

⑬ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

⑪ N° de publication : **3 096 822**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

⑳ N° d'enregistrement national : **19 05686**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **G 08 G 1/052 (2019.01), G 08 G 1/01, G 06 N 20/00**

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②② **Date de dépôt** : 28.05.19.

③① **Priorité** :

④③ **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 04.12.20 Bulletin 20/49.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire** : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥① **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

**Demande(s) d'extension** :

⑦① **Demandeur(s)** : IFP Energies nouvelles Etablissement public — FR.

⑦② **Inventeur(s)** : LARAKI Mohamed, DE NUNZIO Giovanni et THIBAUT Laurent.

⑦③ **Titulaire(s)** : IFP Energies nouvelles Etablissement public.

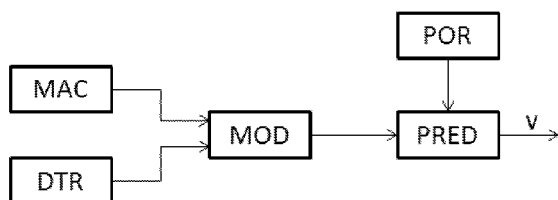
⑦④ **Matériaux** : **prédiction d'au moins un profil de la vitesse d'un véhicule sur un réseau routier.**

⑦⑤ **Procédés** : L'invention concerne un procédé de prédiction d'au

moins un profil de vitesse d'un véhicule pour une portion d'un réseau routier (POR), dans lequel on construit un modèle de vitesse de véhicule (MOD) au moyen de données macroscopiques du réseau routier (MAC) et de données de trajets ré-

alisés (DTR), puis on applique ce modèle à la portion de réseau routier considérée (POR).

Figure 1 à publier



FR 3 096 822 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : Procédé de prédiction d'au moins un profil de la vitesse d'un véhicule sur un réseau routier**

#### **Domaine technique**

- [0001] La présente invention concerne la prédiction de la vitesse d'un véhicule sur un réseau routier.
- [0002] Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), environ 18000 décès par jour sont attribuables à une mauvaise qualité de l'air, ce qui fait monter l'estimation à environ 6.5 millions de décès par an. La pollution atmosphérique représente également un fort enjeu financier : une commission d'enquête sénatoriale estime que le coût total de la pollution de l'air s'établit entre 68 et 97 milliards d'euros par an pour la France, dans une évaluation, rendue en juillet 2015, intégrant à la fois les dommages sanitaires de la pollution, mais également ses conséquences sur les bâtiments, les écosystèmes et l'agriculture. Le secteur des transports représente toujours l'une des sources les plus importantes de polluants, malgré les nombreuses mesures mises en place par les pouvoirs publics et les avancements technologiques dans le domaine. Les transports, tous modes confondus, sont responsables d'environ 50% des émissions globales d'oxydes d'azote (NOx) et environ 10% des émissions de particules PM2,5. Le transport routier seul représente une part considérable de cet apport dû aux transports, avec 58% des émissions de NOx et 73% des émissions de particules PM2,5. Ces émissions sont dues principalement à trois facteurs : les émissions à l'échappement, les émissions d'abrasion, les émissions d'évaporation. Si les poids lourds sont les principaux émetteurs de polluants, ce sont les véhicules particuliers, plus représentés dans les zones urbaines fortement peuplées, qui ont l'impact le plus élevé sur l'exposition des citoyens à une mauvaise qualité de l'air.
- [0003] Les mesures mises en place au niveau local pour gérer l'utilisation des transports (comme une meilleure planification des transports et les mesures pour inciter le transfert modal), ainsi que le progressif renouvellement du parc automobile, ont contribué à limiter les émissions de gaz à l'échappement du transport routier dans les villes et les agglomérations urbaines. En effet, dans le monde, l'activité liée au transport routier a augmenté d'un quart au cours de la dernière décennie, alors que les émissions de NOx ont augmenté de 5% et les émissions de particules ont diminué de 6%. Malgré ces améliorations, les niveaux de pollution dépassent encore les seuils fixés par l'OMS dans de nombreuses villes.
- [0004] De même, les outils actuels de monitoring de la qualité de l'air ne permettent pas d'isoler et estimer avec précision la part d'émissions en usage réel due au transport

routier ainsi que leur localisation spatiale. En effet, l'estimation d'émissions de polluants est basée sur l'utilisation d'une méthode moyenne adaptée à de larges échelles, typiquement des segments de route de plusieurs kilomètres pour que le trajet puisse être considéré comme représentatif de l'ensemble des conditions de circulation, comme dans la méthodologie COPERT (de l'anglais « COmputer Program to calculate Emissions from Road Transports », pouvant être traduit par programme informatique de calcul des émissions des transports routiers).

- [0005] Par conséquent, il s'avère difficile pour les villes de prendre les bonnes décisions en matière d'aménagement de l'infrastructure routière et de législation sans avoir à disposition des outils précis d'évaluation et de projection d'impact des mesures envisagées sur les émissions polluantes du transport routier et la qualité de l'air. Ces nouveaux outils devraient idéalement permettre d'évaluer l'impact des mesures sur des échelles temporelles et spatiales très fines (de l'ordre d'une minute, et de l'ordre de dix mètres).
- [0006] Les émissions polluantes (chimiques et/ou sonores) sont liées à la vitesse de déplacement des véhicules sur la route. C'est pourquoi pour avoir de bonnes prévisions des émissions polluantes, il est important de prédire précisément la vitesse des véhicules sur la route, en prenant compte de la topologie de la route (pente, virage, signalisation routière, etc.) et des conditions de trafic.
- [0007] De plus, la consommation du véhicule est également liée à la vitesse du véhicule. C'est pourquoi, pour déterminer de manière précise la consommation d'un véhicule, il est important de prédire précisément la vitesse des véhicules sur la route, en prenant compte de la topologie de la route (pente, virage, signalisation routière, etc.) et des conditions de trafic.
- [0008] Un autre domaine pour lequel la prédiction de la vitesse des véhicules est utile est le domaine de la détermination des trajets du véhicule pour la navigation. En effet, une prédiction précise de la vitesse des véhicules sur la route en tenant compte notamment de la topologie de la route et des conditions de trafic permet une navigation optimisée, notamment en termes de temps de trajet.
- [0009] La connaissance de la vitesse des véhicules a également un impact sur la sécurité routière.

### **Technique antérieure**

- [0010] Plusieurs méthodes ont été développées pour déterminer la vitesse des véhicules.
- [0011] La méthode la plus répandue est la détermination d'une vitesse moyenne du véhicule. Cette méthode peut notamment se baser sur l'exploitation de mesures de trafic pour estimer une seule valeur de la vitesse moyenne par segment routier. Cette méthode ne permet pas d'obtenir une bonne précision de la vitesse, elle ne permet pas de prendre

en compte l'impact de l'infrastructure routière, ni les différents styles de conduites ni les différents comportements liés aux signalisations. En outre, cette méthode nécessite des mesures de trafic récentes. Pour la majorité des méthodes d'estimation des vitesses moyennes, il n'est pas possible d'estimer une vitesse pour un segment de route sans mesure de trafic. Par exemple, la demande de brevet CN109003453 décrit une méthode d'estimation de la vitesse moyenne.

- [0012] Une autre méthode se base sur une estimation d'une vitesse statistique correspondant au percentile 85% au moyen de modèles statistiques. Cette méthode présente les mêmes inconvénients que la méthode précédemment décrite : manque de précision, pas de prise en compte de l'impact de l'infrastructure routière, ni des différents styles de conduites, ni des différents comportements liés aux signalisations, impossibilité de prédire une vitesse pour un segment de route sans mesure de trafic. Par exemple, le document Lamm, Ruediger, Basil Psarianos, and Theodor Mailaender. Highway design and traffic safety engineering handbook. 1999. décrit une telle méthode.
- [0013] La méthode de reconstruction d'un cycle de conduite se base sur un historique de données de trajet réalisés, appelées données FCD (de l'anglais « floating car data »). Cette base de données est décomposée puis groupée selon des descripteurs macroscopiques, tels que le type de route. Ensuite, chaque segment de route est identifié comme appartenant à un groupe. Un ou plusieurs profils de vitesse sont construits sur ce segment en combinant des portions de vitesses réelles issues des données FCD appartenant à ce groupe. Cette méthode manque également de précision ; en effet, les modèles utilisés sont pertinents à grande échelle spatiale uniquement, mais peuvent donner lieu à des comportements incohérents. De plus, cette méthode, qui peut être coûteuse en temps de calcul, ne permet pas de prendre en compte, directement et de manière détaillée, l'impact de l'infrastructure routière. Par exemple, le document Effa, R. C., L. C. Larsen. 1993. Development of Real-World Driving Cycles for Estimating Facility-Specific Emissions from Light-Duty Vehicles. Presented at Air and Waste Management Assoc. Specialty Conf. Emission Inventory: Perception and Reality, Pasadena, CA décrit une telle méthode.
- [0014] Une autre méthode se base sur le calcul d'un profil de vitesse en fonction de la distance au moyen de fonctions mathématiques en considérant la signalisation et l'infrastructure sur chaque segment de route. Cette méthode ne donne pas satisfaction en termes de prise en compte des différents comportements et styles de conduite, ni de la topologie de la route. De plus, la majorité des procédés basée sur cette méthode ne peut pas être utilisée pour un segment de route pour lequel il n'existe pas d'historique. Le document Andrieu, C. (2013). Modélisation fonctionnelle de profils de vitesse en lien avec l'infrastructure et méthodologie de construction d'un profil agrégé (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III) décrit une telle méthode.

[0015] Il existe en outre une méthode de classification de profils de vitesse en se basant sur des descripteurs microscopiques liés aux profils de vitesse, un ou plusieurs profils typiques sont ensuite associés à chaque segment de route. Cette méthode manque également de précision (la reconstruction se base uniquement sur une moyenne des données historiques), ne permet pas de prendre en compte les conditions de trafic (congestion) ni la topologie de la route, et manque d'exploitabilité car elle nécessite des données microscopiques pas toujours connues. Cette méthode est notamment décrite dans le document Laureshyn, Aliaksei, Kalle Åström, and Karin Brundell-Freij. "From speed profile data to analysis of behaviour: classification by pattern recognition techniques." IATSS research 33.2 (2009): 88-98.

### **Résumé de l'invention**

[0016] La présente invention a pour but de prédire un profil de vitesse précis à l'échelle spatiale fine en considérant les différents comportements et styles de conduites sans données microscopiques. Dans ce but, l'invention concerne un procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse d'un véhicule pour une portion d'un réseau routier, dans lequel on construit un modèle de vitesse de véhicule au moyen de données macroscopiques du réseau routier et de données de trajets réalisés, puis on applique ce modèle à la portion de réseau routier considérée.

