
	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

PROJET	NAVeco
TITRE	RAPPORT DE STAGE – SEGMENTATION D'UN TRAJET

Responsabilité	Nom	Date
Rédacteur	Clément ALEXANDRE	25/08/2021
Vérificateur	Cristhian-Yesid BELLO-CEFERINO	26/08/2021
Approbateur	Cédric LEFEBVRE	26/08/2021







	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

TABLE DES MATIERES

1	DOCUMENTS DE REFERENCE ET INTERNES	4
1.1	DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	4
1.2	DOCUMENTS INTERNES	4
2	GLOSSAIRE	4
3	LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET EQUATIONS.....	5
4	PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	6
4.1	GÉNÉRALITÉS	6
4.2	SECTEURS D'ACTIVITÉS	7
4.3	LES FILIALES	8
4.4	HISTORIQUE	8
4.5	ORGANISATION DE L'ENTREPRISE	9
5	CONTEXTE.....	10
5.1	EQUIPE.....	10
5.2	PROJET	11
6	OBJECTIF.....	12
7	TRAVAIL REALISE.....	13
7.1	ORGANISATION ET PLANIFICATION DU PROJET	13
7.2	ETUDE DE SENSIBILITÉ DES PARAMÈTRES.....	15
7.2.1	Modèle dynamique du véhicule.....	15
7.2.2	Sensibilité des paramètres.....	18
7.2.3	Propagation de l'incertitude.....	19
7.2.4	Conclusion sur l'étude de la sensibilité des paramètres.....	24
7.3	SEGMENTATION DE L'ITINÉRAIRE	25
7.3.1	Récupération des données du trajet	25
7.3.2	Segmentation du trajet.....	32
7.3.3	Futures études à mener	34
7.3.4	Conclusion sur la segmentation de l'itinéraire.....	34
7.4	CONCLUSION SUR LE TRAVAIL RÉALISÉ.....	34

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

8 BILAN	35
8.1 BILAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE	35
8.2 BILAN HUMAIN.....	36
8.3 APPORT DU STAGE	37

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

1 DOCUMENTS DE REFERENCE ET INTERNES

1.1 Documents de référence

Documents servant de base à la compréhension de l'étude mais non mentionné dans le document.

Référence	Titre du document
[3]	Guide to the expression of uncertainty in measurement



1.2 Documents internes

Documents ou outils internes Expleo servant d'entrants pour la présente étude.

Référence	Titre du document
[1]	Marion NALEPA Rapport de stage NAVeco 2020
[2]	Bastien VIENOT Etude du freinage régénératif

2 GLOSSAIRE



Terme	Définition
WLTP	Worldwide Harmonised Light vehicles Test Procedure
IHM	Interface Homme-Machine
API	Application Programming Interface
URL	Uniform Resource Locator

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

3 LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET EQUATIONS

Tableau 1: Degré d'utilité de chaque base de données pour chaque fonctionnalité de notre application..... 26

Figure 1 : Présence du groupe EXPLEO dans le monde	6
Figure 2 : Principaux clients du groupe EXPLEO	7
Figure 3 : Organigramme de EXPLEO	9
Figure 4 : Organigramme de l'équipe	10
Figure 5 : Schéma fonctionnel du projet NAVeco	13
Figure 6 : Organigramme des tâches du projet	14
Figure 7 : Protocole de test WLTP.....	15
Figure 8 : Modèle dynamique du véhicule sur Simulink.....	18
Figure 9 : IHM du modèle énergétique avec les incertitudes sur Simulink	19
Figure 10 : IHM du modèle énergétique avec les incertitudes sur PyQt5	20
Figure 11 : Constantes et équations.....	21
Figure 12 : Paramètres et incertitudes.....	22
Figure 13 : Résultats graphiques.....	22
Figure 14 : Incertitudes et poids	23
Figure 15 : Part de chaque paramètre dans le calcul de l'incertitude de l'énergie de traction	24
Figure 16 : Fonctionnement global de la segmentation d'itinéraire.....	27
Figure 17 : Fonctionnement du programme de récupération des vitesses maximales autorisées	29
Figure 18 : Concaténation et filtrage des vitesses maximales.....	30
Figure 19 : Fonctionnement du programme de récupération de la pente	31
Figure 20 : Profil d'altitude de Saint-Quentin en Yvelines à la Défense.....	32
Figure 21 : Profil de pente de Saint-Quentin en Yvelines à la Défense	32
Figure 22 : Fonctionnement du programme d'allocation du temps	33
Figure 23 : Schéma des connaissances.....	36
Équation 1 : Expression des forces	16
Équation 2 : Expression de l'énergie de traction.....	16
Équation 3 : Expression matricielle de l'énergie de traction.....	17
Équation 4 : Incertitude quadratique de l'énergie de traction	19

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

4 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

4.1 Généralités

EXPLEO, société par actions simplifiée, est un groupe industriel français représenté par plus de 13500 collaborateurs répartis dans 30 pays. Le groupe a généré un chiffre d'affaires de 903 millions d'euros en 2020 et se démarque dans une multitude de secteurs d'activité en proposant des services de prestation pour de grandes entreprises à travers le monde. Le groupe accompagne ses clients sur toute la chaîne de valeur avec :

- Du conseil pour de la transformation digitale, de la conduite du changement, et de la business agility ;
- De l'ingénierie en proposant ses services pour la conception de produits, la production, la supply chain et les services post développement ;
- De la qualité avec de l'ingénierie et du management de la qualité, ainsi que la réalisation et la supervision de tests qualité.

En plus de ses activités de prestation, EXPLEO entreprend des projets de Recherche & Développement dans divers domaines d'étude correspondant aux secteurs d'activité sur lesquels l'entreprise se démarque.

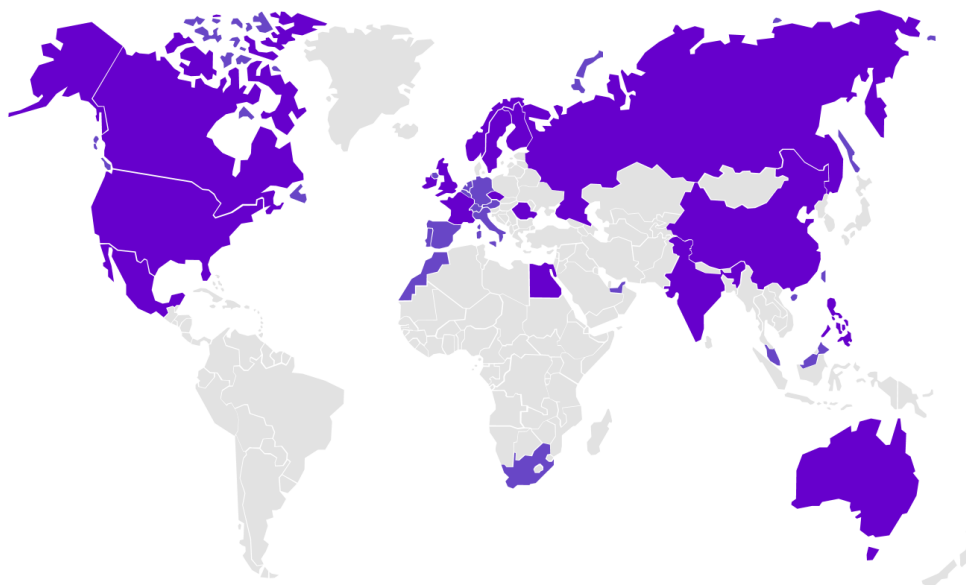




Figure 1 : Présence du groupe EXPLEO dans le monde

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	



4.2 Secteurs d'activités

Le groupe EXPLEO accompagne des entreprises qui se positionnent parmi les leaders dans leur domaine. EXPLEO se démarque ainsi comme un acteur incontournable dans un grand nombre de secteurs :

- Aéronautique
- Automobile
- Spatial et Défense
- Transport ferroviaire
- Naval
- Energie & Utilities
- Industrie
- Banque & Services financiers
- Assurance
- Secteur publique
- Distribution & Logistique
- Santé & Pharma
- Média
- Télécommunications



Figure 2 : Principaux clients du groupe EXPLEO

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

4.3 Les filiales

Avec l'acquisition d'entreprises, EXPLEO a pu se créer un réseau international de filiales spécialisées pour proposer davantage de services avancés. Les entreprises acquises se positionnent dans divers secteurs :



- *Aerotec (France)* : Conception, modification et certification d'avions.
- *Athos Aéronautique (France)* : Services d'ingénierie et de production pour l'industrie aéronautique.
- *Double Consulting (Italie)* : Leader italien du conseil en management.
- *Edison Technical Recruteent (Royaume-Uni)* : Recrutement et placement de profils techniques de tous niveaux dans les secteurs de l'automobile, de l'électronique, des logiciels et des moteurs.
- *Moorhouse (Royaume-Uni)* : Cabinet de conseil en transformation.
- *Silver Atena (Allemagne)* : Systèmes électroniques de sécurité.
- *Sud Aviations Services (France)* : Conception, certification et soutien aux modifications d'avions.
- *Stirling Dynamics (Royaume-Uni)* : Service d'ingénierie dans les secteurs de l'aérospatiale et de la marine.
- *Trissential (Etats-Unis)* : Cabinet de conseil en management spécialisé dans la business agility et la qualité.
- *Vista technologies (France)* : Analyse, essais et inspection.

4.4 Historique

En 1966, la société d'ingénierie ATEM, qui deviendra Assystem en 1995, est créée à Paris pour accompagner le développement de nouvelles usines dans les secteurs sidérurgique et nucléaire. En 1997, Assystem ouvre sa première filiale allemande à Hambourg.

La division Global Product Solutions d'Assystem prend son indépendance en 2017 et devient Assystem Technologies, créant ainsi de nouvelles opportunités de croissance. En 2018, Assystem Technologies acquiert deux sociétés britanniques : Moorhouse société de conseil en management ainsi que Stirling Dynamics, spécialiste de l'ingénierie aéronautique et maritime. Elle est également rejointe par le groupe allemand SQS.

En 2019, Assystem Technologies se rebaptise EXPLEO, un terme latin qui signifie littéralement « compléter » et « satisfaire ». Par la suite, EXPLEO ouvre des bureaux en Australie, aux Philippines, en République Tchèque et en Russie pour se rapprocher de ses clients.

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

4.5 Organisation de l'entreprise

EXPLEO se décompose en différentes Business Units (BU). Les « Market Business Units » gèrent les marchés et permettent d'établir des stratégies selon les secteurs d'activité. Les « Capability Business Units » organisent les compétences au sein de l'entreprise. Mon stage s'inscrit dans la CBU Electronic & Embedded Systems (EES) de l'organigramme de la *Figure 3*.

