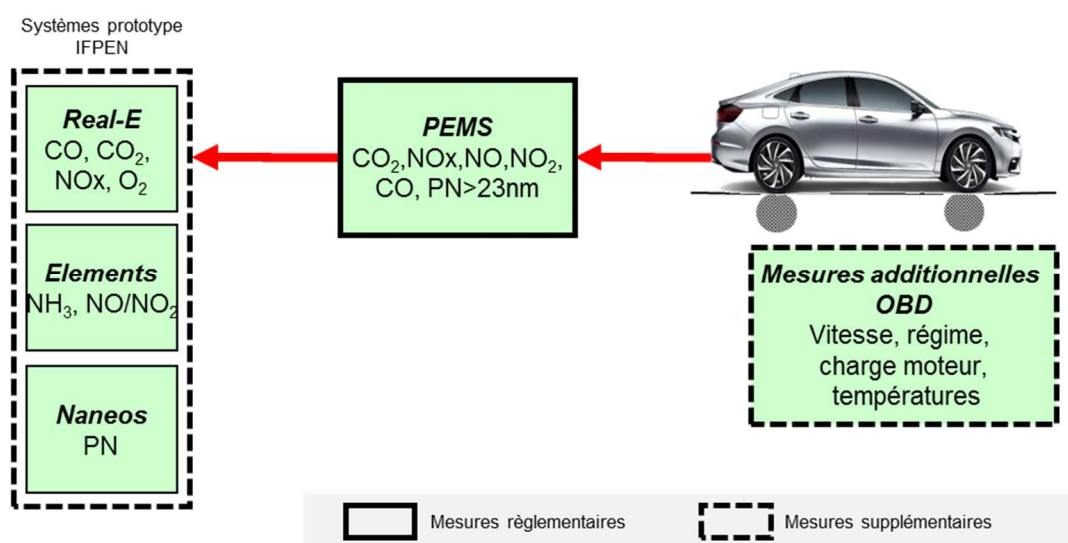


Figure 10 : Synoptique moyens de mesure embarqué (IFPEN)

Mesure sur route - PEMS

Un système de mesure PEMS sera utilisé, permettant la mesure du CO₂ et des polluants règlementés NOx, PN>23nm et CO. Les mesures PEMS seront corrélées aux mesures de référence du banc à rouleaux.

Description du système PEMS utilisé à partir des descriptifs fournisseur⁴

Le système de mesure des émissions portable AVL M.O.V.E GAS PEMS iS est conçu pour mesurer les concentrations de NO/NO₂ et de CO/CO₂ dans les gaz d'échappement des véhicules à moteur diesel et essence. Une haute précision de mesure est obtenue grâce à l'utilisation d'analyseurs de cellules de test éprouvés, optimisés pour une application embarquée dans un véhicule. La mesure de NO/NO₂ est effectuée à l'aide d'un analyseur à ultraviolets (UV), capable de mesurer simultanément et directement le NO et le NO₂ sans recourir à un convertisseur. La mesure du CO/CO₂ est effectuée à l'aide d'un analyseur infrarouge non dispersif (NDIR) optimisé pour une précision et une résolution élevée du CO à de faibles concentrations. Tous les analyseurs sont montés dans des enceintes à régulation de température pour garantir des conditions stables et une grande précision, même dans des conditions ambiantes changeantes.

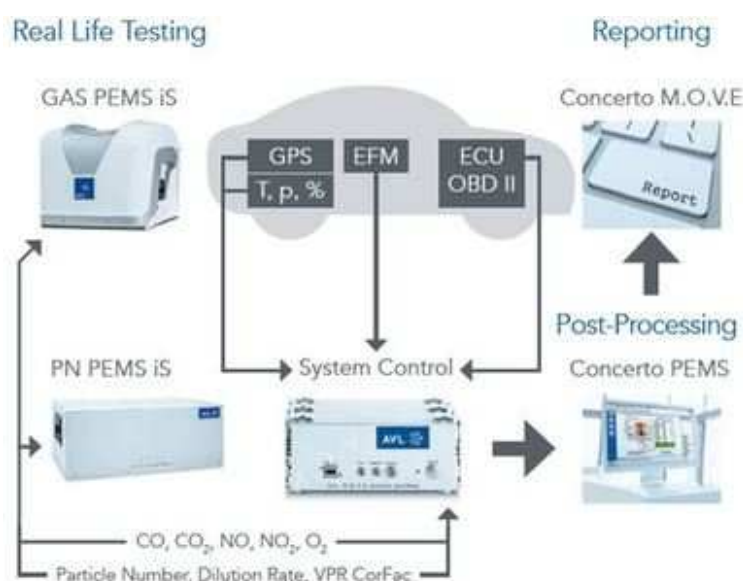


Figure 11 : Synoptique système de mesure PEMS AVL GAS et PN

Destiné à la mesure embarquée des particules en nombre, le système AVL M.O.V.E PN PEMS iS utilise la technologie Advanced Diffusion Charger, qui améliore encore le principe de décharge corona. Cette technologie de capteur avancée est en corrélation directe avec la taille des particules et offre une robustesse contre les vibrations, le basculement, les accélérations du véhicule et les conditions environnementales étendues. De plus, il assure une stabilité maximale à long terme du capteur grâce à la surveillance continue du point zéro. La plage de mesure étendue du capteur permet d'obtenir une précision et une répétabilité maximales. L'appareil est entièrement conforme aux dernières exigences RDE en termes de matériel, de fonctionnalité, d'étalonnage et de corrélation de PN.

Validité du système PEMS

La conformité du matériel de mesure PEMS utilisé sera démontrée par la fourniture des :

- Certificat de calibration Gaz divider GDU
- Certificat d'étalonnages/ vérification PEMS

⁴ https://www.avl.com/vehicle-development/-/asset_publisher/gYiUpY19vEA8/content/avl-m-o-v-e-gas-pems-is
<https://www.avl.com/fr/-/title-avl-m-o-v-e-pn-pems-is>

- Certificat de calibration tubes EFM
- Certificat de conformité gaz de calibration
- Feuille de sécurité utilisation des bouteilles

La vérification de linéarisation PEMS a lieu 4 fois/an min et la calibration équipements 1 fois/an min. De plus, un test de corrélation PEMS-banc à rouleaux sera également réalisé sur chaque véhicule tel que détaillé dans la description du protocole expérimental.

Mesure sur route – système prototype IFPEN

IFPEN travaille activement sur le développement d'un système connecté de mesure embarquée de polluants avec l'ambition d'un système simple à mettre en œuvre et peu onéreux pour permettre la mise en place de campagnes de mesure d'émissions en usage réel à grande échelle. Ce système prototype se compose d'un capteur NDIR pour la mesure de CO, CO₂ et HC (propane), de capteurs électrochimiques pour la mesure de NO_x et O₂ et d'un capteur multi-gaz par spectroscopie UV nommé ELEMENTS pour la mesure simultanée de NH₃, NO et NO₂. La pertinence et la justesse de cet appareil de mesure pourra être régulièrement contrôlée lors des tests de corrélation PEMS vs. Banc à rouleaux.

« Elements » est l'acronyme pour *Embeddable Emissions Measurement System*, outil IFPEN de mesure de la concentration de multiples espèces chimiques basé sur le principe physique de la spectrométrie d'absorption de rayonnements de type ultraviolet ou visible. Chaque espèce chimique présentant une aptitude à absorber une partie du rayonnement et caractérisée par une signature spectrale propre pourra être détectée et quantifiée par analyse du signal d'absorption. La mesure peut s'approcher du temps réel, avec un temps de réponse de quelques millisecondes,

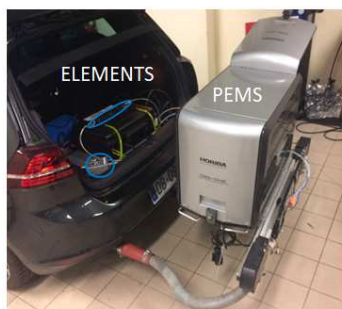
Elements utilise les fonctionnalités suivantes : une source de lumière, un chemin optique sur lequel se situent les espèces chimiques à détecter, un récepteur spectrométrique, une unité de traitement informatique des spectres d'absorption et une interface logicielle.

Les gaz brûlés sont prélevés de la ligne échappement puis transportés à l'aide d'une ligne chauffée dans la zone de mesure. Le temps d'échantillonnage usuellement utilisé pour les applications embarquées est de 10Hz.