[0017] L'invention concerne un procédé de prédiction d'au moins un profil de la vitesse d'un véhicule sur une portion d'un réseau routier. Pour ce procédé, on met en œuvre les étapes suivantes :

[0018] a) On construit un modèle de vitesse du véhicule par une méthode d'apprentissage automatique au moyen de données macroscopiques dudit réseau routier et au moyen de données de trajets réalisés sur ledit réseau routier, ledit modèle de vitesse de véhicule associe à au moins une subdivision dudit réseau routier au moins un profil de vitesse du véhicule en fonction desdites données macroscopiques dudit réseau routier et desdites données de trajets réalisés ; et

[0019] b) On prédit au moins un profil de la vitesse dudit véhicule sur ladite portion dudit réseau routier en appliquant ledit modèle de vitesse de véhicule à des données macroscopiques de chaque subdivision de ladite portion dudit réseau routier.

[0020] Selon un mode de réalisation, on construit ledit modèle de vitesse de véhicule en mettant en œuvre les étapes suivantes :

[0021] i) On segmente ledit réseau routier au moyen desdites données macroscopiques dudit réseau routier ;

[0022] ii) On catégorise chaque segment dudit réseau routier en fonction desdites données macroscopiques dudit réseau routier ;

[0023] iii) Pour chaque catégorie de segment routier, on classifie lesdites données de trajets

réalisés ; et

[0024] iv) Pour chaque catégorie de segment routier et pour chaque classification desdites données de trajets réalisés, on génère au moins un profil de vitesse de véhicule au moyen desdites données de trajets réalisés.

[0025] Selon une mise en œuvre de l'invention, on prédit au moins un profil de vitesse du véhicule sur ladite portion dudit réseau routier en mettant en œuvre les étapes suivantes :

[0026] i) On segmente ladite portion dudit réseau routier ;

[0027] ii) On catégorise lesdits segments de ladite portion dudit réseau routier ; et

[0028] iii) On attribue à chaque segment de ladite portion dudit réseau routier ledit au moins un profil de vitesse de véhicule généré au moyen dudit modèle de vitesse du véhicule.

[0029] De préférence, on attribue à chaque segment de ladite portion dudit réseau routier ledit au moins un profil de vitesse, en prenant en compte des données de trajets réalisés sur chaque segment pour préciser ledit au moins un profil de vitesse.

[0030] Avantageusement, on attribue également à chaque segment de ladite portion dudit réseau routier une distribution dudit au moins un profil de vitesse.

[0031] Selon une option de réalisation, on segmente ledit réseau routier par une division dudit réseau routier en triplets de liaisons, chaque triplet de liaisons étant formé par une liaison formée entre deux nœuds dudit réseau routier, son origine et sa destination.

[0032] Selon un aspect, ladite catégorie dudit segment du réseau routier est choisi parmi :

[0033] a) Une route congestionnée,

[0034] b) Une route pas ou peu congestionnée avec un feu de signalisation,

[0035] c) Une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation et avec une intersection avec priorité,

[0036] d) Une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation et avec une intersection sans priorité,

[0037] e) Une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation avec un virage ayant une faible courbure, et

[0038] f) Une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation avec un virage ayant une courbure importante.

[0039] Selon une caractéristique, on classifie lesdites données de trajets réalisés par un algorithme de classification, notamment l'algorithme du k-means.

[0040] Conformément à un mode de réalisation, on génère au moins un profil de vitesse du véhicule par une méthode basée sur au moins un réseau de neurones, pour paramétrer une fonction de la vitesse dépendant de la distance, de préférence ladite fonction de la vitesse est une fonction linéaire, une fonction parabolique, ou une combinaison de fonctions linéaires et/ou paraboliques de la distance.

[0041] Selon une mise en œuvre, lesdites données macroscopiques dudit réseau routier sont

la topologie et les conditions de trafic, de préférence lesdites données macroscopiques dudit réseau routier sont fournies par un système d'information géographique.

- [0042] Selon un aspect, lesdites données de trajets réalisés comportent des données de vitesse, de position et d'altitude mesurées lors de trajets antérieurs, de préférence au moyen d'un système de géolocalisation.
- [0043] Conformément à une caractéristique, on affiche ledit au moins un profil de vitesse du véhicule de ladite portion de réseau routier sur une carte routière, de préférence au moyen d'un téléphone intelligent ou d'un système informatique.
- [0044] De plus, l'invention concerne un procédé de prédiction des émissions polluantes chimiques et/ou sonores sur une portion d'un réseau routier, dans lequel on met en œuvre les étapes suivantes :
- [0045] a) On prédit au moins un profil de vitesse du véhicule sur ladite portion dudit réseau routier au moyen du procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon l'une des caractéristiques précédentes ; et
- [0046] b) On applique un modèle microscopique d'émissions polluantes chimiques et/ou sonores audit au moins un profil de vitesse pour prédire lesdites émissions polluantes, ledit modèle reliant la vitesse du véhicule et lesdites émissions polluantes.
- [0047] L'invention concerne également un procédé de prédiction de la consommation d'un véhicule sur une portion d'un réseau routier, dans lequel on met en œuvre les étapes suivantes :
- [0048] a) On prédit au moins un profil de vitesse du véhicule sur ladite portion dudit réseau routier au moyen du procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon l'une des caractéristiques précédentes ; et
- [0049] b) On applique un modèle de consommation du véhicule audit au moins un profil de vitesse pour prédire ladite consommation dudit véhicule, ledit modèle reliant la vitesse du véhicule et ladite consommation dudit véhicule.
- [0050] En outre, l'invention concerne un procédé de détermination d'un trajet à parcourir par un véhicule, pour lequel on identifie le départ et l'arrivée dudit trajet, en mettant en œuvre les étapes suivantes :
- [0051] a) On prédit au moins un profil de vitesse du véhicule sur ladite portion dudit réseau routier au moyen du procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon l'une des caractéristiques précédentes ; et
- [0052] b) On détermine un trajet à parcourir pour relier ledit départ et ladite arrivée, en prenant en compte ledit au moins un profil de vitesse du véhicule, de préférence en minimisant le temps de trajet.
- [0053] D'autres caractéristiques et avantages du procédé selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'exemples non limitatifs de réalisations, en se référant aux figures annexées et décrites ci-après.

## Liste des figures

- [0054] [fig.1]
- [0055] La figure 1 illustre les étapes du procédé selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0056] [fig.2]
- [0057] La figure 2 illustre la construction du modèle de vitesse selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0058] [fig.3]
- [0059] La figure 3 illustre la prédiction d'un profil de vitesse selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0060] [fig.4]
- [0061] La figure 4 illustre une portion d'un réseau routier.
- [0062] [fig.5]
- [0063] La figure 5 illustre un profil de vitesse pour un exemple dans le cas d'une route avec un feu de signalisation, lorsque le feu de signalisation est rouge.
- [0064] [fig.6]
- [0065] La figure 6 illustre un profil de vitesse pour un exemple dans le cas d'une route avec un feu de signalisation, lorsque le feu de signalisation est vert.
- [0066] [fig.7]
- [0067] La figure 7 illustre, pour un exemple, une comparaison de profils de vitesse mesurés et de profils de vitesse prédits au moyen du procédé selon un mode de réalisation de l'invention, dans le cas d'une route avec un feu de signalisation, lorsque le feu de signalisation est rouge.
- [0068] [fig.8]
- [0069] La figure 8 illustre, pour un exemple, une comparaison de profils de vitesse mesurés et de profils de vitesse prédits au moyen du procédé selon un mode de réalisation de l'invention, dans le cas d'une route avec un feu de signalisation, lorsque le feu de signalisation est vert.
- [0070] [fig.9]
- [0071] La figure 9 illustre, pour un exemple, une comparaison des émissions de NO<sub>x</sub> mesurées et estimées au moyen du procédé selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0072] [fig.10]
- [0073] La figure 10 illustre, pour un exemple, une comparaison des émissions de NO<sub>x</sub> mesurées et estimées au moyen du procédé selon un mode de réalisation de l'invention.

## Description des modes de réalisation

- [0074] La présente invention concerne un procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse d'un véhicule sur une portion d'un réseau routier. Le procédé permet de prédire la vitesse d'un véhicule qui circulerait sur une portion d'un réseau routier, la vitesse

peut être exprimée en fonction de la distance par rapport à une extrémité de la route. Etant donné qu'il s'agit d'une prédiction, celle-ci peut être réalisée même sur une portion d'un réseau routier pour lequel aucun trajet antérieur n'est disponible. On appelle profil de vitesse, la variation de la vitesse du véhicule le long d'une route d'un réseau routier ; le réseau routier étant constitué de l'ensemble des routes pour un territoire donné, par exemple pour un pays ou pour une région. La portion de réseau routier est une partie de ce réseau routier pour lequel on souhaite déterminer au moins un profil de vitesse du véhicule. La portion de réseau routier peut consister en un ensemble de routes entre un point de départ et une arrivée, en un ensemble de routes d'une ville ou d'un quartier, etc.

[0075] De préférence, le véhicule est un véhicule motorisé circulant au sein du réseau routier, tel qu'un véhicule automobile, un deux-roues, un poids lourd, un car, un bus.

[0076] Selon l'invention, on met en œuvre les étapes suivantes :

[0077] 1. Construction du modèle de vitesse du véhicule

[0078] 2. Prédiction d'au moins un profil de vitesse

[0079] Ces étapes peuvent être mises en œuvre par des moyens informatiques. L'étape 1 peut être réalisée hors ligne, et l'étape 2 peut être réalisée en ligne. Ces étapes sont détaillées dans la suite de la description.

[0080] La figure 1 illustre, schématiquement et de manière non limitative, les étapes du procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon un mode de réalisation de l'invention. Au moyen de données macroscopiques (MAC) du réseau routier, et de données de trajets réalisés (DTR), on construit le modèle de vitesse du véhicule (MOD). Ensuite, le modèle de vitesse du véhicule (MOD) permet la prédiction (PRED) d'au moins un profil de vitesse ( $v$ ) pour la portion de réseau routier considérée (POR).

[0081] 1. Construction du modèle de vitesse du véhicule

[0082] Lors de cette étape, on construit un modèle de vitesse du véhicule par une méthode d'apprentissage automatique (de l'anglais « machine learning ») au moyen de données macroscopiques du réseau routier et au moyen de données de trajets réalisés sur le réseau routier. Les données macroscopiques du réseau routier permettent de prendre en compte des informations liées au réseau routier, telle que l'infrastructure, la pente, la signalisation, le trafic etc. Les données de trajets réalisés permet de prendre en compte des comportements réels afin de former un modèle de vitesse du véhicule représentatif et précis. Le modèle de vitesse du véhicule associe à au moins une subdivision du réseau routier (de préférence à une liaison du réseau routier) au moins un profil de vitesse du véhicule en fonction des données macroscopiques du réseau routier et des données de trajets réalisés.

