

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

*Paix – Travail – Patrie*

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
ECOLE NORMALE SUPERIEUR  
D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE  
D'EBOWA  
DEPARTEMENT DE DE GENIE  
MECANIQUE

\*\*\*\*\*



REPUBLIC OF CAMEROUN

*Peace – Work – Fatherland*

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I  
HIGHER TECHNICAL TEACHER  
TRAINING COLLEGE OF  
EBOWA  
DEPARTMENT OF OF  
MECHANICAL  
ENGINEERING

\*\*\*\*\*

**Filière  
Mécanique Automobile**

**CONCEPTION ET REALISATION D'UNE APPLICATION  
DE CALCUL DES ELEMENTS DES COURBES  
CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES DES  
AUTOMOBILES, CORRELATIVE AUX PROPRIETES DE  
TRACTION**

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de  
professeur des lycées  
d'enseignement technique de deuxième grade

Par : **MBOUDOU Frederic Georgino**

Sous la direction de  
**M GAGA DADI Bernard**  
Enseignant  
**M TIMBA SADRACK Jean Pierre**  
Chargé de cours

**Année Académique : 2019/2020**





ENSET EBOLOWA

---

## DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

---

**Ce mémoire intitulé :**

**CONCEPTION ET REALISATION D'UNE APPLICATION DE  
CALCUL DES ELEMENTS DES COURBES CARACTERISTIQUES  
DYNAMIQUES DES AUTOMOBILES, CORRELATIVE AUX  
PROPRIETES DE TRACTION**

D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE D'EBOLOWA

**Présenté par :**

**MBOUDOU Frederic Georgino**

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de professeur des  
lycées d'enseignement technique de deuxième grade**

**A été soutenu le :**

**Devant le jury composé de :**

- **Président : MENGUE MBOM Alex (MC)**
- **Rapporteur : TIMBA Jean Pierre (CC)**
- **Rapporteur : GAGA DADI Bernard (ASS)**
- **Examineur : NGO BISSE Jacquie (CC)**

**A**  
**MA FAMILLE**

## REMERCIEMENTS

Pour que ce travail de recherche soit effectué et achevé, nombreux sont ceux que je voudrais remercier pour m'avoir aidé, soutenu ou accompagné durant ces années d'étude. C'est pour leur montrer toute ma gratitude et reconnaissance que je leur dédie cette page. Je pense ainsi :

- ❖ Au Pr DJANKOMO Essiane, Madame le Directeur de l'ENSET qui ne cesse de ménager un grand effort dans la formation des élèves professeur de cette auguste institution ;
- ❖ Le Pr KANA'A Thomas, chef du département du Génie Mécanique de l'ENSET pour la formation et les valeurs données aux élèves professeurs de son département ;
- ❖ A mes encadreurs :
  - Mr TIMBA Sadrack Jean Pierre
  - Mr GAGA DADI Bernard

Pour leur expertise et leurs temps consacré pour nous encadrer ;

- ❖ Tous les enseignants du département de Génie Mécanique, pour leur disponibilité et leur soutien ;
- ❖ Le Pr Louis Max AYINA OHANDJA, pour sa profonde gratitude ;
- ❖ A ma chère maman, MBALLA Hélène Chantale, pour tous ses bienfaits dans ma vie ;
- ❖ A mon cher oncle BELLA BIDZANGA, qui a toujours rêver de mon bien-être ;
- ❖ A ma chère tante EBENDA MBOUDOU Berthe, qui est pour moi comme une mère ;
- ❖ Mes parents, frères, sœurs, amis, camarades, qui ont toujours été présents en cas de besoins ;
- ❖ A Nadine KABADIANG, pour son soutien durant cette formation ;
- ❖ A tous ceux de prêt ou de loin dont leurs noms ne figurent pas ici, il n'y a pas de mots pour exprimer leur profonde gratitude vis-à-vis de moi, alors je vous dis Merci.

## RESUME

Enfin de l'obtention du nouveau modèle de véhicule, l'ingénieur doit impérativement évaluer ses **propriétés de traction**. Etant donné qu'aucun pays Africain ne possède d'une usine de conception et de fabrication des véhicules, il arrive souvent que l'on veuille adapter un nouveau moteur ou une nouvelle transmission à une automobile ; pour cela l'on utilise souvent et généralement un outil graphique appelé « **la caractéristique dynamique** », qui donne la force de traction disponible pour gagner ou vaincre les efforts de résistance au déplacement du véhicule, en fonction de la vitesse de celui-ci. Pour faciliter sa construction, nous avons mis sur pied une application qui a pour thème : « **conception et réalisation d'une application de calcul des éléments des courbe caractéristiques dynamiques des automobiles, corrélative aux propriétés de traction** ».

Ces travaux ont été faits en plusieurs étapes parmi lesquelles : la définition complète de l'algorithme de l'application, le choix du langage de programmation (**VISUAL STUDIO**) et l'écriture du programme, la conception des interfaces d'accueil et de travail, le chargement du programme dans les interfaces suivit de la compilation du code source.

Et après plusieurs nombreux tests que nous sommes parvenus au résultat souhaité dont **l'intégralité de la construction des éléments des courbes caractéristiques dynamiques propre à chaque véhicule en fonction des paramètres de traction tels que le type du véhicule, le type du moteur, de la boîte de vitesse et ses caractéristiques dimensionnelles.**

L'application ayant été obtenue, elle peut alors être exploitée pour l'analyse, des propriétés de traction et de vitesse d'un véhicule en cours de conception ou en fin de conception, elle est l'assistance du mécanicien dans le choix d'un nouveau moteur et de l'adaptation d'une nouvelle transmission pour un véhicule déjà en circulation et de l'essai après la maintenance du moteur.

## ABSTRACT

Finally, when obtaining the new vehicle model, the engineer must imperatively assess its traction properties. Since no African country has a vehicle design and manufacturing plant, it often happens that one wants to adapt a new engine or transmission to an automobile; for this we often and generally use a graphical tool called "the dynamic characteristic", which gives the available pulling force to gain or overcome the efforts to resist the movement of the vehicle, as a function of its speed. To facilitate its construction, we have developed an application with the theme: "design and production of an application for calculating the elements of the dynamic characteristic curve of automobiles correlative to the traction properties".

This work was done in several stages, among which: the complete definition of the algorithm of the application, the choice of programming language (VISUAL STUDIO) and the writing of the program, the design of the reception and work interfaces , loading the program into the interfaces followed by the compilation of the source code.

And after several numerous tests we have achieved the desired result, including the entire construction of the elements of the dynamic characteristic curve specific to each vehicle as a function of the traction parameters such as the type of vehicle, the type of engine, the gearbox and its dimensional characteristics.

The application having been obtained, it can then be used for the analysis, of the traction and speed properties of a vehicle during design or at the end of design, it is the assistance of the mechanic in the choice of a new engine and the adaptation of a new transmission for a vehicle already in circulation and the test after engine maintenance.

## LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ABREVIATIONS	SIGNIFICATION
ENSET	Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique
PSA	Peugeot société anonyme
SNCA	Société Nationale de Circulation Automobile –Luxembourg
SI	Système International
2D	Dimension 2
BV	Boîte de Vitesses
AFNOR	Académie Française de Normalisation
FCFA	Franc des communautés Françaises Africaines
PT	Prix Total
PU	Prix Unitaire
VT	Véhicule de Tourisme
VU	Véhicule Utilitaire

## LISTE DES FIGURES

Repère	Désignation	Page
<b>Figure I -1</b>	Illustration du design et du stylisme de l'extérieur du véhicule	12
<b>Figure I -2</b>	Illustration du design r et du stylisme de l'intérieur du véhicule	12
<b>Figure I- 3</b>	Illustration de l'architecture d'un véhicule automobile	14
<b>Figure I-4</b>	Illustration d'un examen du produit	16
<b>Figure I-5</b>	Illustration d'une chaine de montage d'automobile	17
<b>Figure I-6</b>	Illustration d'un produit fini automobile	18
<b>Figure I- 7</b>	Véhicule tracteur sur une pente	20
<b>Figure I-8</b>	Roue motrice isolée	23
<b>Figure I-9</b>	Roue non motrice isolée	24
<b>Figure I-10</b>	Somme de deux vecteurs-vitesses non colinéaires formant un angle $\lambda$ entre eux	28
<b>Figure I-11</b>	Exemple de courbe caractéristique d'un moteur (moteur d'un véhicule de marque Roomster)	37
<b>Figure I-12</b>	Exemple de courbe de la force aux roues	38
<b>Figure I-13</b>	Diagramme de la force aux roues pour un véhicule de tourisme à 4 rapports	38
<b>Figure I-14</b>	Caractéristique dynamique pour un véhicule de tourisme à 4 rapports	41
<b>Figure I-15</b>	Illustration d'un pneumatique	45
<b>Figure I-16</b>	Courbe puissance effective	48
<b>Figure I-17</b>	Courbe caractéristique du moteur de la TOYOTA 2.0 AVENSIS TD4D LINEA SOL 4P	52
<b>Figure I-18</b>	Caractéristique dynamique du véhicule étudié de la TOYOTA 2.0 AVENSIS TD4D LINEA SOL 4P	55
<b>Figure II-1</b>	L'interface graphique de l'environnement VISUAL	59
<b>Figure II-2</b>	Code source	66



<b>Figure II-3</b>	Création d'une interface d'utilisation	67
<b>Figure II-4</b>	Chargement d'un programme dans une interface	68
<b>Figure III-1</b>	Interface d'accueil de l'application CAECOCADYN	71
<b>Figure III-2</b>	Interface d'utilisation de l'application CAECOCADYN AUTO	71
<b>Figure III-3</b>	Saisie des paramètres de TOYOTA 2.0 de type AVENSIS TD4D LINEA SOL 4P	73
<b>Figure III-4</b>	Sélection des paramètres	74
<b>Figure III-5</b>	Saisie du régime nominale	75
<b>Figure III-5</b>	Affichage des courbes $D=f(v)$ pour chaque rapport	75
<b>Figure III-6</b>	Caractéristique dynamique du véhicule étudié TOYOTA 2.0 AVENSIS TD4D LINEA SOL 4P	77
<b>Figure III-7</b>	Affichage des courbes $D= f(v)$ pour chaque rapport	77

## LISTE DES TABLEAUX

Repère	Désignation	Page
<b>Tableau 1</b>	Signification des symboles	35
<b>Tableau 2</b>	Données du prototype choisi	43
<b>Tableau 3</b>	Données de la puissance effective	48
<b>Tableau 4</b>	Caractéristiques calculées de la TOYOTA 2.0 AVENSIS 4D LINEA SOL 5P	50-51
<b>Tableau 5</b>	Résultats des rapports $i$ en fonction de la vitesse	51
<b>Tableau 6</b>	Résultats des couples	53
<b>Tableau 7</b>	Calcul de la force de traction à chaque rapport en fonction du couple moteur	53
<b>Tableau 8</b>	Calcul de la force aérodynamique de résistance à chaque rapport en fonction de la vitesse $V$	54
<b>Tableau 9</b>	Etablissement du facteur dynamique $D$ à chaque rapport en fonction de la vitesse $V$	54
<b>Tableau 10</b>	Différents types de langages utilisés par Visual studio	58
<b>Tableau 11</b>	Fonctions de la barre d'outils de l'application CAECCODYN AUTO	73
<b>Tableau 12</b>	Caractéristiques du prototype étudié	73-74
<b>Tableau 13</b>	Devis estimatif de réalisation de l'application CAECCODYN AUTO	80

## LISTE DES GRANDEURS ET LEURS UNITES

Abréviation	Désignation	Unité SI
$m_0$	Masse de l'automobile à vide	<b>Kg</b>
$m_1$	Masse supplémentaire de l'automobile	<b>Kg</b>
$g$	Accélération de la pesanteur	<b>m/s<sup>2</sup></b>
$\rho_{air}$	Masse volumique de l'air	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
$V$	Vitesse de déplacement du véhicule	<b>m/s</b>
$S$	Maître couple	<b>m<sup>2</sup></b>
$B$	Voie du véhicule	<b>m</b>
$H$	Hauteur du véhicule	<b>m</b>
$L$	Empattement du véhicule	<b>m</b>
$F$	Maître couple de la surface frontale	<b>m<sup>2</sup></b>
$C_x$	Coefficient dit de traînée	
$\delta_{mr}$	Coefficient d'inertie des masses en rotation dans la transmission et dans les roues	
$\lambda$	Angle formé par deux vecteurs-vitesses non colinéaires	°
$V$	Vitesse du véhicule par rapport à un point fixe du sol	<b>m/s</b>
$V_{air}$	Vitesse du vent par rapport à un point fixe du sol.	<b>m/s</b>
$k_v$	Coefficient aérodynamique de résistance	
$m_\omega$	Coefficient du couple aérodynamique	
$G_0$	Poids du véhicule	<b>N</b>
$P_f$	La force de résistance au roulement	<b>N</b>
$\vec{P}_\psi$	Force de résistance totale du sol au déplacement	<b>N</b>
$\psi$	Coefficient de résistance totale au déplacement	
$\vec{R}_{k2}$	Réaction résultante du sol sur la roue motrice 2	<b>N</b>
$\vec{R}_{k3}$	Réaction résultante du sol sur la roue motrice 3	<b>N</b>

$M_{f1}$	Moment résultant de résistance au roulement de la roue motrice 1	<b>N.m</b>
$M_{f2}$	Moment résultant de résistance au roulement de la roue motrice 2	<b>N.m</b>
$M_{f3}$	Moment résultant de résistance au roulement de la roue motrice 3	<b>N.m</b>
$P_{jr}$	Force résultante d'inertie	<b>N</b>
$\vec{P}_k$	Force résultante de traction	<b>N</b>
$R_n$	Réaction du sol sur la roue non motrice	<b>N</b>
$a_n$	Décalage point d'appui (application) d'avec axe de la roue	<b>N</b>
$r_n$	Rayon dynamique de la roue non motrice	<b>m</b>
$P_n$	Force bousculant de l'essieu	<b>N</b>
$M_{fn}$	Moment de résistance au roulement de la roue non motrice	<b>N.m</b>
$M_{jn}$	Moment d'inertie de la roue non motrice	<b>N.m</b>
$\omega_n$	Vitesse de rotation de la roue non motrice	<b>rad/s</b>
$\vec{P}_\omega$	Force aérodynamique de résistance	<b>N</b>
$M_{\omega y}$	Moment aérodynamique de résistance	<b>N.m</b>
$\vec{P}_j$	Force d'inertie	<b>N</b>
$\alpha$	Pente de la chaussée	<b>°</b>
h	Hauteur du centre de gravité du véhicule	<b>m</b>
$h_r$	Hauteur du point d'application de la réaction de la remorque	<b>m</b>
$\vec{P}_r$	Réaction résultante de la remorque sur le tracteur	<b>N</b>
$R_k$	Réaction du sol sur la roue motrice	<b>N</b>
$X_k$	Composante de $R_k$ Selon l'axe des abscisses	<b>N</b>
$Y_k$	Composante de $R_k$ selon l'axe des ordonnées	
$a_k$	Décalage point d'appui (application) d'avec axe de la roue	<b>N</b>
$r_k$	Rayon dynamique de la roue motrice	<b>m</b>
$P_k$	Force bousculant de l'essieu	<b>N</b>
$M_{fk}$	Moment de résistance au roulement	<b>N.m</b>