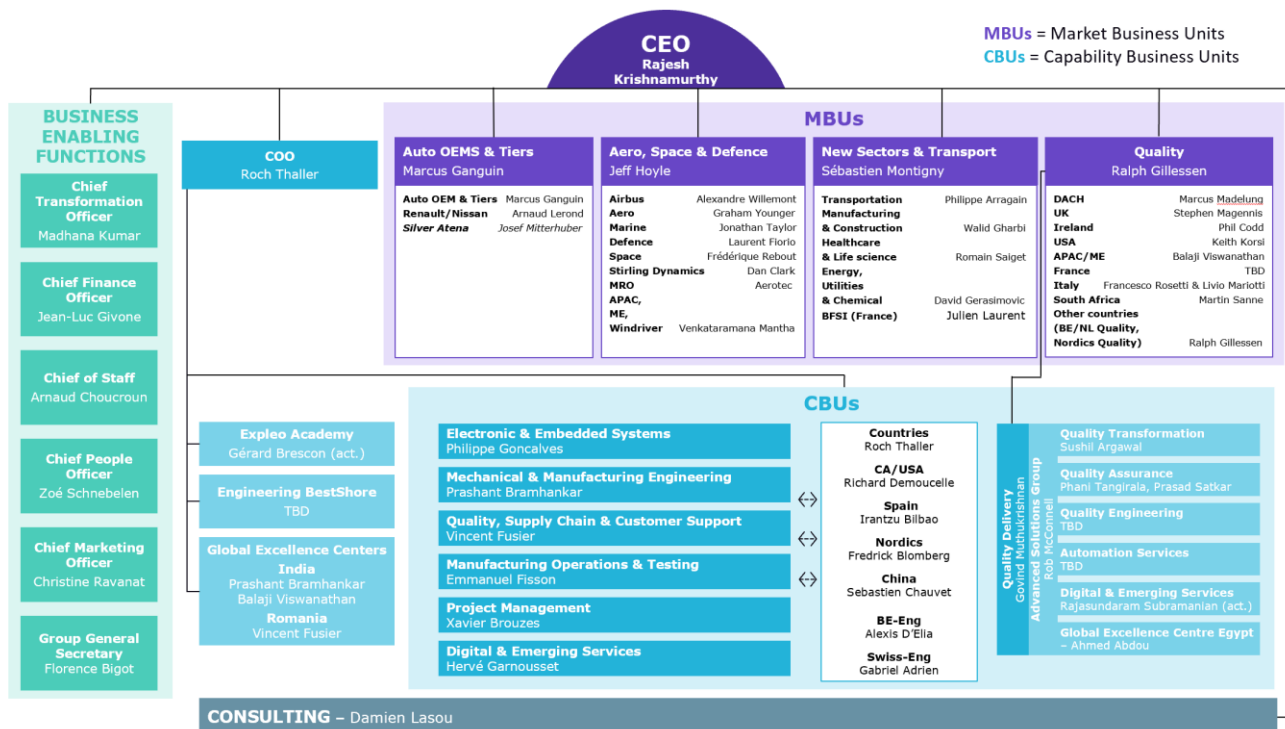




Figure 3 : Organigramme de EXPLEO

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

5 CONTEXTE

5.1 Equipe

L'équipe du projet NAVeco est composée de cinq personnes : trois stagiaires venant d'écoles d'ingénieurs dirigés par un pilote R&D et un chef de projet. Cette organisation est représentée en *Figure 4*.

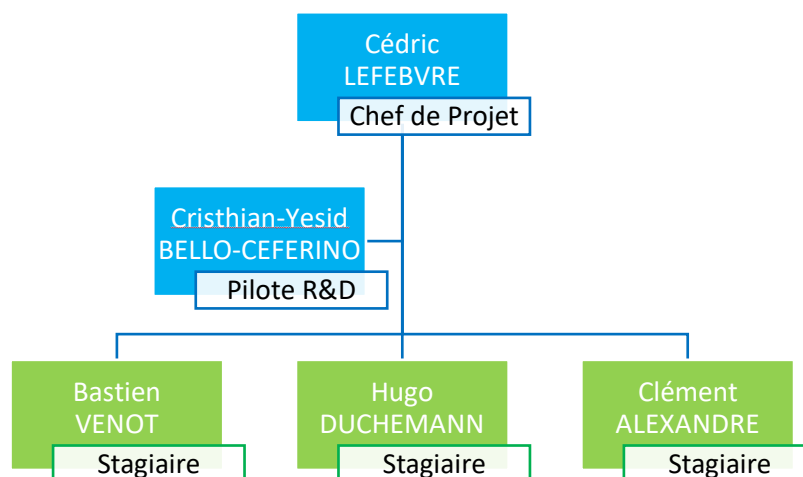




Figure 4 : Organigramme de l'équipe

Les études à réaliser sont partagées entre les trois stagiaires selon leurs compétences et sont décrites dans la partie 7.1. *Organisation et planification* du projet. Cristhian-Yesid BELLO-CEFERINO, jeune ingénieur docteur, pilote le projet et apporte un soutien technique aux stagiaires. Cédric LEFEBVRE, responsable Métier Test et Validation Logiciel chez Expleo, est à l'origine du projet et le dirige.

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	



5.2 Projet

Les solutions de mobilité intelligente, de gestion de l'énergie et de maîtrise de la pollution sont des thématiques mais aussi des défis scientifiques, technologiques et économiques déjà présents mais dont la prépondérance ne va faire qu'augmenter dans les années à venir.

D'une part, le consommateur est confronté à plusieurs dilemmes dans son positionnement en tant que conducteur vis-à-vis de son véhicule. En effet, la majorité des véhicules sont conçus pour une seule utilisation (véhicule familial, urbain ou sport) ou un seul mode de fonctionnement (économique, confort ou sport), obligeant ainsi chaque propriétaire à assumer l'ensemble des contraintes qu'elles soient familiales (plusieurs enfants), financières, géographiques, professionnelles ou ses convictions écologiques pour aboutir aux situations suivantes :

- Utiliser un véhicule urbain à faible consommation la semaine et un plus spacieux et puissant le week-end
- Posséder un véhicule électrique avec la contrainte de l'autonomie
- Ne pas pouvoir financer le surcout d'un véhicule hybride
- Ne pas pouvoir circuler en période de pollution

D'autre part, les constructeurs automobiles se doivent également d'innover sur ces thématiques au regard des normes environnementales de plus en plus contraignantes qui les obligent non seulement à augmenter la technologie embarquée mais qui sont surtout génératrices d'une hausse des tarifs. Le défi des constructeurs est alors de proposer des solutions intelligentes tout en s'appuyant sur les composants existants et équipant actuellement les véhicules.

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

6 OBJECTIF

L'objectif du projet NAVeco (NAVigation écologique/économique) est triple :

- Aider les conducteurs dans leurs déplacements en proposant des solutions de mobilité intelligente.
- Améliorer la gestion de l'énergie des véhicules dont l'autonomie des véhicules électriques et hybrides en tirant parti de la topographie.
- Minimiser le surcoût de la solution pour le fabricant, le constructeur et l'acheteur.

On trouve en effet déjà sur le marché des produits existants mais insuffisants ou incomplets :

Les applications et matériels de navigation proposent uniquement des itinéraires basés sur le kilométrage ou le temps de trajet. NAVeco propose d'enrichir cette offre avec deux nouveautés :



- Un type de choix d'itinéraire basé sur la consommation d'énergie.
- Optimiser la consommation d'énergie quel que soit l'itinéraire choisi.

NAVeco est également force de proposition pour de nouvelles stratégies en allant potentiellement à l'encontre des décisions courantes qui cherchent à multiplier pour les véhicules hybrides et électriques, les phases de freinage régénératif alors qu'à cause des différents rendements il est admis qu'une partie seulement de l'énergie cinétique peut être convertie puis réutiliser.

Ce projet se propose donc d'étudier l'utilisation de la roue libre comme solution complémentaire pour les véhicules hybrides et électriques principalement dans les phases de vie où les batteries sont totalement rechargées mais également pour les véhicules purement thermiques mais équipés d'une boîte de vitesses automatique.

NAVeco répond par la même occasion à la demande du marché et de manière générale de toutes les parties prenantes :

- La solution proposée ne nécessite aucun nouveau matériel (capteur ou actionneur) et s'appuie uniquement sur les équipements du véhicule dans lequel elle est embarquée.
- La solution est purement informatique en tant qu'application smart phone ou module logiciel à intégrer au calculateur du constructeur.
- La solution est générique à tout type de véhicule, indépendamment de la motorisation, du niveau d'hybridation ou du système de transmission minimisant ainsi la gestion de la diversité. Elle est rendue spécifique au véhicule qui l'embarque par simple calibration.

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

7 TRAVAIL REALISE

7.1 Organisation et planification du projet

La solution NAVEco a pour but de permettre à tout type de véhicule d'optimiser la consommation de carburant et/ou d'électricité selon les caractéristiques du véhicule et de son environnement. L'intégration de cette solution peut être partielle ou totale. L'intégration partielle consiste en une extension aux applications de navigation (Waze, Google Map, etc.) pour fournir l'itinéraire optimal et les indications du profil de vitesse optimal à adopter. L'intégration totale consiste en un programme embarqué associé au système de navigation pour les véhicules autonomes, ou associé au régulateur de vitesse intelligent pour les véhicules non autonomes munis de ce système. Dans ce cas, le rôle est de fournir, l'itinéraire optimal mais aussi les consignes de vitesse permettant de minimiser l'énergie consommée directement au système de régulation de la vitesse.

Dans un premier temps, un processus de segmentation de l'itinéraire est réalisé à partir des caractéristiques du trajet. La segmentation permet de choisir un itinéraire optimal et de le diviser en segments élémentaires pour simplifier le processus d'optimisation. Ces paramètres serviront au modèle d'optimisation dont le rôle est de fournir les consignes de vitesse optimales permettant de minimiser l'énergie consommée tout en respectant les contraintes de parcours. Les parties sur lesquelles j'ai travaillé sont les parties concernant la segmentation d'itinéraire, encadrées en rouge dans la *Figure 5*.

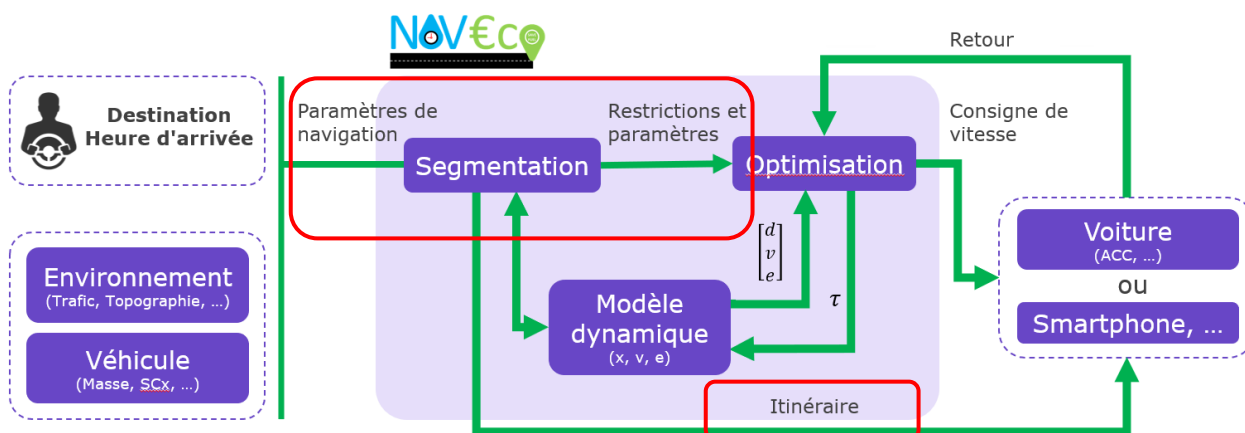


Figure 5 : Schéma fonctionnel du projet NAVEco

Comme représenté dans la *Figure 6*, le projet est partitionné en différents axes de travail, chacun ayant un ou plusieurs objectifs techniques, contraintes et performances attendues. Les tâches qui m'ont été attribués au début de mon stage sont encadrées en rouge.