[0083] On appelle subdivision du réseau routier, tout découpage du réseau routier. De préférence, la subdivision choisie peut être une liaison du réseau routier. La liaison du

réseau routier est une subdivision élémentaire du réseau routier entre deux nœuds consécutifs du réseau routier. Par exemple une liaison du réseau routier peut être une route entre deux intersections consécutives, entre deux signalisations consécutives, entre une intersection et une signalisation, ou une partie d'autoroute entre deux sorties consécutives, etc. Ainsi, on dispose d'un découpage fin du réseau routier, et d'un modèle de vitesse du véhicule qui est adapté au réseau routier sans données microscopiques. Ainsi, ce découpage permet d'obtenir une prédiction la plus représentative possible à une échelle spatiale fine.

- [0084] Selon un aspect de l'invention, les données macroscopiques du réseau routier peuvent être la topologie (c'est-à-dire la pente, les virages, les intersections, la signalisation, etc.) et les conditions de trafic. De préférence, les données macroscopiques du réseau routier peuvent être fournies par un système d'information géographique (SIG). Here Maps <sup>TM</sup>, Google Maps <sup>TM</sup>, OpenStreetMap <sup>TM</sup> sont des exemples de système d'information géographique. Les données macroscopiques sont toujours disponibles et depuis n'importe quel lieu. Ainsi, elles peuvent servir comme entrées uniques du modèle de vitesse de véhicule.
- [0085] Selon un aspect de l'invention, les données de trajets réalisés peuvent comporter des données mesurées lors de trajets antérieurs, notamment la vitesse, la position et l'altitude. De préférence, les données de trajets réalisés peuvent être mesurées au moyen d'un système de géolocalisation, tel qu'un capteur de positionnement par satellite, tel que le système GPS (de l'anglais Global Positioning System), le système Galileo, etc. Le système de géolocalisation peut être embarqué à bord du véhicule ou déporté (par exemple au moyen d'un téléphone intelligent, de l'anglais « smartphone »).
- [0086] Selon un mode de réalisation de l'invention, on peut construire le modèle de vitesse du véhicule en mettant en œuvre les étapes suivantes :
- [0087] 1.1 Segmentation du réseau routier
- [0088] 1.2 Catégorisation des segments du réseau routier
- [0089] 1.3 Classification des données de trajets réalisés
- [0090] 1.4 Génération d'au moins un profil de vitesse.
- [0091] Ces étapes peuvent être mises en œuvre par des moyens informatiques. Ces étapes sont détaillées dans la suite de la description.
- [0092] La figure 2 illustre, schématiquement et de manière non limitative, les étapes de la construction du modèle de vitesse du véhicule selon ce mode de réalisation de l'invention. Dans un premier temps, on segmente (SEG) le réseau routier au moyen des données macroscopiques (MAC). Par la suite, on catégorise (CAT) les segments du réseau routier obtenus à l'étape précédente. L'étape suivante est une étape de classification (CLA) des données de trajets réalisés (DTR) pour chaque catégorie (CAT) de

segment routier. Enfin, on génère au moins un profil de vitesse (PRO) pour chaque segment du réseau routier et pour chaque classification des données de trajets réalisés.

[0093] 1.1 Segmentation du réseau routier

[0094] Lors de cette étape, on segmente le réseau routier au moyen des données macroscopiques du réseau routier. En d'autres termes, on découpe le réseau routier en segments à partir des données macroscopiques du réseau routier. Le but de cette étape est d'obtenir des subdivisions du réseau routier en fonction de données telles que la topologie et les conditions de trafic.

[0095] Conformément à une mise en œuvre de l'invention, on peut segmenter le réseau routier par un découpage du réseau routier en triplets de liaisons, chaque triplet de liaisons comportant une liaison formée entre deux nœuds du réseau routier, son origine et sa destination. Il existe une importante dispersion des vitesses enregistrées dans les données des trajets réalisés en fonction du style de conduite, de l'état de la signalisation, des manœuvres et des origines et destination de chaque véhicule. Cette segmentation en triplet de liaisons permet de limiter cette dispersion, en considérant (dans les étapes suivantes) uniquement les données de vitesses des véhicules qui proviennent de la même origine et qui ont la même destination. De plus, cette segmentation permet d'obtenir des caractéristiques pour chaque segment (chaque triplet de liaisons), par exemple l'angle de manœuvre, le nombre de triplets ayant la même liaison centrale (nombre de connexions), etc.

[0096] La figure 4 illustre une route comprenant une intersection. Cette route comprend une liaison comprise entre les nœuds A et B. Le véhicule a alors une seule origine O possible et deux destinations possibles D1 et D2. Ainsi, selon la mise en œuvre de l'invention décrite ci-dessus, un premier segment correspondant à la route de la figure 4 peut être le triplet de liaisons (O, liaison AB, D1), et le deuxième segment correspondant à la route de la figure 4 peut être le triplet de liaisons (O, liaison AB, D2). La liaison centrale AB est alors commune pour deux segments (triplets de liaisons) distincts.

[0097] Alternativement, on peut segmenter la route sur la base des liaisons du réseau routier, ou en considérant la moitié d'une liaison pour capter l'effet d'une signalisation qui peut être au milieu d'un segment défini par les données macroscopiques d'un système d'information géographique.

[0098] 1.2 Catégorisation des segments du réseau routier

[0099] Lors de cette étape, on catégorise chaque segment du réseau routier obtenu à l'étape 1.1 au moyen des données macroscopiques du réseau routier. En d'autres termes, à chaque segment routier, on associe une catégorie qui regroupe les segments routiers ayant les mêmes caractéristiques.

[0100] Pour le mode de réalisation dans lequel le segment est un triplet de liaisons, on peut

noter que deux triplets de liaisons ayant la même liaison centrale peuvent se retrouver dans des catégories différentes. En effet, ils peuvent avoir des caractéristiques différentes. Pour l'exemple de la figure 4, le triplet de liaisons (O, AB, D1) ne possède pas de virage, au contraire du triplet de liaisons (O, AB, D2).

[0101] Selon un mode de réalisation, les catégories peuvent être formées à partir des critères suivants : route congestionnée ou non, présence ou absence de signalisation (par exemple d'un feu de signalisation), présence ou absence d'une intersection, route prioritaire ou non, importance de la courbure d'un virage, classe fonctionnelle (qui caractérise la hiérarchie du réseau routier et le niveau d'important du segment, par exemple autoroute, petite rue, etc.), nombre de voies, etc. Ces critères sont obtenus directement des données macroscopiques du réseau routier.

[0102] De manière avantageuse, pour limiter le nombre de catégories et pour conserver une bonne représentativité du réseau routier, les catégories de segments peuvent être :

[0103] - une route congestionnée,

[0104] - une route pas ou peu congestionnée avec un feu de signalisation,

[0105] - une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation et avec une intersection avec priorité,

[0106] - une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation et avec une intersection sans priorité,

[0107] - une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation avec un virage ayant une faible courbure, et

[0108] - une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation avec un virage ayant une forte courbure.

[0109] En d'autres termes, pour cette réalisation, à chaque segment on peut attribuer une de ces six catégories. En effet, il n'est généralement pas utile de subdiviser le cas de la route congestionnée, car dans ce cas, la vitesse est très faible, et ni la signalisation ni la courbure de la route n'ont un impact significatif sur la vitesse du véhicule.

[0110] 1.3 Classification des données de trajets réalisés

[0111] Lors de cette étape, pour chaque catégorie de segment du réseau routier, on classifie les données des trajets réalisés. Pour cela, on associe à chaque segment du réseau routier les données de trajets réalisés, en particulier la vitesse. Puis, on classifie pour chaque catégorie les données des trajets réalisés qui se ressemblent. Cette étape permet de limiter les dispersions des données mesurées, en particulier de la vitesse, ces dispersions étant notamment induites par des phénomènes aléatoires (style de conduite, alternance des feux de signalisation, etc.).

[0112] Cette classification peut être réalisée à partir de données (descripteurs) telles que la vitesse moyenne sur le segment, la vitesse du 75% percentile, vitesse minimale/maximale, somme des accélérations positive/négative, etc.

- [0113] Selon une caractéristique de l'invention, on peut réaliser la classification par un algorithme du « k-means », car les données utilisées sont numériques. Le nombre de classes « k » (ou classes de profils de vitesse similaires) est un paramètre de l'algorithme, qui est déterminé avec une méthode itérative visant à maximiser une métrique de dissimilitude comme la « silhouette ». Un avantage important de cette méthode est l'évaluation de la proximité d'un échantillon de données (dans ce cas un profil de vitesse issue des données de trajets réalisés) au centre d'une classification en le comparant aussi avec la distance moyenne minimale d'une autre classe. En général, une valeur de silhouette supérieure à 0,5 indique une bonne classification, avec très peu de confusion et dispersion entre les classes.
- [0114] A ce stade, selon la répartition des données de trajets réalisés dans les différentes classes, il est possible d'estimer une proportion de données entre classes et associer cela à une probabilité qu'un profil de vitesse d'une classification se vérifie (par exemple, on peut déterminer la probabilité de s'arrêter à un feu rouge).
- [0115] 1.4 Génération d'au moins un profil de vitesse.
- [0116] Lors de cette étape, pour chaque catégorie de segment routier (étape 1.2) et pour chaque classification obtenue à l'étape précédente, on génère au moins un profil de vitesse au moyen des données des trajets antérieurs. En effet, on apprend à générer et/ou à regrouper les données qui appartiennent à la même catégorie et classe pour ressortir des tendances et des comportements de vitesse. Ainsi pour chaque liaison qui a été parcourue au moins une fois, on génère un profil de vitesse sur cette liaison qui approxime les données des trajets réalisés sur cette liaison. Le but de cette étape est de représenter par un profil de vitesse le comportement typique des véhicules en fonction des caractéristiques de la route et des trajets antérieurs réalisés. Ainsi, les profils de vitesse sont représentatifs de comportements réels. Ces profils de vitesse générés forment le modèle de vitesse du véhicule.
- [0117] Pour le mode de réalisation pour lequel le segment est formé d'un triplet de liaisons, lorsque la liaison centrale appartient à deux triplets de liaisons, alors au moins deux profils de vitesse sont générés pour cette liaison centrale.
- [0118] Avantageusement, cette étape peut consister à générer une fonction de la vitesse dépendante de la distance sur la liaison considérée. Pour cela, on peut paramétrer la fonction de la vitesse avec les données des trajets réalisés. Avantageusement, la fonction de la vitesse peut être une fonction polynomiale. De préférence (par simplification), la fonction de la vitesse peut être une fonction linéaire, une fonction parabolique, ou une combinaison de fonctions linéaires et/ou paraboliques.
- [0119] Selon un mode de réalisation de l'invention, lors de cette étape on peut également attribuer à chaque catégorie de segment du réseau routier une distribution des profils de vitesse. Ainsi, il est possible de prédire une probabilité du profil de vitesse.