$M_{jk}$	Moment d'inertie de la roue motrice	N.m
$M_k$	Couple moteur	N.m
$\omega_k$	Vitesse de rotation de la roue motrice	rad/s
$G_k$	Force de pesanteur agissant sur la roue motrice	
$n_e$	Régime du moteur à la vitesse de déplacement du véhicule.	trs/min
$n_N$	Régime du moteur à la puissance maximale.	trs/min
$\eta_t$	Rendement de la transmission.	
$P_k$	Force de traction	N
$k_p$	Coefficient de correction du transfert de puissance	
$J_M$	Moment d'inertie de l'arbre de transmission	Kg.m <sup>2</sup>
$J_k$	Moment d'inertie des roues	Kg.m <sup>2</sup>
$i_T$	Rapport global de transmission	
$r_k$	Rayon cinématique des roues	m
$r_d$	Rayon dynamique des roues	m
$f_0$	Coefficient de résistance au roulement des roues	
$k_f$	Coefficient de frottement variant avec la vitesse	
$K_v$	Coefficient aérodynamique de résistance	
$F$	Maître couple de la carrosserie	m <sup>2</sup>
$j_i$	Accélération moyenne	m/s <sup>2</sup>
$j_{max}$	Accélération maximale	m/s <sup>2</sup>
$j_{min}$	Accélération minimale	m/s <sup>2</sup>
$v_{fi}$	Vitesse finale au rapport i	m/s
$v_{di}$	Vitesse initiale au rapport i	m/s
$a_n, c_n, b_n$	Coefficients empiriques de calcul du couple moteur	
$\omega_e$	Vitesse angulaire du volant moteur	rad/s
$n_e$	Régime de rotation du moteur	tr/min
$N_e$	Puissance disponible au volant moteur	Watt
$i_{BV_i}$	Rapport de la Boîte de vitesses au rapport i	

## DEFINITION DES MOTS ET EXPRESSIONS CLES

- 1- **Une application** est tout ce qui ressemble à un programme informatique.
- 2- Les propriétés d'exploitation d'une automobile c'est l'ensemble des paramètres qui régissent son utilisation globale (**consommation, pollution, puissance, maintenabilité, ...**)
- 3- **Un Electron** est un logiciel libre open source développé par Github sous licence MIT ou un framework permettant de développer des applications multiplateformes de bureau avec des technologies web (Javascript, HTML et CSS
- 4- **Un Atom** est un éditeur de texte libre pour macOS, GNU/Linux et Windows développé par GitHub. Il est aussi utilisé en tant qu'environnement de développement.
- 5- **Un algorithme** est une suite finie et non ambiguë d'opérations ou d'instructions permettant de résoudre une classe de problèmes
- 6- **Le code source** est un texte qui représente les instructions d'un programme telles qu'elles ont été écrites dans un langage de programmation sous une forme humainement lisible par un programmeur. Le code source se matérialise souvent sous la forme d'un ensemble de fichiers textes.
- 7- **Caractéristique dynamique** : une caractéristique dynamique est un diagramme utilisé dans l'ingénierie automobile pour l'analyse des performances relatives à la traction.
- 8- **Traction** : la traction est l'effet de la force bousculant de l'essieu moteur, responsable du déplacement du véhicule, qu'il s'agisse d'un véhicule à traction-avant ou à propulsion.
- 9- **Propriétés de traction** : les Propriétés de traction d'un véhicule sont des grandeurs qui régissent le comportement dynamique de ce véhicule dans différentes situations de conduite. Il s'agit entre en effet de **la force de traction, la vitesse de déplacement, le degré d'influence des efforts de résistance au déplacement, les distances et vitesses de déplacement franchissables par l'automobile à différents rapports de transmission.**

- 10- Essieu :** un essieu est une pièce métallique passant dans le moyeu des roues et soutenant la carrosserie d'un véhicule.
- 11- Roue motrice :** une roue motrice est une roue recevant directement la puissance du moteur thermique d'une automobile à travers les organes de transmission de cette automobile.
- 12- Régime/couple nominal :** le régime (respectivement couple) nominal d'un moteur thermique est sa vitesse de rotation (respectivement son moment) lorsqu'il développe sa puissance maximale.
- 13- L'aérodynamique automobile est :** l'étude des phénomènes aérodynamiques induits par l'écoulement de l'air autour d'un véhicule automobile en mouvement.

## AVANT PROPOS

L'Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique (ENSET), créé par Décret Présidentiel N° 2017/586 du 24 Novembre 2017, est un établissement d'Enseignement Supérieur relevant de l'Université de Yaoundé I. elle est située au campus de Metykpwale dans la ville d'Ebolowa et abrite un bloc administratif, des salles de classes, un restaurant et bien d'autres.

L'ENSET a pour mission d'assurer :

- La formation des enseignants de l'Enseignement Secondaire Technique et des Conseillers d'Orientation Scolaire, Universitaire et Professionnelle ;
- La promotion de la recherche scientifique, technologique et pédagogique, ainsi que la valorisation des résultats de la recherche dans son implémentation ;
- L'appui au développement ;
- Le recyclage et le perfectionnement du personnel de l'Enseignement Secondaire Technique, des professionnels dans ses domaines de formation.

L'ENSET D'EBOLOWA est une école normale Supérieur d'enseignement technique appartenant à l'Université de Yaoundé 1. Les étudiants y sont admis par concours. On y pratique le système Licence-Master -Doctorat LMD avec une prédominance du Master. Les programmes officiels régissent le déroulement des enseignements dans la faculté.

Ces programmes comportent un ensemble d'enseignements organisés en cours magistraux, travaux dirigés, travaux pratiques, bureau d'études techniques, travaux personnels, visites à l'entreprise et/ou stages techniques.

Les études dans le premier cycle ont pour objectif d'initier les étudiants aux techniques industrielles. Ils sont formés pour enseigner les collèges d'enseignements techniques. La validation de toutes les Unités d'Enseignement (UE) du 1<sup>er</sup> cycle correspondant au nombre de crédits agréé donne droit à une admission au 2<sup>ème</sup> cycle et à une obtention d'un DIPLET 1 après rédaction du rapport de stage et d'un projet de mémoire.



Le second cycle couvre quatre semestres. Toutefois après deux semestres d'enseignement les étudiants peuvent aller en stage long en entreprises pendant deux semestres avant de terminer le troisième et le quatrième semestre.

Les objectifs visés par les enseignements du second cycle sont de :

- ❖ Donner à l'étudiant les connaissances professionnelles technologiques et de managements pour une opérationnalité immédiate à l'enseignement,
- ❖ D'initier l'étudiant à la recherche par l'acquisition des connaissances scientifiques de haut niveau.

Les études du 2<sup>nd</sup> cycle sont sanctionnées par la validation de tous les stages et Unités d'Enseignement correspondant au nombre de crédits indiqué et l'obtention du Diplôme de professeur des lycées d'enseignement technique, obtenu à l'intérieur d'un département.

Les Départements sont chargés de concevoir, d'exécuter, de suivre les programmes d'enseignement et d'assurer la gestion académique des examens et autres évaluations des connaissances. Les Départements sont :

- **GENIE MECANIQUE**
- **GENIE ELECTRIQUE**
- **GENIE CIVIL**
- **AGRICULTURE**
- **MAINTENANCE**
- **GEOMATIQUE**
- **GENIE INFORMATIQUE**
- **CONSEILLER D'ORIENTATION**
- **INGENIERIE DU BOIS**
- **INNOVATION, TECHNIQUE COMMERCIALES ET INDUSTRIELLES**
- **GENIE TOURISME ET HOTELLERIE**
- **INNOVATION**

# CAHIER DE CHARGES

## 1. TITRE DU PROJET

**Conception et réalisation d'une application de calcul des éléments des courbes caractéristiques dynamiques des automobiles, corrélatives aux propriétés traction**

## 2. PRESENTATION DU PROJET

Dans un projet de conception d'un véhicule automobile, les spécialistes se doivent d'exécuter plusieurs travaux d'expérimentation, de recherche, d'essais en exploitation et d'essais sur banc jusqu'à l'obtention d'un prototype. Celui-ci donne les paramètres essentiels de l'automobile tels que son gabarit (capacité), le nombre de passagers qu'il peut supporter, la puissance du moteur, la vitesse maximale et bien d'autres informations capitales pour le stylisme du véhicule.

### 2.1 PROBLEMATIQUE LIEE A L'ETUDE

En dehors du cadre conceptuel, il arrive parfois que l'on adapte sur un véhicule un moteur ou une transmission, ce qui se fait le plus souvent sans avoir la certitude des résultats escomptés. Afin de satisfaire à quelques exigences technico-économiques, l'ingénieur peut se faire aider par un outil d'appréciation des propriétés de traction du modèle en projet qu'est **la caractéristique dynamique** de l'automobile conçue, qui est une tâche assez difficile car se faisant à la main.

C'est dans cette optique que nous nous proposons, dans le cadre de notre mémoire de fin d'étude, de concevoir et de réaliser une **APPLICATION DE CALCUL DES ELEMENTS DES COURBES CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES DES AUTOMOBILES, CORRELATIVE AUX PROPRIETES DE TRACTION.**

### 2.2- OBJECTIF GENERAL

Ecrire un programme spécial de calcul rapide des paramètres dynamiques de traction des véhicules automobiles permettant de tracer automatiquement les caractéristiques dynamiques de tout véhicule supposer non chargé.

### 3. METHODOLOGIE

La **conception de l'application** met en œuvre un ensemble d'activités qui à partir d'une demande d'informatisation d'un processus permettant la conception, l'écriture et la mise au point d'un logiciel jusqu'à sa livraison. C'est une opération qui renferme trois grandes phases :

- Phase d'analyse (fonctionnelle) ou de conception ;
- Phase de réalisation ou de programmation (écriture et tests des programmes) ;
- Phase de livraison.

### 4. EXIGENCES DE DEVELOPPEMENT

Notre travail sera d'une grande utilité pour :

#### **a- Les contraintes technologiques**

- L'application réalisée doit respecter les normes de conception des logiciels ;
- Le programme doit être disponible et esthétique ;
- Cette application sera une application de programmation pour le calcul des caractéristiques dynamiques des automobiles.

#### **b- Les contraintes pédagogiques**

- Il sera utile pour les apprenants des niveaux 1, 2, 3, 4 et 5 années de l'ENSET D'EBOLOWA ;
- Concevoir et réaliser une application fiable et fonctionnelle.

#### **c- Les contraintes économiques**

- Le coût de conception et de réalisation de l'application doit être le moins élevé possible afin de vulgariser ce type de calcul scientifique.
- Notre application sera moins encombrante et pourra aussi être commercialisée.

### 5. LES RESULTATS ESCOMPTES

- L'application permettra de construire les caractéristiques dynamiques des automobiles, véhicule non chargé ;

### 6. PLAN DE TRAVAIL

- Le travail sera abordé sur le plan mécanique et électronique.
- Les systèmes seront matérialisés sur le logiciel VISUAL STUDIO

## Table des matières

Table des matières .....	1
INTRODUCTION GENERALE .....	3
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE.....	6
GENERALITES .....	7
ETAT DE L'ART .....	11
A- PROJET DE CONCEPTION D'UN VEHICULE AUTOMOBILE .....	11
A-1- DEFINITION DU PROJET DE CONCEPTION AUTOMOBILE .....	11
A-2- LES ETAPES DE CONCEPTION.....	11
A-2-1- La planification et la création du produit : l'automobile.....	11
A-2-2-Cahier des charges.....	12
A-2-3- Présentation du Design et stylisme des Automobiles.....	12
A-2-4) Architecture : .....	14
A-2-5) Prototypage ou projet type .....	15
A-2-6) Essais et examen du produit :.....	16
A-2-7) Industrialisation.....	17
A-2-8) La galerie définitive du produit : .....	18
B- ETUDE THEORIQUE DES PROPRIETES DE TRACTION DES AUTOMOBILES	19
B-1) ANALYSE DES FORCES ET MOMENTS AGISSANT SUR L'AUTOMOBILE PENDANT SON DEPLACEMENT.....	20
B-1-1) Forces dues à la pesanteur .....	22
B-1-2) Réactions de la chaussée.....	23
B-1-3) Forces et moments aérodynamique :.....	28
B-2) BILAN DE TRACTION DES AUTOMOBILES .....	30
Conclusion.....	31
C- ANALYSE ET ETUDE CRITIQUE DES METHODES D'APPRECIATION DES PROPRIETES DE TRACTION DES AUTOMOBILES .....	32
C-1) LA METHODE ANALYTIQUE .....	32
C-2) LA METHODE DU BILAN DYNAMIQUE .....	37
C-2-1) Utilisation du diagramme de la force aux roues :.....	37
.....	39

C-2-2) Utilisation de la caractéristique dynamique : .....	40
CONCLUSION .....	58
<b>CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES .....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
INTRODUCTION .....	59
<b>II-A- MATERIEL .....</b>	<b>59</b>
<b>II-A-1- Définition Visual studio.....</b>	<b>59</b>
<b>II-A-2- Présentation de Visual studio .....</b>	<b>59</b>
<b>A-3- Support des langages .....</b>	<b>60</b>
<b>II-A-4- L'INTERFACE GRAPHIQUE DE L'ENVIRONNEMENT VISUAL STUDIO.....</b>	<b>61</b>
<b>II-A-5- Avantages de VISUAL STUDIO .....</b>	<b>61</b>
<b>II-B- METHODES.....</b>	<b>62</b>
<b>II-B-2-1- PHASE D'ANALYSE (FONCTIONNELLE) OU DE CONCEPTION .....</b>	<b>62</b>
<b>II-B-2-2 PHASE DE REALISATION OU DE PROGRAMMATION (ECRITURE ET TESTS DES PROGRAMMES).....</b>	<b>63</b>
<b>Organigramme de programmation.....</b>	<b>63</b>
<b>II-B-2-3- Ecriture du code source .....</b>	<b>68</b>
<b>II-B-3 L'architecture.....</b>	<b>69</b>
<b>II-B-4-Chargement du programme .....</b>	<b>69</b>
<b>II-B-5-Compilation.....</b>	<b>70</b>
<b>II-B-6-PHASE DE LIVRAISON.....</b>	<b>71</b>
CONCLUSION.....	71
<b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....</b>	<b>69</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>72</b>
<b>III-1) PRESENTATION GENERALE DE L'APPLICATION .....</b>	<b>72</b>
<b>III-1-1) Présentation de l'interface d'accueil.....</b>	<b>72</b>
<b>III-1-2) Présentation de l'interface d'utilisation.....</b>	<b>73</b>
<b>III-1-3) Mode opératoire d'utilisation de l'application.....</b>	<b>74</b>
<b>III-2) COMPARAISON ENTRE LA METHODE NUMERIQUE DE CONSTRUCTION DE LA COURBE CARACTERISTIQUE DYNAMIQUE ET LA METHODE MANUELLE .....</b>	<b>77</b>
<b>III-4) POLITIQUE DE MAINTENANCE DE L'APPLICATION.....</b>	<b>79</b>
<b>III-5) DEVIS ESTIMATIF DE REALISATION DE L'APPLICATION .....</b>	<b>80</b>
CONCLUSION.....	80
CONCLUSION GENERALE .....	81

**Références bibliographiques** ..... 83  
**ANNEXES** ..... i

## INTRODUCTION GENERALE

Dans un projet de conception d'un véhicule automobile, les spécialistes doivent exécuter plusieurs travaux d'expérimentation, de recherche et d'essais sur banc jusqu'à l'obtention du prototype. Ledit prototype donne les paramètres essentiels de l'automobile tels que sa capacité (gabarit), le nombre de passagers qu'il peut porter, la puissance du moteur, la vitesse maximale et bien d'autres informations capitales pour le design du véhicule.

Après l'obtention d'un prototype, des prévisions doivent être faites sous plusieurs aspects avant la réalisation quant à la manière selon laquelle l'automobile se comportera sur route, compte-tenu du **groupe motopropulseur (caractéristiques du moteur et de la transmission)** et de ses **caractéristiques dimensionnelles choisies (voie, hauteur, rayon des roues, etc.)** ; parmi ces aspects nous pouvons distinguer le freinage, l'équilibrage statique et dynamique, la consommation de carburant, la traction et bien d'autres...

Cependant, bien la majorité des pays Africains ne disposent pas d'usine de conception et fabrication de véhicules à nos jours, il arrive souvent que l'on désire pour une raison ou une autre, adapter un nouveau moteur ou une nouvelle transmission à un véhicule possédant déjà des caractéristiques dimensionnelles précises. Dès lors, il est d'un intérêt capital de procéder à une analyse systématique des propriétés de traction de l'automobile en question compte tenu de la rénovation à faire. Toutefois, plusieurs moyens ont été adoptés jusqu'ici dans le but de l'appréciation des performances tractives d'un véhicule conçu.