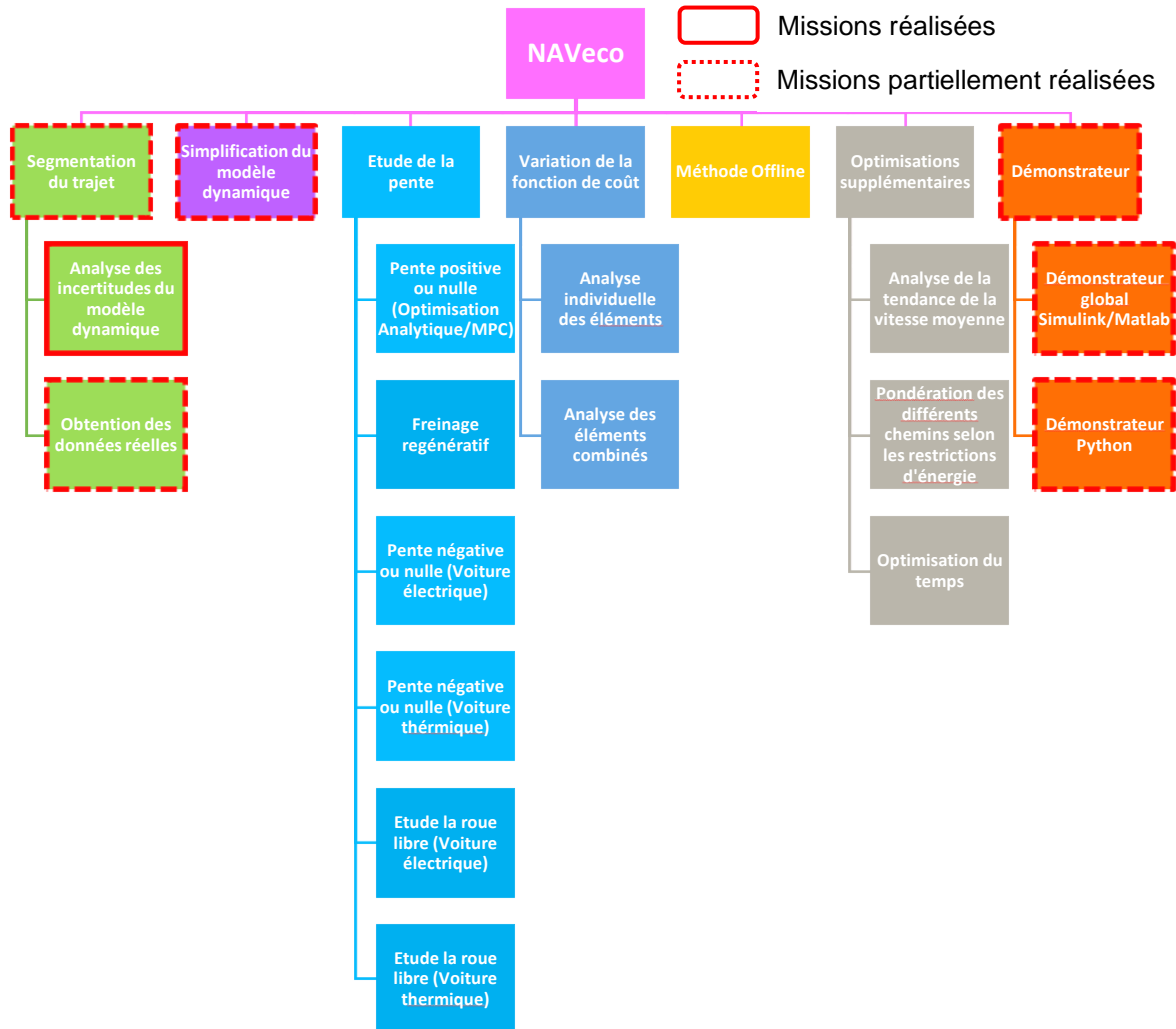




Figure 6 : Organigramme des tâches du projet

Comme présenté sur la figure précédente la segmentation de l'itinéraire ne va pas seulement consister en l'obtention des données. Une étape préliminaire est primordiale pour cette partie. En effet, il va tout d'abord falloir identifier les paramètres nécessaires à cette segmentation mais surtout étudier l'impact de la variation de ces paramètres sur l'énergie de traction du véhicule.

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

7.2 Etude de sensibilité des paramètres

Définir, modéliser et qualifier le modèle dynamique du véhicule est un objectif technique primordial puisque tous les calculs et conclusions reposeront sur la représentativité de ce modèle. D'autre part, disposer d'une modélisation peu consommatrice en ressources et en temps de calcul est une contrainte nécessaire et supplémentaire imposée au projet dans le cadre d'une future industrialisation. De plus, dans le cadre d'une application réelle, les informations consommées par ce modèle ne seront jamais nominales car issues de capteurs caractérisés par leur incertitude de mesure du fait de leur production et de l'environnement perturbé où ils opèrent.

Dans ce contexte, plusieurs études ont besoin d'être réalisées avant de procéder à la segmentation de l'itinéraire. En effet, il faut tout d'abord définir un modèle dynamique du véhicule le plus complet et représentatif possible. Il faut aussi identifier les paramètres qui vont faire varier ce modèle et étudier leur influence sur celui-ci. Enfin, nous étudierons la propagation de l'incertitude des paramètres et les différentes façons de l'estimer.

7.2.1 Modèle dynamique du véhicule

La première partie du travail a été de mener une étude sur les paramètres de la modélisation énergétique d'une voiture. Dans cette étude, le modèle dynamique du véhicule, réalisé lors d'une précédente phase du projet [1], a été réutilisé, précisé et enrichi de calculs d'incertitudes. Afin de faciliter la démarche, seul un modèle longitudinal a été retenu, c'est-à-dire un modèle ne prenant pas en compte le braquage des roues ni les rafales de vent latéral (propres au modèle dynamique latéral) ni les déformations de la chaussée (propre au modèle vertical). Le travail s'est principalement basé sur le profil de vitesse de la *Figure 7* qui est le protocole de test WLTP.

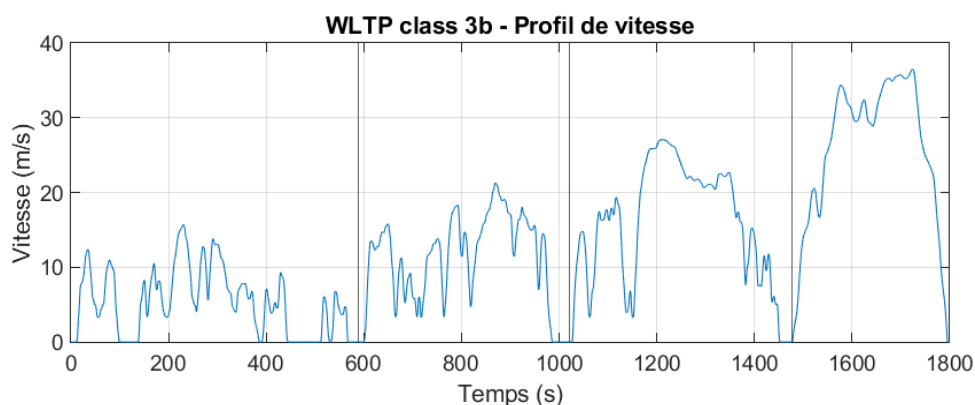




Figure 7 : Protocole de test WLTP

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

La dynamique du véhicule est caractérisée par sa force d'inertie $F_{iner}(t) = m \cdot a(t)$, sa force de traction F_{trac} et les forces qui s'opposent à son déplacement tel que la force aérodynamique $F_{aero}(t) = \frac{1}{2} \rho S C_x v^2(t)$, la force de résistance au roulement $F_{rr}(t) = mg C_r \cos(\theta)$ et la force gravitationnelle $F_g(t) = mg \sin(\theta)$. Ces forces sont liées entre elles par le principe fondamental de la dynamique et permettent d'obtenir l'Équation 1.

$$\overrightarrow{F_{iner}}(t) = m \cdot \vec{a}(t) = \overrightarrow{F_{trac}}(t) + \overrightarrow{F_{aero}}(t) + \overrightarrow{F_{rr}}(t) + \overrightarrow{F_g}(t)$$

Équation 1 : Expression des forces



Avec :

- ρ , la masse volumique de l'air [kg/m³]
- S , la surface frontale du véhicule [m²]
- C_x , le coefficient de traînée aérodynamique [s.u]
- v , la vitesse du véhicule [m/s]
- m , sa masse [kg]
- g , l'accélération gravitationnelle [m/s²]
- C_r , le coefficient de résistance au roulement [s.u]
- θ , l'angle d'inclinaison de la route [rad]
- a , l'accélération du véhicule [m/s²]

De cette expression, nous pouvons exprimer l'énergie de traction E_{trac} du véhicule.

$$\overrightarrow{E_{trac}}(t) = \int E_{ff} \cdot \overrightarrow{F_{trac}}(t) \cdot \vec{v}(t) dt$$

Équation 2 : Expression de l'énergie de traction

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

Ainsi, des deux précédentes expressions, nous pouvons exprimer le modèle dynamique du véhicule sous la forme d'une équation matricielle.

$$\begin{aligned}\frac{dX_1}{dt} &= X_2 \\ \frac{dX_2}{dt} &= \frac{\frac{T}{R_w} - F_{aero} - F_{rr} - F_{grav}}{m} \\ \frac{dX_3}{dt} &= E_{ff} \cdot \frac{T}{R_w} \cdot X_2\end{aligned}$$

Équation 3 : Expression matricielle de l'énergie de traction

Avec :

- X_1 , la position
- X_2 , la vitesse
- X_3 , l'énergie de traction
- E_{ff} , le rendement de la chaîne de traction

Une force de traction positive signifie que la puissance associée est délivrée aux roues par la chaîne de traction pour le déplacement du véhicule. Il y a donc une consommation d'énergie. A contrario, une force de traction négative indique, dans le cas d'une voiture électrique, que la puissance est partiellement absorbée par la chaîne de traction de manière à régénérer de l'énergie électrique et la stocker. Dans les deux phases les rendements sont variables. Ces rendements des voitures électriques ont été traités dans l'étude du freinage régénératif [2].

Le modèle dynamique du véhicule nous permet donc d'obtenir l'énergie de traction du véhicule au niveau de la roue en fonction des paramètres environnementaux et des caractéristiques du véhicule. Or, une mesure est toujours entachée d'erreur, dont on estime l'intensité par l'intermédiaire de l'incertitude.

7.2.2 Sensibilité des paramètres

Lorsque plusieurs mesures sont utilisées pour obtenir la valeur d'une autre grandeur, il faut savoir, non seulement calculer la valeur estimée de cette grandeur, mais encore déterminer l'incertitude induite sur le résultat du calcul. On parle de propagation des incertitudes. Pour estimer cette propagation de l'incertitude sur la grandeur à calculer il existe plusieurs méthodes.

La première solution consiste à effectuer les calculs avec les extrêmes de l'intervalle d'incertitude de chaque paramètre. On peut illustrer ce principe avec l'exemple suivant ; si on a un paramètre A avec un intervalle d'incertitude $[A1;A2]$ et que $B = f(A)$ alors en calculant $B1 = f(A1)$ et $B2 = f(A2)$, B a pour intervalle $[\min(B1,B2); \max(B1,B2)]$. On a donc modifié le modèle Simulink existant présenté sur la *Figure 8*, pour y introduire une erreur sur chaque paramètre et on obtient en sortie l'énergie de traction et son intervalle d'incertitude.