- [0120] Conformément à un mode de réalisation de l'invention, on peut générer au moins un profil de vitesse du véhicule par une méthode de réseau de neurones, une méthode de machines à vecteur de support (de l'anglais « Support Vector Machine »), une méthode de forêts d'arbres décisionnels (de l'anglais « Random Forest »), ou d'autres méthodes d'apprentissage supervisé. La méthode réseau de neurones permet de paramétrer une fonction de la vitesse qui dépend de la distance, cette fonction pouvant être une fonction linéaire, une fonction parabolique, ou une combinaison de fonctions linéaires et/ou paraboliques. Un exemple de ce mode de réalisation est détaillé dans la suite de la description.
- [0121] Afin de correctement estimer et reconstruire un profil de vitesse typique, il est utile d'en estimer certains paramètres. En particulier, ces paramètres utiles pour la génération de profil de vitesse peuvent être les vitesses initiale et finale du profil sur le segment considéré, ainsi que sa vitesse maximale/minimale et la position de l'éventuel point d'arrêt. L'apprentissage de ces paramètres peut être réalisé de façon supervisée (grâce aux données de trajets réalisés) afin de les corrélérer directement à des descripteurs macroscopiques. L'outil d'apprentissage supervisé utilisé peut être un réseau de neurones, qui peut utiliser en entrée les descripteurs macroscopiques suivants : classification (issue de l'étape précédente) d'appartenance du profil de vitesse à estimer, classe fonctionnelle des liaisons du triplet, nombre de voies sur les liaisons du triplet, limitation de vitesse sur les liaisons du triplet, vitesse moyenne du trafic sur les liaisons du triplet, longueur des liaisons du triplet, angle de manœuvre en entrée et sortie de la liaison centrale du triplet, nombre de liaisons entrants/sortants de la liaison centrale, etc. Afin d'améliorer la performance de l'apprentissage et de l'estimation des paramètres du profil de vitesse, la méthode peut être séparée en deux temps avec des réseaux de neurones en cascade :
- [0122] • le premier réseau de neurones peut estimer la moyenne de la vitesse initiale et de la vitesse finale, ainsi que leur écart type, pour obtenir une densité de probabilité gaussienne. La densité de probabilité gaussienne a été choisie pour la simplicité de définition avec peu de variables et pour la bonne représentativité du phénomène. Ce premier réseau de neurones peut être commun à toutes les classes déterminées à l'étape précédente.
- [0123] • Les réseaux de neurones qui suivent peuvent estimer la vitesse maximale et minimale ainsi que la position du point d'arrêt. Ce réseau de neurones dépend de la classe d'appartenance du profil à estimer (par exemple un réseau de neurones qui estime le point d'arrêt est utilisé si la classe prévoit un profil avec un point d'arrêt) et prend en entrée l'estimation de la vitesse initiale et de la vitesse finale effectuée par le réseau de neurones précédent.
- [0124] En ce qui concerne la génération de profils de vitesse typiques, il est possible

d'utiliser les paramètres estimés avec des méthodes polynomiales déterministes, probabilistes, ou autres. Dans cette réalisation de l'invention, la méthode polynomiale peut être utilisée, sans perte de généralité. Les fonctions polynomiales utilisées pour générer les profils de vitesse prédits peuvent être inspirées de l'observation des profils réels des données de trajets réalisés de chaque classe. Il peut s'agir essentiellement de profils reconstruits avec des fonctions linéaires ou paraboliques. Les paramètres identifiés peuvent être « tirés » de façon aléatoire selon leur distribution gaussienne afin de générer plusieurs profils de vitesse représentatifs. Ces profils de vitesse générés peuvent respecter les contraintes de longueur et vitesse maximale et minimale de la liaison considérée pour laquelle la prédiction est faite.

[0125] La figure 5 illustre, schématiquement et de manière non limitative, une fonction de la vitesse  $V$  en fonction de la distance  $D$ . Cette fonction de vitesse correspond à une liaison routière avec un feu de signalisation à l'état « rouge ». La fonction de la vitesse est formée de deux fonctions paraboliques : une première décroissante jusqu'à un point d'arrêt et une seconde croissante depuis le point d'arrêt.

[0126] La figure 6 illustre, schématiquement et de manière non limitative, une fonction de la vitesse  $V$  en fonction de la distance  $D$ . Cette fonction de vitesse correspond à une liaison routière avec un feu de signalisation à l'état « vert ». La fonction de la vitesse est formée d'une fonction linéaire décroissante.

[0127] 2. Prédiction d'au moins un profil de vitesse

[0128] Lors de cette étape, on prédit au moins un profil de la vitesse du véhicule sur la portion du réseau routier considéré. Il peut s'agir d'une portion du réseau routier qui a été parcourue par les trajets antérieurs réalisés, d'une portion du réseau routier qui a été partiellement parcourue par les trajets antérieurs réalisées, ou une portion du réseau routier qui n'a pas été parcourue par les trajets antérieurs réalisés (il peut même s'agir d'une portion d'un réseau routier non existante, pour laquelle on souhaite prédire le profil de vitesse). Pour cette étape, on applique le modèle de vitesse du véhicule construit à l'étape 1 aux données macroscopiques de la portion de réseau routier considérée. Ainsi, on prend en compte les données topologiques de la portion de réseau routier considérée. Pratiquement, on attribue au moins un profil de vitesse à chaque subdivision (de préférence à chaque liaison) de la portion de réseau routier considérée.

[0129] De manière avantageuse, on détermine une pluralité de profils de vitesse pour chaque liaison de la portion du réseau routier considérée. Ainsi, il est possible de déterminer plusieurs comportements et plusieurs styles de conduites pour chaque liaison de la portion du réseau routier. La pluralité de profils de vitesse peut être obtenue de différentes manières, notamment en fonction des modes de réalisation mis en œuvre. La pluralité de profils de vitesse pour chaque liaison peut provenir du fait que pour chaque catégorie de segment routier on génère (étape 1.4) une pluralité de profils vitesses,

chaque profil de vitesse correspondant à un comportement ou un style de conduite. De plus, la pluralité de profils de vitesse pour chaque liaison peut provenir du fait que chaque liaison peut appartenir à plusieurs triplets de liaison, les triplets de liaison pouvant appartenir à des catégories distinctes. En outre, la pluralité de profils de vitesse peut provenir d'une pluralité de tirages aléatoires parmi la distribution des profils de vitesse déterminée.

[0130] Selon un mode de réalisation de l'invention, la prédiction des profils de vitesse peut mettre en œuvre les étapes suivantes :

[0131] 2.1 Segmentation de la portion de réseau routier

[0132] 2.2 Catégorisation de la portion de réseau routier

[0133] 2.3 Attribution d'au moins un profil de vitesse

[0134] Ces étapes peuvent être mises en œuvre par des moyens informatiques. Ces étapes sont détaillées dans la suite de la description.

[0135] La figure 3 illustre, schématiquement et de manière non limitative, les étapes de ce mode de réalisation. La portion de réseau routier (POR) est segmentée (SEG). Ensuite, on réalise une catégorisation (CAT) des segments obtenus à l'étape précédente. Enfin, au moyen du modèle de vitesse du véhicule (MOD) et de la catégorisation (CAT), on attribue (ATT) à chaque subdivision de la portion de réseau routier considérée au moins un profil de vitesse (v).

[0136] 2.1 Segmentation de la portion de réseau routier

[0137] Lors de cette étape, on segmente la portion de réseau routier considérée. De préférence, on peut segmenter la portion de réseau routier considérée de la même manière que la segmentation mise en œuvre à l'étape 1.1. Ainsi, préférentiellement, on peut segmenter la portion de réseau routier considérée par des triplets de liaisons, comportant une origine, une liaison centrale et une destination.

[0138] 2.2 Catégorisation de la portion de réseau routier

[0139] Lors de cette étape, on catégorise les segments de la portion de réseau routier considérée. De préférence, on peut catégoriser les segments de la portion de réseau routier considérée de la même manière que la catégorisation prévue à l'étape 1.2. Ainsi, préférentiellement, on peut catégoriser les segments de la portion de réseau routier considérée dans les six catégories suivantes :

[0140] - une route congestionnée,

[0141] - une route pas ou peu congestionnée avec un feu de signalisation,

[0142] - une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation et avec une intersection avec priorité,

[0143] - une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation et avec une intersection sans priorité,

[0144] - une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation avec un virage ayant

une faible courbure, et

- [0145] - une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation avec un virage ayant une forte courbure.
- [0146] 2.3 Attribution d'au moins un profil de vitesse
- [0147] Lors de cette étape, on attribue à chaque segment de la portion de réseau routier considérée au moins un profil de vitesse généré au moyen du modèle de vitesse du véhicule, en fonction de la catégorisation de la portion de réseau routier. En d'autres termes, le segment de la portion de réseau routier considérée a un profil de vitesse identique au profil de vitesse du segment ayant la même catégorie dans le modèle de vitesse de véhicule.
- [0148] Par exemple, un segment de la portion du réseau routier considérée qui est une route pas ou peu congestionnée avec un feu de signalisation peut avoir au moins un profil de vitesse tel qu'illustré en figure 5 lorsque le feu est rouge, et au moins un profil de vitesse tel qu'illustré en figure 6 lorsque le feu est vert.
- [0149] Lorsque la portion de réseau routier comporte au moins un segment pour lequel des données de trajets réalisés sont disponibles, on peut caler le profil de vitesse avec les données de trajets réalisés, de manière à optimiser la précision de la prédiction du profil de vitesse.
- [0150] Le procédé peut comporter une étape facultative d'affichage du profil de vitesse pour la portion de réseau routier considérée. Lors de cette étape facultative, on peut afficher le profil de vitesse sur une carte routière. Cet affichage peut prendre la forme d'une note ou d'un code couleur. Le cas échéant, une note ou une couleur peut être associée à chaque liaison du réseau routier. Cet affichage peut être réalisé à bord d'un véhicule : sur le tableau de bord, sur un dispositif portatif autonome, tel qu'un appareil de géolocalisation (de type GPS), un téléphone portable (de type téléphone intelligent). Il est également possible d'afficher le profil de vitesse sur un site internet. De plus, le profil de vitesse prédit peut être partagé avec les pouvoirs publics (par exemple gestionnaire de la voirie) et les entreprises de travaux publics. Ainsi, les pouvoirs publics et les entreprises de travaux publics peuvent optimiser l'infrastructure routière, pour en améliorer la sécurité ou les émissions polluantes.
- [0151] Conformément à une mise en œuvre de l'invention, on peut réaliser des mesures instantanées de la vitesse d'au moins un véhicule circulant sur le réseau routier, notamment au moyen de système de géolocalisation (par exemple : GPS, téléphone intelligent) ou au moins de véhicules connectés (par exemple : avec un capteur placé sur la prise de diagnostic OBD du véhicule). Les données de vitesse instantanée mesurées en temps réel pendant le trajet peuvent alors être utilisés pour enrichir et recalibrer éventuellement la prédiction des profils de vitesse, le cas échéant lors de l'étape 2.3. Ainsi, les profils de vitesse prédits sont représentatifs des conditions de conduite en temps

réel. Et par conséquent la prédiction des indicateurs associés (consommation, émissions, bruit, sécurité, etc.) est représentative des conditions de conduite en temps réel.