Pour la conception, il faut prévoir la construction d'un **diagramme de la force aux roues**, diagramme donnant pour chaque rapport de la BV la variation de la force de traction à l'essieu en fonction de la vitesse de déplacement du véhicule, sans toutefois tenir compte des efforts s'opposant à son déplacement. [23]

D'autre part, la construction d'une caractéristique dynamique qui est un diagramme donnant pour chaque rapport de la BV la variation du facteur dynamique  $D$ , force de traction disponible à l'essieu par unité de poids du véhicule, en fonction de la vitesse de déplacement  $V$  de ce dernier ( $D = f(v)$ ). Mais la construction de ce diagramme n'est pas chose facile, car elle s'effectue à la suite de plusieurs calculs algébriques, ce qui nécessite beaucoup de temps et

d'attention ; il serait donc impératif de rendre ce travail plus aisé et plus rapide par l'utilisation d'une méthode numérique. [24]

Sachant que les travaux d'adaptation du moteur et de la transmission sur un véhicule automobile se font souvent sans avoir la certitude des résultats escomptés. Afin de satisfaire à quelques exigences technico-économiques, l'ingénieur peut se faire aider par un outil d'appréciation des propriétés de traction du modèle en projet qu'est la **caractéristique dynamique** de l'automobile conçue qui est une tâche assez difficile car se faisant à la main.

C'est dans cette optique que nous nous proposons, dans le cadre de notre mémoire de fin d'étude de concevoir et de réaliser une application sur le thème : **CONCEPTION ET REALISATION D'UNE APPLICATION DE CALCUL DES ELEMENTS DES COURBES CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES DES AUTOMOBILES, CORRELATIVE AUX PROPRIETES DE TRACTION.**

L'application ainsi obtenu permettra de juger avec précision et rapidité, les performances de traction d'un véhicule vis-à-vis d'un autre.

Pour présenter notre travail, il sera ainsi subdivisé en trois chapitres :

## **CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE**

Ce chapitre sera subdivisé en trois grandes parties :

### **A- Le projet de conception d'un véhicule automobile**

Cette partie portera sur les grandes étapes de conception d'un véhicule automobile dès l'idée jusqu'à sa construction ;

### **B- L'étude théorique des propriétés de traction des automobiles**

Ici nous allons étudier les paramètres principaux qui conditionnent les propriétés de traction des automobiles.

### **C- L'analyse et l'étude critique des méthodes d'appréciation des propriétés de traction des automobiles**

Dans cette partie nous allons nous servir des différents moyens utilisés pour l'appréciation des propriétés de traction des automobiles, en critiquant une par une, ensuite nous adoptons la mieux appropriée sur laquelle nous allons écrire un programme informatique afin de rendre désormais plus pratique son application.



## CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

Notre deuxième chapitre sera partitionné en deux parties :

### A- Matériels

Dans cette partie nous allons présenter les différents logiciels de conception.

### B- Méthodes

Dans cette partie nous allons mettre en évidence tout ce qui interviendra dans la mise en œuvre de calcul et construction de la caractéristique dynamique, outil d'appréciation des performances de traction des véhicules automobiles. D'où cette partie sera divisée en deux points parmi lesquels

- ☞ Les étapes de conception et réalisation de l'application
- ☞ L'utilisation de l'application

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Notre dernier chapitre portera sur deux parties :

**A- Dans cette partie, il sera question pour nous de présenter l'application<sup>1</sup> obtenu**

**B- Ici nous parlerons de l'analyse de notre application et d'élaborer la politique de maintenance appropriée de l'application ainsi qu'un devis estimatif de son coût de réalisation.**

---

<sup>1</sup> Une application est tout ce qui ressemble à un programme informatique

## **CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE SUR LES LOGICIELS DE CONCEPTION ET LE PROJET DE CONCEPTION DES CARACTERISTIQUES DU VEHICULE AUTOMOBILE**

### GENERALITES

**La technologie automobile** étant aussi une des sciences des plus importantes dans ce monde moderne, a connu et continue de connaître des améliorations sur tous ses plans, notamment relatifs aux conditions d'exploitation des véhicules, conditions qui demandent un certain nombre d'exigences quant à l'économie du carburant. La stabilité la dirigeabilité ou manœuvrabilité, l'adaptabilité, la fiabilité, le confort, la sécurité, la maintenabilité et la dynamique de ces automobiles.

La conception d'une automobile est un travail effectué par une équipe pluridisciplinaire composée d'ingénieurs, de spécialistes de l'ergonomie, de stylistes intérieurs et extérieurs, de modélistes ou maquettistes et de spécialistes du marketing qui fixent les contraintes et les attentes liées au style, pour mener à la réalisation de cette automobile. Après l'obtention d'un prototype, des études prévisionnelles du comportement sont faites à l'ordinateur par des simulations dynamiques pour les unes et par génération des diagrammes expérimentaux pour les autres, notamment l'appréciation des propriétés de traction de cette automobile.

La conception comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation, de conception, et de tester virtuellement à l'aide des techniques de simulation numérique afin de réaliser le produit manufacturés et les outils pour les fabriquer.

Parlant des logiciels, ils sont classés sous diverses formes à savoir :

- ☞ **Logiciel de conception ;**
- ☞ **Logiciel d'essais ;**
- ☞ **Logiciel d'évaluation ;**
- ☞ **Logiciel de calcul.**

Dans l'exploitation des propriétés des automobiles, nous avons souligné les différents travaux qui ont été effectués.

## DIFFERENTS TRAVAUX D'INTERET LIES A L'ETUDE DES PROPRIETES D'EXPLOITATION DES AUTOMOBILES

### a- **Identification des paramètres dynamiques d'une voiture**

#### Présentation des travaux :

Ces études ont été menées en 2003 par l'ingénieur **Gentiane VENTURE** dans le cadre de sa thèse de Doctorat. [18]

<<La dynamique véhicule consiste à étudier le comportement d'un véhicule sur la route lorsqu'il est soumis à des perturbations extérieures sol inégal et vent et aux commandes du conducteur volant, accélérateur et frein en boucle ouverte, c'est à dire sans retour sur le conducteur>>.

Dans ses études et recherches elle a réalisé le logiciel de simulation de dynamique du véhicule nommé **ARHMM**

**ARHMM** est un logiciel métier dynamique véhicule. Développé à l'origine par **GIE SARA** qui regroupait **PSA, Renault et l'INRETS**, l'objectif était de développer un modèle de véhicule destiné à être intégré à un simulateur de conduite automobile. Il est devenu par la suite un outil PSA. L'objectif initial imposait deux contraintes majeures : la première d'être représentatif du comportement d'un véhicule dans toute la gamme d'utilisation d'un véhicule réel, et la deuxième d'avoir un temps de calcul très faible afin de pouvoir s'exécuter en temps réel. Une interface (Matlab) permet à l'utilisateur de saisir les paramètres du modèle et de visualiser les résultats. Le modèle de dynamique du véhicule noyau de calcul est développé en C++. **ARHMM** est un logiciel métier et de ce fait est très simple d'utilisation. Les conventions utilisées pour la description des variables sont les conventions métier.

### b- **Modélisation et simulation dynamique d'un véhicule urbain innovant en utilisant le formalisme de la robotique** [19]

Ces études ont été menées en janvier 2003 par l'ingénieur **Salim MAAKAROUN** dans le cadre de sa thèse de Doctorat à L'ECOLE DES MINES DE NANTES

Dans ce travail plusieurs logiciels ont été utilisés parmi lesquels :

- **Drive (Sate-italy)**

Drive est un simulateur dynamique de voiture. Il simule le comportement des voitures pendant l'accélération le long de leur axe longitudinal de symétrie. La dynamique couplée des masses suspendues et non suspendues est obtenue en calculant le mouvement vertical et le tangage du véhicule. La transmission est soigneusement modélisée de l'embrayage aux pneus, y compris la boîte de vitesse. L'interaction entre les pneus et le sol est exprimée par un diagramme non linéaire de force et du glissement, qui tient compte du calcul correct de forces de traction, y compris ceux avec des valeurs élevées de glissement.

CarSim est modulaire : chaque sous système du véhicule est défini avec des paramètres et des tables de performances. Ceci permet aux utilisateurs de modifier le système et de le simuler à part, contrairement à d'autres outils qui nécessitent la conception du véhicule entier avant la simulation.

- **RaceSim (DATAS)**

C'est un outil d'analyse de la dynamique du véhicule (DATAS 1999). Il permet de faire divers tests de simulations et de comparer plusieurs configurations de véhicules avant la mise en place d'une conception détaillée. Par exemple, les masses, les puissances des moteurs peuvent être modifiées afin de déterminer l'effet de la position du centre de gravité, des inerties sur les performances d'un véhicule. Le modèle de véhicule est divisé en sous-groupes. Le modèle global est défini par 1600 paramètres, 480 variables dynamiques calculées, 15 ddl dont un système non linéaire des suspensions, des efforts du pneumatique, ...

Cet outil existe en trois versions :

- Expert (F1, CART, GP2, F3000, IRL, NasCar, GT, WRC, Super Touring Car, DTM, Tarmac Rally...),
- Standard (Touring Car, advanced F3),
- special (Dallara F301 –F306).

**SCANeR-OKTAL**

SCANeR studio Car est un outil d'aide à la conception des véhicules de tourisme, de course, des camions, bus, avec ou sans remorque. De plus, c'est un logiciel de référence pour les applications militaires. Développé pour des experts de l'automobile, il est conçu pour répondre aux besoins spécifiques des professionnels de la simulation dynamique. Le logiciel englobe, grâce à sa modularité, toutes les variétés des différents composants d'un véhicule.

Développé par OKTAL en 1990, et mis à jour en permanence, il permet d'atteindre un haut degré de précision par la comparaison constante avec des essais réels dans différents domaines d'application et d'aider à comprendre le modèle afin d'améliorer sa conception et ses réglages. En 1998, une fusion des logiciels Callas et Tour a contribué à obtenir CALLAS Motors sport qui devient SCANeR studio Motorsport en 2010. Ce dernier ajoute de nouvelles possibilités pour répondre aux besoins particuliers des professionnels du sport automobile (SCANeR Studio 2010).

Son interface évolue dans un environnement familier (MS Office, Excel). Plusieurs manœuvres sont possibles : accélération, freinage, mise en virage, passage d'obstacle et toutes les combinaisons, afin de solliciter le véhicule en conditions extrêmes (glissement, tête à queue, saut, renversement) et faciliter la recherche du meilleur compromis entre le comportement du véhicule et les paramètres de réglage des suspensions, de l'élastodynamique ...

Avant de mettre en évidence les méthodes d'appréciation des propriétés de traction et de vitesse des véhicules automobiles, il sera question pour nous dans la suite de notre travail de faire le point sur les différentes étapes de conception des véhicules automobiles.

## ETAT DE L'ART

### **A- PROJET DE CONCEPTION D'UN VEHICULE AUTOMOBILE**

#### **A-1- DEFINITION DU PROJET DE CONCEPTION AUTOMOBILE**

Le projet de conception d'un véhicule automobile est un ensemble des étapes de conception et d'expérimentation nécessaire à la réalisation d'un nouveau véhicule automobile ou à la modernisation d'un modèle existant.

#### **A-2- LES ETAPES DE CONCEPTION**

Pour la conception, on distingue environ huit étapes qui sont : [1], [6]

- ❖ La planification du projet ;
- ❖ L'établissement d'un cahier de charges ;
- ❖ Le stylisme du produit ;
- ❖ L'architecture ;
- ❖ Le prototypage ;
- ❖ Les essais et examens du produit ;
- ❖ L'industrialisation ;
- ❖ La galerie définitive du produit.

##### **A-2-1- La planification et la création du produit : l'automobile**

À la fin du 19<sup>e</sup> siècle, quand furent conçues les premières automobiles, elles étaient l'œuvre de génies de la mécanique. Souvent, les schémas et les plans étaient rudimentaires, les pièces étaient usinées à la demande exclusivement. Puis les pièces étaient reproduites à quelques exemplaires bien souvent modifiées entre chaque véhicule produit. Il faut se rappeler qu'en 1895, à peine plus de 250 véhicules circulent sur les routes françaises. Quand les cadences de fabrication augmentèrent, des plans précis et fiables devinrent indispensables et des méthodes de fabrication furent mises en place afin de rationaliser quelque peu lesdites fabrications [1].

Et donc le véhicule conceptuel a connu un développement parallèle à l'influence des écoles de style automobile au 20<sup>e</sup> siècle avec un âge d'or de la voiture de rêve aux États-Unis dans les années 1950, du prototype de salon en Italie dans les années 1960 et les années 1970 et du concept car au Japon dans les années 1990. De nos jours, le véhicule conceptuel est un

exercice obligé de tous les constructeurs automobiles lors des grands salons automobiles internationaux à Bruxelles, Détroit, Genève, Turin, Paris, Francfort, Tokyo, et Pékin [1].

### A-2-2-Cahier des charges

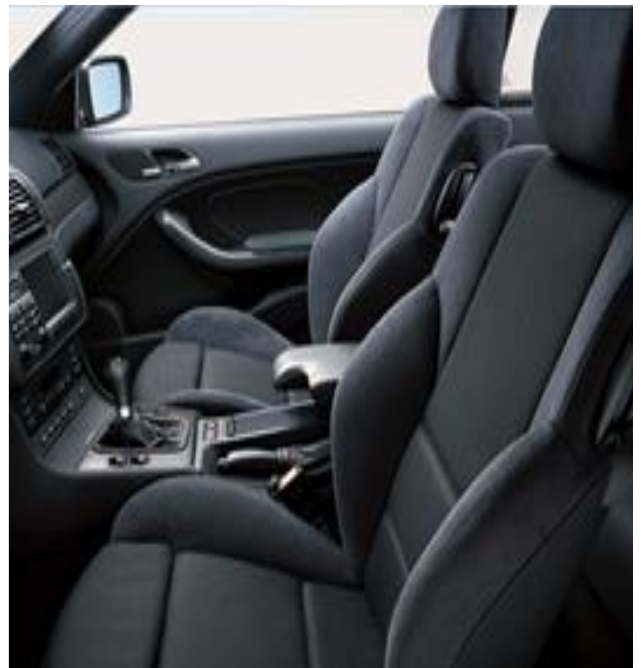
De nos jours, tout commence par une demande d'une équipe de quelques décideurs composée d'ingénieurs, de spécialistes de l'ergonomie, de stylistes intérieurs et extérieurs, de modélistes et de spécialistes de mise en marché qui fixent les contraintes et les attentes liées au style, pour renouveler une gamme ou en créer une nouvelle. C'est ainsi que naît un cahier des charges, d'abord sommaire, puis ce dernier se précise au fur et à mesure de l'avancement du développement du futur véhicule. Ces cahiers de charges précis sont devenus génériques chez la plupart des constructeurs et détaillés composant par composant [1].

Le design de l'automobile doit donc communiquer aux clients des traits caractéristiques comme la vitesse, la robustesse, la beauté, le luxe ou autres, thèmes auxquels l'automobiliste s'identifiera pour afficher son identité personnelle [1].