Le nombre d'espèces chimiques mesurables au moyen d'Elements est important si l'on se réfère à des données théoriques issues de la bibliographie. A ce jour, une base de données a été établie au moyen de tests utilisant des gaz contenus en bouteilles et de concentration connue et/ou en comparaison avec des moyens de mesure de référence. Les espèces chimiques travaillées à ce jour pour le domaine de la mobilité sont : NO, NO₂, NH₃. La limite de détectabilité de ces trois espèces est respectivement de 2,7 ppm pour NO, 7,6 ppm pour NO₂ et 1 pour NH₃. Ces valeurs ont été obtenues sur des essais mono-gaz.

Des travaux internes ont permis de comparer le système ELEMENTS à un système PEMS HORIBA. Une illustration de ces travaux est présentée en Figure 12. Ces travaux ont permis de mettre en évidence le bon suivi temporel du système ELEMENTS ainsi qu'une bonne quantification des espèces mesurées.

Intégration d'ELEMENTS sur véhicule



Comparaison PEMS/ELEMENTS

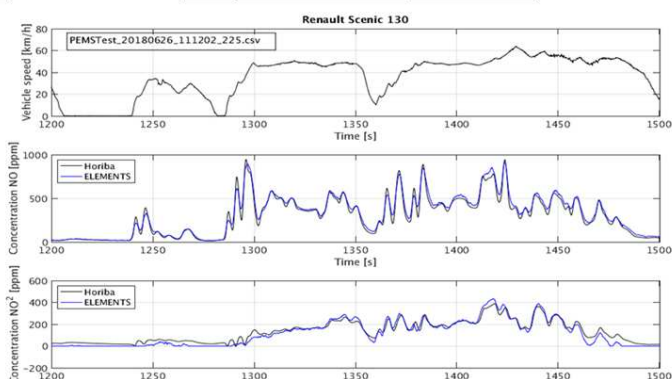


Figure 12 : Comparaison du système ELEMENTS avec une mesure de référence (source IFPEN)

Matériel nécessaire hors mesures

En dehors des moyens de mesures détaillés précédemment, le matériel suivant est nécessaire à la réalisation du protocole :

- Matériel de diagnostic pour établir l'historique, l'entretien et l'état courant de fonctionnement du véhicule.
- Atelier de préparation véhicule et remise en état véhicule (dont soudure)
- Attelage si absent
- Gaz étalon pour étalonnage du PEMS
- Balance et lest
- Chambre de macération véhicule (-2°C à 35°C)
- Fourniture carburant : carburants standards IFPEN dont les spécifications seront fournies. Les caractéristiques des carburants utilisés seront comparées à des données provenant d'études de surveillance de la qualité du carburant à la pompe en France, afin d'en démontrer la représentativité. Ce volet est détaillé dans le paragraphe suivant.
- Lubrifiants

Carburants utilisés et impacts associés

L'impact de la qualité des carburants sur les niveaux d'émission de polluants, en particulier de particule, est fort. Or, une réelle disparité à la pompe existe dans les limites des préconisations de la norme. Dans le cadre de cette étude, un carburant standard moyen sera choisi. Ce carburant sera identique pour tous les essais et les résultats d'émissions polluantes seront ensuite estimés du carburant avec la tolérance basse (le plus mauvais cas) au carburant le moins émissif.

Les caractéristiques des carburants ont une influence importante sur la performance des systèmes de motorisation et les émissions polluantes. IFPEN a développé des savoir-faire et des méthodologies dédiées à l'étude de l'adéquation moteur/carburant dans le but notamment d'évaluer ces impacts.

Les connaissances d'IFPEN en la matière et la littérature disponible démontrent que la variabilité des propriétés carburants impacte les émissions⁵⁶.

Les particules et les oxydes d'azote sont parmi les émissions polluantes les plus importantes aujourd'hui de par leur impact sur la qualité de l'air et la santé. La technologie moteur est nécessairement d'ordre un sur ces émissions. Au sein des moteurs à allumage commandé, la formation de particules peut se produire lors de la combustion pré-mélangée ou par diffusion. Il s'agit notamment des régions où le carburant ne s'évapore pas complètement ou si l'injection favorise la formation de films liquides sur les surfaces de la chambre de combustion interne. Pour les moteurs à allumage par compression, les problématiques sont similaires. La stratégie d'injection et le temps de mélange sont d'ordre un. Ces configurations sont toutefois largement impactées par la réactivité du carburant, reliée à l'indice de cétane, qui peut s'il est élevé limiter le temps de mélange et donc favoriser les hétérogénéités.

Les propriétés du carburant jouent donc un rôle essentiel vis-à-vis de ces polluants. Or, les carburants du marché peuvent varier selon le procédé de raffinage, la norme de qualité du carburant en vigueur et sa logistique de distribution, et de fait cette variabilité affecte les niveaux d'émissions polluantes, notamment les particules. Parmi les paramètres les plus influents sur les émissions de particules des moteurs essence et diesel, la volatilité du carburant contribue à améliorer le mélange, ce qui est d'une importance capitale dans les conditions de démarrage à froid. Aussi, les composés aromatiques constituent les principaux précurseurs de suie et leur teneur est directement impactante sur les niveaux d'émissions de particules à l'échappement, en particuliers les aromatiques lourds.

Pour les émissions d'oxydes d'azote, plusieurs mécanismes sont responsables de leur formation mais celui qui prédomine souvent est le thermique. Il est associé à une élévation de la température conséquente au sein de la chambre de combustion permettant la dissociation du diazote de l'air au profit des oxydes. Les paramètres carburants importants sont donc multiples. La structure chimique de certains composés ou encore la teneur en oxygène du carburant peuvent jouer un rôle majeur en modifiant la température de combustion et/ou la richesse locale du mélange air/carburant. La diminution de la température de combustion via l'ajout de molécules à forte chaleur latente de vaporisation tel que l'éthanol en essence peut-être d'intérêt pour abaisser la température et ainsi réduire la formation des oxydes d'azote. À l'inverse, certaines structures chimiques notamment les insaturés du type oléfines ou aromatiques, contribuent à accroître la température de flamme. Pour le gazole, l'apport de composés oxygénés éventuellement insaturés de type esters méthyliques d'acides gras peut favoriser l'augmentation de la température de combustion et la disponibilité de l'oxygène contribuant ainsi à la formation d'oxydes d'azote. Ces considérations sont bien sûr à replacer dans un contexte pratique où non seulement les véhicules mais aussi les carburants évoluent. L'usure, le vieillissement des produits, la présence de contaminants ou encore l'ajout d'additifs divers peuvent aussi être des paramètres importants lorsque l'impact du carburant sur les émissions est discuté. À titre d'exemple, la contamination de carburants essence par des composés plus lourds telle que du diesel, potentiellement introduits lors de la logistique, est aujourd'hui une préoccupation importante. En effet, la présence d'une contamination diesel dans l'essence à une hauteur de 1% v/v représente une augmentation des émissions de particules de l'ordre de 10% en

⁵ Ben Amara et al., SAE Technical Paper 2018-01-41

⁶ Tahtouh et al., SAE Technical Paper 2019-24-0160

nombre sur le cycle d'homologation WLTC. Des travaux menés à IFPEN démontrent par ailleurs que ce type de contamination est réaliste ce qui justifie leur considération.

Dans le cadre de cette étude, l'objectif est de proposer un carburant de référence essence et gazole. Cela permettra de limiter l'impact de cette variable lors de l'analyse des émissions sur les différents véhicules sélectionnés tout en assurant la représentativité des résultats obtenus.

Quel que soit le couple moteur/carburant, des spécifications encadrent l'utilisation des carburants afin d'assurer leur opérabilité. Comme le démontre les analyses terrain effectuée par la DGEC au sein du bureau logistique pétrolière et carburants alternatifs, les produits présentent une certaine variabilité. Les résultats d'environ 200 prélèvements effectués en 2018 sur toute la France sont illustrés Tableau 2 pour le gazole et Tableau 3 pour l'essence E10. À titre de comparaison les carburants utilisés à IFPEN comme références sont ajoutés.