- [0152] La présente invention concerne également un procédé de prédiction des émissions polluantes, chimiques (par exemple les NO<sub>x</sub>, les particules) et/ou sonores, sur une portion d'un réseau routier. Pour ce procédé de prédiction des émissions polluantes, on met en œuvre les étapes suivantes :
- [0153] a) on prédit au moins un profil de vitesse de véhicule sur la portion de réseau routier considérée au moyen du procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon une quelconque des variantes ou des combinaisons de variantes décrites précédemment ; et
- [0154] b) on applique un modèle microscopique d'émissions polluantes, chimiques et/ou sonores, au profil de vitesse prédit pour prédire les émissions polluantes sur la portion de réseau routier considérée, le modèle d'émissions polluantes étant un modèle qui relie la vitesse du véhicule aux émissions polluantes.
- [0155] Ainsi, il est possible de déterminer les émissions polluantes à l'échelle d'un quartier, d'une ville, etc., même dans le cas où aucune donnée de trajet réalisé n'est disponible pour ce quartier ou cette ville.
- [0156] Ces étapes peuvent être mises en œuvre par des moyens informatiques.
- [0157] De manière avantageuse, le procédé peut comporter une étape facultative d'affichage des émissions polluantes pour la portion de réseau routier considérée. Lors de cette étape facultative, on peut afficher les émissions polluantes sur une carte routière. Cet affichage peut prendre la forme d'une note ou d'un code couleur. Le cas échéant, une note ou une couleur peut être associée à chaque liaison du réseau routier. Cet affichage peut être réalisé à bord d'un véhicule : sur le tableau de bord, sur un dispositif portatif autonome, tel qu'un appareil de géolocalisation (de type GPS), un téléphone portable (de type téléphone intelligent). Il est également possible d'afficher les émissions polluantes sur un site internet. De plus, les émissions polluantes prédites peuvent être partagées avec les pouvoirs publics (par exemple gestionnaire de la voirie) et les entreprises de travaux publics. Ainsi, les pouvoirs publics et les entreprises de travaux publics peuvent optimiser l'infrastructure routière, pour en améliorer les émissions polluantes.
- [0158] De plus, la présente invention concerne un procédé de prédiction de la consommation d'un véhicule, sur une portion d'un réseau routier. Pour ce procédé de prédiction de la consommation d'un véhicule, on met en œuvre les étapes suivantes :
- [0159] a) on prédit au moins un profil de vitesse de véhicule sur la portion de réseau routier considérée au moyen du procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon une quelconque des variantes ou des combinaisons de variantes décrites pré-

cédemment ; et

- [0160] b) on applique un modèle de consommation du véhicule, au profil de vitesse prédit pour prédire la consommation du véhicule sur la portion de réseau routier considérée, le modèle de consommation du véhicule étant un modèle qui relie la vitesse du véhicule à sa consommation.
- [0161] Ainsi, il est possible de déterminer la consommation de véhicule à l'échelle d'un quartier, d'une ville, etc., même dans le cas où aucune donnée de trajet réalisé n'est disponible pour ce quartier ou cette ville.
- [0162] Ces étapes peuvent être mises en œuvre par des moyens informatiques.
- [0163] De manière avantageuse, le procédé peut comporter une étape facultative d'affichage de la consommation pour la portion de réseau routier considérée. Lors de cette étape facultative, on peut afficher la consommation sur une carte routière. Cet affichage peut prendre la forme d'une note ou d'un code couleur. Le cas échéant, une note ou une couleur peut être associée à chaque liaison du réseau routier. Cet affichage peut être réalisé à bord d'un véhicule : sur le tableau de bord, sur un dispositif portatif autonome, tel qu'un appareil de géolocalisation (de type GPS), un téléphone portable (de type téléphone intelligent). Il est également possible d'afficher la consommation du véhicule sur un site internet. De plus, la consommation du véhicule peut être partagée avec les pouvoirs publics (par exemple gestionnaire de la voirie) et les entreprises de travaux publics. Ainsi, les pouvoirs publics et les entreprises de travaux publics peuvent optimiser l'infrastructure routière, l'emplacement des stations-services, des bornes de recharge, etc.
- [0164] En outre, l'invention concerne un procédé de détermination d'un trajet à parcourir par un utilisateur, pour lequel on identifie le départ et l'arrivée, en mettant en œuvre les étapes suivantes :
- [0165] a) on prédit au moins un profil de vitesse de véhicule sur la portion de réseau routier considérée au moyen du procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon une quelconque des variantes ou des combinaisons de variantes décrites précédemment ,
- [0166] b) On détermine un trajet à parcourir pour relier le départ et l'arrivée, en prenant en compte le profil de vitesse prédit.
- [0167] L'étape b) peut minimiser des critères classiques des procédés de navigation : tels que le temps de trajet, la distance parcourue, l'énergie consommée, etc. De plus, l'étape b) peut minimiser le risque associé grâce à la distribution probabilité associée. Ces critères de minimisation sont dépendants de la vitesse du véhicule. Par conséquent, la précision obtenue par le procédé de prédiction du profil de vitesse permet une optimisation de la détermination du trajet à parcourir.
- [0168] Pour l'étape b), on peut mettre en œuvre un algorithme de plus court chemin.

- [0169] Ces étapes peuvent être mise en œuvre par des moyens informatiques.
- [0170] De manière avantageuse, le procédé peut comporter une étape facultative d'affichage du trajet à parcourir, optionnellement avec le profil de vitesse pour chaque liaison du trajet. Lors de cette étape facultative, on peut afficher le trajet sur une carte routière. Cet affichage peut être réalisé à bord d'un véhicule : sur le tableau de bord, sur un dispositif portatif autonome, tel qu'un appareil de géolocalisation (de type GPS), un téléphone portable (de type téléphone intelligent). Il est également possible d'afficher le trajet à parcourir du véhicule sur un site internet. De plus, le trajet à parcourir par le véhicule peut être partagé avec un gestionnaire de flottes de véhicule.

### **Exemples**

- [0171] Les caractéristiques et avantages du procédé selon l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture des exemples comparatifs ci-après.
- [0172] Afin de valider la représentativité des profils de vitesse ainsi prédits et générés par le procédé selon l'invention (selon un mode de réalisation pour lequel on met en œuvre les étapes 1.1 à 1.4 et 2.1 à 2.3), une validation à la fois qualitative et quantitative a été effectuée tant sur un sous-ensemble de liaisons de la base d'apprentissage (données macroscopiques du réseau routier et données de trajets réalisés sur Lyon et Paris) qu'en extrapolation sur un sous-ensemble de liaisons en dehors de la base d'apprentissage (données macroscopiques du réseau routier et données de trajets réalisés sur Marseille). L'analyse quantitative de la représentativité des profils de vitesse générés a été menée par rapport à la consommation de carburant et/ou les émissions polluantes associées aux profils de vitesse (cette analyse quantitative aurait pu également être mise en œuvre par rapport à la consommation, au bruit ou à la sécurité). Les émissions associées aux profils de vitesse réels des données de trajets réalisés et calculées avec un modèle microscopique d'émissions (calcul basé sur la trace de vitesse acquise à 1hz) ont été utilisées comme référence, en obtenant donc une référence par classe (conformément aux classes définies à l'étape 1.3). Les émissions associées aux profils de vitesse générés par classification ont été comparées à leur référence.
- [0173] Le premier exemple a été effectuée sur un segment (liaison) appartenant au réseau routier d'apprentissage (Paris/Lyon), mais qui n'a pas été utilisé directement dans l'apprentissage des réseaux de neurones pour générer le modèle de vitesse de véhicule (étape 1.4).
- [0174] Une liaison pas ou peu congestionnée avec un feu de signalisation à la fin de la liaison a été choisie pour la prédiction des profils de vitesse. Après identification de la catégorie correspondante (liaison pas ou peu congestionnée avec un feu de signalisation – étape 1.2) et association de deux classes à cette catégorie (classe feu vert, et classe feu rouge – étape 1.3), les réseaux de neurones ont été utilisés pour estimer les

paramètres des profils de vitesse (vitesse initiale, vitesse finale, point d'arrêt, vitesse maximale) en fonction des données macroscopiques de la liaison considérée.

[0175] La figure 7 illustre des profils de la vitesse  $V$  (km/h) en fonction de la distance  $D$  (m), dans le cas d'une liaison avec un feu de signalisation rouge. La figure 8 illustre des profils de la vitesse  $V$  (km/h) en fonction de la distance  $D$  (m), dans le cas d'une liaison avec un feu de signalisation vert. Les profils de vitesse illustrés correspondent aux profils de vitesse mesurés MES et aux profils de vitesse prédits PRED au moyen du procédé selon l'invention. D'un point de vue qualitatif, les profils de vitesse prédits PRED reproduisent bien la forme des profils réels MES (niveau d'accélération, vitesse, position du point d'arrêt) dans ces deux situations.