### A-2-3- Présentation du Design et stylisme des Automobiles



**Figure I -1 :** Illustration du design et du stylisme de l'extérieur du véhicule



**Figure I - 2 :** Illustration du design et du stylisme de l'intérieur du véhicule

L'équipe de design automobile doit répondre à des problèmes liés à l'environnement, la prévention et sécurité routières, les coûts de fabrication, les limites de certains matériaux, les goûts culturels, les facteurs sociaux et bien sûr de la mode présente à ce moment. L'équipe d'ingénieurs apporte d'autres contraintes comme l'aérodynamisme ainsi que la malléabilité et les résistances des matériaux. [1]

L'aérodynamisme est un critère que l'ensemble de l'équipe de conception doit prendre en considération. Cet élément favorisera la réduction de la consommation d'essence, réduisant ainsi les coûts d'utilisation et les émissions polluantes. Les performances générales du véhicule en seront également avantagées. Le design sera influencé selon l'importance que l'on donne à l'aérodynamisme, la forme idéale étant la goutte d'eau. [1]

En parallèle, le service marketing définit une cible de gamme et donne les directions à prendre pour la conception et le stylisme du modèle en respectant l'image qui caractérise la marque, tout en innovant, l'apparence du véhicule doit faire vivre des émotions à l'acheteur. Les stylistes se mettent alors au travail. D'abord sur le style extérieur, sur les ordinateurs, encore parfois à l'aide de maquette en terre, indispensable auparavant. Puis le travail continue sur l'aménagement intérieur en prenant en compte les exigences du marketing en termes d'équipements nécessaires comme l'amélioration de la sécurité. Souvent plusieurs types de carrosseries sont mis en concurrence. [1]

Le choix sera fait juste avant le commencement de l'étude finale des composants. Et malgré toutes ces contraintes le design de l'automobile doit trouver une solution à ces problèmes et dans un même temps concevoir un style innovateur pour se démarquer des concepteurs. Mais les goûts et les modes évoluent rapidement, après environ cinq ans le modèle est déjà dépassé. [1]

Bien des compagnies automobiles possèdent leurs propres bureaux de design. La plupart des grands constructeurs possèdent même des bureaux sur d'autres continents pour sonder les demandes et les caprices des marchés locaux. Les compagnies peuvent également consulter des bureaux de design indépendants et plusieurs autres. Il y a plusieurs grandes maisons de design avec une histoire et une réputation telle que Bertone, Italdesign, Pininfarina, Scaglietti, Ghia[4], qui appartient maintenant à Ford et Karman[4] qui ont donné certains des plus beaux styles de voitures.



L'équipe du design automobile doit se tenir à l'affût des dernières technologies telles que la conception du véhicule, les techniques de fabrication, la réduction des coûts de fabrication, ainsi que le choix de matériaux qui allègeraient l'automobile et permettraient la réalisation de formes plus complexes (matériaux plus malléables).

#### **A-2-4) Architecture :**

Ensuite, les différents composants mécaniques, électroniques ou diverses sont implantés par les architectes et dessinateurs. Si la place vient à manquer, des demandes d'évolutions de design sont demandées et étudiées. Alors, la cotation fonctionnelle commence. Cela consiste à calculer tous les jeux nécessaires au fonctionnement de l'automobile, au montage ou à garantir l'aspect et la gestion de la qualité du véhicule. [1]



**Figure I- 3 : Illustration de l'architecture d'un véhicule automobile [5]**

Une étape importante dans l'architecture d'une automobile est l'adaptation d'une transmission à l'automobile en conception, connaissant ses caractéristiques motrices et

dimensionnelles. Cette étape consiste en la détermination méthodique du rapport de transmission du pont, des différents rapports de la boîte de vitesses, ainsi que du nombre de rapports convenable au véhicule en cours de conception. [1]

### A-2-5) Prototypage ou projet type

La résolution du problème de la création et de l'utilisation d'une automobile se base sur une documentation ayant les spécifications des automobiles répondant le mieux aux besoins d'exploitation avec les caractéristiques technico-économiques concrètes ; ce prototype est le résultat d'une analyse menée sur trois orientations de base dans le domaine de conception automobile : [26]

- Les travaux d'expérimentation de construction des meilleurs exemplaires ;
- Les travaux d'exploitation ;
- Les travaux de recherche

Sur un projet type, les paramètres essentiels de l'automobile sont prédéfinis ; Ils sont corrigés au fur et à mesure pour des modèles concrets et sont complétés par d'autres paramètres dont le nombre peut varier au fur et à mesure de ladite progression :

- La capacité ;
- Le nombre de passagers ;
- Le paramètre de base de masse ;
- La formule des trains (essieu) ;
- L'emplacement des roues motrices ;
- La vitesse maximale ;
- La durée normative d'usage ;
- Volume et travaux de maintenance ;
- La cylindrée totale du moteur à combustion interne
- La Puissance moteur ;
- Le temps d'accélération (**de 0 à 100 km en seconde**)
- Etc...

À la suite de la réalisation de toutes ces études et des calculs des premières définitions numériques des composants, la vague prototype commence. Il s'agit de l'élaboration d'un prototype automobile, roulant ou non, destiné à tester de nouveaux matériaux et la motorisation,

des innovations dans le domaine du confort, de l'aide à la conduite et, lorsqu'ils sont présentés sur des salons de l'automobile, les réactions et l'intérêt du public face à ces nouveautés sont notés. D'autres spécialistes comme les maquettistes et les modélistes vont réaliser des modèles réduits du dessin, aussi bien pour estimer la résistance aux accidents de la route, ou l'analyse fonctionnelle déterminant la résistance à la vibration des composantes ; cela se réalise de plus en plus de manière numérique, pour des raisons de coûts et de délais. [26]

#### A-2-6) Essais et examen du produit :



**Figure I-4 : Illustration d'une maquette [6]**

L'on simule le travail effectué sur une plage donnée d'individus en consultant les consommateurs, on parle aux réseaux de concessionnaires et on organise des réunions avec les vendeurs et les fournisseurs afin d'obtenir des données à correctif précis.

## A-2-7) Industrialisation



**Figure I-5 : Illustration d'une chaîne de montage d'automobile [6]**

Après cette validation de la conception numérique ou physique, l'industrialisation peut commencer. Elle consiste au lancement de la réalisation des outils de fabrication de la voiture, la planification et la création du produit définitif. Les outils de production du véhicule sont réalisés et servent à produire les premiers exemplaires du futur véhicule, commence alors la phase de **validation du produit et de ces outils**, ce qui nécessite les validations physiques et les études de capacités des processus. Une fois tous ces points validés, l'accord de commercialisation est donné par l'organisme compétent (**ex : la SNCA - Société Nationale de Circulation Automobile –Luxembourg**) [5].



### A-2-8) La galerie définitive du produit :

C'est l'ensemble de concepts automobiles tous réunis ressortant l'aperçu définitif d'un véhicule automobile.



**Figure I-6 : Illustration d'un produit fini automobile [6]**

### **Conclusion**

Nous venons de préciser les étapes de conception et réalisation d'un véhicule automobile qui se pratiquent dans les différentes maisons de fabrication. Pour ce fait nous avons décelé huit (08) étapes essentielles, la planification et la création du projet, l'établissement du cahier de charges, le stylisme et design du produit, l'architecture, le prototypage, essais et examen du produit, l'industrialisation et enfin la galerie définitive du produit. Dès lors, il nous incombe de nous appesantir sur les paramètres régissant l'exploitation du véhicule, parmi ces paramètres on distingue les paramètres de traction qui seront détaillés dans la deuxième partie du chapitre.

## B- ETUDE THEORIQUE DES PROPRIETES DE TRACTION DES AUTOMOBILES

Après avoir étudié les opérations de conception d'une automobile à travers lesquelles nous sommes rendus à l'obtention d'une automobile sous forme de produit fini, il nous revient ici d'apprécier ses **performances de traction**<sup>2</sup> à différents régimes et différents rapports de transmission. Cela passe par une analyse approfondie de tous les efforts de résistance (**forces et couples**) auxquels il sera soumis pendant son déplacement. **Les propriétés de traction sont des grandeurs physiques qui conditionnent l'état d'un véhicule à dominer ces efforts dans différentes situations de conduite (le vent est nul, présence du vent, pentes, lignes droites...)**

Nous allons donc effectuer dans un premier temps une analyse approfondie des différentes forces et moments agissant sur l'automobile pendant son déplacement ; et enfin dresser un bilan de traction qui met en relation l'ensemble des forces favorisant le déplacement du véhicule avec celle qui ont tendance à s'opposer à ce déplacement.

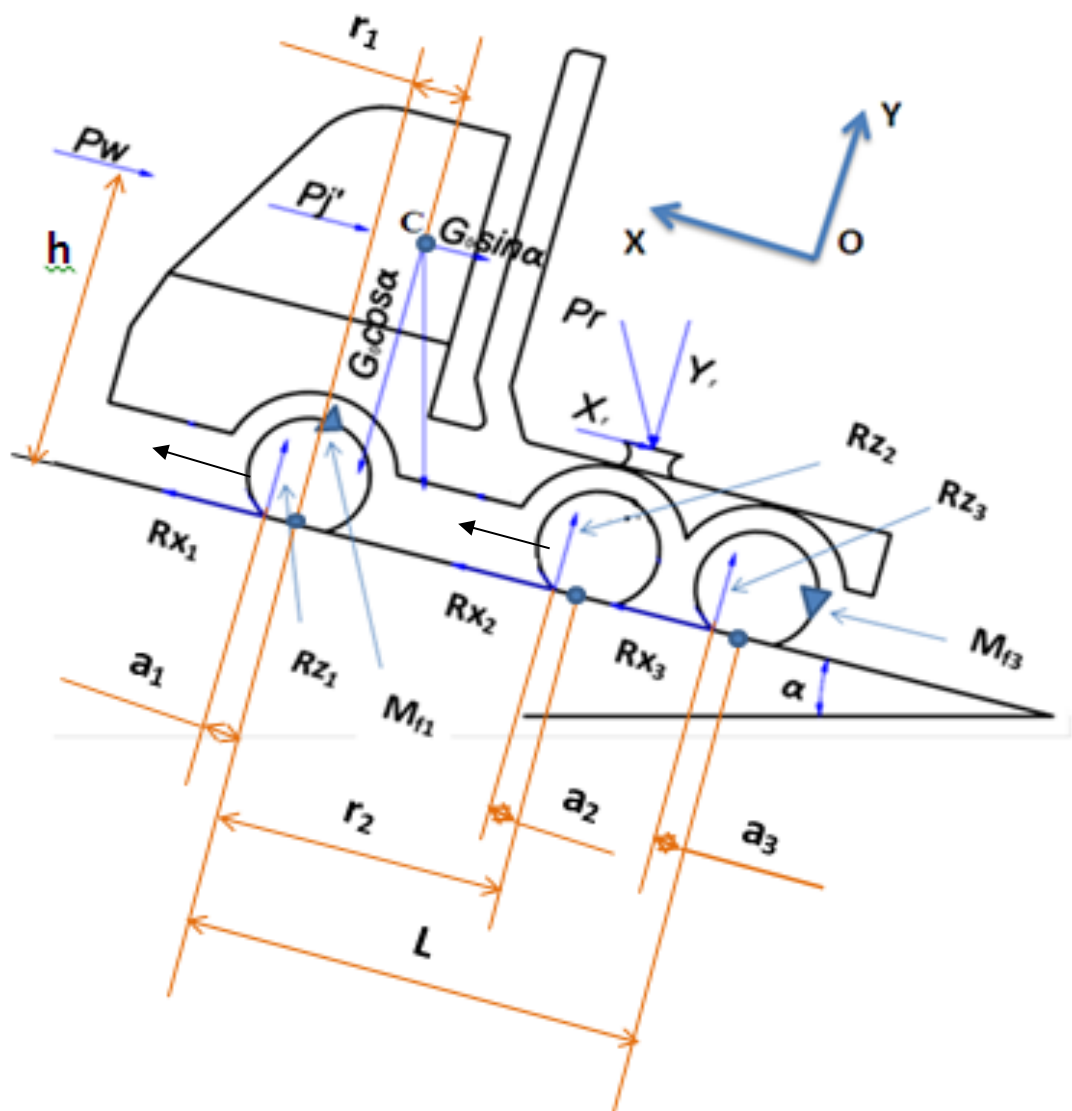
---

<sup>2</sup> **Les performances de traction** caractérisent l'aptitude d'un véhicule à vaincre les efforts de résistance auxquels il doit être soumis pendant son déplacement dans les différentes situations de conduite (**vent nul, présence du vent, pentes, lignes droites, etc.**)

## B-1) ANALYSE DES FORCES ET MOMENTS AGISSANT SUR L'AUTOMOBILE PENDANT SON DEPLACEMENT

### ❖ Mise en situation : cas général de déplacement d'une automobile

Considérons un véhicule automobile de type tracteur à six roues toutes motrices, projeté dans le plan suivant le schéma 2D ci-dessous



**Figure I-7** : véhicule tracteur sur une pente [20]

### Bilan des efforts :

- $G_0$  : force de pesanteur (poids) du tracteur à vide ;
- $\vec{R}_{k1}$  : Réaction résultante du sol sur la roue motrice 1 ;  
     $R_{X1}$  : Composante tangentielle  
     $R_{Z1}$  : Composante normale
- $\vec{R}_{k2}$  : Réaction résultante du sol sur la roue motrice 2 ;  
     $R_{X2}$  : Composante tangentielle  
     $R_{Z2}$  : Composante normale
- $\vec{R}_{k3}$  : Réaction résultante du sol sur la roue motrice 3 ;  
     $R_{X3}$  : Composante tangentielle  
     $R_{Z3}$  : Composante normale
- $M_{f1}$  : Moment résultant de résistance au roulement de la roue motrice 1 ;
- $M_{f2}$  : Moment résultant de résistance au roulement de la roue motrice 2 ;
- $M_{f3}$  : Moment résultant de résistance au roulement de la roue motrice 3 ;
- $\vec{P}_\omega$  : Force aérodynamique de résistance ;
- $M_{\omega_y}$  : Moment de résistance aérodynamique ;
- $\vec{P}_j$  : Force d'inertie du véhicule ;
- $\vec{P}_r$  : Réaction résultante de la remorque sur le tracteur ;  
     $X_r$  : Composante tangentielle de  $\vec{P}_r$   
     $Z_r$  : Composante normale de  $\vec{P}_r$
- $\alpha$  : Pente de la chaussée en degré (°).

### Hypothèses

- Le véhicule est doté d'une remorque et supposé non chargé ;
- Les forces latérales sont supposées nulles ;
- Le véhicule effectue un mouvement uniformément varié en ligne droite ;
- Le véhicule se déplace sur sol dur supposé indéformable.



### B-1-1) Forces dues à la pesanteur

#### a) Poids du véhicule $G_0$ en (N)

Il comporte deux composantes appliquées au centre du plan d'appui sur la chaussée, la composante tangentielle  $G_0 \sin \alpha$  s'oppose à l'ascension de l'automobile ; sa composante normale, perpendiculaire au sol  $G_0 \cos \alpha$  presse les pneumatiques et provoque ainsi la déformation des roues.

$$\vec{G}_0 = m_0 \vec{g} \begin{cases} G_0 \sin \alpha \\ G_0 \cos \alpha \end{cases} \quad (1)$$

Avec :  $m_0$  la masse du véhicule en kilogramme (kg)

$G$  l'intensité de la pesanteur en mètre par seconde au carré ( $ms^{-2}$ ) ou en newton par kilogramme ( $NKg^{-1}$ ).

#### b) Force de résistance au roulement du pneu $P_f$

Elle est due à la déformation du pneumatique et aux frottements entre la roue et le sol pendant leur glissement.

$$P_f = f G_0 \cos \alpha \quad [6] \quad (2)$$

Avec  $f$  le coefficient de résistance au roulement qui dépend des propriétés physico-mécaniques du sol et de la construction des trains de l'automobile

#### c) Force de résistance de la chaussée au déplacement du véhicule $P_\psi$

C'est la somme totale des forces de résistance au roulement du pneu  $P_f$  et de résistance à la montée  $G_0 \sin \alpha$ .

$$\begin{aligned} P_\psi &= f G_0 \cos \alpha + G_0 \sin \alpha \\ &= G_0 (f \cos \alpha + \sin \alpha) \\ P_\psi &= G_0 \psi \quad [6] \end{aligned} \quad (3)$$

Avec :

$$\psi = (f \cos \alpha + \sin \alpha) \quad (4)$$

$\psi$  : est le coefficient de résistance totale au déplacement.