Tableau 2 : Résultats de contrôle de la qualité des carburants gazole en stations-service en France selon la Directive Européenne 98/70/CE

Caractéristiques	Unité	Résultats analytiques et statistiques				IFPEN réf.	Spécification nationale		Méthode d'essai
		Nb. Echant.	Min.	Max.	Moy.		Valeur	Min.	
Indice de cétane dérivé	-	201	48,5	58,7	53	52,8	51.0		NF EN 15195
Indice de cétane calculé	-	201	47,8	58,1	53	54,6	46.0		NF EN ISO 4264
Masse Volumique à 15°C	kg/m3	201	824,8	844	834	834	820.0	845.0	NF EN ISO 12185
Hydrocarbures aromatiques - Poly	Pct Masse	201	0,1	6,2	2,8	2,5		8.0	NF EN 12916
Teneur en Soufre	mg/kg	201	4,3	10	7,8	3		10.0	NF EN ISO 20846
Point Eclair Pensky-Martens Méth A	°C	201	51	78	60,2	70	55		NF EN ISO 2719
Résidu de Carbone (10%)	Pct Masse	201	0	0,08	0,03	0,2		0.30	NF EN ISO 10370
Teneur en Cendres	Pct Masse	201	0	0,006	0,0002	<0,01		0.01	NF EN ISO 6245
Teneur en Eau	mg/kg	201	7	170	82,9	30		200	NF EN ISO 12937
Contamination Totale	mg/kg	201	0	20,5	5,7	<12		24	NF EN 12662
Insolubles Totaux	g/m3	201	0	7	2,8			25	NF EN ISO 12205
Période d'induction	Heures	201	17,3	99,2	63,2	>40	20		NF EN 15751
Pouvoir lubrifiant - WSD	µm	201	140	420	195	191		460	NF EN ISO 12156-1
Viscosité à 40°C	mm2/s	201	2,362	3,279	2,662	2,681	2.00	4.50	NF EN ISO 3104
Distillation automatique (pression atm.) - Evaporé à 250 °C	Pct Vol	201	23	46,3	37,1	31,1		<65	NF EN ISO 3405
Evaporé à 350 °C	Pct Vol	201	92,4	97,2	95,0		85		NF EN ISO 3405
95 % Condensé à	°C	201	342,2	362,1	351,7	346,8		360	NF EN ISO 3405
Esters Méthyliques d'acides gras (Inter. B)	Pct Vol	201	3,8	8,2	6,6	6,2		7.0	NF EN 14078
Température Limite de Filtrabilité	°C	201	-28	-2	-14,9	-31		0	NF EN 116

Tableau 3 : Résultats de contrôle de la qualité des carburants essence E10 en stations-service en France selon la Directive Européenne 98/70/CE

Caractéristiques	Unité	Résultats analytiques et statistiques				IFPEN réf.	Spécification nationale		Méthode d'essai
		Nb. Echant.	Min.	Max.	Moy.		Valeur	Min.	
RON		198	95,9	98,8	97,2	96,7	95.0		NF EN ISO 5164
MON		198	85	96,1	86,2	86,8	85.0		NF EN ISO 5163
Masse Volumique à 15°C	kg/m3	198	728,6	756,1	744,3	745,4	720	775	NF EN ISO 12185
Période d'induction à 100°C	min	198	382	2713,32	1058	> 480	360		NF EN ISO 7536
Gommes Lavées	mg/100mL	198	0	2,5	0,7	< 1		5.0	NF EN ISO 6246
Corrosion Cuivre, 3 hrs à 50°C		198	1	1	1	1b			NF EN ISO 2160
Groupe d'hydrocarbures - Aromatiques	Pct Vol	198	20,2	34,5	28,8	26,1		35.0	NF EN 15553/NF EN ISO 22854
Oléfines	Pct Vol	198	0,9	16,7	8,2	7,4		18.0	NF EN 15553/NF EN ISO 22854
Oxygénés	Pct Vol	198	8,5	14	12,4	9,6			NF EN 15553/NF EN ISO 22854
Benzène	Pct Vol	198	0,3	0,9	0,6	0,3	1.0		NF EN 15553/NF EN ISO 22854
Composés Oxygénés - Teneur en Oxygène total	Pct Masse	198	2,17	3,83	3,53	3,48		3.7	NF EN 1601/NF EN ISO 22854
Ethanol	Pct Vol	198	3,7	9,8	7,4	9,4		10.0	NF EN 1601/NF EN ISO 22854
Ethers C5 et plus	Pct Vol	198	0	6,4	5,0	-		22.0	NF EN 1601/NF EN ISO 22854
Autres Composés Oxygénés	Pct Vol	197	0	4,1	0,02	0,2		15.0	NF EN 1601/NF EN ISO 22854
Teneur en Soufre	mg/kg	198	1,4	9,6	5,7	3,1		10	NF EN ISO 20846
Plomb par AA	mg/l	198	0	1,5	0,04	< 5		5.0	NF EN 237
Teneur en Manganèse	mg/l	136	0	0,5	0,12	< 0,7		2	NF EN 16135
Pression de vapeur (PVSE)	kPa	198	55,9	91,6	70,2	57,2	45*	60*	NF EN 13016-1

Distillation automatique (pression atm.) - Evaporé à 70°C	Pct Vol	198	30,6	51,8	43,5	41,8	22.0*	50.0*	NF EN ISO 3405
Evaporé à 100°C	Pct Vol	198	51,2	66,3	58,4	56,4	46.0	72.0	NF EN ISO 3405
Evaporé à 150°C	Pct Vol	198	85,5	97,4	92,1	92,9	75.0		NF EN ISO 3405
Point Final	°C	198	117,8	204,4	182,3	179,5		210	NF EN ISO 3405
Résidu	Pct Vol	198	0,4	1,9	1,1	1,0		2	NF EN ISO 3405

* selon le grade considéré. Se référer à l'EN228 pour plus d'informations.

La quasi majorité des échantillons analysés sur le terrain respectent les spécifications, les résultats illustrent des disparités. La comparaison entre les carburants de référence IFPEN et les carburants marché suggère une réponse proche de la moyenne sur la plupart des propriétés, notamment les propriétés physiques comme densité, viscosité et courbe de distillation ou les caractéristiques de combustion tels que RON, MON et indice de cétane. En revanche, parmi les paramètres clés évoqués précédemment, ces analyses illustrent plusieurs variations significatives du côté des propriétés d'évaporation ou des composés oxygénés utilisés. En effet, il est constaté en essence que l'éthanol ou des éthers sont incorporés à des teneurs variables. La teneur en composés insaturés, oléfines et aromatiques, en essence et gazole présente aussi une variabilité importante. Ce dernier point est essentiel au vue de l'impact de ces composés sur les émissions de particules. Une étude récente menée à IFPEN sur des véhicules essence illustre le fait que les émissions de particules en nombre sur cycle WLTC peuvent augmenter de 32% lorsque la teneur en aromatiques passe de 27 à 35% v/v. Cela concerne uniquement l'incorporation de composés aromatiques de type Reformat représentatifs de la coupe essence (C7-C9). Si ces aromatiques sont plus lourds, l'effet à iso-teneur est alors nettement plus important avec une augmentation du nombre de particules allant jusqu'à 90% (pour une coupe aromatique C9-C10) et 260% pour une coupe aromatique (C9-C11) [3]. Ces coupes aromatiques plus lourdes sont réalistes dans un carburant commercial compte-tenu de leur température de distillation compatible avec la coupe essence⁷.

Ainsi, les deux carburants IFPEN proposés comme référence pour cette étude sont considéré comme représentatif de la moyenne des carburants du marché. En revanche, il est important de noter que ces carburants ne permettront pas de représenter la variabilité des carburants dans le marché.

⁷ Ben Amara et al., IASH conference, 2019

V. Protocole de caractérisation des émissions

Etape 1 : Les véhicules

Les véhicules sont sélectionnés en condition d' « usage nominal » totalisant un kilométrage supérieur à 20 000km. Il s'agira d'une sélection de 22 véhicules €6d-TEMP multimarque, multi-segment et multi-technologies (essence, diesel et hybride). Certains véhicules seront sélectionnés de telle sorte d'obtenir des couples essence et diesel comparable.

Etape 1.a : Sélection et mise à disposition des véhicules

Le MTES effectuée avec le support d'IFPEN la sélection d'un échantillon de véhicules €6d-TEMP composé de véhicules essence et diesel, multimarques parmi les plus vendus en France et représentatifs des segments principaux, ainsi que des véhicules hybrides parmi les plus vendus. Certains seront sélectionnés de telle sorte à obtenir un couple de véhicule essence et diesel comparable (même modèle et puissances proches).

Les caractéristiques des véhicules sélectionnés sont mises en perspective par rapport à l'ensemble du parc français : positionnement dans les ventes, paramètres par rapport à la distribution du parc...

Les véhicules sont prélevés sur parc avec un kilométrage minimal de 20000km dans la mesure du possible. Une location pour la période de test est privilégiée. Le véhicule n'est pas conservé à l'issue du protocole et réintroduit dans le parc.

Les données d'homologation des véhicules Euro 6d-TEMP testés (données WLTP et RDE) sont collectées par le MTES et mises à disposition d'IFPEN, qui assure leur mise en forme et analyse. L'analyse de ces données d'homologation permet de fournir une première étude comparative des niveaux d'émissions attendus des véhicules récents du parc français.