[0176] Afin d'évaluer la représentativité des profils prédits, une comparaison a été réalisée en termes d'émissions de NO<sub>x</sub> (pour un type de véhicule choisi) avec les émissions associées aux profils de vitesse réels. Les résultats de la comparaison pour le segment considéré sont montrés en Figure 9. La figure 9 illustre une comparaison pour trois cas : le cas C1 correspondant au feu rouge, le cas C2 correspondant au feu vert, et le cas C correspondant à l'ensemble des cas ( $C=C1+C2$ ). La figure 9 illustre pour chacun des cas, la distribution des émissions de NO<sub>x</sub> en mg/km (surface en gris) pour les vitesses mesurées MES, et pour les vitesses prédites PRED au moyen du procédé selon l'invention. Sur chaque courbe, le trait horizontal MOY indique la valeur moyenne des émissions de NO<sub>x</sub>. On remarque que dans les trois cas, la moyenne obtenue avec les valeurs de vitesse prédites PRED sont proches de la moyenne obtenue avec les valeurs de vitesse mesurées MES. De plus, une analyse statistique de l'impact de la précision de la prédiction des profils de vitesse sur les émissions a également été menée. Sur l'ensemble des segments routiers avec un feu de signalisation à la fin présents dans le réseau d'apprentissage (328 liaisons), l'erreur moyenne absolue sur les émissions est de 10 mg/km avec une erreur en pourcentage de 6%. Ainsi, le procédé selon l'invention permet une prédiction des profils de vitesse et des émissions polluantes de manière précise et représentative.

[0177] Le deuxième exemple a été effectué sur un segment routier (liaison) de Marseille n'appartenant pas au réseau routier d'apprentissage, et donc qui n'a pas été utilisé dans l'apprentissage des réseaux de neurones.

[0178] En analogie avec l'exemple précédent, une liaison avec un feu de signalisation à la fin de la liaison a été choisie pour la prédiction des profils de vitesse. Cette fois-ci la liaison n'appartient pas au données du réseau d'apprentissage afin de vérifier la capacité de l'invention à extrapoler et à généraliser des informations (données). Après identification de la catégorie correspondante liaison pas ou peu congestionnée avec un feu de signalisation) et association de deux classes à cette catégorie (classe feu vert, classe feu rouge), les réseaux de neurones ont été utilisés pour estimer les paramètres

des profils (vitesse initiale, vitesse finale, point d'arrêt, vitesse maximale) en fonction des données macroscopiques de la liaison.

[0179] Afin d'évaluer la représentativité des profils prédits, une comparaison a été réalisée en termes d'émissions de NO<sub>x</sub> (pour un type de véhicule choisi) avec les émissions associées aux profils de vitesse réels. Les résultats de la comparaison pour le segment considéré sont montrés en Figure 10. La figure 10 illustre une comparaison pour trois cas : le cas C1 correspondant au feu rouge, le cas C2 correspondant au feu vert, et le cas C correspondant à l'ensemble des cas ( $C=C1+C2$ ). La figure 10 illustre pour chacun des cas, la distribution des émissions de NO<sub>x</sub> en mg/km (surface en gris) pour les vitesses mesurées MES, et pour les vitesses prédites PRED au moyen du procédé selon l'invention. Sur chaque courbe, le trait horizontal MOY indique la valeur moyenne des émissions de NO<sub>x</sub>. On remarque que dans les trois cas, la moyenne obtenue avec les valeurs de vitesse prédites PRED sont proches de la moyenne obtenue avec les valeurs de vitesse mesurées MES.

[0180] De plus, une analyse statistique de l'impact de la précision de la prédiction des profils de vitesse sur les émissions a également été menée. Sur l'ensemble des segments routiers avec un feu de signalisation à la fin de la liaison présents dans le réseau routier de test (24 liaisons), l'erreur moyenne absolue sur les émissions est de 37.8 mg/km avec une erreur en pourcentage de 7.5%. Ainsi, le procédé selon l'invention permet une prédiction des profils de vitesse et des émissions polluantes de manière précise et représentative.

## Revendications

- [Revendication 1] Procédé de prédiction d'au moins un profil de la vitesse d'un véhicule sur une portion d'un réseau routier (POR), caractérisé en ce qu'on met en œuvre les étapes suivantes par des moyens informatiques :
- a. On construit un modèle de vitesse du véhicule (MOD) par une méthode d'apprentissage automatique au moyen de données macroscopiques dudit réseau routier (MAC) et au moyen de données de trajets réalisés (DTR) sur ledit réseau routier, ledit modèle de vitesse de véhicule (MOD) associe à au moins une subdivision dudit réseau routier au moins un profil de vitesse du véhicule en fonction desdites données macroscopiques dudit réseau routier (MAC) et desdites données de trajets réalisés (DTR), lesdites données de trajets réalisés (DTR) comportant des données de vitesse, de position et d'altitude mesurées lors de trajets antérieurs au moyen d'un système de géolocalisation ; et
  - b. On prédit (PRD) au moins un profil de la vitesse dudit véhicule sur ladite portion dudit réseau routier (POR) en appliquant ledit modèle de vitesse de véhicule (MOD) à des données macroscopiques (MAC) de chaque subdivision de ladite portion dudit réseau routier (POR).
- [Revendication 2] Procédé de prédiction d'au moins un profil de la vitesse selon la revendication 1, dans lequel on construit ledit modèle de vitesse de véhicule en mettant en œuvre les étapes suivantes :
- i. On segmente (SEG) ledit réseau routier au moyen desdites données macroscopiques dudit réseau routier (MAC) ;
  - ii. On catégorise (CAT) chaque segment dudit réseau routier en fonction desdites données macroscopiques dudit réseau routier (MAC) ;
  - iii. Pour chaque catégorie de segment routier, on classe (CLA) lesdites données de trajets réalisés (DTR) ; et
  - iv. Pour chaque catégorie de segment routier et pour chaque classification desdites données de trajets réalisés, on génère au moins un profil de vitesse de véhicule (PRO) au moyen desdites données de trajets réalisés (DTR).

- [Revendication 3] Procédé de prédiction d'au moins un profil de la vitesse selon la revendication 2, dans lequel on prédit au moins un profil de vitesse du véhicule sur ladite portion dudit réseau routier en mettant en œuvre les étapes suivantes :
- i. On segmente (SEG) ladite portion dudit réseau routier ;
  - ii. On catégorise (CAT) lesdits segments de ladite portion dudit réseau routier ; et
  - iii. On attribue (ATT) à chaque segment de ladite portion dudit réseau routier ledit au moins un profil de vitesse de véhicule généré au moyen dudit modèle de vitesse du véhicule (MOD).
- [Revendication 4] Procédé de prédiction d'au moins un profil de la vitesse selon la revendication 3, dans lequel on attribue (ATT) à chaque segment de ladite portion dudit réseau routier ledit au moins un profil de vitesse, en prenant en compte des données de trajets réalisés sur chaque segment pour préciser ledit au moins un profil de vitesse.
- [Revendication 5] Procédé de prédiction d'au moins un profil de la vitesse selon l'une des revendications 2 à 4, dans lequel on attribue (ATT) également à chaque segment de ladite portion dudit réseau routier une distribution dudit au moins un profil de vitesse.
- [Revendication 6] Procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon l'une des revendications 2 à 5, dans lequel on segmente (SEG) ledit réseau routier par une division dudit réseau routier en triplets de liaisons, chaque triplet de liaisons étant formé par une liaison formée entre deux nœuds dudit réseau routier, son origine et sa destination.
- [Revendication 7] Procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon la revendication 6, dans lequel ladite catégorie dudit segment du réseau routier est choisi parmi :
- a. Une route congestionnée,
  - b. Une route pas ou peu congestionnée avec un feu de signalisation,
  - c. Une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation et avec une intersection avec priorité,
  - d. Une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation et avec une intersection sans priorité,

- e. Une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation avec un virage ayant une faible courbure, et
- f. Une route pas ou peu congestionnée sans feu de signalisation avec un virage ayant une courbure importante.

- [Revendication 8] Procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon l'une des revendications 2 à 7, dans lequel on classifie (CLA) lesdites données de trajets réalisés par un algorithme de classification, notamment l'algorithme du k-means.
- [Revendication 9] Procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon l'une des revendications 2 à 8, dans lequel on génère au moins un profil de vitesse du véhicule par une méthode basée sur au moins un réseau de neurones, pour paramétrer une fonction de la vitesse dépendant de la distance, de préférence ladite fonction de la vitesse est une fonction linéaire, une fonction parabolique, ou une combinaison de fonctions linéaires et/ou paraboliques de la distance.
- [Revendication 10] Procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon l'une des revendications précédentes, dans lequel lesdites données macroscopiques dudit réseau routier (MAC) sont la topologie et les conditions de trafic, de préférence lesdites données macroscopiques dudit réseau routier sont fournies par un système d'information géographique.
- [Revendication 11] Procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon l'une des revendications précédentes, dans lequel on affiche ledit au moins un profil de vitesse du véhicule de ladite portion de réseau routier sur une carte routière, de préférence au moyen d'un téléphone intelligent ou d'un système informatique.
- [Revendication 12] Procédé de prédiction des émissions polluantes chimiques et/ou sonores sur une portion d'un réseau routier, caractérisé en ce qu'on met en œuvre les étapes suivantes :
- a. On prédit au moins un profil de vitesse du véhicule sur ladite portion dudit réseau routier (POR) au moyen du procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon l'une des revendications précédentes ; et
  - b. On applique un modèle microscopique d'émissions polluantes chimiques et/ou sonores audit au moins un profil de vitesse pour prédire lesdites émissions polluantes, ledit modèle reliant la vitesse du véhicule et lesdites émissions polluantes.

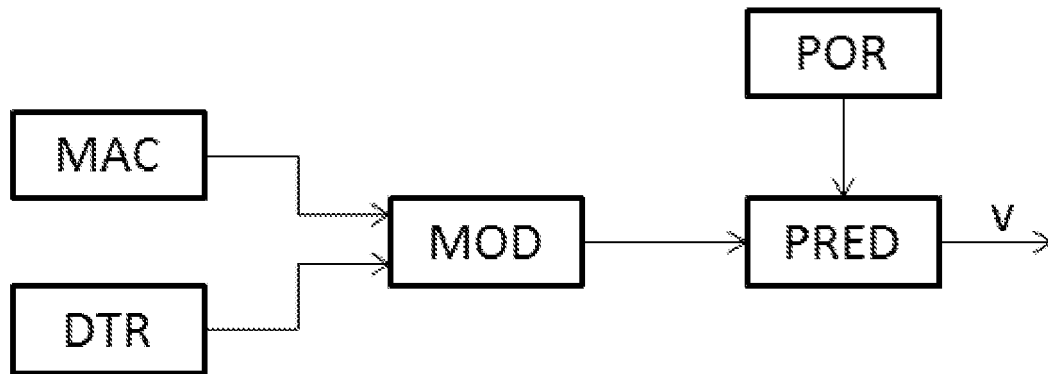
[Revendication 13] Procédé de prédiction de la consommation d'un véhicule sur une portion d'un réseau routier, caractérisé en ce qu'on met en œuvre les étapes suivantes :

- a. On prédit au moins un profil de vitesse du véhicule sur ladite portion dudit réseau routier (POR) au moyen du procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon l'une des revendications 1 à 11 ; et
- b. On applique un modèle de consommation du véhicule audit au moins un profil de vitesse pour prédire ladite consommation dudit véhicule, ledit modèle reliant la vitesse du véhicule et ladite consommation dudit véhicule.