**Remarque :** sur route horizontale,  $\alpha = 0$  donc  $\psi = f$

### B-1-2) Réactions de la chaussée

a) Forces dues à l'interaction de la roue et de la chaussée  $R_{k1}$ ,  $R_{k2}$  et  $R_{k3}$

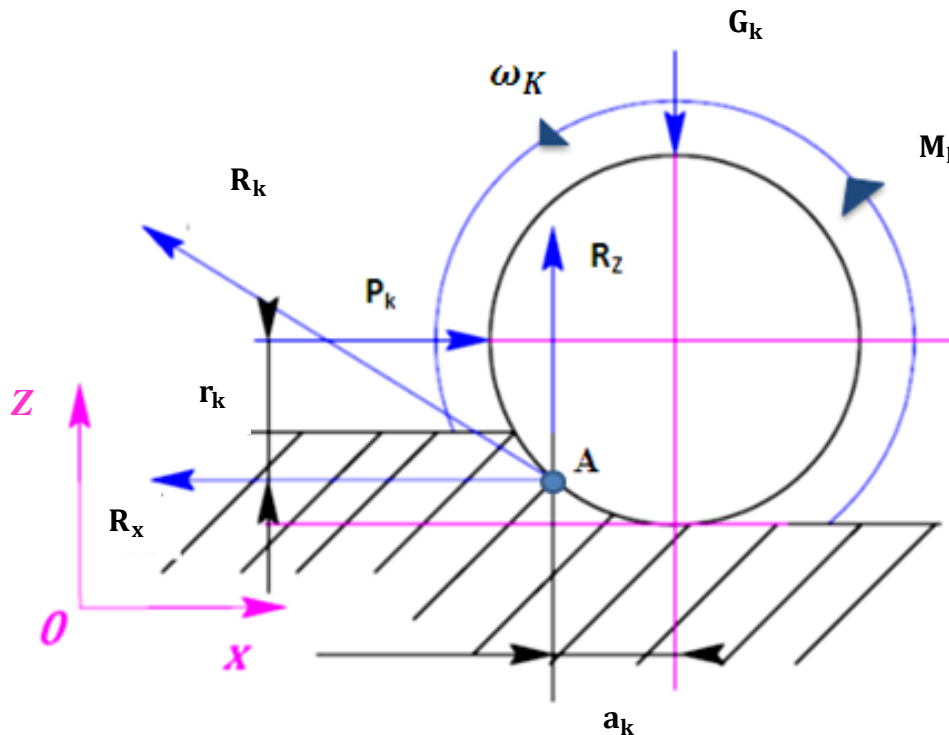
$$\vec{R}_{k1} = R_{x1} + R_{z1} \vec{R}_{k2} = R_{x2} + R_{z2} \vec{R}_{k3} = R_{x3} + R_{z3}$$

❖ Expression des composantes tangentielles  $R_{x1}$ ,  $R_{x2}$  et  $R_{x3}$

▪ 1<sup>er</sup> cas : tous les essieux sont moteurs

Remarque :  $R_{x1} = R_{x2} = R_{x3}$  car les trois essieux sont moteurs

Tout d'abord, nous allons isoler une roue motrice :



**Figure I-8 : roue motrice isolée [20]**

- $R_k$  : Réaction du sol sur la roue motrice ;
- $R_x$  : Composante tangentielle de  $R_k$  (force bousculant de l'essieu) ;
- $R_z$  : Composante de  $R_k$  ;
- $a_k$  : Décalage du point d'appui (application) d'avec  $R_k$  l'axe de la roue ;
- $G_k$  : Force de pesanteur agissant sur la roue motrice ;
- $r_k$  : Rayon dynamique de la roue motrice ;

- $P_k$  : Force de résistance (**réaction**) de l'essieu ;
- $M_{fk}$  : Moment de résistance au roulement ;
- $M_{jk}$  : Moment d'inertie de la roue motrice ;
- $M_k$  : Couple moteur ;
- $\omega_k$  : Vitesse de rotation de la roue motrice.

Nous allons considérer l'équation du bilan de puissance en mouvement varié :

$$M_k \omega_k = M_{jk} \omega_k + M_{fk} \omega_k + r_k R_x \omega_k \quad (5)$$

Nous tirons, de cette équation,  $R_x$  et nous obtenons :

$$R_x = \frac{M_k - M_{jk} - M_{fk}}{r_k}$$

En considérant l'expression de la force de résistance de l'essieu  $P_k$  qui est :

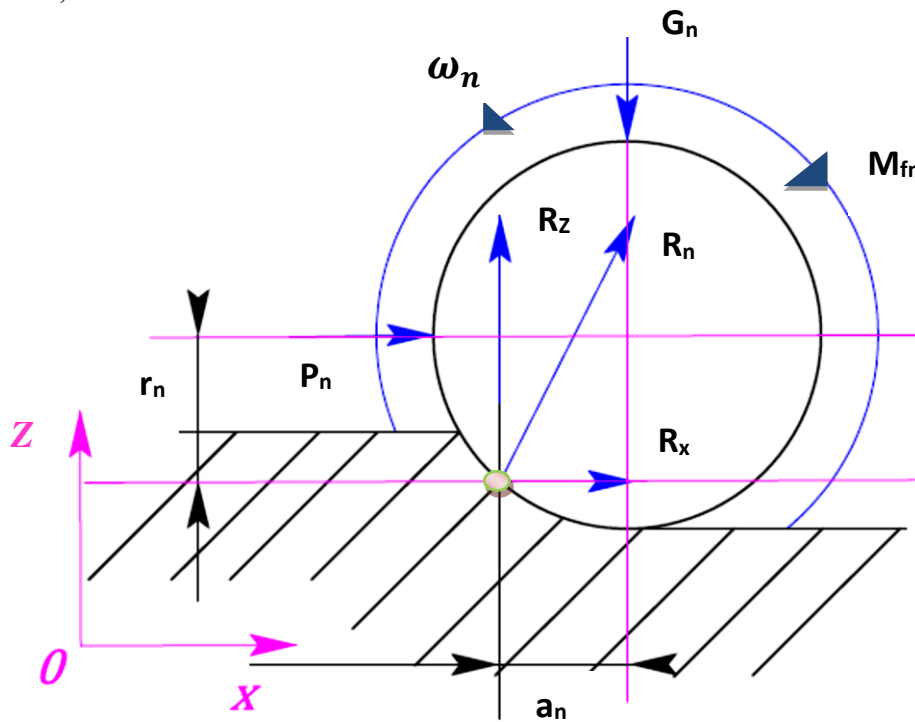
$$P_k = \frac{M_k}{r_k}$$

Alors notre expression de  $R_x$  devient simplement :

$$R_x = X_k = P_k - \frac{M_{jk} + M_{fk}}{r_k} \quad [20] \quad (6)$$

▪ 2<sup>ème</sup> cas : un des essieux est récepteur

Tout d'abord, nous allons isoler une roue non motrice :



**Figure I-9 : roue non motrice isolée [20]**

- $r_n$  : Rayon dynamique de la roue non motrice ;
- $R_x$  : Réaction tangentielle du sol sur la roue non motrice ;
- $M_{fn}$  : Moment de résistance au roulement ;
- $M_{jn}$  : Moment d'inertie de la roue non motrice ;
- $\omega_n$  : Vitesse de rotation de la roue non motrice.

En raisonnant de manière analogue au premier cas, on a :

$$r_n R_x \omega_n = M_{jn} \omega_n + M_{fn} \omega_n \quad (7)$$

On obtient alors l'expression de la composante tangentielle

$$R_x = X_n = \frac{M_{jn} + M_{fn}}{r_n} \quad (8)$$

❖ Expression des composantes normales  $R_{Z1}$ ,  $R_{Z2}$  et  $R_{Z3}$

Considérons le schéma (**figure I- 8**) du tracteur sur une pente. Appliquons le principe fondamental de la statique pour déterminer ces trois réactions en fonction des dimensions du véhicule et de la pente de la chaussée.

**Hypothèse :**

Dans cette condition, la composante normale  $Y_r$  de  $P_r$  est négligeable devant sa composante tangentielle  $X_r$ , située à une distance  $h_r$  du sol.

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow R_{Z_1} + R_{Z_2} + R_{Z_3} - G_0 \cos \alpha = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sum M_{O_1}(\vec{F}_{ext}) = 0 \Rightarrow & M_{O_1}(\vec{R}_{k_1}) + M_{O_1}(\vec{R}_{k_2}) + M_{O_1}(\vec{R}_{k_3}) + M_{O_1}(\vec{P}_r) + M_{O_1}(\vec{P}_j) \\ & + M_{O_1}(\vec{P}_w) + M_{O_1}(\vec{G}_0) = 0 \\ \Rightarrow & -a_1 R_{Z_1} + (r_2 - a_2) R_{Z_2} + L R_{Z_3} - h_r X_r - h(P_j + P_w + G_0 \sin \alpha) - r_1 G_0 \cos \alpha = 0 \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{O_2}(\vec{F}_{ext}) = 0 \Rightarrow & M_{O_2}(\vec{R}_{k_1}) + M_{O_2}(\vec{R}_{k_2}) + M_{O_2}(\vec{R}_{k_3}) + M_{O_2}(\vec{P}_r) + M_{O_2}(\vec{P}_j) \\ & + M_{O_2}(\vec{P}_w) + M_{O_2}(\vec{G}_0) = 0 \\ \Rightarrow & -(r_2 + a_1) R_{Z_1} - a_2 R_{Z_2} + (L - r_2 - a_3) R_{Z_3} - h_r X_r - h(P_j + P_w + G_0 \sin \alpha) + \\ & (r_2 - r_1) G_0 \cos \alpha = 0 \quad (3) \end{aligned}$$

$$(1) \Rightarrow R_{Z_1} = G_0 \cos \alpha - R_{Z_2} - R_{Z_3} \quad (4)$$

(4) Dans (2)  $\Rightarrow -a_1(G_0 \cos \alpha - R_{Z_2} - R_{Z_3}) + (r_2 - a_2)R_{Z_2} + L R_{Z_3} - h_r X_r - h(P_j + P_w + G_0 \sin \alpha) - r_1 G_0 \cos \alpha = 0$

$$\Leftrightarrow R_{Z_3} = \frac{a_1(G_0 \cos \alpha - R_{Z_2})}{L + a_1} + \frac{a_2 - r_2}{L + a_1} + \frac{h_r X_r + h(P_j + P_w + G_0 \sin \alpha) + r_1 G_0 \cos \alpha}{L + a_1} \quad (5)$$

(5) Et (4) dans (3)  $\Rightarrow -(r_2 + a_1) \left[ G_0 \cos \alpha - R_{Z_2} - \frac{a_1(G_0 \cos \alpha - R_{Z_2})}{L + a_1} + \frac{a_2 - r_2}{L + a_1} + \frac{h_r X_r + h(P_j + P_w + G_0 \sin \alpha) + r_1 G_0 \cos \alpha}{L + a_1} \right] - a_2 R_{Z_2} + (L - r_2 - a_3) \left[ G_0 \cos \alpha - R_{Z_2} - \frac{a_1(G_0 \cos \alpha - R_{Z_2})}{L + a_1} + \frac{a_2 - r_2}{L + a_1} + \frac{h_r X_r + h(P_j + P_w + G_0 \sin \alpha) + r_1 G_0 \cos \alpha}{L + a_1} \right] - h_r X_r - h(P_j + P_w + G_0 \sin \alpha) + (r_2 - r_1) G_0 \cos \alpha = 0$

Soit  $A = \frac{h_r X_r + h(P_j + P_w + G_0 \sin \alpha) + r_1 G_0 \cos \alpha}{L + a_1}$  en mettant  $R_{Z_2}$  en facteur, on a :

$$\left[ r_2 - a_2 + a_1 - (2r_2 + a_1 - L - a_3) \frac{a_2 - r_2}{L + a_1} + \frac{a_1^2}{L + a_1} + \frac{La_1}{L + a_1} - \frac{a_3 a_1}{L + a_1} \right] R_{Z_2} + \frac{a_1^2 G_0 \cos \alpha}{L + a_1} + \frac{La_1 G_0 \cos \alpha}{L + a_1} - \frac{a_3 a_1 G_0 \cos \alpha}{L + a_1} + (L - 2r_2 + a_1 - a_3)A - h_r X_r - h(P_j + P_w + G_0 \sin \alpha) - (a_1 + r_2)G_0 \cos \alpha = 0$$

$\Leftrightarrow$

$$\left[ r_2 - a_2 + a_1 + \frac{(-2r_2 + 2a_2 - a_1 + L - a_3)r_2 + (a_1 - L + a_3)a_2 + (a_1 + L - a_1)a_1}{L + a_1} \right] R_{Z_2} + BA - h_r X_r - h(P_j + P_w + G_0 \sin \alpha) - (a_1 + r_2)G_0 \cos \alpha = 0$$

Avec  $B = \frac{G_0 \cos \alpha}{L + a_1} (a_1^2 + La_1 - a_3 a_1) + (L - 2r_2 + a_1 - a_3)$

On obtient alors l'expression algébrique de  $R_{Z_2}$  en fonction des dimensions du véhicule et des forces de résistance : **formule (9)**

$$R_{Z_2} = \frac{(a_1 + r_2)G_0 \cos \alpha - BA + h_r X_r + h(P_j + P_w + G_0 \sin \alpha)}{\left[ r_2 - a_2 + a_1 + \frac{(-2r_2 + 2a_2 - a_1 + L - a_3)r_2 + (a_1 - L + a_3)a_2 + (a_1 + L - a_1)a_1}{L + a_1} \right]}$$

Nous déduisons donc  $R_{Z_1}$  et  $R_{Z_3}$  à partir de leurs formules respectives déterminées plus haut :

$$R_{Z_3} = \frac{a_1(G_0 \cos \alpha - R_{Z_2})}{L + a_1} + \frac{a_2 - r_2}{L + a_1} + \frac{h_r X_r + h(P_j + P_w + G_0 \sin \alpha) + r_1 G_0 \cos \alpha}{L + a_1} \quad (10)$$

Et

$$R_{Z_1} = G_0 \cos \alpha - R_{Z_2} - R_{Z_3} \quad (11)$$

#### b)- Moments résultants de résistance au roulement des pneus $M_{fk}$ et $M_{fn}$

Nous savons que le couple de résistance au roulement de la roue motrice est exprimé de la manière suivante :

$$M_{f1} = a_1 R_{Z_1} \quad M_{f2} = a_2 R_{Z_2} \quad M_{f3} = a_3 R_{Z_3}$$

On obtient donc le moment total de résistance au roulement de tous les pneus  $M_f$ :

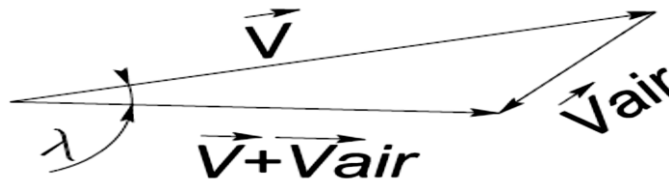
$$M_f = M_{f1} + M_{f2} + M_{f3} \quad [20] \quad (12)$$

### B-1-3) Forces et moments aérodynamique :

#### a) Force résultante aérodynamique $P_\omega$

Cette force est créée lors du tourbillonnement et du frottement de l'air sur la carrosserie du véhicule pendant son déplacement. Son point d'application est considéré au centre de poussée de celui-ci. Elle dépend essentiellement de **la densité volumique de l'air  $\rho_{air}$** , de **la surface frontale  $F(m^2)$** , au **coefficient de pénétration dans l'air (coefficient de forme)  $C_x$** , à **la vitesse du véhicule  $V(m/s)$**  et à **la vitesse du vent  $V_{air}(m/s)$**  et donnée par la formule suivante :

$$\vec{P}_\omega = \frac{1}{2} \rho_{air} C_x F (\vec{V} + \vec{V}_{air})^2 [21]$$



**Figure I-10 : somme de deux vecteurs-vitesses non colinéaires formant un angle  $\lambda$  entre eux**

En projetant sur l'axe de déplacement du véhicule, nous obtenons l'équation suivante :

$$P_\omega = \frac{1}{2} \rho_{air} C_x F (V^2 + V_{air}^2 + 2VV_{air} \cos \lambda) \quad (13)$$

En général  $\rho_{air}$  est pris à  $1,23 \text{ kg/m}^3$  bien qu'il dépende de l'altitude et de la température. D'autre part le coefficient de pénétration dans l'air  $C_x$  change de manière significative et s'étend entre 0,2 et 1,5 suivant le type de véhicule, pour les exemples empiriques (**voir annexe**).

Pour des raisons de commodité, tous ces coefficients sont souvent ramenés à un seul coefficient appelé **coefficient aérodynamique  $K_v = 0.61 C_x$**  qui est équivalent à une densité.