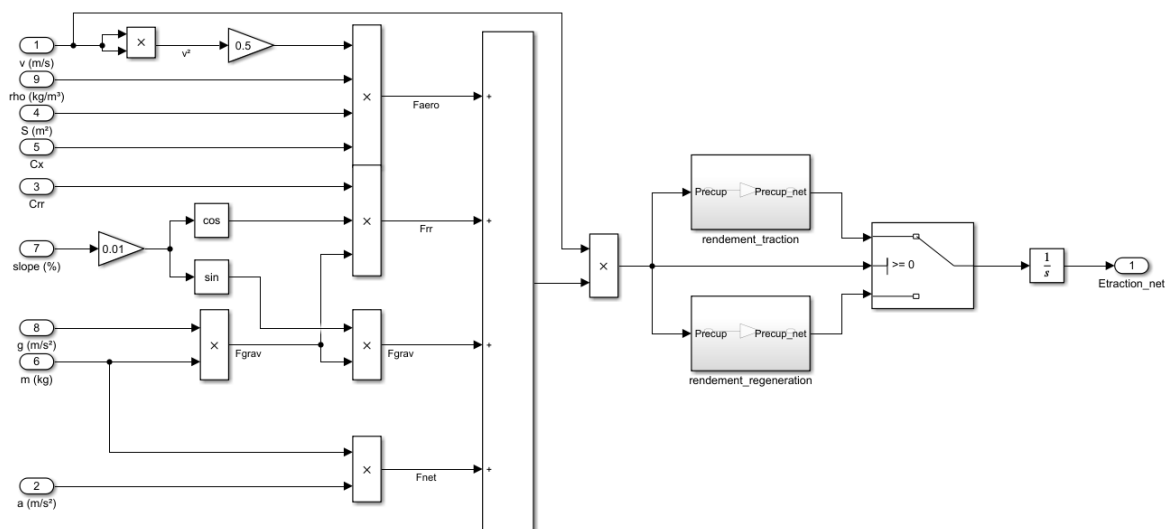


Figure 8 : Modèle dynamique du véhicule sur Simulink

Pour rendre cette étude accessible et modifiable pour effectuer des tests en fonction de la configuration du véhicule et des paramètres environnementaux, une IHM a été développée sous Simulink. On peut voir sur la *Figure 9* que cette IHM permet dans la zone grise de prendre ou non en compte l'incertitude d'un paramètre, de renseigner sa valeur ainsi que sa distribution. Ces incertitudes sont alors transmises à la partie orange qui contient le modèle dynamique du véhicule. La sortie du modèle énergétique et ses incertitudes sont représentées graphiquement dans la zone bleue avec le détail de la part de l'incertitude de chaque paramètre pour chaque force.

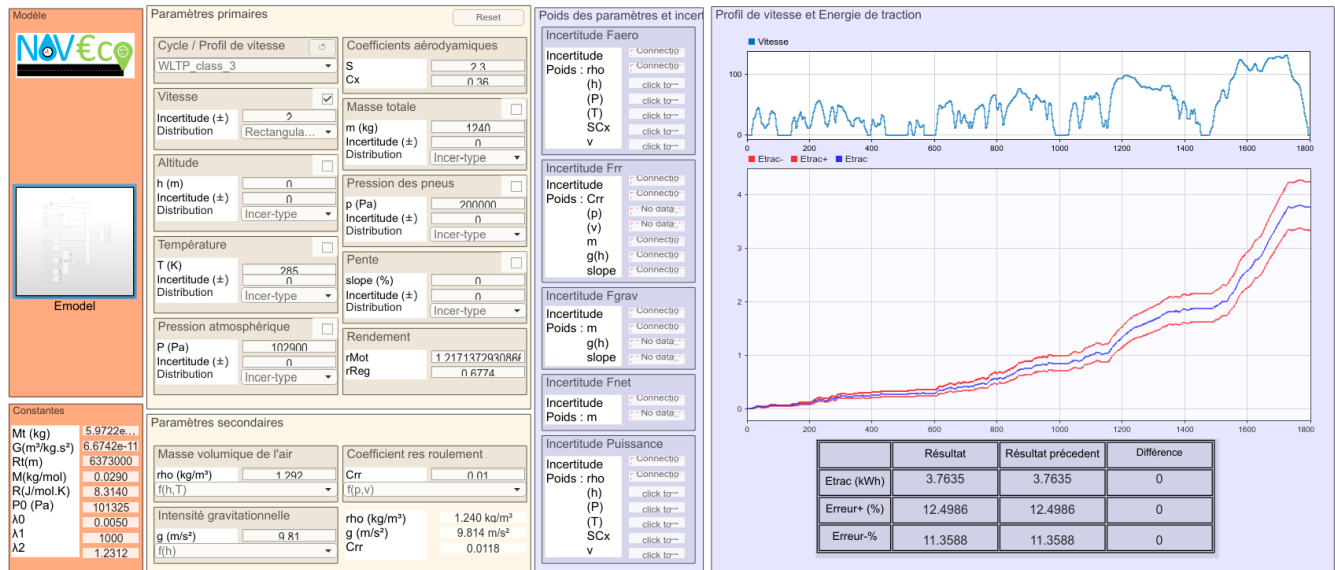


Figure 9 : IHM du modèle énergétique avec les incertitudes sur Simulink

Cette méthode n'est valable que si la loi de la grandeur à calculer, ici l'énergie de traction, est monotone sur l'intervalle d'incertitude de chaque paramètre. Or, cela n'est pas le cas pour notre modèle énergétique et cela peut engendrer une accumulation d'approximations qui ne donneront pas un résultat précis. D'autre part cette méthode permet d'obtenir les cas les plus défavorables se qui est très peu probable dans une application réelle.

7.2.3 Propagation de l'incertitude

La deuxième méthode pour estimer l'incertitude de l'énergie de traction $u_{E_{trac}}$ est d'utiliser l'incertitude quadratique de l'Équation 4 qui a été testé dans un script Matlab. Cette équation n'est correcte que si les variables x_i de la puissance de traction P_{trac} sont indépendantes entre elles et qu'il n'y a donc pas de covariance [3].

$$u_{E_{trac}} = \int_0^T u_{P_{trac}} = \int_0^T \sqrt{\sum_{x_i} \left(\frac{\partial P_{trac}}{\partial x_i} u_{x_i} \right)^2}$$

Équation 4 : Incertitude quadratique de l'énergie de traction

Avec :

- $u_{E_{trac}}$, l'incertitude de l'énergie de traction
- $u_{P_{trac}}$, l'incertitude de la puissance de traction
- x_i , les variables mesurées de la puissance de traction
- P_{trac} , la puissance de traction

Les méthodes utilisant les incertitudes arithmétiques et les incertitudes quadratiques ont été implémenté dans une IHM sur Python avec la librairie PyQt5 présentée en *Figure 10*. Ce langage Python a été choisi pour la simplicité de développement mais aussi parce qu'il existe des programmes open source qui nous permettaient de faire un logiciel qui fonctionne sur n'importe quel ordinateur gratuitement.

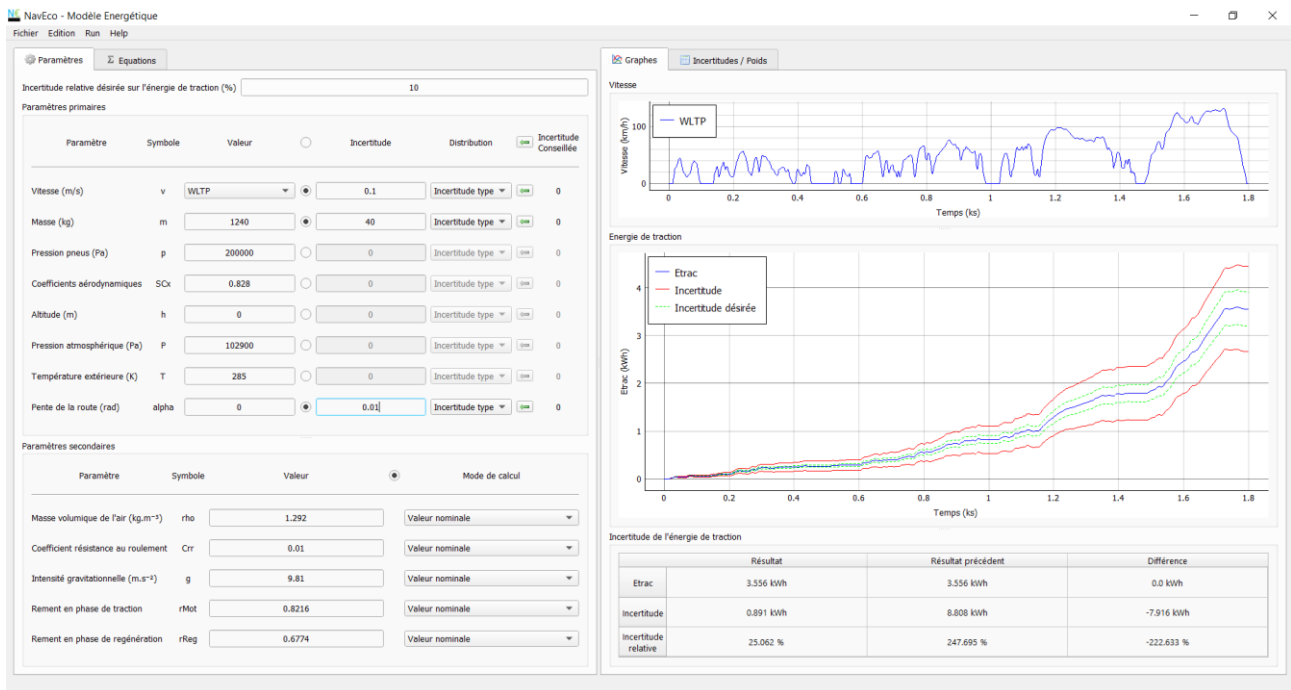










Figure 10 : IHM du modèle énergétique avec les incertitudes sur PyQt5

Ce logiciel est séparé en deux parties qui ont elles-mêmes deux sous-parties. On a une première partie à gauche avec les paramètres et une autre à droite avec les résultats.

Partie paramètres :

-  Paramètres  Equations Sous-partie constantes et équations
-  Paramètres  Equations Sous-partie paramètres et incertitudes

Partie Résultats :

-  Graphes  Incertitudes / Poids Sous-partie résultats graphiques
-  Graphes  Incertitudes / Poids Sous-partie incertitudes et poids

Paramètres
Equations

Constantes

Constante	Symbole	Valeur
Masse molaire de l'air (kg/mol)	M	0.028965
Constante des gaz parfaits	R	8.314
Pression atmosphérique à h=0 (Pa)	P0	101325
Coefficient de Crr 0	λ0	0.005
Coefficient de Crr 1	λ1	1000
Coefficient de Crr 2	λ2	1.2312
Constante gravitationnelle	G	6.6742e-11
Masse de la Terre (kg)	Mt	5.9722e+24
Rayon de la Terre (m)	Rt	6373000

Equations

Paramètre	Symbole	Equation
Masse volumique de l'air	rho	$P^*M/(R^*T)$
		$P0^*M*np.exp(-h^*M*g/(R^*T))/(R^*T)$
Coefficient de résistance au roulement	Crr	$lambda0+1/p^*(lambda01+lambda2*v^{**2})$
Intensité gravitationnelle	g	$(G^*Mt)/((Rt+h)^{**2})$

○ Constantes et équations

La première sous-partie des paramètres de cette interface est directement en lien avec le modèle dynamique du véhicule et permet de visualiser les constantes et les équations des paramètres de ce modèle. Ces constantes et équations sont modifiables respectivement dans les colonnes « Valeur » et « Equation » en ayant coché préalablement la case qui se situe à côté de « Symbole ». Cette première partie permet de faire des tests en modifiant la façon de calculer un paramètre. On pourra par la suite choisir quelle équation utiliser pour chaque paramètre dans l'onglet « Paramètres ».

Figure 11 : Constantes et équations

Paramètres
Equations

Incertitude relative désirée sur l'énergie de traction (%)
5

Paramètres primaires

Paramètre	Symbole	Valeur	Incertitude	Distribution	Incertitude Conseillée
Vitesse (m/s)	v	WLTP	3.278e-01	Incertitude type	3.278e-01
Masse (kg)	m	1240	4.986e+01	Incertitude type	4.986e+01
Pression pneus (Pa)	p	200000	0	Incertitude type	0
Coefficients aérodynamiques	SCx	0.828	0	Incertitude type	0
Altitude (m)	h	0	0	Incertitude type	0
Pression atmosphérique (Pa)	P	102900	0	Incertitude type	0
Température extérieure (K)	T	285	0	Incertitude type	0
Pente de la route (rad)	alpha	0	0	Incertitude type	0

Paramètres secondaires

Paramètre	Symbole	Valeur	Mode de calcul
Masse volumique de l'air (kg.m ⁻³)	rho	1.292	Fonction de h et T
Coefficient résistance au roulement	Crr	0.01	Valeur nominale
Intensité gravitationnelle (m.s ⁻²)	g	9.81	Fonction de h
Rement en phase de traction	rMot	0.8216	Valeur nominale
Rement en phase de régénération	rReg	0.6774	Valeur nominale

Figure 12 : Paramètres et incertitudes

Résultats graphiques

Du côté des résultats, dans l'onglet « Graphes » on trouve deux figures et un tableau. La figure supérieure est un graphique du profil de vitesse choisi dans les paramètres. La deuxième figure contient les courbes de l'énergie de traction E_{trac} du véhicule, son incertitude et l'incertitude désirée. Enfin, le tableau contient quelques résultats numériques comme l'énergie de traction, son incertitude et son incertitude relative. Nous avons aussi dans le même tableau les résultats de la compilation précédente et la différence avec l'actuelle pour visualiser l'influence des modifications entre deux compilations. Cette première partie permet de faire une analyse rapide des résultats. Pour avoir plus de détails sur ces résultats il est possible d'aller dans l'onglet « Incertitudes/Poids ».