Etape 1.b : Vérification et préparation des véhicules

A réception du véhicule, les différentes étapes suivantes sont opérées et documentées :

- Vérification de l'historique d'usage et d'entretien.
- Contrôle de l'état de fonctionnement : santé batterie, pressions des pneumatiques, niveau d'huile.
- Préparation du véhicule en atelier :
 - Le véhicule sera équipé d'un système d'attelage.
 - Modification de la collerette échappement : cette modification n'impacte en rien le fonctionnement du véhicule ou niveaux d'émissions. Il s'agit d'une modification purement mécanique de la sortie du pot d'échappement afin de permettre un raccordement facilité, étanche et sans impact sur les résultats des systèmes de mesure positionnés en aval.

Etape 2 : Campagne d'essais

La matrice d'essai définie vise à caractériser sur chaque véhicule une grande variété de situations d'usage et d'espèces polluantes :

- 12 essais et +1000km par véhicule ;
- mesures réglementaires et certains polluants non réglementés (NH₃, PN10) ;
- conditions variées : homologation et usage réel, style de conduites, conditions ambiantes.

Etape 2.a : Prise de référence véhicule au banc à rouleaux

Chaque véhicule sera testé sur banc à rouleaux, avec des mesures sur cycle typé homologation WLTP et sur un roulage typé RDE en conditions nominales. Chaque essai sera doublé pour assurer la répétabilité.

Objectifs

Cette phase vise à :

- mesurer le comportement du véhicule prélevé sur parc dans des conditions reproduisant l'homologation WLTP ;
- mesurer le comportement du véhicule sur un cycle type RDE référence identique pour tous les véhicules ;
- valider la corrélation du système de mesure PEMS par rapport au moyen de mesure de référence au banc à rouleaux.

Les moyens de mesures

Les moyens de mesures de référence tel que décrit au chapitre IV seront utilisés fournissant les mesures réglementaires de de CO₂, CO, NO_x, PM et PN>23nm et des mesures supplémentaires NO/NO₂, THC, CH₄, N₂O, NH₃ et PN>10nm.

Pour les essais de corrélation, les mesures seront réalisées en parallèle par le système de mesure du banc et un PEMS.

Calage du véhicule

Pour chaque véhicule, un calage au banc à rouleau suivant la méthode WLTP est réalisé, à la suite d'une phase de macération à la température d'essais de 8h minimum.

Corrélation PEMS-Banc à rouleaux

La corrélation de l'équipement PEMS est aussi appelée validation de l'équipement PEMS. Cette procédure de validation est décrites pas la réglementation 2016/427, Appendice 3 (y sont inclus les analyseurs de gaz, PN ainsi que le débitmètre échappement (EFM)).

Pour chaque combinaison PEMS-véhicule, la corrélation du PEMS avec un système de mesure CVS référence sera étudiée en respectant les recommandations de la norme au minima pour l'assurance de non pollution et qualité des mesures. Cette étape sera réalisée au début de la campagne d'essai sur le véhicule et les données de corrélation analysées afin de prendre les mesures correctives nécessaires si non-corrélation.

Cette corrélation sera réalisée sur l'essai WLTC de calage du véhicule au banc à rouleaux. Les seuils normatifs seront utilisés pour valider la conformité du système :

Tableau 4 - Tolérances admissibles

Paramètre [Unité]	Tolérance absolue admissible
CO ₂ [g/km]	10 g/km ou 10% de la référence de laboratoire, la valeur la plus grande étant retenue
CO [mg/km]	150 mg/km ou 15% de la référence de laboratoire, la valeur la plus grande étant retenue
PN [# /km]	1.10 ¹¹ #/km ou 50% de la référence de laboratoire ⁽¹⁾ , la valeur la plus grande étant retenue
NO _x [mg/km]	15 mg/km ou 15% de la référence de laboratoire, la valeur la plus grande étant retenue

(1) Système PMP

Tableau 5 – Prescriptions de linéarité du débit massique calculé et mesuré des gaz d'échappement

Paramètre/Système de mesure	a ₀	Pente a ₁	Erreur-type SEE	Coefficient de détermination r ²
Débit massique des gaz d'échappement	0,0 +/- 3.0kg/h	1.00 +/- 0.075	<= 10% max	>= 0.90

A l'issue de ce test de corrélation et durant toute la campagne d'essai PEMS sur ce véhicule, ce même équipement PEMS pourra être démonté et remonté sur le véhicule sous réserve de conserver le même maquettage et de la réalisation d'un test de fuite sur le montage global.

Il faut noter que ces essais de corrélation s'effectuant lors du calage du véhicule, les données d'émissions véhicule seront incorrectes mais permettront de répondre à l'objectif de se focaliser sur la précision de mesure et la dynamique.

Déroulement des essais BàR

Macération du véhicule : sans conditionnement préalable, le véhicule est macéré pendant une durée minimale de 8h avant l'essai.

Réalisation du cycle d'essai WLTC ou RDE référence

Vérification des critères de recevabilité d'un essai

Résultats / Livrables

Pour chaque véhicule :

- les émissions de CO₂, de polluants réglementés (CO, NO_x, HC, PM et PN>23nm) et non réglementés (NO/NO₂, CH₄, N₂O, NH₃ et PN>10nm) sur WLTC ;
- les émissions de CO₂, de polluants réglementés (CO, NO_x, HC, PM et PN>23nm) et non réglementés (NO/NO₂, CH₄, N₂O, NH₃ et PN>10nm) sur cycle RDE référence ;
- la validité de chaque combinaison véhicule-PEMS

Etape 2.b : Essai spécifique pour la caractérisation de l'impact de la régénération du filtre à particule sur les émissions

Cette étude va évaluer l'impact de la régénération DPF dans les émissions polluantes en mesurant sa période d'occurrence et les émissions polluantes générées ou re-larguées lors de la régénération.

Le filtre à particules diesel (DPF) est un système à régénération périodique. Les faibles températures à l'échappement dans le mode de fonctionnement nominal du moteur ne permettent pas la régénération. Un mode spécifique est nécessaire. Sa période d'occurrence est généralement supérieure à un essai RDE, souvent entre 300 et 600 km.

A l'inverse, les filtres à particules essence (GPF) fonctionnent à des températures d'échappement supérieures à celles observées sur les motorisations diesel, favorisant une régénération continue du filtre et un besoin moindre voire nul de régénération active, donc un mode de fonctionnement classique. Les impacts éventuels de la régénération d'un GPF sont donc inclus et captés au sein d'un simple essai RDE.

Pour prendre en compte ces phénomènes, la procédure d'homologation prévoit une méthode d'essai pour le contrôle des émissions d'un véhicule équipé d'un système à régénération périodique. Elle consiste à mesurer d'une part les facteurs de surémissions des différents polluants sur ces phases de régénération périodique, et d'autre part leur occurrence en déterminant la distance entre les régénérations et la distance de régénération. La Figure 13, extraite du protocole d'homologation, illustre cette méthode. L'ensemble de ces données sont capitalisées dans une fiche d'essai en marge du rapport d'essai d'homologation.

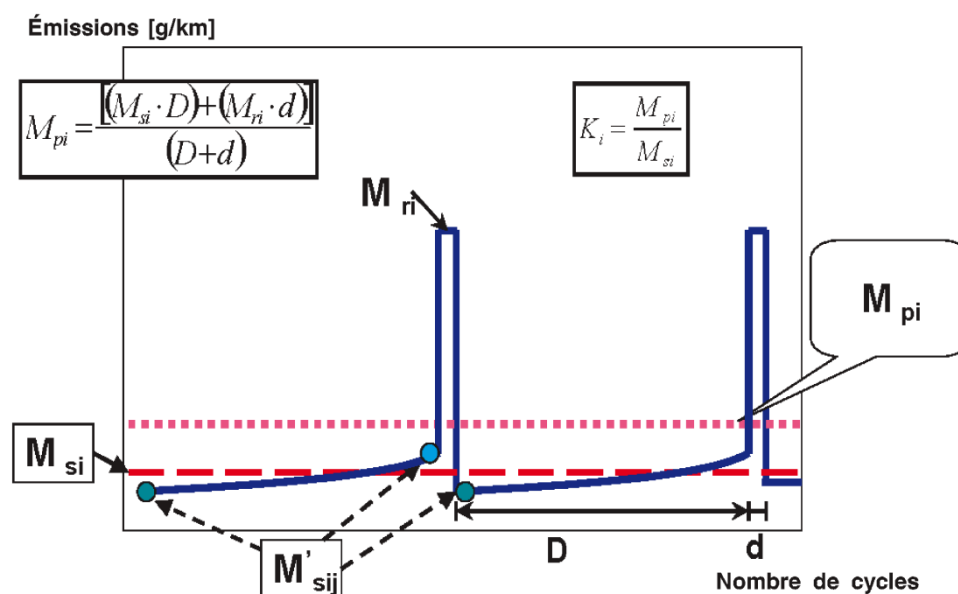


Figure 13 - Illustration de la méthode de contrôle des émissions d'un véhicule équipé d'un système à régénération périodique - OJ of EU Commission reg. 2017-1151 supplementing reg. EC n°715-2007, p.536

Le protocole de la présente étude adressera cet aspect en deux temps. Premièrement, les données d'homologation relatives à cette méthode d'essai pour les véhicules considérés seront mises à disposition d'IFPEN par la DGEC afin d'en réaliser une analyse et une synthèse. Deuxièmement, une caractérisation expérimentale de ces phénomènes sera menée sur les véhicules sélectionnés, afin de déterminer ces facteurs de surémission et les distances inter-régénération sur des véhicules extraits du parc avec un kilométrage significatif et sur un cycle RDE représentatif de l'usage réel. Elle donnera ainsi un éclairage sur les impacts en termes d'émissions de polluants réglementés et non réglementés de ces événements périodiques sur un usage représentatif de l'usage réel. Cette phase sera réalisée sur banc à rouleaux IFPEN, avec les moyens de mesure associés tels que décrits précédemment.