La formule (I-13) devient  $P_{\omega} = K_v F (V^2 + V_{air}^2 + 2VV_{air} \cos \lambda)$  (14)

Si nous négligeons la vitesse du vent devant celle du véhicule, on a :

$$P_{\omega} = K_v F V^2 [10] \quad (15)$$

Selon les études expérimentales relatives au comportement aérodynamique des véhicules automobiles [9], le coefficient aérodynamique  $K_v$  s'estime entre :

- 0,2 et 0,35 pour les véhicules légers ;
- 0,6 et 0,7 pour les poids lourds.

Pour les véhicules particuliers la section frontale  $F$  peut être évaluée à partir de la largeur et de la hauteur du véhicule ou à partir de la masse. En effet, la section varie entre 79-84% par rapport à la surface donnée par le produit entre la largeur (voie)  $B$  et la hauteur  $H$  du véhicule. Par ailleurs, basé sur les données des véhicules particuliers avec une masse entre 800 et 2000kg, la relation entre la section frontale  $F$  et la masse  $m$  est donnée par la relation :

$$F = 1,6 + 0,00056(m - 765) [22] \quad (16)$$

**b) Moment de résistance aérodynamique  $M_{\omega_y}$**

Le couple total aérodynamique a tendance à faire pivoter le véhicule suivant l'axe ( $O ; y$ ), perpendiculaire au plan  $(\vec{x}, \vec{z})$  et est donné par la formule empirique :

$$M_{\omega_y} = m_{\omega} \cdot F \cdot Q_v \cdot B [11] \quad (17)$$

Où :  $m_{\omega}$  est le coefficient du couple aérodynamique

$Q_v = \frac{1}{2} \rho_{air} V^2$  (kg/ms) est l'apport de vitesse égal à l'énergie cinétique d'un mètre cube d'air se déplaçant à la vitesse  $V$  de l'automobile.

**c) Force d'inertie  $P_j$**

Au démarrage de l'automobile, elle est opposée au sens du mouvement du véhicule (où elle est comptée négative), contrairement aux instants de freinage (où elle est comptée positive). Cette force est fonction de la masse  $m$  et de l'accélération du véhicule  $\vec{j}$ .

$$\vec{P}_j = m \vec{j} [20] \quad (18)$$



## B-2) BILAN DE TRACTION DES AUTOMOBILES

Tout d'abord, rappelons quelques expressions essentielles :

- La force résultante d'inertie  $P_{jr}$ :

$$P_{jr} = \delta_{mr} \cdot P_j = \delta_{mr} \cdot m \cdot j$$

Avec  $\delta_{mr} = 1,04 + 0,05i_{bv}^2$  [9] : coefficient qui tient compte de l'inertie des masses en rotation dans la transmission et dans les roues.

- La force de résistance aérodynamique  $P_\omega$  :

$$P_\omega = K_v F V^2$$

- La force de résistance de la route au déplacement  $P_\psi$  :

$$P_\psi = f G_0 \cos \alpha + G_0 \sin \alpha$$

Soit généralement le cas d'un véhicule à deux essieux dont l'un est moteur et l'autre est non moteur. Le bilan de traction s'obtient en utilisant la projection sur l'axe de déplacement de l'automobile ; on a donc :  $X_k = G \sin \alpha + P_j + P_\omega + P_r + X_n$

Après transformation connaissant  $X_k$  et  $X_n$  on a :

$$P_k - \frac{M_{fk} + M_{jk}}{r_k} = G \sin \alpha + P_j + P_\omega + P_r + \frac{M_{fn} + M_{jn}}{r_k}$$

Avec  $r_k = r_n$  : rayon dynamique des roues.

$$P_k = \underbrace{\frac{M_{jk} + M_{jn}}{r_k}}_{(P_{jr})} + P_j + \underbrace{\frac{M_{fk} + M_{fn}}{r_k}}_{(P_f)} + G \sin \alpha + P_\omega + P_r$$

On aura :

$$P_k = P_r + P_\omega + G \sin \alpha \pm P_{jr} + P_f$$

or nous savons que:  $P_\psi = G \sin \alpha + P_f$

On a donc l'équation du bilan de traction qui égalise l'effort moteur  $P_k$  avec la somme de tous les efforts résistants :

$$P_k = P_r + P_\omega + P_\psi \pm P_{jr} \quad [22] \tag{19}$$

## Conclusion

Les propriétés de traction sont capitales dans l'analyse des performances d'un véhicule automobile. En effet, les diverses forces de résistance à son déplacement doivent absolument être vaincues par la résultante des forces de traction générées par le groupe motopropulseur. Cependant, certains véhicules utilisent le même type de moteur ou le même type de transmission mais ne développent pas la même force de traction dans diverses situations de conduite. L'étape suivante met en exergue les méthodes scientifiques souvent utilisées pour comparer et apprécier les propriétés de traction et de vitesse d'une automobile.

## C- ANALYSE ET ETUDE CRITIQUE DES METHODES D'APPRECIATION DES PROPRIETES DE TRACTION DES AUTOMOBILES

A la suite de la conception d'un véhicule, il nous incombe d'analyser ses performances de traction de manière à ressortir **les limites de vitesse (minimale et maximale)** que peut atteindre l'automobile, **la pente maximale surmontable**, **la puissance maximale** disponible aux roues, ainsi que **la force de traction disponible aux roues** à chaque rapport en fonction de la vitesse de déplacement de cette automobile. Plusieurs méthodes permettent d'obtenir ces résultats :

- ▶ La méthode analytique ;
- ▶ La méthode du bilan dynamique qui est une méthode graphique et consiste en l'interprétation de trois types de diagrammes :
  - ★ Le diagramme de la force de traction aux roues ;
  - ★ La caractéristique dynamique.

Dans le présent chapitre, nous mettons en évidence ces méthodes d'analyse afin de choisir la plus appropriée, et nous allons ressortir l'ensemble des travaux d'intérêt ayant été menés à l'ENSET par rapport à l'étude des **propriétés d'exploitation**<sup>3</sup>des automobiles.

### C-1) LA METHODE ANALYTIQUE

#### a) Présentation de la méthode analytique

Le but de cette méthode est de déterminer les expressions permettant d'avoir **les limites de vitesse (minimale et maximale)** que peut atteindre l'automobile. **La pente maximale surmontable** et **la distance franchie pendant le roulement à chaque rapport**. [25]

#### Hypothèses :

**H1** : Les coefficients  $f_0$  et  $k_f$  et les rayons  $r_k$  et  $r_d$  sont déterminés expérimentalement dans des conditions générales de roulement des pneus ;

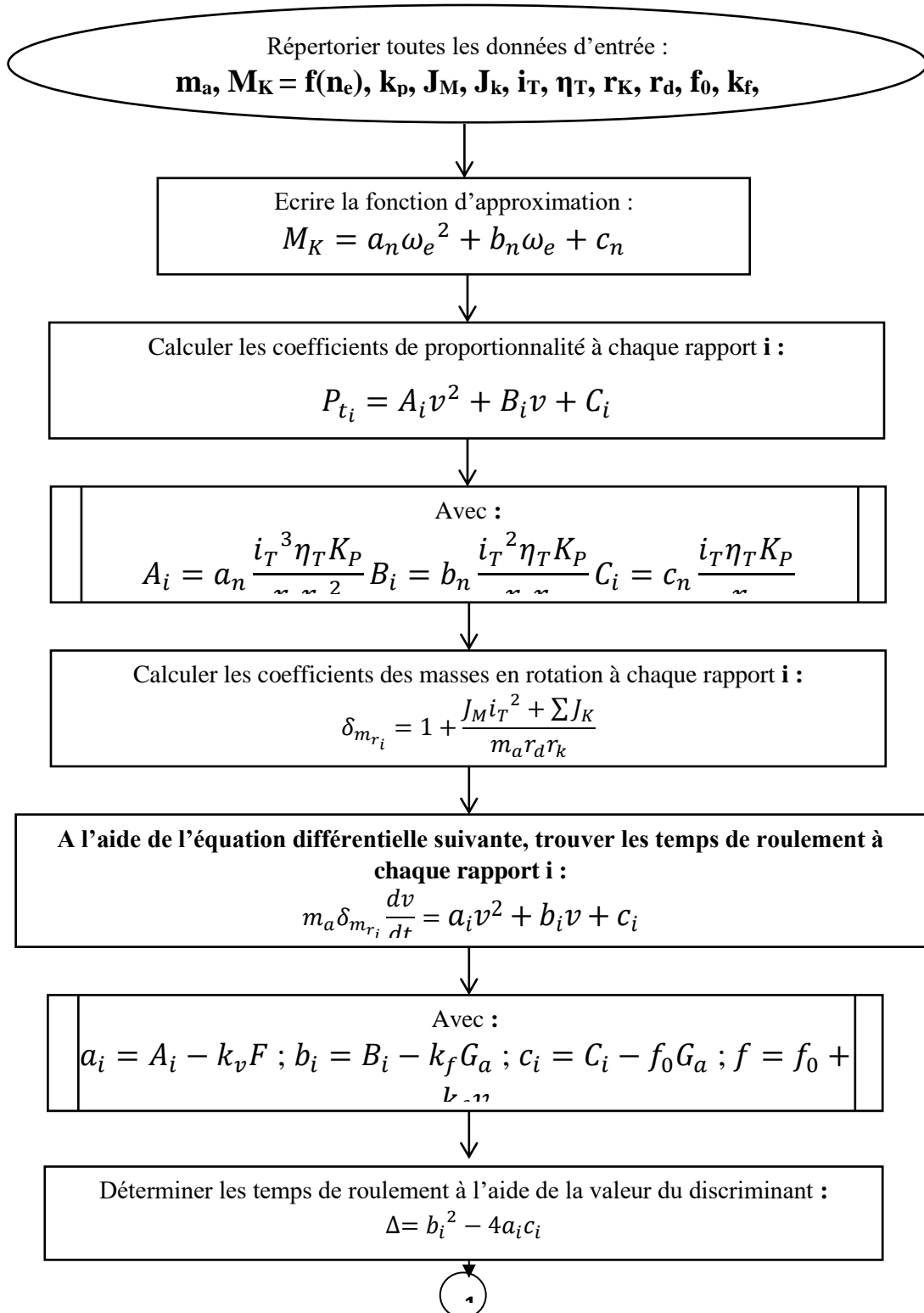
**H2** : Les moments d'inertie  $J_M$  et  $J_k$  sont calculés selon les propriétés géométriques de l'arbre de transmission et des roues ;

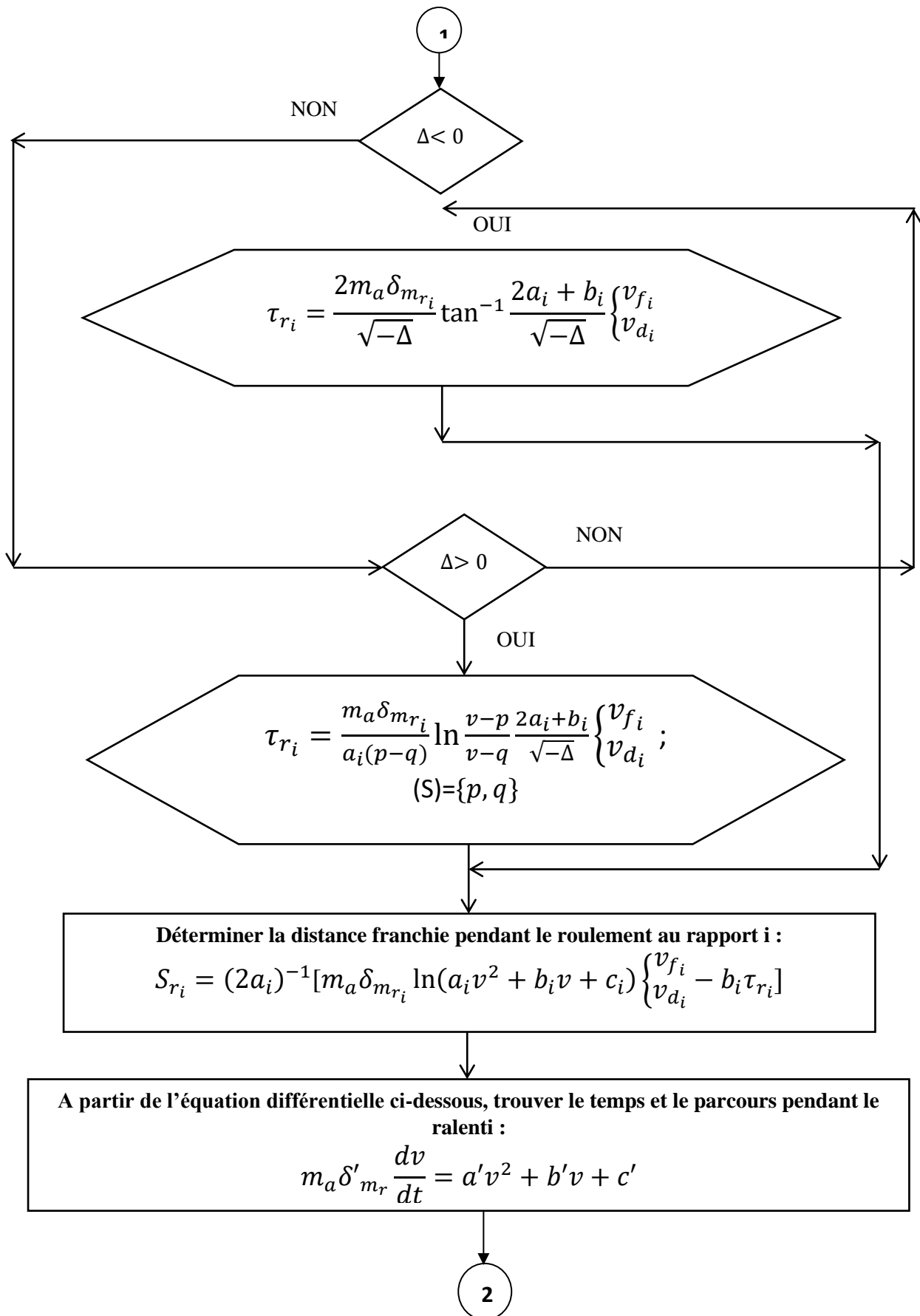
---

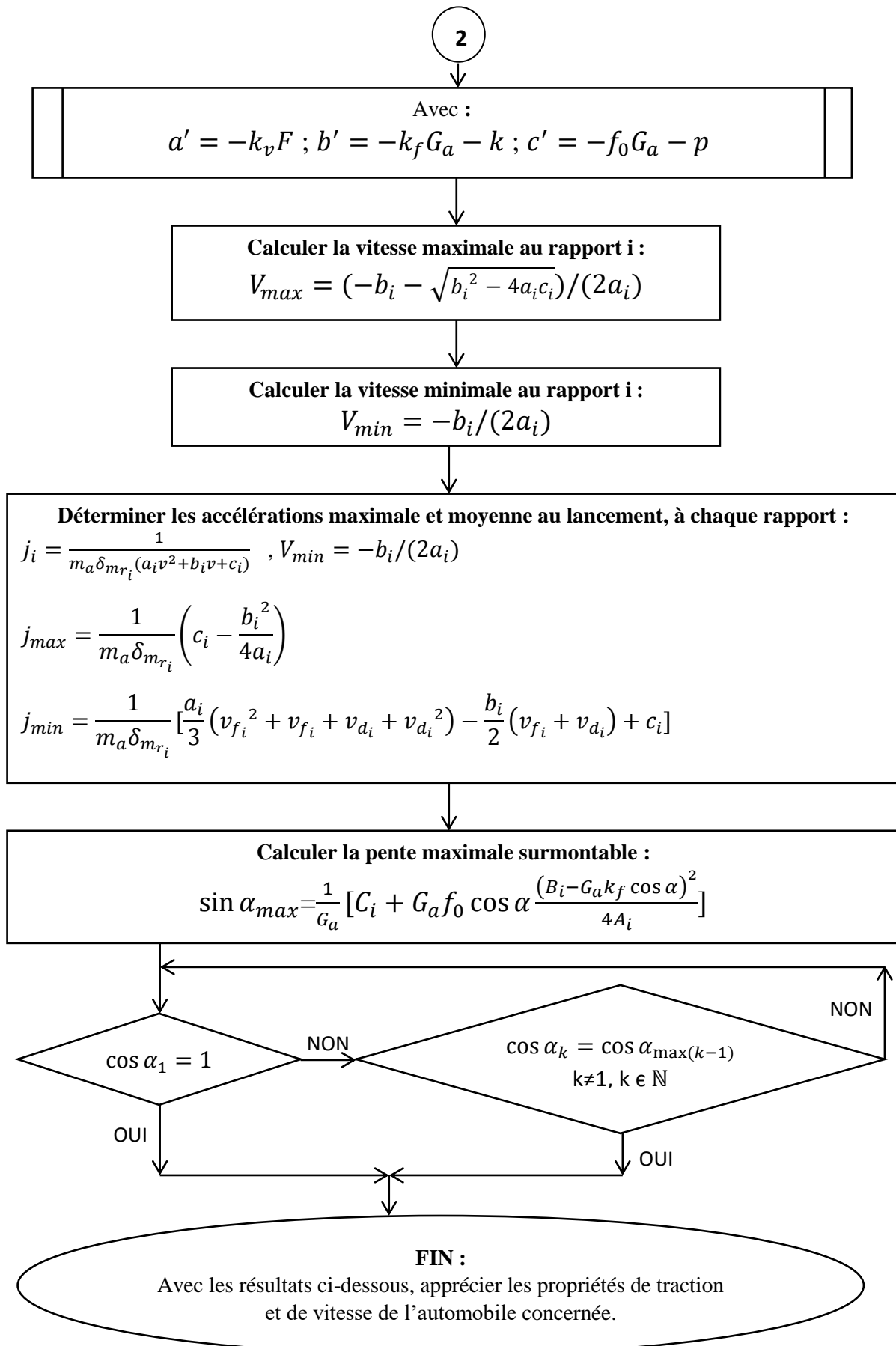
<sup>3</sup> Les propriétés d'exploitation d'une automobile c'est l'ensemble des paramètres qui régissent son utilisation globale (**consommation, pollution, puissance, maintenabilité, ...**)