Paramètres et incertitudes

La deuxième sous-partie des paramètres permet de rentrer toutes les valeurs des caractéristiques du véhicule et des paramètres environnementaux dans la colonne « Valeur ». Pour le profil de vitesse on a le choix entre une dizaine de cycle de référence mais il est aussi possible d'importer son propre cycle dans le logiciel. Elle permet aussi de prendre un compte ou non une incertitude avec sa valeur et sa distribution en cochant la case à gauche de la colonne « Incertitude ». La colonne « Incertitude Conseillée » fait appel à un programme d'optimisation pour conseiller l'utilisateur sur la valeur de l'incertitude à renseigner pour atteindre l'incertitude relative désirée spécifiée à la première ligne. Enfin, elle permet de choisir quelle équation utilisée pour les paramètres calculés ou choisir une valeur nominale.

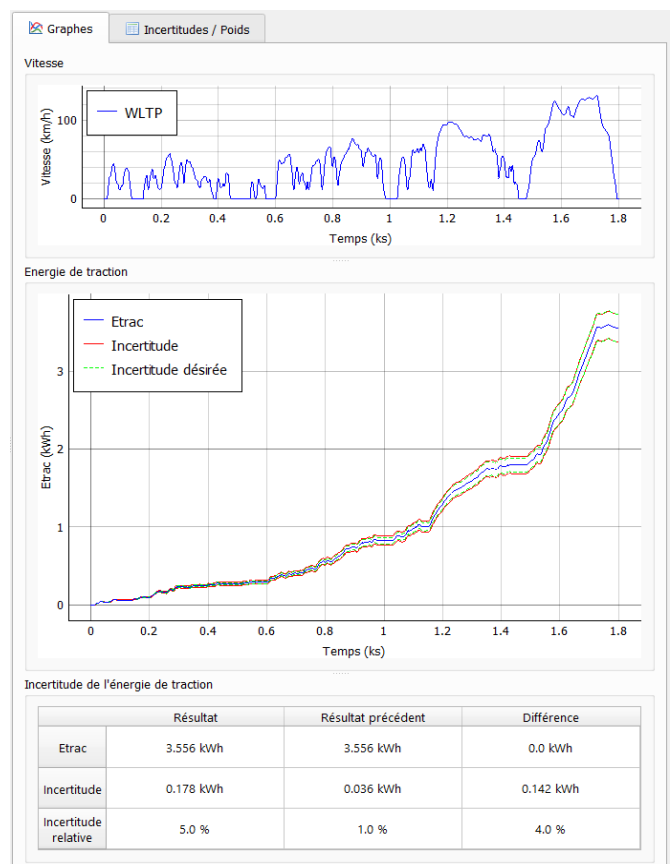
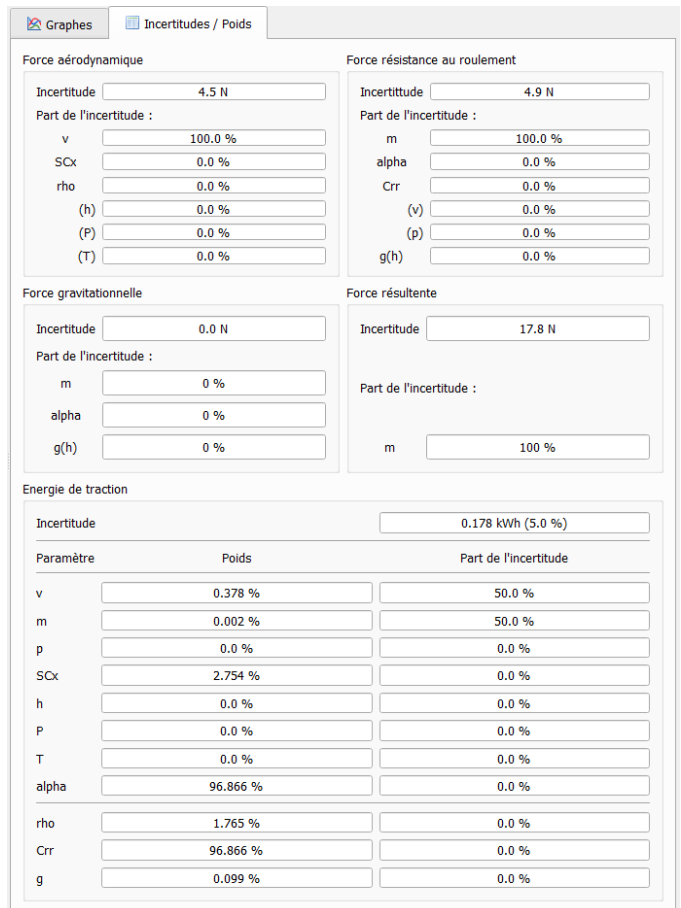


Figure 13 : Résultats graphiques

○ Incertitudes et poids



Le deuxième onglet des résultats, permet de visualiser en détail les résultats des calculs d'incertitudes. On peut y retrouver, dans la partie supérieure, la part d'incertitude de chaque force sur l'incertitude finale avec la part de l'incertitude engendrée par chaque paramètre sur cette force. En bas, on a l'incertitude globale sur l'énergie de traction avec la part de l'incertitude engendrée par chaque paramètre ainsi que le poids de ce paramètre dans les calculs d'incertitude.



Paramètre	Poids	Part de l'incertitude
v	0.378 %	50.0 %
m	0.002 %	50.0 %
p	0.0 %	0.0 %
SCx	2.754 %	0.0 %
h	0.0 %	0.0 %
P	0.0 %	0.0 %
T	0.0 %	0.0 %
alpha	96.866 %	0.0 %
rho	1.765 %	0.0 %
Crr	96.866 %	0.0 %
g	0.099 %	0.0 %

Figure 14 : Incertitudes et poids

L'intérêt d'un tel logiciel est multiple. Comme spécifié précédemment, il permet dans un premier de regrouper les deux études sur les incertitudes et de les rendre accessible pour faire facilement des tests et des modifications. Cela permet surtout d'avoir en détail la proportion d'incertitude engendrée par chaque paramètre et ainsi d'identifier ceux qui seront les plus importants pour la suite de la segmentation de l'itinéraire. Dans le cas d'une commercialisation du projet, cette IHM peut permettre aussi d'être très rapide dans la communication de notre degré de précision en fonction des entrées du client mais aussi de le conseiller si toutes les entrées ne sont pas spécifiées grâce au programme d'optimisation.

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

7.2.4 Conclusion sur l'étude de la sensibilité des paramètres

Grâce au modèle dynamique longitudinal que l'on a défini, on a pu procéder à une analyse complète de la propagation des incertitudes des paramètres de ce modèle. L'analyse individuelle des paramètres et les calculs d'incertitude ont permis de conclure que les paramètres ont tous une influence importante sur l'incertitude de l'énergie de traction du véhicule excepté l'intensité gravitationnelle qui varie de manière négligeable avec l'altitude. Nous avons également conclu, comme on peut le voir sur la *Figure 15*, que la pente a une influence importante dans le calcul de l'incertitude de l'énergie de traction mais que les coefficients aérodynamiques, la vitesse, et la masse ont aussi une part non négligeable.

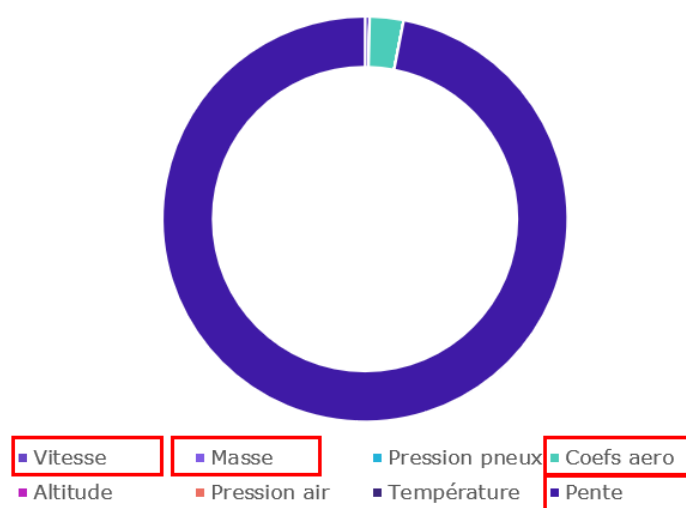




Figure 15 : Part de chaque paramètre dans le calcul de l'incertitude de l'énergie de traction

Ces paramètres feront donc l'objet d'une plus grande attention dans la partie récupération des données pour la segmentation du trajet qui sera l'objet de la tâche suivante.

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

7.3 Segmentation de l'itinéraire

Comme expliqué précédemment l'objectif de NAVeco est de déterminer le profil de vitesse optimale sur un trajet pour consommer un minimum d'énergie. Pour cela il faut faire appel à des programmes d'optimisation. Dans cette partie sur la segmentation de l'itinéraire, on va simplifier le processus d'optimisation en récupérant l'ensemble des données consommées par le modèle dynamique. On va ensuite segmenter le trajet en portions élémentaires sur lesquelles on pourra procéder à l'optimisation. On devra aussi rendre les données, sur ces portions de trajet, exploitables en trouvant un bon équilibre entre complexité pour l'optimisation et précision sur l'énergie de traction.

7.3.1 Récupération des données du trajet

La segmentation du trajet se basera sur les différents paramètres de la route comme les paramètres environnementaux mais aussi les caractéristiques du véhicule. Pour ce faire, il va falloir identifier dans un premier temps les paramètres à récupérer puis les différentes sources qui nous permettront de les récupérer et enfin de faire un programme global qui permettra de regrouper l'ensemble de ces paramètres qui serviront d'entrées pour le programme de segmentation de l'itinéraire.

7.3.1.1 Paramètres principaux et secondaires

L'étude de sensibilité des paramètres a permis de mettre en évidence les paramètres qui ont un impact important sur l'énergie de traction du véhicule. De ce fait, c'est sur ces paramètres qu'il faut concentrer l'effort dans la récupération des données. Ainsi, pour accélérer le développement de cette partie de segmentation de l'itinéraire, j'ai choisi de me concentrer sur seulement quelques paramètres importants qui nous permettront de développer une première version de cet algorithme. Cela nous permettra néanmoins d'avoir une preuve de faisabilité et cette version pourra être améliorée par la suite.

Nous allons donc récupérer à partir d'une adresse de départ et une adresse d'arrivée les coordonnées du départ et de l'arrivée du trajet. Nous allons ensuite devoir récupérer le trajet entre ces deux points, puis récupérer les données des chemins empruntés comme la vitesse maximale mais aussi la pente de la route qui sont les paramètres qui ont le plus grand impact sur l'énergie de traction du véhicule.

Les paramètres qui ont été identifiés comme secondaires parce qu'ils ont peu d'impact sur l'énergie de traction, parce qu'ils varient peu ou lorsqu'ils sont très difficiles à quantifier dans l'état actuel de développement du projet, seront à prendre en compte dans une prochaine étape de développement de cette partie de segmentation de l'itinéraire. Ces paramètres sont des paramètres environnementaux comme la pression atmosphérique, la température extérieure mais aussi les caractéristiques du véhicule, d'une part, les caractéristiques fixes comme les coefficients aérodynamiques et la masse du véhicule à vide, mais aussi les caractéristiques variables, comme la pression des pneus, la masse des passagers, la masse d'essence et la masse de la charge.