Etape 2.c : Roulage sur route

Objectif

Cette phase vise à caractériser les niveaux d'émissions des véhicules en usage réel, dans des conditions normales puis critiques. Chaque véhicule sera testé sur route ouverte dans des conditions réelles de circulation sur 2 profils de roulage avec une répétition de ces profils. Le protocole mis en avant vise à se rapprocher au mieux des critères définis par la norme RDE (réglementations (EU) 2017/1151, 2016/427, 2016/646, 2017/1154 ainsi que le dernier work-package "RDE4"), en adaptant les critères qui ne correspondent pas au type de roulage qu'IFPEN souhaite réaliser. Un premier trajet visera à reproduire un roulage type RDE dans des conditions « normales », reproduisant le comportement moyen d'un conducteur. Un second trajet visera à explorer des conditions critiques d'utilisation, au niveau de la conduite (très fortes ou faibles sollicitations moteur, etc.), du trafic et de la topographie de l'itinéraire.

Moyens de mesure

Les mesures seront réalisées par un système de mesure PEMS, d'une balise GPS ainsi que d'une station météo. Le PEMS ne sera pas relié via OBD au calculateur moteur. Les mesures de gaz seront focalisées sur le CO₂, le CO, les NO_x et PN. Un système de mesure embarqué prototype IFPEN sera ajouté sur l'ensemble de cette phase de roulage sur route en complément du système de mesure PEMS pour caractériser les émissions de polluants non règlementées (NO/NO₂, NH₃).

Déroulement

Chaque essai sur route se déroule comme suit :

- Macération du véhicule : sans conditionnement préalable, le véhicule est macéré pendant une durée minimale de 8h avant l'essai.
- Pesée et mise à la masse cible
- Avant chaque essai, un pré-test est réalisé conformément à la réglementation: chauffe, calibration du zéro et sur gaz étalons des analyseurs (*Span*), purge et calibration du zéro du débitmètre EFM
- Roulage type RDE « nominal » ou RDE « sévère »
- Après chaque essai, un post-test est également réalisé conformément à la réglementation : test de dérive du zéro, de la calibration et du débitmètre après l'essai (*Drift*)
- Validation des mesures et vérification des critères de recevabilité d'un essai
- Post-traitement et mise en forme des données d'essais pour l'analyse

Description des roulages RDE et critères de recevabilité retenus

Lors de la réalisation d'essais EU-RDE-TA ou EU-RDE-ISC, les essais doivent respecter toutes les exigences de la réglementation RDE-LDV. La plupart de ces exigences sont décrites dans le tableau ci-dessous. Pour tout autre type d'essais PEMS, il n'y a pas de cadre défini à respecter, cependant il faut respecter les règles définies par la sécurité routière ainsi que veiller à ne pas corrompre le fonctionnement de l'équipement PEMS.

Dans le cadre de cette étude, chaque véhicule sera testé sur deux roulages typés RDE, dit nominal et sévère, chacun répété deux fois pour démontrer une répétabilité minimale. Des tolérances seront prises vis-à-vis de certaines exigences de la réglementation RDE-LDV tel que détaillé dans Tableau 6, et ceux pour deux objectifs :

- augmenter le taux de roulages valides dans la limite de leur représentativité de l'usage réel ;
- caractériser des conditions plus sévères que les limites de la réglementation dans le cas du roulage sévère. Pour chaque situation de vie plus sévère que les limites de la réglementation testée, sa représentativité de l'usage réel sera discuté au regard de la base de donnée d'usage réel.

Ces écarts aux limites imposées par la norme EU-RDE sont listés dans le tableau :

- en couleur neutre si ils sont à priori neutres sur les niveaux d'émissions polluantes ;
- en rouge si ils sont à priori susceptibles d'augmenter le niveau d'émissions polluantes ;
- en vert si ils sont à priori susceptibles de diminuer le niveau d'émissions polluantes.

Tableau 6 - Vue d'ensemble des exigences RDE

Condition	Exigences EU-RDE-TA & EU-RDE-ISC	Protocole IFPEN
Durée de l'essai	90 à 120 minutes	Tolérance augmentée +/-15min
Démarrage moteur	Pour pouvoir évaluer les émissions durant un cycle avec départ chaud, un nombre défini de véhicules par famille PEMS doit être testé sans conditionnement mais avec un moteur chaud. Un moteur peut être considéré comme chaud si la température de son liquide de refroidissement ou de l'huile moteur est supérieure à 70°C	Tous les essais sont réalisés avec un démarrage moteur froid.
Trajet : Définition des catégories urbaine, rurale et autoroutière	Le découpage urbain, rural et autoroutier est défini par la vitesse du véhicule : Urbain : ≤ 60km/h Rural : >60km/h et ≤ 90 km/h Autoroutier: >90km/h Chaque catégorie doit représenter une distance minimale de 16km La distribution de ces catégories doit être de : Urbain : ≥ 29% et ≤ 44% Rural : ≥ 23% et ≤ 43% Autoroutier : ≥ 23% et ≤ 43% Les limitations de vitesses définies par le code de la route doivent être respectées.	Affranchissement de ces contraintes sur le roulage sévère , hormis le respect des limitations de vitesses définies par le code de la route. Les trois catégories seront toujours caractérisées.
Trajet : Vitesse moyenne et temps d'arrêt	Vitesse moyenne urbaine : ≥ 15km/h et ≤ 40km/h Vitesse maximale durant le démarrage à froid ≤ 60km/h Périodes d'arrêt (vitesse véhicule < 1km/h) doivent représenter 6 à 30% de la durée de la phase urbaine. Aucun arrêt ne doit excéder 300s	Pour le roulage nominal, tolérance de vitesse moyenne urbaine inférieure abaissée et pas de contrainte spécifique liée au démarrage à froid. Affranchissement de ces contraintes sur le roulage sévère.