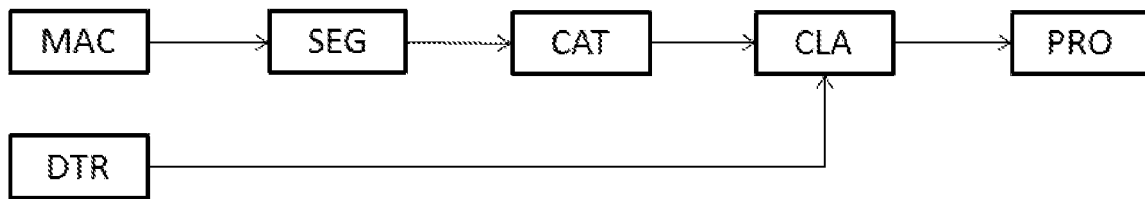
[Revendication 14] Procédé de détermination d'un trajet à parcourir par un véhicule, pour lequel on identifie le départ et l'arrivée dudit trajet, en mettant en œuvre les étapes suivantes :

- a. On prédit au moins un profil de vitesse du véhicule sur ladite portion dudit réseau routier (POR) au moyen du procédé de prédiction d'au moins un profil de vitesse selon l'une des revendications 1 à 11 ; et
- b. On détermine un trajet à parcourir pour relier ledit départ et ladite arrivée, en prenant en compte ledit au moins un profil de vitesse du véhicule, de préférence en minimisant le temps de trajet.

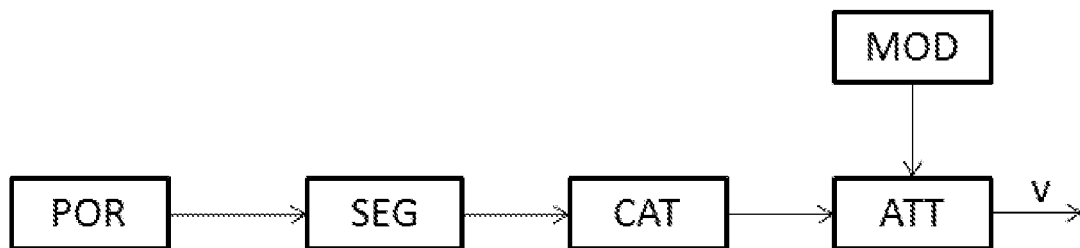
[Fig. 1]



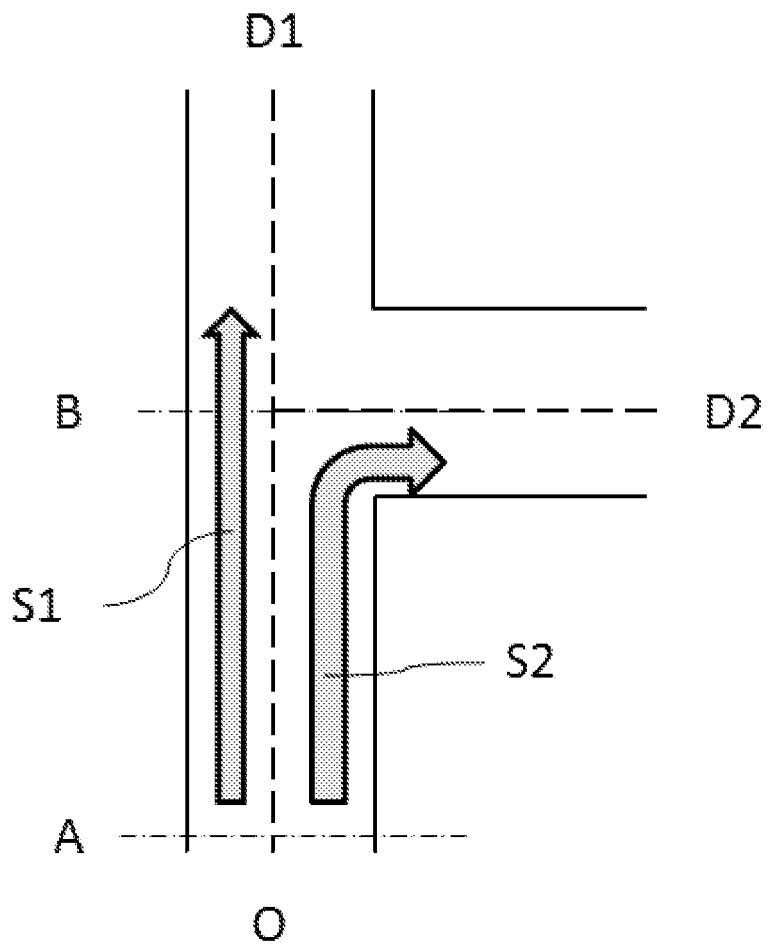
[Fig. 2]



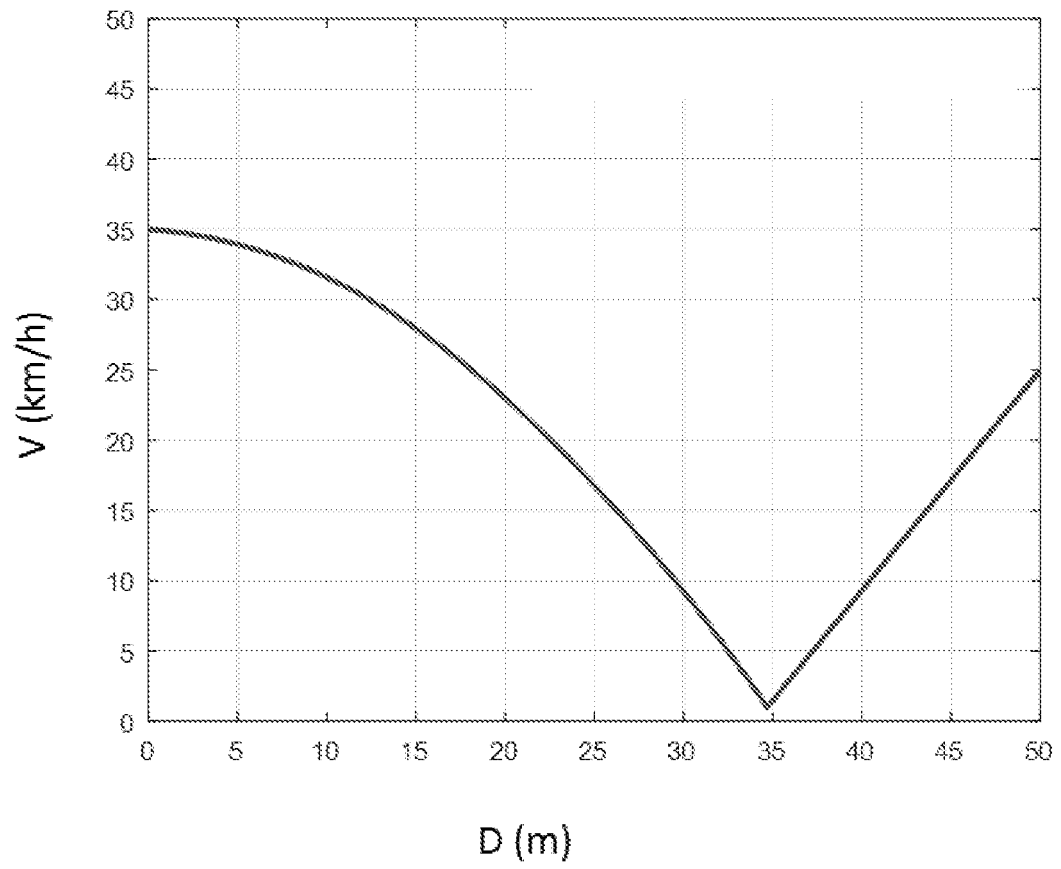
[Fig. 3]



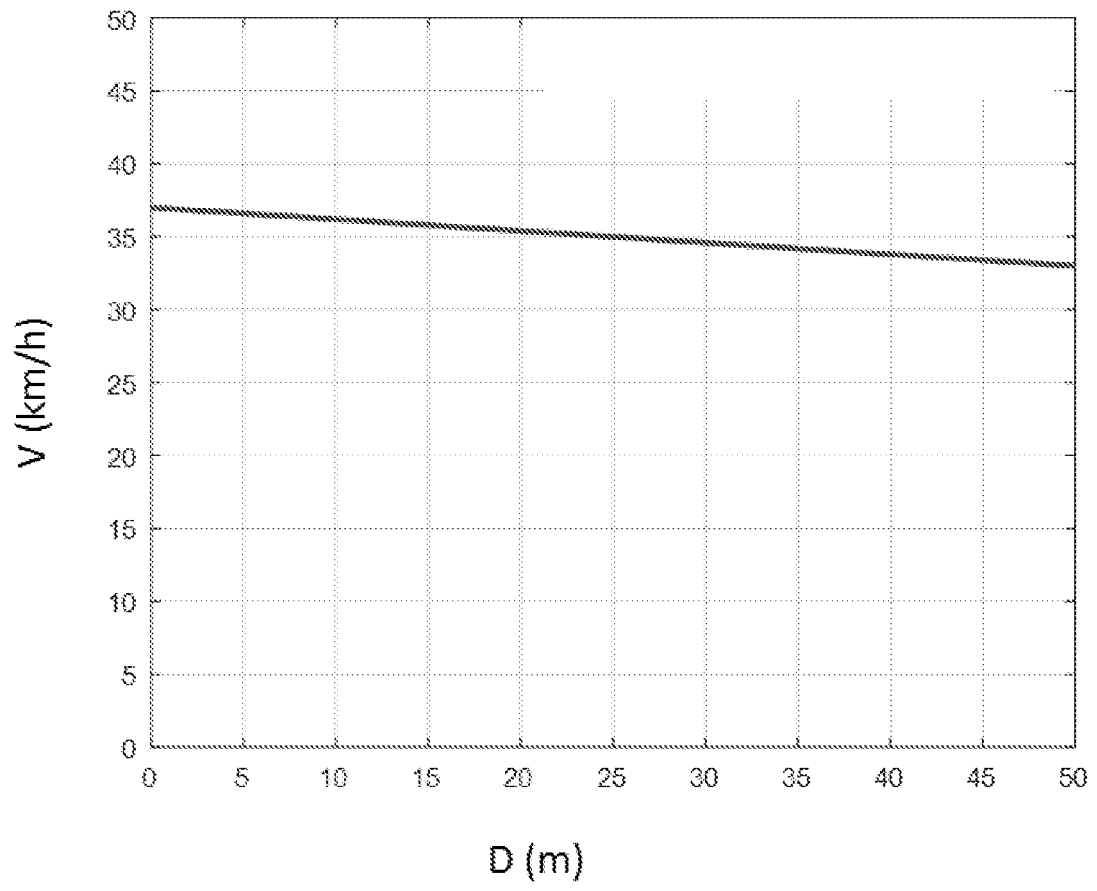
[Fig. 4]