Maintenant que les paramètres principaux et secondaires ont été identifiés. Il va falloir récupérer les valeurs de ces paramètres sur l'ensemble de notre trajet.



7.3.1.2 Choix des sources des données

La plupart des valeurs des paramètres à récupérer sont accessibles via des bases de données et pour récupérer seulement les valeurs qui nous intéressent, il existe des outils que l'on nomme API. Les API (Application Programming Interface) sont des interfaces de programmation applicatives qui permettent via une requête d'accéder seulement aux données qui nous intéressent dans ces bases de données. Il existe de nombreuses bases de données avec plusieurs API, certaines sont totalement gratuites comme Géoportail, une base de données du gouvernement, d'autres fonctionnent sur un système collaboratif comme la base de données OpenStreetMap et d'autres intègrent des fonctionnalités payantes mais souvent plus précises et plus abouties comme la base de données Google Maps. C'est trois bases de données sont souvent les plus utilisées et offrent chacune des fonctionnalités et des degrés de précision différents sur leurs données. En testant ces trois bases de données et en se basant sur leurs documentations respectives nous avons pu déterminer quelles fonctionnalités sont les plus adaptées pour notre application dans le *Tableau 1*.

Paramètres (Fonctionnalités)	Sources (Bases de données)			Légende	
	Google Maps	OpenStreetMap	Géoportail	Symbole	Efficacité
Adresse (Départ et arrivée)	✓✓✓	✓✓	✓✓	✓✓✓	Très efficace
Trajet	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	Efficace
Vitesse maximale	✗	Déduite du type de route ✓✓✓	✗	✓	Peu efficace
Pente	Déduite de l'altitude ✓✓✓	Déduite de l'altitude ✓✓	Déduite de l'altitude ✓✓	✗	Pas disponible

Tableau 1: Degré d'utilité de chaque base de données pour chaque fonctionnalité de notre application

Comme on peut le voir aucune base de données ne répond totalement à notre. Par exemple, L'API Géoportail permet de déduire les coordonnées du départ et de l'arrivée en fonction d'une adresse de départ et une adresse d'arrivée, elle va aussi nous permettre de déterminer le trajet entre ces deux points et on va aussi avoir la pente de la route en fonction de l'altitude. Bien que cette API soit gratuite dans la limite d'une utilisation de développement, L'API Google Maps va permettre d'obtenir ces mêmes données mais avec une meilleure précision. Néanmoins, ces bases de données Géoportail et Google Maps ne permettent pas d'avoir la vitesse maximale autorisée sur chaque portion de route du trajet, c'est ici qu'intervient la base de données OpenStreetMap. OpenStreetMap est une base de données collaborative et gratuite, pour accéder à ces données on va utiliser les

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

API OpenRouteService et Overpass. Celles-ci nous permettront de récupérer pour chaque portion de route la vitesse maximale autorisée ou a minima le type de route et ainsi nous pourrons en déduire une vitesse selon la réglementation du pays. En conclusion, nous allons donc prioriser les données provenant de Google Maps du fait de leur précision pour les fonctionnalités de recherche des coordonnées d'adresses et pour la récupération de la pente à partir de l'altitude. Pour ce qui est de la vitesse maximale, nous allons utiliser la base de données OpenStreetMap et nous allons aussi utiliser cette base de données pour obtenir le trajet dans un souci de compatibilité. Les fonctionnalités retenues pour chaque base de données sont encadrées en rouge dans le *Tableau 1*. Le fonctionnement global est présenté dans la figure suivante.

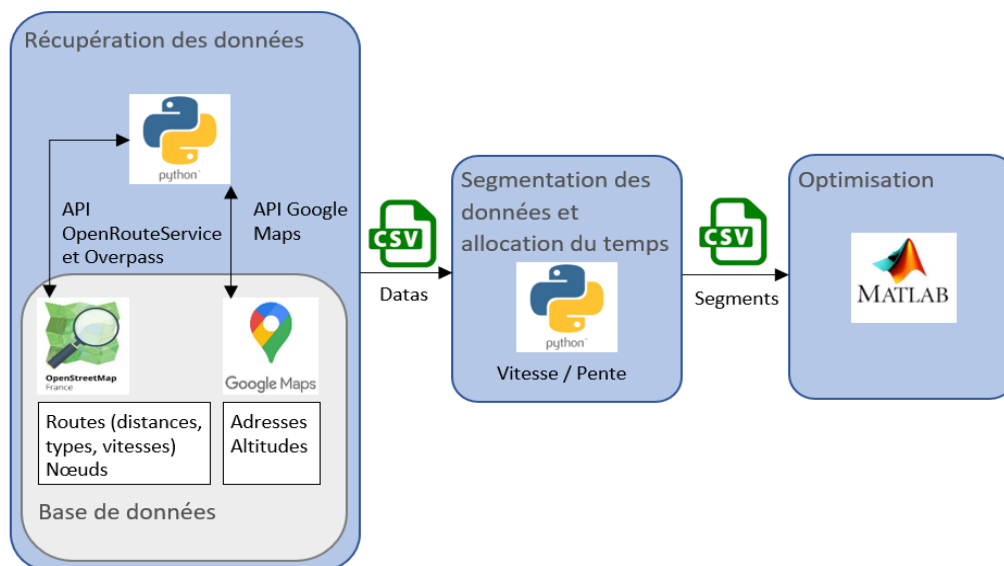




Figure 16 : Fonctionnement global de la segmentation d'itinéraire

Les paramètres importants, leurs sources et la façon de le récupérer ayant été identifiés, nous allons pouvoir détailler le programme de récupération des données l'itinéraire.

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

7.3.1.3 Algorithmes de récupération des données

Comme spécifié précédemment les bases de données sont accessibles via des API. Pour utiliser ces API il faut faire une requête via une URL et pour obtenir la donnée désirée cette requête URL doit respecter le langage de l'API qui peut être différent d'une API à l'autre. Il faut donc se référer à la documentation de l'API en question. Certaines API comme Overpass, bien que gratuites, ont un nombre de requêtes limité dans le temps. Il faut donc adapter le programme pour détecter les échecs de demande d'accès aux données pour les trajets qui demandent trop de requêtes et attendre que l'API soit de nouveau disponible. En prenant en compte ces remarques sur les API nous allons détailler les différents algorithmes composant le programme de récupération des données.

7.3.1.3.1 COORDONNEES DES ADRESSES DE DEPART ET D'ARRIVEE



La première étape est de récupérer les coordonnées sous forme d'une latitude et d'une longitude pour les adresses de départ et d'arrivée avec l'API Google Maps. Plusieurs fonctionnalités sont disponibles sur cette API. Ainsi, pour récupérer les coordonnées, on utilisera la fonctionnalité *geocode*. Celle-ci prend tout simplement en entrée les adresses de départ et d'arrivée et nous prendrons le premier résultat donné par cette requête qui est le résultat le plus pertinent contenu de la qualité de l'adresse donnée en entrée.

7.3.1.3.2 TRAJET

Il existe une multitude d'API qui permettent de récupérer grâce à une base de données de routes le trajet optimal que ce soit en termes de distance ou de durée. On prendra dans un premier temps un trajet qui sera optimal en termes de distance. Dans un souci de compatibilité avec la suite du programme on utilisera l'API OpenRouteService qui utilise la base de données de OpenStreetMap. Pour cette API il suffit de faire une requête URL avec les coordonnées de départ et d'arrivée et cette API nous renvoie la géométrie des nœuds du trajet le plus court.

7.3.1.3.3 VITESSES MAXIMALES

Grâce aux deux premiers algorithmes nous avons pu obtenir les coordonnées du départ et de l'arrivée ainsi que le trajet avec les nœuds et leurs coordonnées qui vont déterminer la géométrie du chemin à suivre. Ce qui nous intéresse maintenant c'est d'obtenir les profils des vitesses maximales autorisées sur l'ensemble du trajet. Pour cela nous allons utiliser les nœuds que l'on a récupérés précédemment. En effet, ces nœuds, dans la base de données OpenStreetMap, permettent de déterminer le début et la fin de portion de routes et de les lier entre elles. On peut donc récupérer les routes liées à ces nœuds via l'API OverPass qui utilise aussi la base de données OpenStreetMap. Comme précisé précédemment chaque API peut avoir son langage, ici on utilise le langage QL (Overpass Query Language) pour faire notre requête.

 Think bold, act reliable	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

Le tag *maxspeed* qui indique la vitesse maximale autorisée sur une route n'est pas présent sur toutes les routes. On a donc besoin de récupérer aussi le tag *highway* qui va nous indiquer le type de route. Ainsi, selon la législation du pays, on va pouvoir déterminer les vitesses maximales autorisées manquantes grâce au type de la route. De la même manière, nous allons filtrer les chemins qui ne nous intéressent pas qui sont du type *service*, *cycleway*, *footway* ou *path*. De cette façon nous serons sûr de récupérer la seule route praticable en voiture sur chaque nœud.

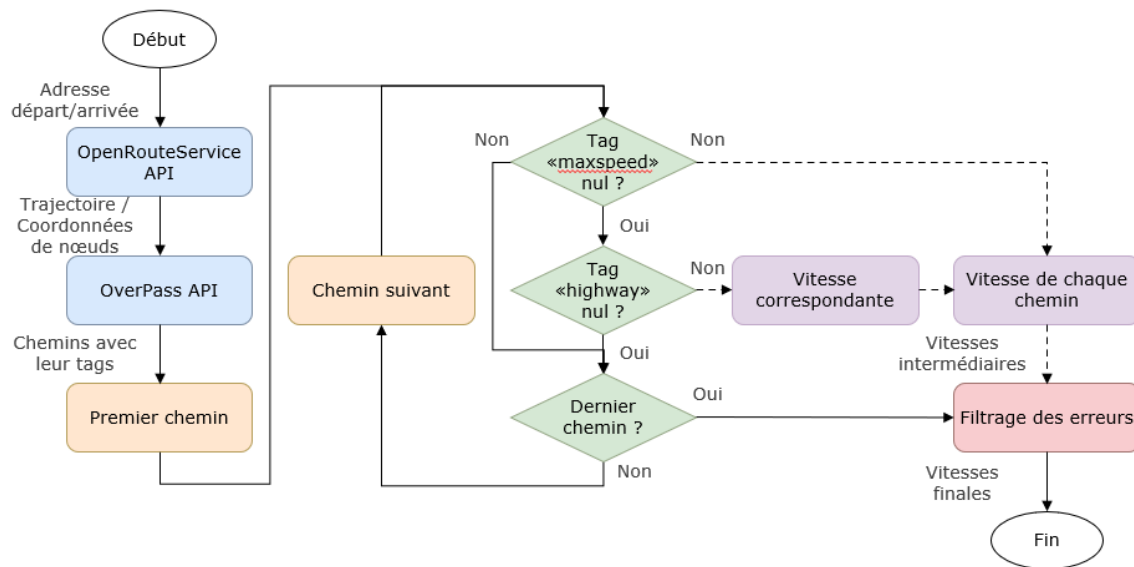


Figure 17 : Fonctionnement du programme de récupération des vitesses maximales autorisées

Comme on peut le voir sur le schéma précédent nous allons prioriser les informations venant du tag max speed car ils sont plus révélateurs de la réelle vitesse autorisée. En effet ce tag max speed vient la plupart du temps des panneaux de limitation de vitesse qui bordent la route. Les informations sur le type de route seront utilisées uniquement dans le cas où l'information sur max speed n'est pas disponible.