**H3 :** Les moments d'inertie  $J_M$  et  $J_k$  sont calculés selon les propriétés géométriques de l'arbre de transmission et des roues ;

Le logigramme ci-dessous en présente l'ordre chronologique du déroulement







**Tableau 1 : Signification des symboles**

Symbole	Désignation	Unité SI
$m_a$	Masse de l'automobile	<b>Kg</b>
$M_K$	Couple moteur à la sortie du vilebrequin	<b>N.m</b>
$k_p$	Coefficient de correction du transfert de puissance	
$J_M$	Moment d'inertie de l'arbre de transmission	<b>Kg.m<sup>2</sup></b>
$J_k$	Moment d'inertie des roues	<b>Kg.m<sup>2</sup></b>
$i_T$	Rapport global de transmission	
$i_{Ti} = i_{bvi} \cdot i_p$	Rapport global de transmission au rapport $i$ ( $1 \leq i \leq$ nombre de rapports de la boîte de vitesses)	
$\eta_T$	Rendement global de la transmission	
$r_K$	Rayon cinématique des roues	<b>m</b>
$r_d$	Rayon dynamique des roues	<b>m</b>
$f_0$	Coefficient de résistance au roulement des roues	
$k_f$	Coefficient de frottement variant avec la vitesse	
$K_v$	Coefficient aérodynamique de résistance	
$F$	Maître couple de la carrosserie	<b>m<sup>2</sup></b>
$j_i$	Accélération moyenne	<b>m/s<sup>2</sup></b>
$j_{max}$	Accélération maximale	<b>m/s<sup>2</sup></b>
$j_{min}$	Accélération minimale	<b>m/s<sup>2</sup></b>
$v_{fi}$	Vitesse finale au rapport $i$	<b>m/s</b>
$v_{di}$	Vitesse initiale au rapport $i$	<b>m/s</b>
$a_n, c_n, b_n$	Coefficients empiriques de calcul du couple moteur	
$\omega_e$	Vitesse angulaire du volant moteur	<b>rad/s</b>
$n_e$	Régime de rotation du moteur	<b>tr/s</b>

### b) Critique de la méthode analytique

La suite logique des opérations de calcul que nous venons de présenter nous permet de déterminer plusieurs paramètres d'appréciation des propriétés de traction d'une automobile, mais elle se limite à **l'étude cinématique** et donc ne permet pas de savoir la force de traction disponible à l'essieu moteur pour chaque rapport à différentes vitesses de déplacement du véhicule. Cela est corrigé par les méthodes graphiques qui vont être étudiées par la suite.

## C-2) LA METHODE DU BILAN DYNAMIQUE

### Hypothèses d'analyse :

**H1 :** Le véhicule est supposé en mouvement de translation rectiligne ;

**H2 :** tous les points de l'automobile se déplacent à la même vitesse linéaire  $V$  ;

**H3 :** Dans les conditions idéales de roulage (**absence de patinage, glissement négligeable des roues**), les variations du rayon cinématique  $r_k$  pendant le déplacement de l'automobile sont supposées négligeables.

### C-2-1) Utilisation du diagramme de la force aux roues :

#### a) Construction et interprétation du diagramme de la force aux roues

**But :** Exprimer la force de traction aux roues et tracer les courbes  $P_T = f(v)$  pour chaque rapport de la BV. Cette méthode a été élaborée par le Professeur Pierre DUYSINX dans son ouvrage intitulé « **Performances du véhicule : critères de performance en régime stationnaire** » [23] et préconise la démarche suivante :

i) On se donne  $V$  et on calcule  $n_e$  à chaque rapport  $i$  en utilisant la formule :

$$V = r_k \omega_k$$

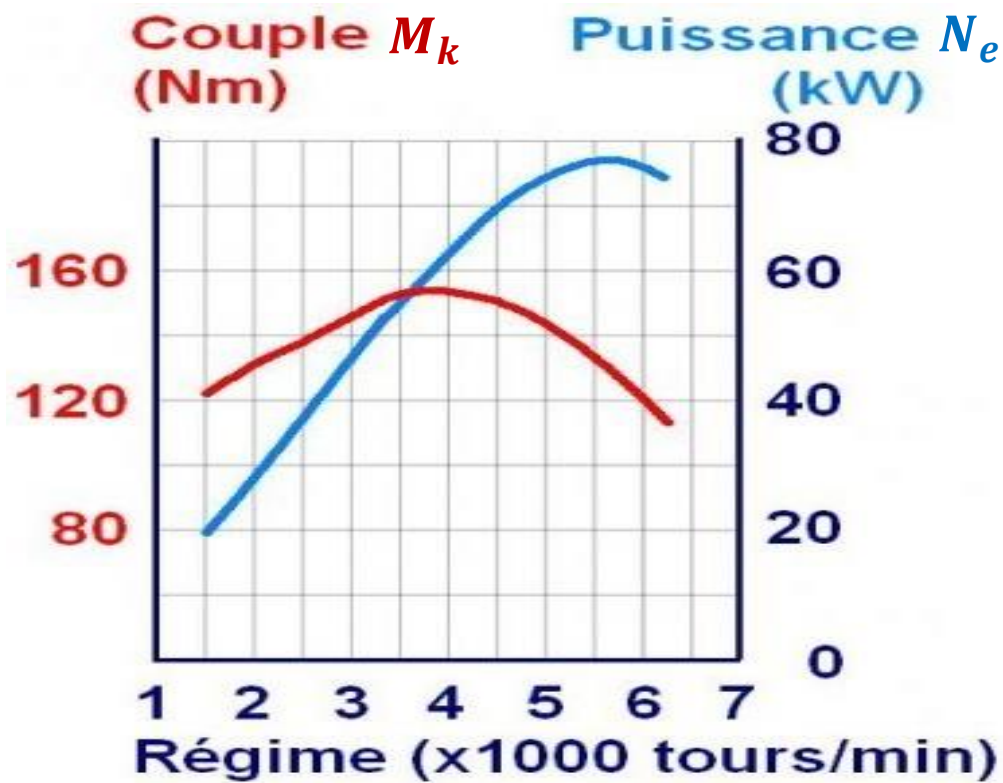
$$\text{Or } \omega_k = \frac{\omega_e}{i_{t_i}} = \frac{2\pi n_e}{60 i_{t_i}}$$

$$\text{D'où } V = \frac{2\pi r_k n_e}{60 i_{t_i}} \quad \text{et donc :}$$

$$n_e = \frac{30V i_{t_i}}{\pi r_k} \quad (20)$$



- ii) Connaissant la vitesse de rotation du vilebrequin et la caractéristique du moteur (voir figure C-1), on détermine le couple moteur  $M_k$  correspondant à chaque régime :



**Figure I-11 :** Exemple de courbe caractéristique d'un moteur (moteur d'un véhicule de marque Roomster)

- iii) On détermine donc la force motrice en fonction du couple moteur et du régime de rotation du vilebrequin :

$$\eta_t = \frac{P_T V}{M_k \omega_e} \Leftrightarrow P_T V = \eta_t M_k \omega_e \Leftrightarrow P_T = \frac{\eta_t M_k \omega_e}{V}$$

Or  $\omega_e = \frac{\pi n_e}{30}$

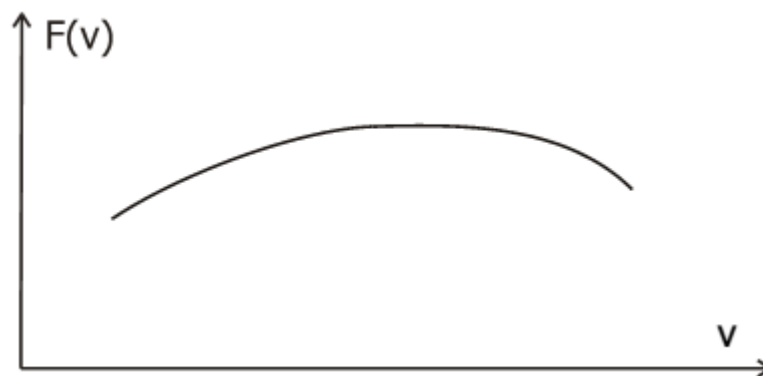
Il vient donc :  $P_T = \frac{\pi n_e \eta_t M_k}{30V}$  [23] (21)

avec :

- $\omega_k$  la vitesse angulaire des roues en (rad/s) ;
- $\omega_e$  la vitesse angulaire du moteur en (rad/s) ;

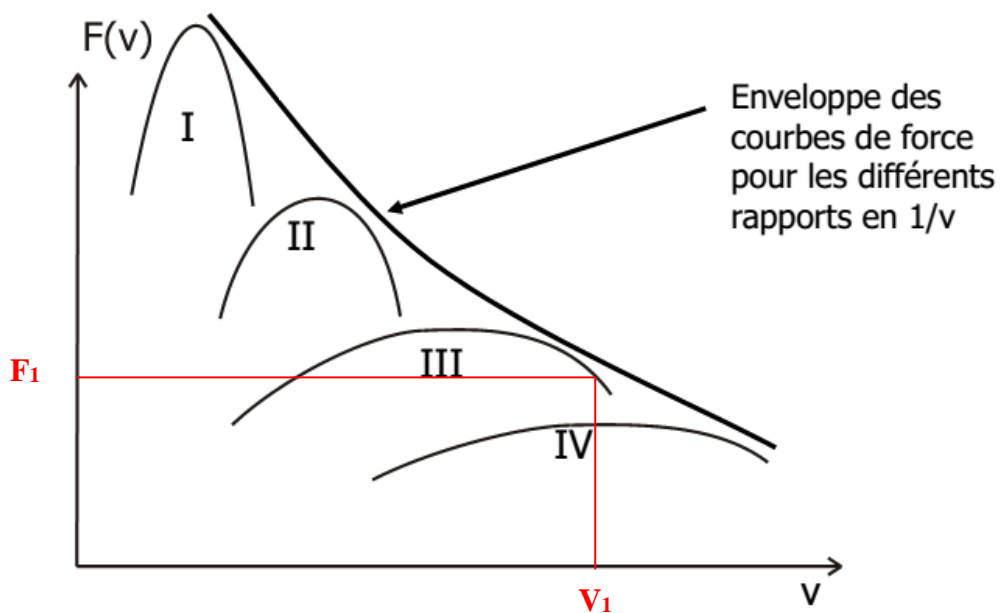
- $n_e$  le régime de rotation du moteur en (tr/min) ;
- $M_k$  le couple moteur en (N.m) ;
- $V$  la vitesse de déplacement du véhicule en (m/s) ;
- $\eta_t$  le rendement global de la transmission ;
- $P_T$  la force de traction disponible à l'essieu moteur en (N).

iv) En faisant varier la vitesse de déplacement, on calcule  $P_T$  pour différentes vitesses, mais à un rapport  $i$  donné et on obtient la courbe  $F = P_T = f(v)$  sui



**Figure I-12 :** exemple de courbe de la force aux roues [21]

v) De la même façon, on construit  $F = P_T = f(v)$  pour les autres rapports de transmission sur le même graphe :



**Figure I-13 :** diagramme de la force aux roues pour un véhicule de tourisme à 4 rapports [21]

**Légende :**

- I :** courbe de la force de traction aux roues au **1<sup>er</sup> rapport**
- II :** courbe de la force de traction aux roues au **2<sup>ème</sup> rapport**
- III :** courbe de la force de traction aux roues au **3<sup>ème</sup> rapport**
- IV :** courbe de la force de traction aux roues au **4<sup>ème</sup> rapport**

**Interprétation :**

- Le graphique ci-dessus montre que pour chaque rapport de la BV, la force de traction **disponible** à l'essieu croît avec la vitesse, puis atteint un maximum et décroît jusqu'à une valeur limite. En effet, on peut étudier les limites de vitesses et de force de traction correspondant à chaque rapport, ce qui nous permet de savoir le niveau d'efficacité tractive d'un véhicule par rapport à un autre.

On remarque par exemple que pour une force  $F_1$ , le véhicule  $VH_1$  doit rouler au **troisième rapport** et à une vitesse  $V_1$ , vitesse qui pourrait être atteinte avec un autre véhicule  $VH_2$  au **quatrième rapport** avec une vitesse  $V_0 < V_1$  **pour la même force de traction ; Dans cette situation, la véhicule  $VH_1$  serait le plus performant.**

- **L'enveloppe des courbes de force** pour les différents rapports montre l'évolution de la force de traction requise pour faire avancer le véhicule.

**b) Critique du diagramme de la force aux roues**

Le diagramme de la force aux roues permet de comparer et d'apprécier aisément et rationnellement les propriétés de traction des véhicules automobiles. Cependant, si différents véhicules développent la même force de traction  $P_T$ , cela ne voudrait pas pour autant dire qu'ils ont les mêmes propriétés de traction. Il est clair que si la masse d'une automobile est supérieure à une seconde, alors les propriétés de traction de la première seront plus mauvaises, mais si les masses sont identiques, alors les propriétés différeront par le fait que les résistances aérodynamiques  $P_\omega$  par exemple pourront être différentes. **La caractéristique dynamique permet de palier à cet inconvénient.**

**C-2-2) Utilisation de la caractéristique dynamique :**

Cette méthode fut préconisée par le Professeur Jo Yung WONG dans son livre intitulé « **Theory of ground vehicles** » [24]. Le diagramme de la force aux roues ne tenant pas compte des forces de résistance à l'avancement du véhicule, pour comparer et apprécier les propriétés

de traction, la caractéristique dynamique utilise la notion du « *facteur dynamique* »  $D = f(v)$ .  
 Voyons comment il s'exprime en fonction des forces de traction et de résistance :

En utilisant l'équation (I-19) du bilan de traction, alors la réserve de la force de traction sera :

$$P_T = P_r + P_\omega + P_\psi \pm P_{jr} \Leftrightarrow P_T - P_\omega = P_\psi + P_r \pm P_{jr}$$

$$\text{S'il n'y a pas de remorque, } P_r = 0 \Rightarrow P_T - P_\omega = P_\psi \pm P_{jr} = G\psi \pm \frac{G}{g} j \delta_{mr}$$

$$\delta_{mr} = \delta_{am} = 1,04 + 0,05 i_k^2 \rightarrow \text{véhicule sans charge (coefficient d'augmentation de masse)}$$

$$\delta_{mr} = 1 + (0,04 + 0,05 i_k^2) \frac{m}{m_1} \rightarrow \text{véhicule avec charge (m)} \quad [20]$$

$m$  : masse du véhicule ;

$i_k$  : Rapport de transmission dans la boîte de vitesse.

$$\text{D'où } D = \frac{P_T - P_\omega}{G_0} = \psi \pm \frac{j}{g} \delta_{am} \quad [24]$$

Où  $P_T - P_\omega$  est la réserve de la force de traction.