	Durée d'arrêt durant le démarrage à froid $\leq 90s$	
Trajet : Dynamique générale du parcours	<p>La dynamique du trajet est vérifiée après roulage et doit respecter les limites sur les critères $v.a_{pos}[95]$ et RPA.</p> <ul style="list-style-type: none"> - $v_{moy_k} \leq 74.6$ et $(v.a_{pos}[95])_k \leq (0.136.v_{moy_k} + 14.44)$ - $v_{moy_k} > 74.6$ et $(v.a_{pos}[95])_k \leq (0.0742 \cdot v_{moy_k} + 18.966)$ - $v_{moy_k} \leq 94.05$ et $RPA_k \geq (0.0016.v_{moy_k} + 0.1755)$ - $v_{moy_k} > 94.05$ et $RPA_k \geq -0.025$ <p>De plus le nombre d'ensembles de données avec des valeurs d'accélération $a > 0.1m/s^2$ doit être supérieur ou égal à 150 dans chaque classe de vitesse</p>	<p>Affranchissement de la contrainte de nombre d'accélération minimale pour la partie autoroutière pour le roulage nominal.</p> <p>Affranchissement de toutes ces contraintes dynamiques sur le roulage sévère, permettant des roulages moins dynamiques (notamment à froid) ou plus dynamiques que limites RDE.</p>
Conditions ambiantes : Température	<p>Modérées : $\geq 0^\circ C$ et $\leq 30^\circ C$ Étendues : ($\geq -7^\circ C$ et $< 0^\circ C$) ou ($> 30^\circ C$ et $\leq 35^\circ C$)</p>	<p>Prise en compte des conditions étendues. Les températures ambiantes des tests des véhicule d'un même couple essence-diesel seront proches.</p>
Conditions ambiantes : altitude	<p>Modérées : ≤ 700 m au-dessus du niveau de la mer Étendues : $> 700m$ et $\leq 1300m$ au-dessus du niveau de la mer Différence maximale d'altitude entre le point de départ et d'arrivée : 100m Gain maximal d'altitude cumulée : 1200m/100km. Valable pour la partie urbaine et l'essai total.</p>	<p>Conforme aux exigences règlementaires</p>
Conditions de la route	<p>Les essais ne peuvent pas être menés sur les routes non pavées</p>	<p>Conforme aux exigences règlementaires</p>
Carburant Lubrifiant Fluides fonctionnels	<p>Les véhicules doivent être roulés avec les carburants, lubrifiants et autre fluides fonctionnels (urée,...) du marché, suivant les recommandations du constructeur automobile.</p>	<p>Conforme aux exigences règlementaires, les propriétés du carburant standard IFPEN utilisé seront comparées aux résultats de surveillance de carburant à la pompe.</p>
Horaires de roulages	<p>Les roulages doivent être effectués durant les jours ouvrés, de préférence entre 7h du matin et 8h du soir.</p>	<p>Conforme aux exigences règlementaires</p>
Charge utile du véhicule	<p>La charge utile standard du véhicule doit comprendre le conducteur, un passager ainsi que le poids des équipements incluant les supports de montage et les batteries et autres alimentations. La charge utile ne doit pas excéder 90% du PTAC.</p>	<p>Conforme aux exigences règlementaires. Le véhicule sera pesé avant chaque essai sur route. Un pourcentage de charge utile sera déterminé pour les roulages nominaux et sévères pour assurer des résultats comparables entre les véhicules.</p>
Pré-conditionnement	<p>Avant chaque test, le véhicule doit avoir roulé pendant au moins 30 minutes, avoir été garé avec les portes et le capot fermé et avoir le moteur éteint pendant 6 à 56 heures. Tout problème identifié pendant le préconditionnement ainsi que la macération doit être rapporté. Il n'est pas nécessaire d'utiliser le matériel PEMS pendant le préconditionnement.</p>	<p>Pas de roulage spécifique de préconditionnement hormis les essais précédents. Macération $> 6h$ depuis le précédent fonctionnement moteur respecté.</p>
Air-conditionné et autres auxiliaires	<p>L'air-conditionné ainsi que tout autre auxiliaire peut être utilisé durant le roulage en veillant à ne pas dépasser une utilisation normale de ces organes. La température recommandée de</p>	<p>Conforme aux exigences règlementaires</p>

	l'habitacle pour le confort des passagers est de l'ordre de 20°C à 24°C.	
Changement de rapports et modes de conduite	Si plusieurs modes de conduites ou de changement de rapports sont disponibles, le véhicule peut être testé avec n'importe lequel de ces modes : éco, normal, sport, etc... à l'exception des modes 4x4. Il est recommandé d'utiliser le mode par défaut.	Utilisation du mode de conduite par défaut uniquement.
Batterie	Les véhicules ne doivent pas être testés avec une batterie déchargée. Il est possible de charger ou remplacer la batterie défectueuse avant le préconditionnement mais pas avant un essai EU-RDE-TA ou EU-RDE-ISC	Conforme aux exigences réglementaires
Pneumatiques	Les types de pneumatiques ainsi que leur pression doit suivre les préconisations du constructeur automobile. La pression doit être vérifiée avant le préconditionnement et réajustée au besoin sur les niveaux recommandés. Le profil du pneumatique doit être vérifié et doit présenter au moins 3mm de profondeur pour les pneumatiques été et 4mm pour les déclinaisons hiver	Conforme aux exigences réglementaires

Résultats / Livrables

- mesure de CO₂, polluants réglementés (NO_x, CO, PN>23nm) et non réglementés (NO, NO₂, NH₃) sur parcours RDE « nominal »
- mesure de CO₂, polluants réglementés (NO_x, CO, PN>23nm) et non réglementés (NO, NO₂, NH₃) sur parcours RDE « sévère »

Etape 2.d : Roulage sur banc à rouleaux climatique

Un essai de type RDE sera réalisé sur un banc à rouleaux climatique permettant de reproduire des conditions de température ambiante sévères froide (-2°C) et chaude (35°C).

Les moyens de mesures de référence tels que décrit au chapitre IV seront utilisés fournissant les mesures réglementaires de de CO₂, CO, NO_x, HC, PM et PN>23nm et des mesures supplémentaires NO/NO₂, CH₄, N₂O, NH₃.

Déroulement

Pour chaque véhicule, une série d'essais sera réalisée au banc à rouleau climatique sur des cycles de roulage type RDE :

- Calage du véhicule : Calage au banc à rouleau suivant la méthode WLTP, réalisé pour chacune des températures d'essais prévues sur cycle RDE. Chaque calage est réalisé à la suite d'une phase de macération à la température d'essais de 8h minimum. Deux calages par véhicules sont prévus (à basse et haute température).
- Essai sur cycle type RDE : Essai de roulage au banc à rouleau suivant un cycle type RDE, suivant une consigne de vitesse et de pente, réalisé pour chacune des températures d'essais prévue. Chacune des températures sera doublée.

Chaque essai est réalisé à la suite d'une phase de macération à la température d'essais de 8h minimum. Aucun conditionnement spécifique n'est demandé avant le début de la macération qui précède l'essai type RDE.

Résultats / Livrables

- les émissions de CO₂, de polluants règlementés (CO, NO_x, HC, PM et PN>23nm) et non règlementés (NO/NO₂, CH₄, N₂O, NH₃) sur parcours RDE « sévères » à -2°C
- les émissions de CO₂, de polluants règlementés (CO, NO_x, HC, PM et PN>23nm) et non règlementés (NO/NO₂, CH₄, N₂O, NH₃) sur parcours RDE « sévères » à 35°C

Synthèse des données recueillies et essais opérés

Tableau 7 : Synthèse des données recueillies et essais opérés

Essai	Conduite	Environnement	Description complémentaire	Éléments de réponse pour le projet
WLTC OEM	Norme	BàR Classique - OEM	Données publiques	Comportement nominal homologué par le constructeur
RDE OEM	Normale	Route- OEM	Données publiques	Comportement nominal homologué par le constructeur
BàR - WLTC	Norme	BàR Classique	Mesures : CO ₂ , NO, NO ₂ , CO, HC, CH ₄ , NH ₃ , PN (>23nm et >10nm)	Valide la conformité du comportement du véhicule prélevé par rapport à l'homologation ; valide le moyen de mesure PEMS
BàR – RDE réf	Normale	BàR Classique	Mesures : CO ₂ , NO, NO ₂ , CO, HC, CH ₄ , NH ₃ , PN (>23nm et >10nm)	Sur un cycle RDE référence commun aux véhicules; permet la comparaison entre véhicules; valide le moyen de mesure PEMS
BàR – RDE réf	Normale	BàR Classique	Protocole de caractérisation de l'impact en émissions des régénérations périodiques sur véhicules diesel Mesures : CO ₂ , NO, NO ₂ , CO, HC, CH ₄ , NH ₃ , PN (>23nm et >10nm)	Impact en polluants réglementés et non réglementés, des régénérations périodiques sur roulage représentatif de l'usage réel
RDE normal	Normale	Route	Parcours type RDE moyen Mesures : CO ₂ , NO _x , CO, PN>23nm, NH ₃ , NO/NO ₂	
RDE sévère	Sévère	Route	Parcours type RDE spécifique : Cible des cas de conduite critiques : accélération, pente, très embouteillé... véhicule chargé. On vise le même test sévère pour l'ensemble des véhicules Mesures : CO ₂ , NO _x , CO, PN>23nm, NH ₃ , NO/NO ₂	Sensibilité des émissions polluantes aux conditions de roulages spécifiques sévères
BàR – RDE	Normale	BàR climatique	Essai RDE à -2°C Mesures : CO ₂ , NO, NO ₂ , CO, HC, CH ₄ , NH ₃ , PN>23nm	Sensibilité des émissions polluantes aux conditions ambiantes : 1 cycle froid (T=-2°C) et un cycle chaud (T=35°C)
BàR – RDE	Normale	BàR climatique	Essai RDE à 35°C Mesures : CO ₂ , NO, NO ₂ , CO, HC, CH ₄ , NH ₃ , PN>23nm	

Etape 3 : Analyses et synthèse

Cette phase d'analyse permet à l'issu des mesures expérimentales de projeter les résultats sur des usages reconstruits à partir de la base de données Geco air de 45Mkm tant sur le type de roulage que sur les conditions de roulage.

Les analyses seront menées en deux étapes :

- comparaison factuelle des émissions polluantes, basée sur les mesures expérimentales menées suivant un protocole explicite, comparativement aux seuils réglementaires ;
- caractérisation étendue des niveaux d'émissions sur des cas d'usages réels pour augmenter la couverture des usages considérés, dont la méthode est détaillée ci-après.