Malgré cela il peut survenir des erreurs. En effet les deux tags *maxspeed* et *highway* sont parfois tous deux indisponibles. Il existe aussi des erreurs dans la récupération des routes car parfois le programme nous retourne la route qui bifurque à une intersection car elle est liée au même nœud. Il est donc nécessaire de corriger ces erreurs. On va donc supprimer les bifurcations parasites quand on reste sur le même chemin et on va prendre la vitesse minimale entre la route suivante et la route précédente pour chaque route qui n'a pas de vitesse déterminée.

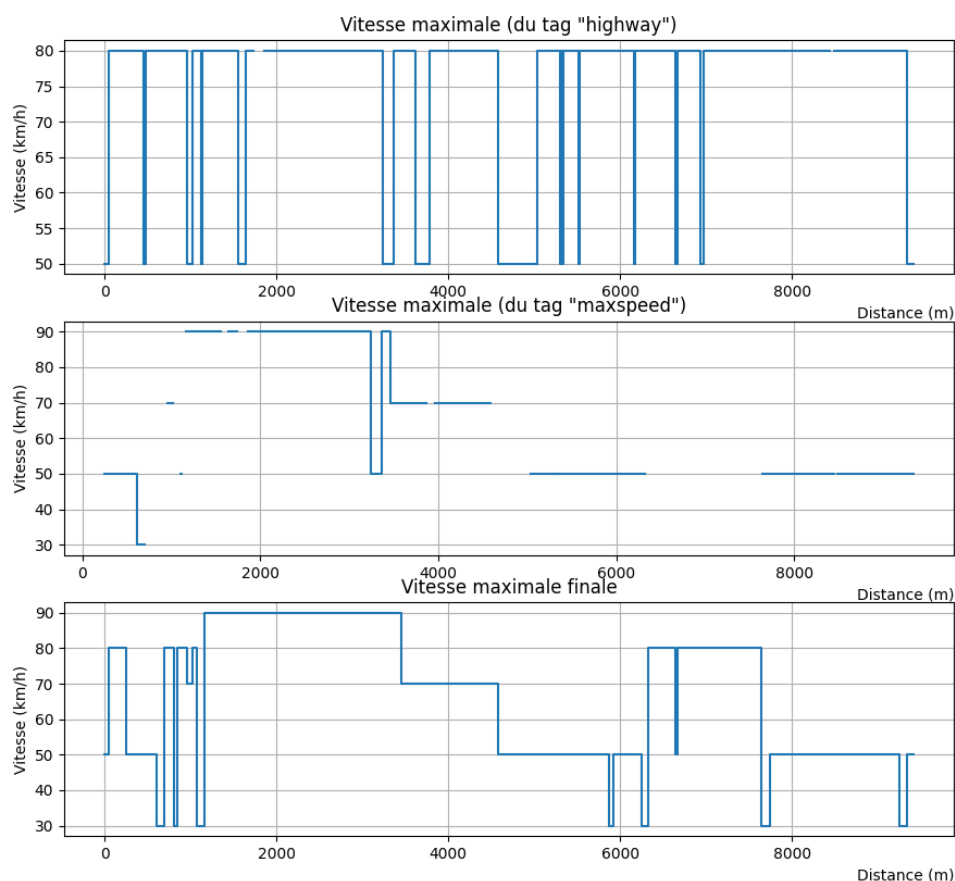




Figure 18 : Concaténation et filtrage des vitesses maximales

On voit sur la figure précédente qu'après la concaténation des deux vitesses maximales provenant du tag *highway* et du tag *maxspeed* et du filtrage des erreurs on obtient un profil de vitesse maximale autorisée sur tout le trajet. Par manque de temps, ce programme n'a pas pu faire l'objet de beaucoup de tests, il peut donc encore survenir des erreurs dû à des données inattendues provenant de l'API. Néanmoins, le programme n'est pas dangereux car il donne par défaut une vitesse minimum. Maintenant que cette donnée est récupérée nous allons nous intéresser à la deuxième donnée la plus importante qui est la pente de la route.

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

7.3.1.3.4 PENTE DE LA ROUTE

En utilisant encore une fois la géométrie du trajet obtenue grâce à l'API OpenRouteService nous allons pouvoir récupérer la pente de chaque route à partir de l'altitude. Néanmoins si on veut une meilleure précision sur des portions de route qui sont longues nous allons devoir échantillonner le trajet et récupérer plus de points que les points donnés par les nœuds. Une fois cet échantillonnage effectué selon une résolution que l'on a choisie on va pouvoir utiliser l'API Google Maps avec cette fois-ci la fonctionnalité *elevation*. Cette fonctionnalité va nous renvoyer l'altitude de chaque point que l'on va lui donner. Ainsi en connaissant l'altitude et la distance entre deux points nous allons pouvoir déterminer la pente et reproduire cette méthode sur l'ensemble du trajet.

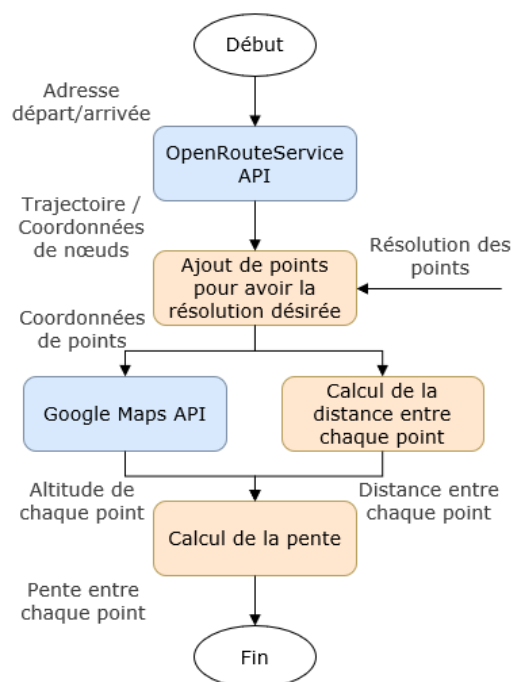




Figure 19 : Fonctionnement du programme de récupération de la pente

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

Ainsi en appliquant cette méthode sur un trajet qui relie par exemple le site d'Expleo de Saint-Quentin-en-Yvelines à la Défense, on obtient le profil d'altitude et le profil de pente suivant.

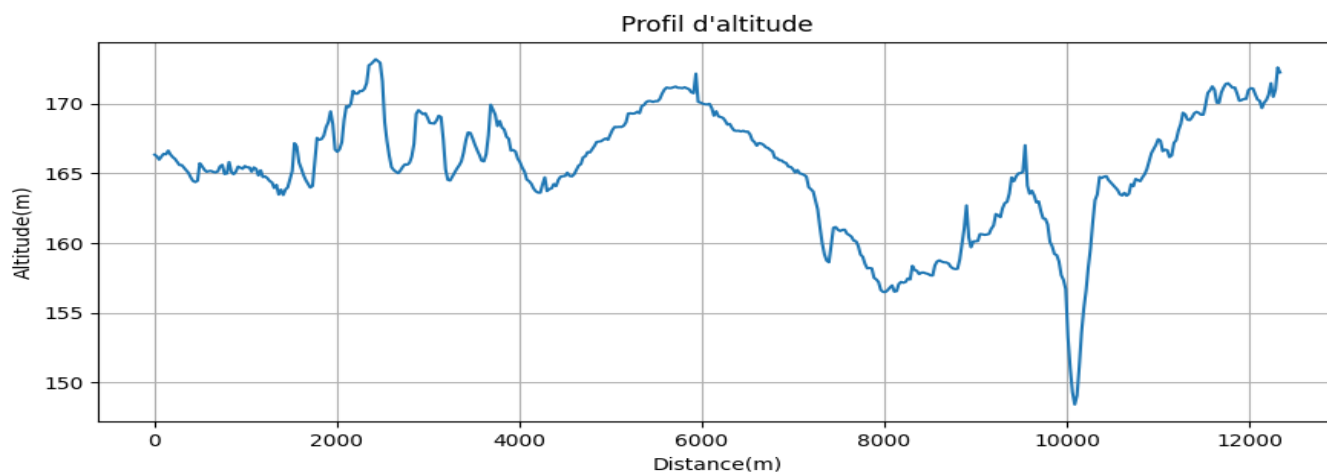


Figure 20 : Profil d'altitude de Saint-Quentin en Yvelines à la Défense

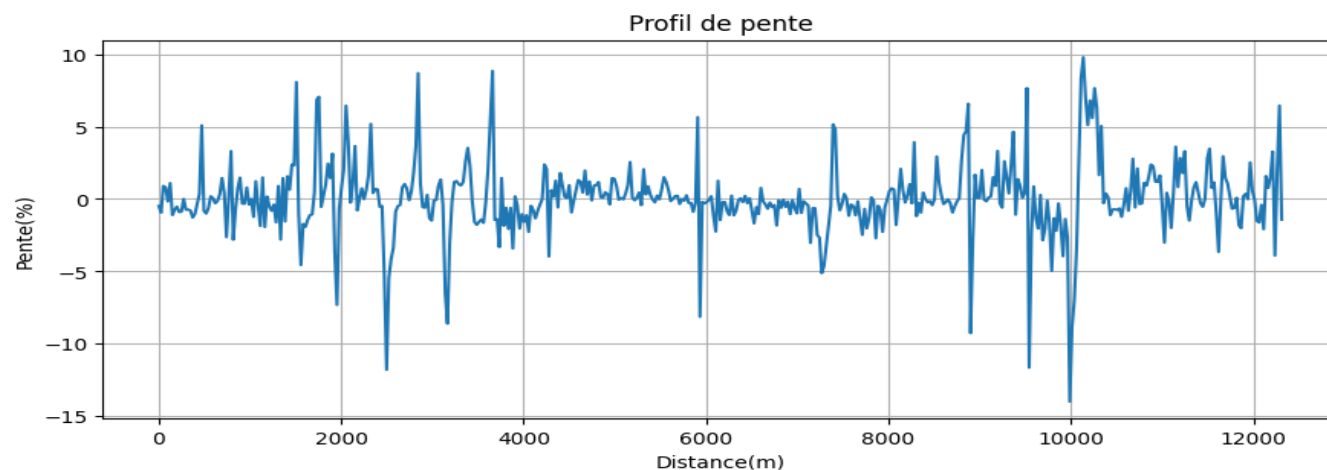


Figure 21 : Profil de pente de Saint-Quentin en Yvelines à la Défense

Les données principales du trajet ayant été récupérés nous allons pouvoir passer à la segmentation du trajet qui permettra de simplifier l'optimisation.

7.3.2 Segmentation du trajet

Pour déterminer le profil de vitesse optimale sur l'ensemble du trajet il faut utiliser des programmes d'optimisation qui ont une lourde charge de calculatoire. Ainsi si l'on donne à ce programme des segments de route plus court avec des paramètres constants sur cette portion on diminuera la charge calculatoire. C'est le but de cette partie. Nous allons segmenter l'ensemble du trajet en portion de route où les paramètres choisis sont constants dans un intervalle de variation choisie.

7.3.2.1 Algorithme de segmentation du trajet

Dans l'état actuel du développement de ce programme nous n'utilisons que les informations sur la vitesse et la pente. Ce sont donc ces paramètres qui serviront à la segmentation du trajet. L'algorithme de segmentation du trajet va prendre en entrée un intervalle de variation désiré pour la vitesse et pour la pente. Le programme va ensuite découper le trajet en portion de route où, à la fois, la vitesse et la pente ne varient pas plus que la variation choisie. On va ensuite simplifier les données sur chaque portion de route en prenant la vitesse et la pente moyenne.