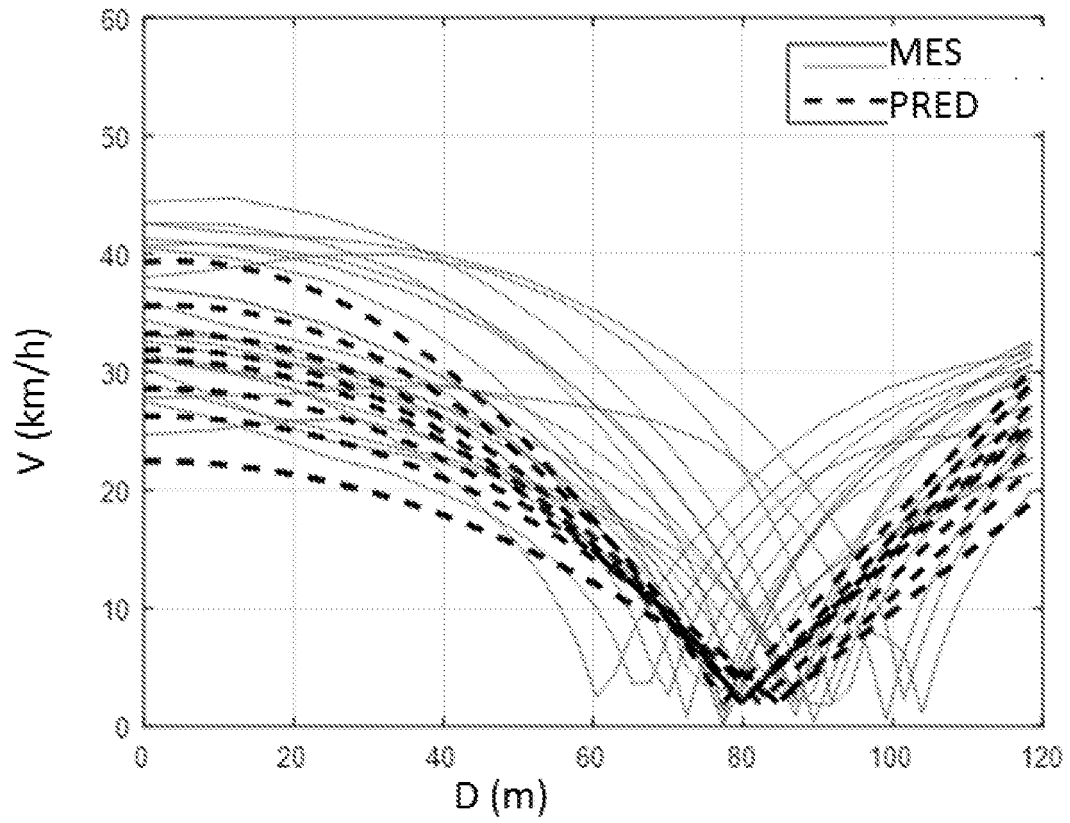
[Fig. 5]



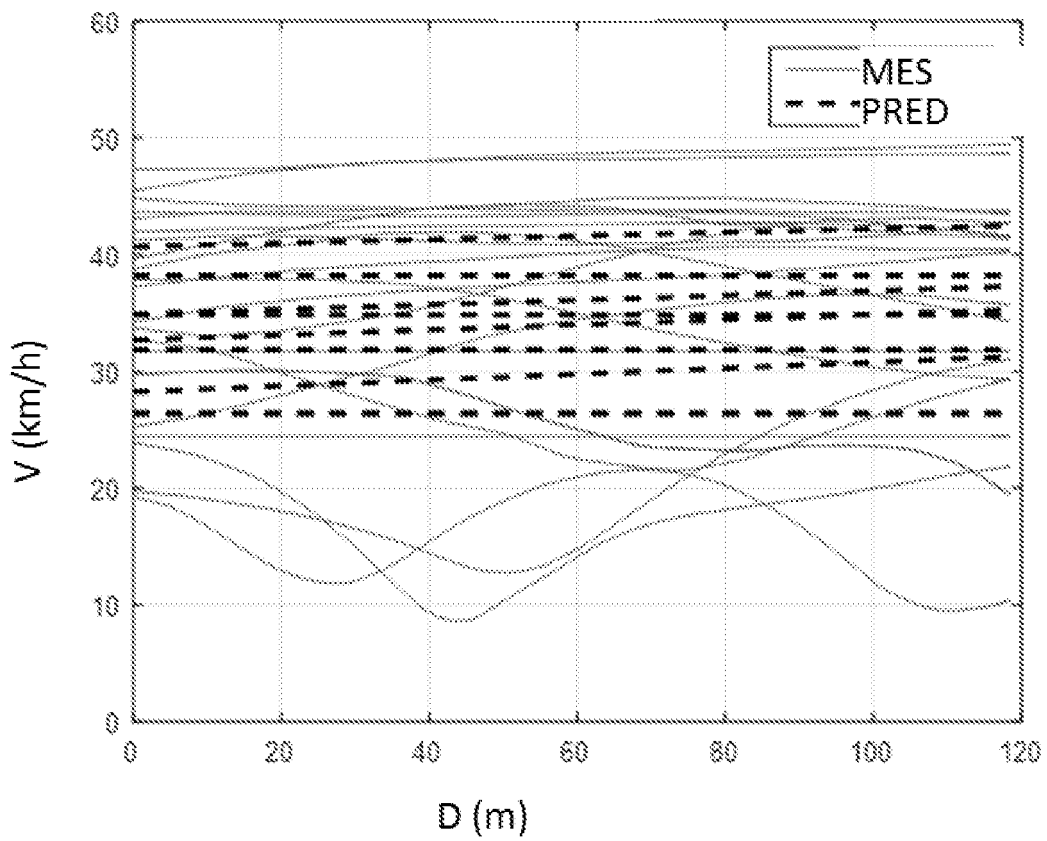
[Fig. 6]



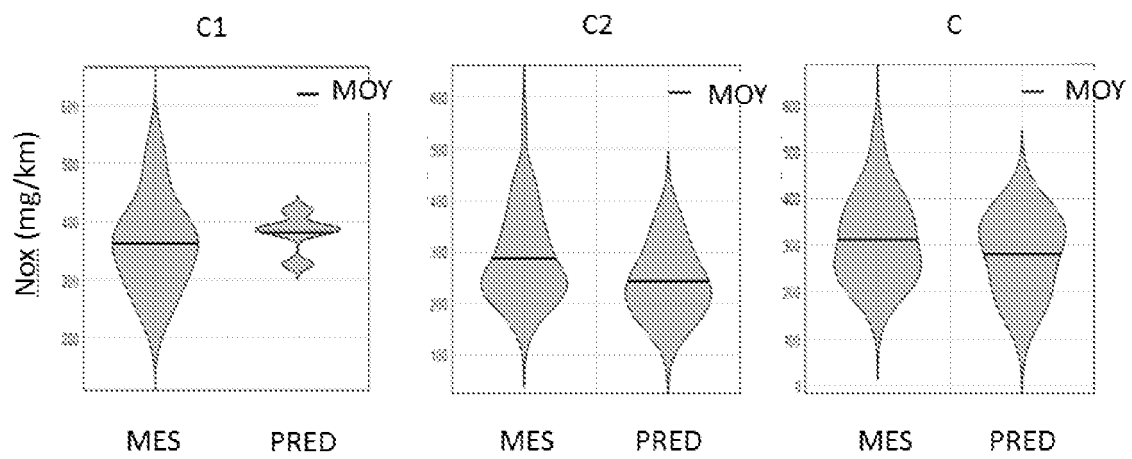
[Fig. 7]



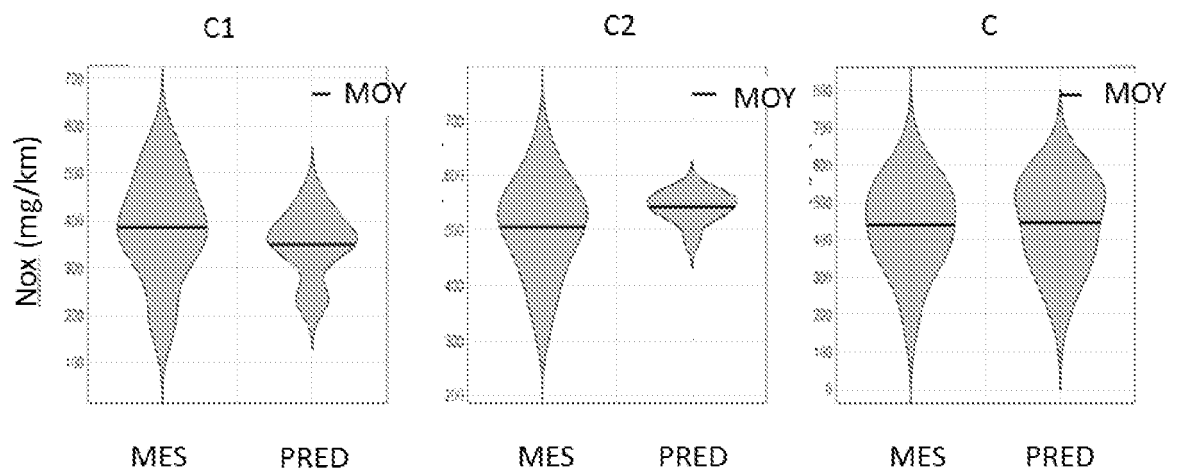
[Fig. 8]



[Fig. 9]



[Fig. 10]





**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

FA 870013  
FR 1905686

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2015/221218 A1 (DOWNS OLIVER [US] ET AL) 6 août 2015 (2015-08-06) * abrégé * * alinéa [0005] * * alinéa [0023] - alinéa [0025] * * alinéa [0027] * * alinéa [0034] * * alinéa [0041] * * alinéa [0048] * * alinéa [0050] - alinéa [0052] * * revendications 1, 3, 9, 10 * * figures 5, 6, 9, 11 * -----	1-14	G08G1/052 G08G1/01 G06N20/00
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G08G
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
26 mars 2020		Renaudie, Cécile	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1905686 FA 870013**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **26-03-2020**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2015221218 A1	06-08-2015	US 2015221218 A1	06-08-2015
		US 2017162041 A1	08-06-2017
-----			