Etape 3.1 Sensibilité de chaque véhicule aux conditions d'usage

Pour chaque véhicule, une analyse comparative de tous les essais sera menée pour établir la sensibilité des émissions polluantes aux conditions de roulage. Cette étude permettra d'identifier les cas de vie les plus critiques pour les émissions polluantes du véhicule. Les niveaux d'émissions mesurés seront également comparés au comportement « nominal » homologué.

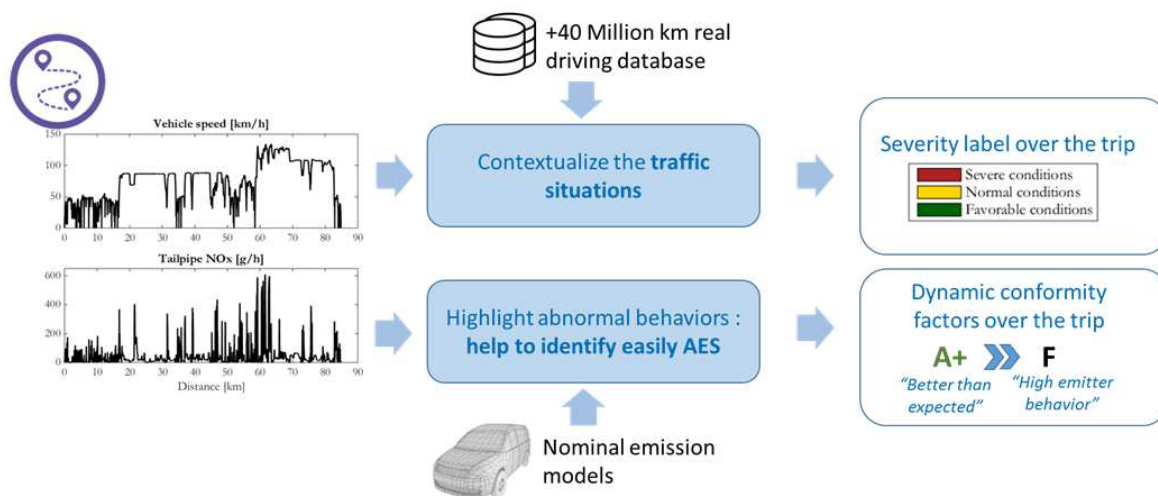


Figure 14 : Méthodologie d'évaluation de la sensibilité des émissions polluantes aux situations de roulage

Etape 3.2 Comparaison inter-véhicule basée sur les mesures expérimentales

Les niveaux d'émissions seront comparés entre les véhicules, d'abord pour les paires de véhicule essence/diesel d'un même modèle, puis plus généralement au niveau de l'échantillon de véhicules sélectionné. Cette comparaison des émissions dans des situations de roulages réelles type RDE permettra de conclure sur les performances environnementales des différentes technologies répondant au niveau d'homologation Euro 6d-TEMP.

Etape 3.3 Cas de vie spécifiques représentatifs de différents usages réels

Le protocole d'évaluation expérimental vise à reproduire une diversité de situations d'usage et de sévérité d'usage. Afin d'étendre ce constat et de couvrir plus largement le spectre d'usage des véhicules, cette phase d'analyse vise à étendre les constats expérimentaux à d'autres cas d'usage à l'aide d'outils numériques. Cette phase permettra d'utiliser les données expérimentales générées pour projeter par calcul des niveaux d'émissions polluantes sur des cas de vie spécifiques représentatifs de différents usages réels, comme illustré schématiquement sur la Figure 15.

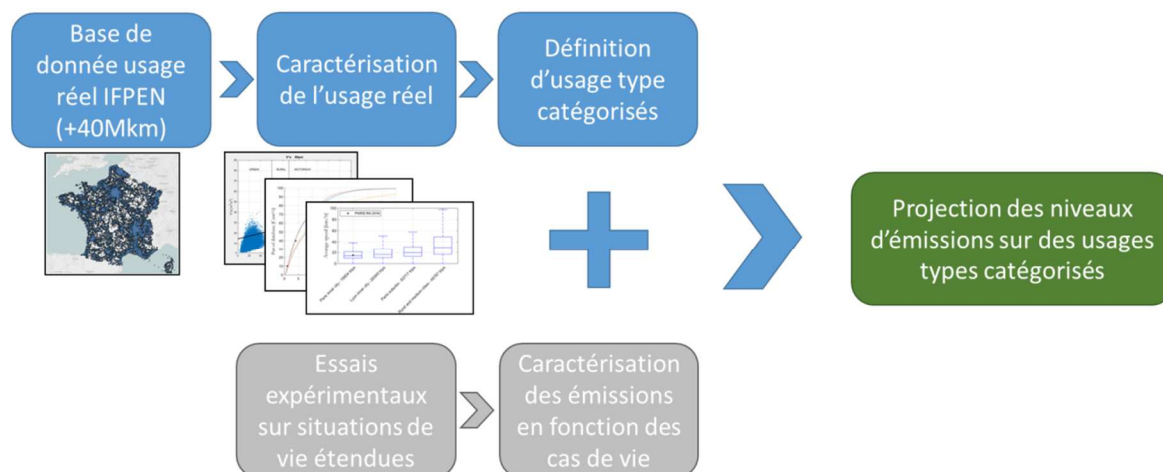


Figure 15 : Méthodologie de projection des émissions polluantes sur des usages catégorisés représentatifs de l'usage réel

L'utilisation d'une base de données indépendante d'usage réel de conducteurs non professionnels à grande échelle (+45 millions de km), permettra d'identifier des usages catégorisés représentatifs de situations critiques mais réalistes. Des outils de simulation numérique, calibrés à partir des mesures expérimentales réalisées, permettront de projeter les comportements sur ces usages caractérisés. Des publications scientifiques détaillent les modèles utilisés⁸.

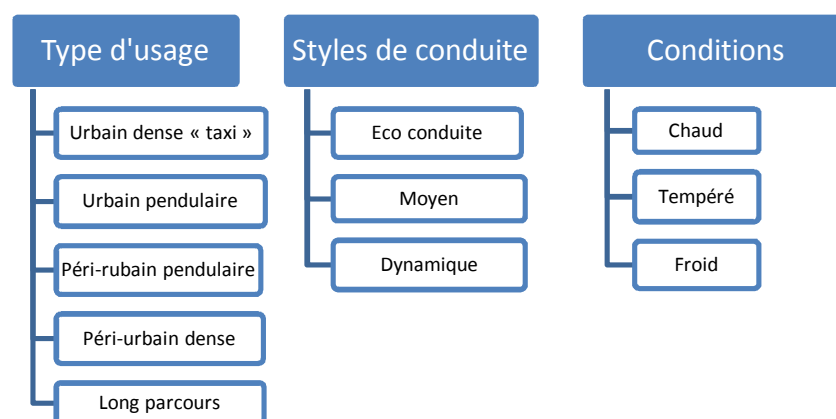


Figure 16 : Exemple de définition des usages catégorisés retenus

⁸ Sabiron, G., et al. (2018). "Pollutant emissions estimation framework for real-driving emissions at microscopic scale and environmental footprint calculation." IV'18, 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium.

Thibault, L., et al. (2017). "GNSS data-based Approach to Monitor Real-World Exhaust Emissions at Microscopic Resolution." TAP, 22st International Transport and Air Pollution Conference.

La Figure 16 donne un exemple de définition, provisoire, des usages catégorisés retenus. Cette méthode permet d'estimer les niveaux d'émissions sur une matrice de **45 usages réels types couvrant beaucoup plus largement l'usage réel français**, à partir des 6 essais disponibles pour chaque véhicule représentatifs mais non exhaustifs. Aussi, les Figure 17 et Figure 18 introduisent respectivement la structures générale des modèles de simulation utilisés ainsi qu'un exemple de mise en œuvre pour projeter les niveaux d'émissions polluantes sur un nombre important de situations de vie réelles.