7.3.2.2 Stratégie d'allocation du temps pour chaque segment

Le programme d'optimisation a non seulement besoin des données qui vont alimenter le modèle dynamique du véhicule mais aussi de la durée de parcours à atteindre pour chaque segment de route. Pour déterminer cette durée nous allons tout d'abord calculer le temps minimum et le temps maximum sur chaque portion de route en se basant sur la distance, la vitesse maximale autorisée et la vitesse sécuritaire minimale. En faisant la somme de ces temps minimums et de ces temps maximums on va obtenir le temps minimum et maximum sur l'ensemble du trajet. Si la durée spécifiée par le conducteur est inférieure à la durée minimale on prendra pour chaque segment son temps minimal. À l'inverse si la durée spécifiée par le conducteur est supérieure à la durée maximale on va prendre pour chaque segment son temps maximal. Enfin si la durée spécifiée par le conducteur est comprise entre la durée maximale et la durée minimale on va tout simplement faire le rapport entre la durée spécifiée par le conducteur et la durée minimale sur tout le trajet que l'on va multiplier à chaque temps minimal de portion de route.

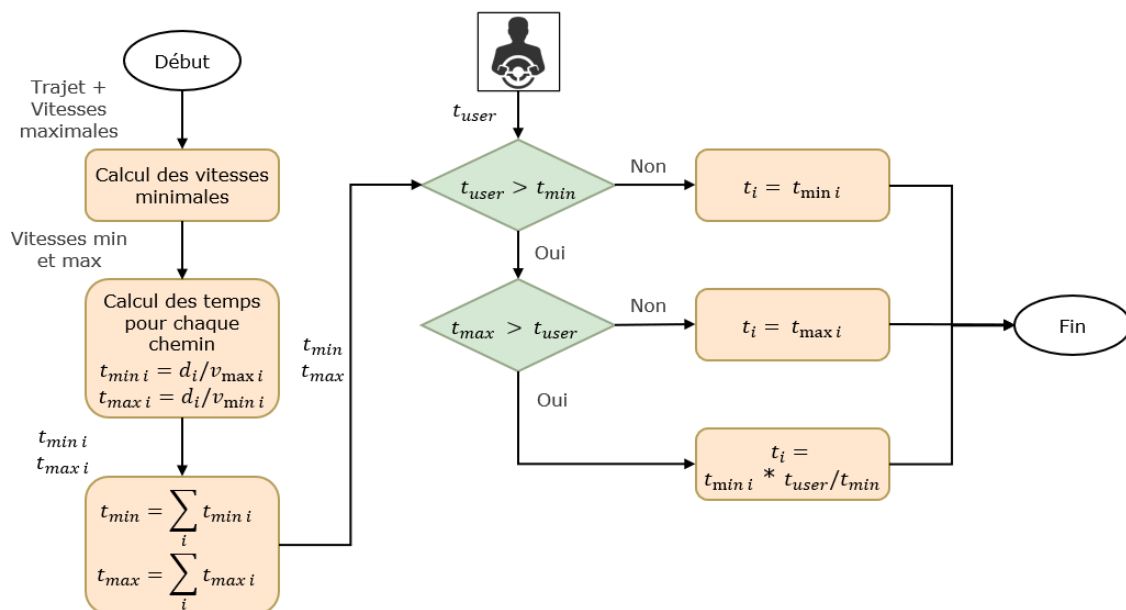




Figure 22 : Fonctionnement du programme d'allocation du temps

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

7.3.3 Futures études à mener



Le programme de segmentation de l'itinéraire fonctionne mais il reste encore plusieurs études et développements à effectuer pour pouvoir l'intégrer au projet global. Il va falloir étudier l'influence sur l'optimisation du profil de vitesse de cette segmentation en testant toutes les configurations possibles. Il va aussi falloir étudier le degré de précision des données que l'on récupère par rapport à la réalité, ainsi que la résolution choisie sur les points concernant la pente et leurs impacts sur l'énergie de traction. Enfin, il va falloir intégrer l'ensemble des autres paramètres décrit comme secondaires précédemment et améliorer la récupération de la vitesse en prenant en compte la vitesse moyenne du trafic les virages et les incertitudes et les intersections par exemple. Le but étant d'obtenir la meilleure précision possible sur l'énergie de traction à l'issue de l'optimisation tout en gardant un degré de complexité acceptable.

7.3.4 Conclusion sur la segmentation de l'itinéraire

L'étude sur la segmentation de l'itinéraire nous a permis de développer une première version du programme pour montrer sa faisabilité. Il reste néanmoins des paramètres supplémentaires à récupérer mais surtout en retour sur l'influence que ce programme a sur l'optimisation du profil de vitesse. En effet le programme de segmentation d'itinéraire devra s'adapter à son influence sur l'optimisation pour obtenir une précision la plus élevée possible tout en gardant un degré de complexité acceptable.

7.4 Conclusion sur le travail réalisé

Par rapport à la planification qui avait été prévu au début du projet l'ensemble des parties ont été traité, au moins partiellement. En effet, certaines parties comme l'étude de la sensibilité des paramètres ont pris beaucoup plus de temps que prévu car certains aspects nous ont paru nécessaire d'être précisé et développé pour la suite de l'étude. Ce temps qui a été utilisé pour la partie sur l'étude de sensibilité des paramètres ne m'a pas permis de finaliser complètement la partie sur la segmentation du trajet. De même, pour ces parties, des démonstrateurs ont été développés pour permettre à des utilisateurs non aguerris de pouvoir accéder à ces différentes études et à ces différents développements. Néanmoins, le démonstrateur global que je devais développer s'il me restait du temps et qui devait regrouper l'ensemble des parties développées par les différents stagiaires n'a pas pu être commencé. Malgré cela le temps supplémentaire qui a été utilisé sur l'étude de sensibilité des paramètres nous a permis d'aller plus loin et ainsi de développer un démonstrateur très utile dans l'analyse des incertitudes des paramètres qui pourra même être adapté dans d'autres projets pour effectuer les mêmes types d'études.

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	



8 BILAN

8.1 Bilan scientifique et technique

A mon arrivée dans l'équipe du projet Expleo, le projet a tout d'abord été présenté et du temps a été laissé pour prendre connaissance des travaux des années précédentes. Les tâches et leurs durées estimées pour mon stage ont rapidement été attribuées. Une première partie consistait à faire une étude de la sensibilité des paramètres du modèle dynamique du véhicule puis, dans un second temps, la segmentation du trajet et la récupération des données réelles.

La première étude qui devait durer environ deux mois s'est finalement terminée en trois mois car des nouvelles sous tâches se sont ajoutées au fur et à mesure que l'étude se clarifiait et que des idées d'amélioration comme le développement d'IHM sont apparues. Dans cette phase du projet, ce qui m'a aussi pris du temps est le fait que je n'avais que très peu de connaissances sur le calcul d'incertitudes. Rechercher, étudier, mettre en place ces méthodes de calcul et les implémenter dans les différents IHM m'ont pris un temps conséquent. J'ai aussi sous-estimé le temps à passer pour développer une interface utilisateur vraiment complète sur python qui était une initiative de ma part. Ce qui est compliqué dans un projet de recherche et développement est que bien que l'on ait une idée globale des tâches et du temps pour les faire, ces tâches se précisent au cours de l'étude et prennent parfois plus de temps que prévu.

Cette première partie m'a néanmoins permis une montée en compétences dans plusieurs domaines (*Figure 13*) car elle a fait appel à de nombreuses connaissances. En effet la première partie des développements sur Matlab/Simulink m'a permis d'avoir une meilleure connaissance de ces outils, de mettre en place des bonnes pratiques de codages et de savoir analyser mes résultats pour qu'ils soient cohérents et clairs. L'étude m'a permis aussi de découvrir les différentes façons de calculer des incertitudes et de les mettre en pratique. La partie concernant le développement d'une IHM en Python m'a permis de reprendre ce langage que je n'avais pas utilisé depuis un moment et d'approfondir mes connaissances avec la librairie PyQt5 que j'avais déjà utilisé dans un projet d'école. Enfin, l'étude sur la segmentation de l'itinéraire m'a permis d'apprendre à développer des programmes qui font appel à des API. Ce stage, même si je n'ai pas directement travaillé dessus, m'a aussi permis de confirmer mes connaissances dans le domaine de l'optimisation.

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

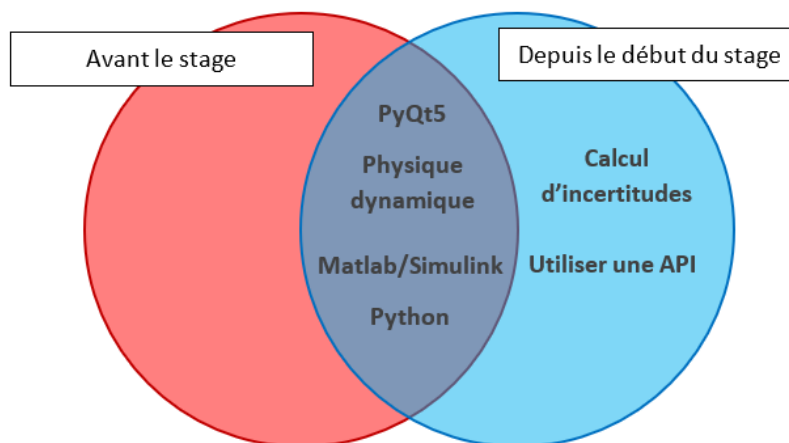


Figure 23 : Schéma des connaissances



Coté méthode de travail, j'ai beaucoup appris car j'ai compris qu'une bonne organisation et une réflexion approfondie avant la phase de développement permettait un gain de temps conséquent.

Enfin, l'équipe du projet NavEco est bien proportionnée avec un chef de projet, un pilote R&D et trois stagiaires issu d'écoles d'ingénieurs. Cela a permis d'avoir une charge de travail adapté et un bon partage des tâches entre les trois différents stagiaires dans un projet aussi complexe. Cette organisation a aussi permis d'avoir un bon équilibre entre soutien et autonomie dans le travail à réaliser. Cela a aussi permis en premier lieu de bien m'intégrer et d'avoir un bilan humain plutôt positif.

8.2 Bilan humain

Malgré le contexte sanitaire actuel, le projet a pu maintenir deux journées en présentiel avec des réunions d'équipe. Cela a permis d'avoir une vraie communication entre tous les membres du projet et a grandement participé à l'intégration de chacun au sein de l'équipe.

Des actions ont aussi été mise en place par Expleo comme le challenge LEO. Ce défi regroupe des stagiaires dans tous les domaines d'expertise de l'entreprise et les fait se rencontrer en formant des équipes pluridisciplinaires qui vont travailler à la recherche d'une idée sur un thème donné. Au-delà de l'aspect recherche et malgré le fait que ce challenge ne se passe que à distance, cela a permis de faire connaissance avec de nouvelles personnes venant d'horizons vraiment différents et de renforcer le sentiment d'intégration à l'entreprise.

	NAVeco_Rapport_Final_Stage_210825	
	Rapport de stage – Segmentation d'un trajet	
	NAVeco	

8.3 Apport du stage

Ce stage au sein d'Expleo m'a permis de prendre conscience de l'importance de certaines connaissances enseignées à l'ESIEE. En effet, le sujet de mon stage fait appel à de nombreuses compétences techniques mais surtout à la connaissance d'outils comme Matlab/Simulink et des langages de programmation comme le langage Matlab ou Python. Le travail effectué en recherche et développement se rapproche aussi beaucoup de la méthode de travail que l'on peut retrouver dans les travaux pratiques de dernières années dans la filière systèmes embarqués de l'ESIEE mais aussi dans les projets d'années. On nous a appris à chercher par nous-même des données et des références parmi une grande quantité d'informations pour les compiler et les utiliser.

Ce stage était ma première expérience en entreprise et a confirmé ma volonté de vouloir travailler dans ce domaine. En effet, beaucoup d'aspects m'ont plu dans ce stage. J'ai pu apprendre beaucoup de choses sur le travail en équipe en général. Le cadre de travail est très agréable que ce soient les locaux qui sont bien pensés ou la liberté dans le travail en distanciel ou en présentiel tout en gardant un encadrement avec des réunions régulières. Ce qui m'a le plus plu c'est que l'on m'a laissé la liberté de faire des propositions et de prendre des initiatives dans mon travail.