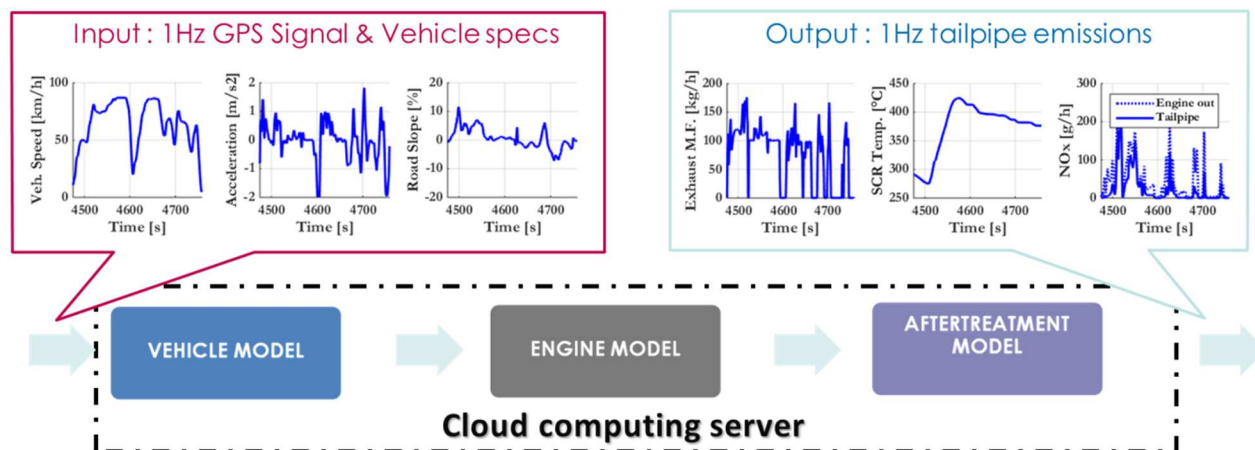


Figure 17 : Modèles d'émissions de polluants

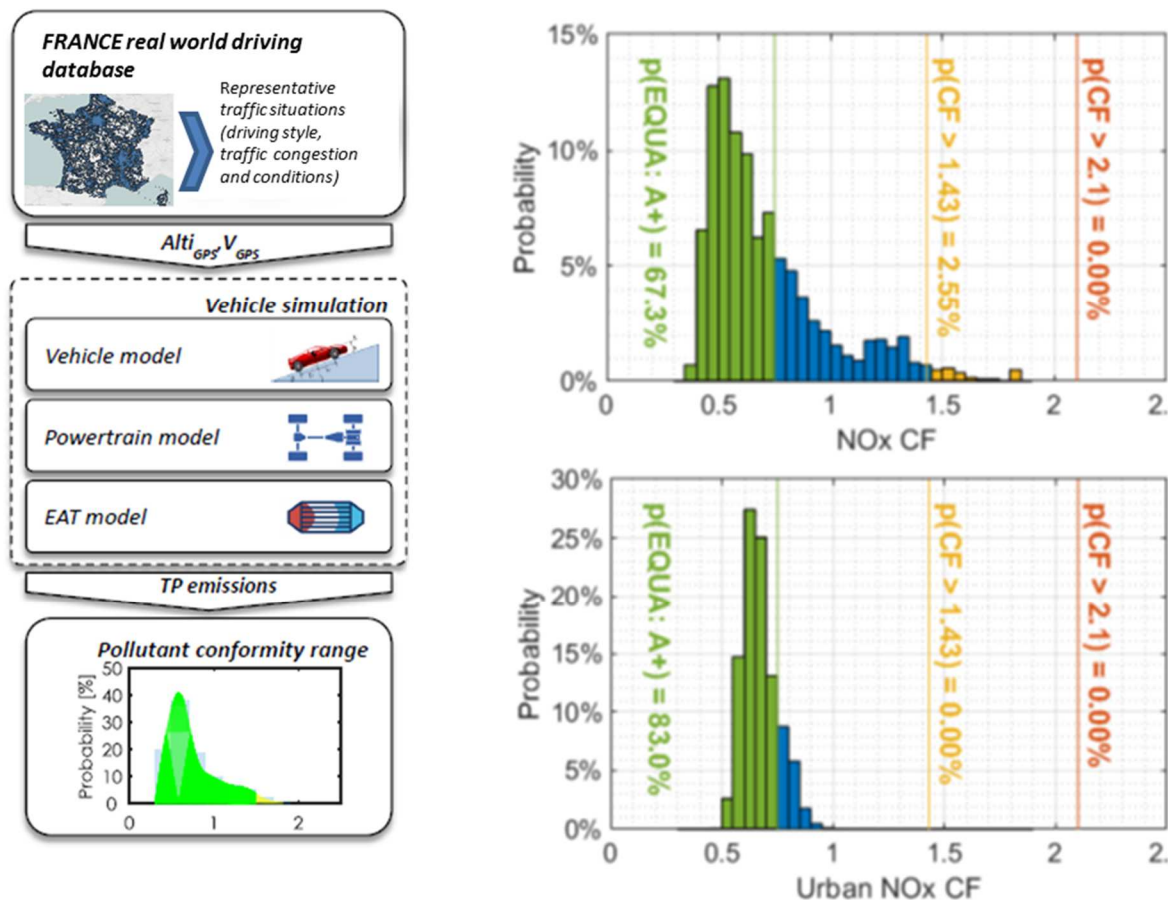


Figure 18 : Méthodologie et exemple de résultat d'une projection des émissions de NOx d'un véhicule sur un nombre important de situations de roulage

VI. Livrables de l'étude

Un rapport de synthèse sera édité pour chaque véhicule, précisant :


- Les polluants réglementés et non réglementés sur les cas expérimentaux (WLTC, RDE) et des cas de vie spécifiques (régénération).

- Des projections sur une matrice d'usage type, couvrant l'ensemble de l'usage réel en France.

Un rapport écrit de synthèse global sera également fourni reprenant les conclusions de chacune des phases d'analyses.

Le rapport de synthèse de chaque véhicule sera disponible sous forme d'un fichier Excel au format suivant :

Marque :	PEUGEOT	Modèle :	308	Année :	2019
Masse à vide :	1520 kg	Kilométrage :	51026 km	Norme :	€6 D-temp ISC EVA
Moteur :	1.5L BLUEHDI				
1498 cm3	4 cylindres		130 ch		
Boîte de vitesse :	Manuelle		6 rapports		
Suralimentation :	Turbo à géométrie variable				
Définition EGR :	EGR HP				
Post-traitement :	DOC + FAP + SCR				
Taille pneumatiques :	205/55R16 V				
Autres :	-				



			PR				PNR					
			CO2 [g/km]	CO [mg/km]	NOx [mg/km]	PN>23nm [#/km]	NO [mg/km]	NO2 [mg/km]	NH3 [mg/km]	N2O [mg/km]	CH4 [mg/km]	PN>10nm [#/km]
Mesures	Banc à rouleaux	WLTC										
		RDE										
	Route	RDE "nominal"										
		RDE "sévère"										
Banc à rouleaux climatique	RDE "sévère" froid											
	RDE "sévère" chaud											
Projections	Urbain intense	Eco-driving	Tempéré									
			Chaud									
			Froid									
		Normal	Tempéré									
			Chaud									
			Froid									
	Dynamique	Tempéré										
		Chaud										
		Froid										
	Urbain pendulaire	Eco-driving	Tempéré									
			Chaud									
			Froid									
Normal		Tempéré										
		Chaud										
		Froid										
Dynamique	Tempéré											
	Chaud											
	Froid											
Péri-urbain dense	Eco-driving	Tempéré										
		Chaud										
		Froid										
	Normal	Tempéré										
		Chaud										
		Froid										
Dynamique	Tempéré											
	Chaud											
	Froid											
(...)	Eco-driving	Tempéré										
		Chaud										
		Froid										
	Normal	Tempéré										
		Chaud										
		Froid										
Dynamique	Tempéré											
	Chaud											
	Froid											

VII. Glossaire

PM – *Particle Mass*

PN – *Particle Number*

CO₂ – Dioxyde de carbone

PRG - Le Potentiel de Réchauffement Global d'un gaz est la masse de CO₂ qui produirait un impact équivalent sur l'effet de serre.

N₂O – Protoxyde d'azote – gaz à effet de serre, PRG de 298

CO – Monoxyde de carbone

(T)HC – Masse totale d'hydrocarbures

CH₄ – Méthane, gaz à effet de serre, PRG de 25

NMHC – Masse d'hydrocarbures non méthaniques

NO_x – Oxydes d'azote

NO – Monoxyde d'azote

NO₂ – Dioxyde d'azote

DPF – *Diesel Particle Filter*, filtre à particules pour véhicule diesel

GPF - *Gasoline Particle Filter*, filtre à particules pour véhicule essence

SCR – *Selective Catalytic Reduction*, ou réduction catalytisée sélective : technique de réduction des oxydes d'azote équipant certains véhicules diesel

RDE – Real Driving Emissions, test des émissions en roulage réel

PEMS – *Portable Emission Measurement System*

OBD – *On Board Diagnostic*, ou diagnostic embarqué désigne l'ensemble des capacités de diagnostic matériel embarquées dans les véhicules pour contrôler les composants affectant les émissions polluantes du véhicule au cours de sa vie, et répond à des exigences réglementaire.

CVS - *Constant Volume Sampling*, système de prélèvement à débit variable au banc à rouleaux