Quand l'automobile roule uniformément :  $j = 0 \Rightarrow D = \psi$

Pour  $D_{\max}$  on définit aussi  $\psi_{\max}$  **coefficient max équivalent de résistance de la chaussée.**

Si  $D_{\max} \leq \psi_{\max}$ , alors le mouvement de l'automobile sera ralenti. [23]

$$\text{On donne } \begin{cases} \psi_{\max} = 0,35 \text{ à } 0,50 \text{ pour les camions ;} \\ \psi_{\max} = 0,70 \text{ à } 0,75 \text{ pour grandes charges ;} \\ \psi_{\max} = 0,30 \text{ à } 0,40 \text{ pour automobiles légères.} \end{cases}$$

### a) Construction de la caractéristique dynamique

Tout comme le diagramme de la force aux roues, on le construit pour tous les rapports de transmission ; il faut avoir la caractéristique de vitesses du moteur obtenue avec l'ouverture maximale du volet des gaz ou avec le débit max de la pompe à carburant.

- i. De la même manière que pour le diagramme des forces ci-dessus, on transforme l'expression comme suit :

$$P_T = \frac{\eta_T M_k \omega_e}{V} = \frac{\eta_T M_k \omega_e}{r_k \omega_{roues}} \text{ D'où } P_T = \frac{\eta_T M_k \omega_e}{r_k \omega_{roues}} = \frac{\eta_T M_k i_{T_i}}{r_k}$$

$$P_T = \frac{\eta_T M_k i_{T_i}}{r_k} \quad (22)$$

- ii. La valeur de  $P_\omega$  se calcule par la formule  $P_\omega = c_F k F v^2$  avec  $F = 0,8bH$  (23)

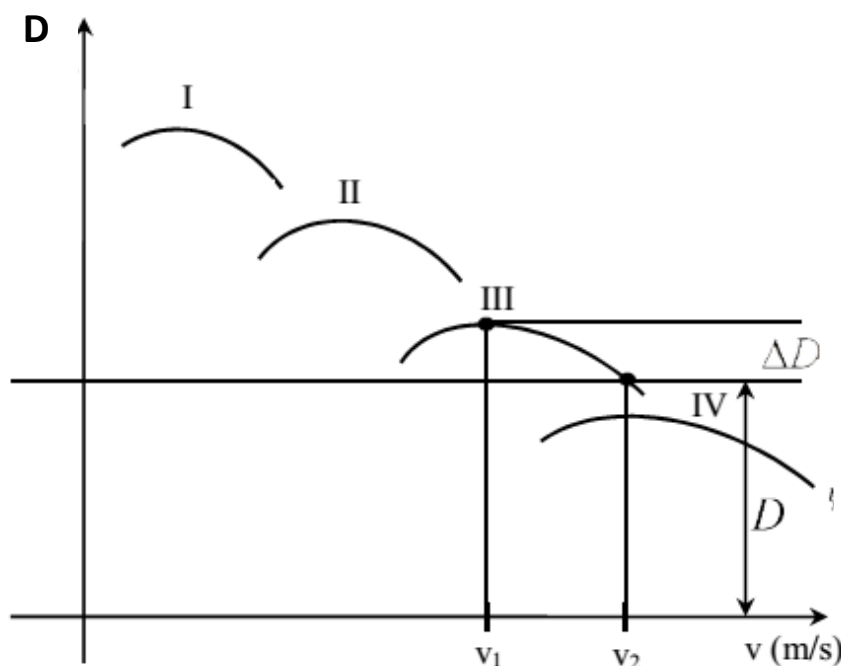
Avec  $c_F$  le **coefficient de correction de la surface frontale**, qui tient compte des espaces vides inclus dans le calcul du maître couple ; soit  $0,6 \leq c_F \leq 0,8$  [7].

- iii. Connaissant donc  $P_\omega, P_T$  et  $G_0$ , on trouve pour une vitesse de déplacement donnée et

un rapport de vitesse donné, le **facteur dynamique D** :  $D = \frac{P_k - P_\omega}{G_0}$  [24] (24)

- iv. En faisant varier la vitesse de déplacement on calcule  $D$  pour différentes vitesses et à un rapport donné.

- v. De la même façon, on construit  $D = f(v)$  pour les autres rapports de vitesse et on obtient le diagramme suivant :



**Figure I-14** : caractéristique dynamique pour un véhicule de tourisme à 4 rapports

**Légende :**

**I** : courbe du facteur dynamique au **1<sup>er</sup> rapport**

**II** : courbe du facteur dynamique au **2<sup>ème</sup> rapport**

**III** : courbe du facteur dynamique au **3<sup>ème</sup> rapport**

**IV** : courbe du facteur dynamique au **4<sup>ème</sup> rapport**

**$\Delta D$** : Réserve du facteur dynamique

**Interprétation :**

- Le graphique ci-dessus montre que pour chaque rapport de la BV, le facteur dynamique correspondant à la force de traction **disponible** à l'essieu croît avec la vitesse, puis atteint un maximum et décroît jusqu'à une valeur limite. En effet, on peut étudier les limites de vitesses et de force de traction correspondant à chaque rapport, ce qui nous permet de savoir le niveau d'efficacité tractive d'un véhicule par rapport à un autre. On remarque par exemple que pour une route de coefficient  $\psi_2$ , le véhicule **VH<sub>1</sub>** doit rouler au **troisième rapport** pour une vitesse **V<sub>2</sub>**, vitesse qui pourrait être atteinte avec un autre véhicule **VH<sub>2</sub>** au **quatrième rapport** avec une vitesse **V<sub>0</sub> < V<sub>1</sub>** **pour la même force de traction ; Dans cette situation, le véhicule VH<sub>1</sub> serait le plus performant.**
- La **réserve de facteur dynamique  $\Delta D$**  peut être utilisée pour surmonter des résistances au déplacement qui peuvent apparaître tel que les montées avec en même temps une diminution de la vitesse jusqu'à **v<sub>1</sub>**.

La caractéristique dynamique permet de résoudre quelques problèmes de l'utilisation de l'automobile. On la construit pour des véhicules de différentes masses ; mais pour plus de commodité, il est intéressant d'avoir une caractéristique qu'on pourra utiliser pour différentes autos (**avec charges et masses différentes**). Une telle caractéristique est dite **universelle**.

**b) Exemple pratique de construction d'une caractéristique dynamique**

Soit un véhicule de tourisme de marque **TOYOTA de type AVENSIS 2.0 TD4D LINEA SOL 4P**, avec une transmission mécanique.

Les caractéristiques données par le constructeur pris dans l'abaque et sur internet.

**b-1- choix des paramètres ou données de notre prototype**

**Tableau 2** : Données du prototype choisi [27],[12] et [14]

<b>Prototype choisit</b>	
<b>Marque de l'automobile</b>	TOYOTA
<b>Modèle</b>	AVENSIS 4p
<b>Année de fabrication</b>	1998
<b>Caractéristiques dimensionnelles et de pesanteur</b>	
<b>Masse du véhicule à vide</b>	$m_0 = 1240_{\text{kg}}$
<b>Voie AV/AR</b>	$B = 1,42 \text{ m}$
<b>Hauteur</b>	$H = 1,709 \text{ m}$
<b>Longueur hors-tout</b>	$L = 4,52 \text{ m}$
<b>Largeur hors-tout</b>	$l = 1,71 \text{ m}$
<b>Empattement</b>	$E = 2,63 \text{ m}$
<b>Coefficient de correction de la surface frontale</b>	$c_F = 0,8$
<b>Volume de chargement</b>	$V_c =$
<b>Paramètre du pneumatique</b>	
<b>Pneus avant et arrière</b>	195/60/15
<b>Paramètres aérodynamique</b>	
<b>Coefficient aérodynamique suivant X</b>	$C_x = 0,280$
<b>Coefficient aérodynamique surfacique</b>	$S_x = /$
<b>Paramètres du moteur</b>	
<b>Cylindrée (cm<sup>3</sup>) /nombre de cylindres/soupapes</b>	1995/4/16
<b>Puissance maximale (débordement des max)</b>	$Ne_{max} = 94,2 \text{ kw} = 128 \text{ ch}$
<b>Couple maximal</b>	$M_{kmax} = 178 \text{ N.m}$
<b>Régime nominal au couple Max</b>	$n_{Mk_{max}} = 4400. \text{tr}/\text{min}$
<b>Régime nominal à la puissance Max</b>	$n_N = 5400 \text{tr}/\text{min}$
<b>Vitesses maximale</b>	$V_{max} = 208 \text{ km}/\text{h}$
<b>Rendement de la transmission</b>	
<b>Type de boîte de vitesses</b>	Manuelle à 5 rapports en marche avant et 1 rapport en marche arrière
<b>Rendement global de la transmission</b>	$\eta_T = 0,96$

## b-2- Calcul des autres paramètres

### b-2-1 Le couple au régime nominal $M_{kN}$

$$M_{kN} = 9554 \frac{N_{max}}{n_N} \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} M_{kN} : \text{couple au régime nominal en (N.m)} \\ N_{max} : \text{puissance maximale en (KW)} \\ n_N : \text{régime à la puissance maximal en (tr/min) [22]} \end{array} \right.$$

$$\text{Et } 9554 = \frac{60 \times 1000}{2\pi}$$

$$\text{AN : } M_{kN} = 9554 \frac{94,2}{5400} = 166,6$$

$$M_{kN} = 166,6 \text{ N.m}$$

### b-2-2 La réserve du couple $M_r$

$$M_r = \frac{(M_{kmax} - M_{kN})}{M_{kN}} 100 = \left( \frac{M_{kmax}}{M_{kN}} - 1 \right) 100$$

Le rapport  $K_M = \frac{M_{kmax}}{M_{kN}}$  est le coefficient d'adaptabilité par rapport au couple et  $K_\omega = \frac{n_N}{n_{Mkmax}}$  est le coefficient d'adaptabilité selon le régime.

Plus grand est  $K_\omega$ , plus large sera le diapason de fonctionnement stable du moteur. L'expérience a montré qu'une augmentation (élévation) de  $K_\omega$  pour une valeur donnée du régime  $n_N$  améliore l'économie de carburant de l'automobile.

$$\text{AN : } M_r = \left( \frac{178}{166,6} - 1 \right) 100 = \approx 7,22 \quad M_r = 8\%$$

### b-2-3 Coefficient d'adaptabilité par rapport au régime $K_\omega$

$$K_\omega = \frac{n_N}{n_{Mkmax}}$$

$$\text{AN : } K_\omega = \frac{5400}{4400} \approx 1,5 \quad K_\omega = 1,5 \quad \text{Avec } K_\omega \in [1,5 - 2,5]$$

### b-2-4 Coefficient d'adaptabilité par rapport au couple $K_m$

$$K_m = \frac{M_{kmax}}{M_{kN}}$$



$$\text{AN: } K_m = \frac{178}{166,6} = 1,06 \quad K_m = 1,06$$

### b-2-5 Coefficient total des forces aérodynamique $k_v$

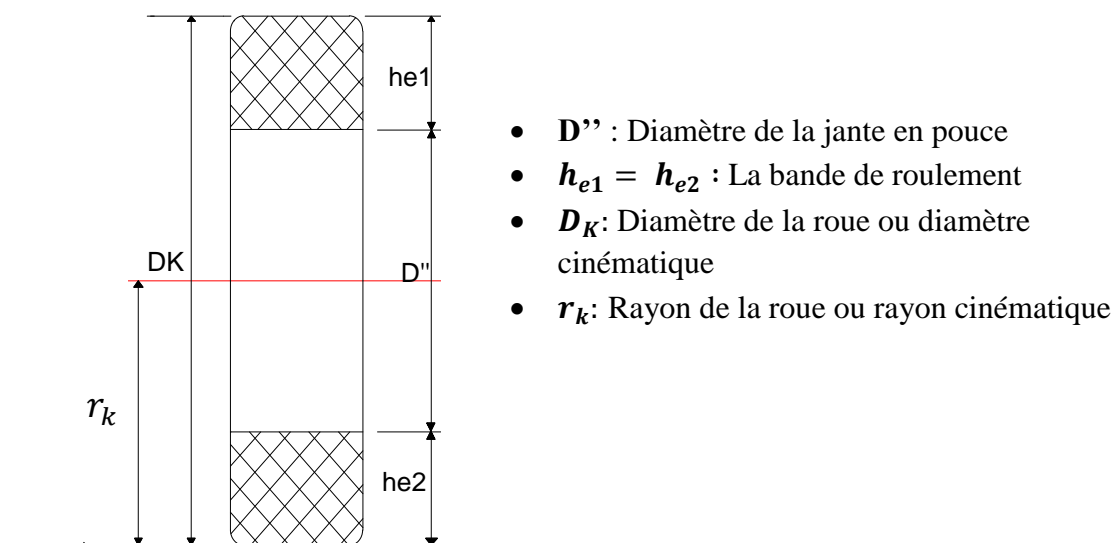
Nous savons que :  $k_v = C_x s_x$  mais  $s_x$  étant inconnu alors nous allons utiliser la formule suivante :

$$k_v = 1,61C_x \quad \text{AN } k_v = 1,61 \times 0,280 = 0,17 \quad k_v = 0,17 \approx 0,2$$

### b-2-6 Le rayon cinématique $r_k$

C'est le rapport entre la vitesse linéaire (tangentielle) et la vitesse angulaire  $r_k = \frac{V_k}{\omega_k}$

La vitesse linéaire n'étant pas connue, alors nous allons utiliser les caractéristiques des pneus de notre prototype pour calculer le rayon cinématique.



**Figure I-15** : Illustration d'un pneumatique

$$D_K = h_{e1}D'' + h_{e2} \text{ or } h_{e1} = h_{e2}$$

$$= h_{e1} = 2h_{e2}$$

$$D_K = 2h_{e2} + D'' \quad \text{D'où } r_k = \frac{D_K}{2} = \frac{2h_{e2} + D''}{2}$$

$$\text{AN: } r_k = \frac{2 \times 60 + 2,54 \times 15}{2} = 250 \text{ cm}$$

$$r_k = 0,25 \text{ m}$$

- $D''$  : diamètre de la jante en pouce
- $1 = 2,54 \text{ cm}$
- $h_{e1} = 2h_{e2}$  : hauteur de

### b-2-7 Le centre de masse du prototype $h_g$

$$h_g = \frac{H}{3} \text{ Avec } \left\{ \begin{array}{l} - h_g : \text{ hauteur du centre de masse du véhicule (m)} \\ H : \text{ hauteur totale du véhicule (m)} \end{array} \right.$$

AN

$$h_g = \frac{1,709}{3} = 0,569 \quad h_g = 0,569m$$

### b-2-8 Le coefficient de résistance au roulement $f$

C'est la grandeur caractéristique égale au rapport entre la force de résistance au roulement et

la réaction normale de la surface d'appui  $f = \frac{P_f}{R_z}$

Dans la procédure de la construction de la caractéristique de l'automobile,  $f$  est dans un intervalle de [0,010 – 0,015].

D'où par déduction le coefficient sera égale à  $f = 0,015$

### b-2-9 Le coefficient de résistance total au déplacement $\psi_v$

$$\psi_v = (f \cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$\text{AN : } \psi_v = (0,015 \cos 20^\circ + \sin 20^\circ) = 0,02$$

$$\psi_v = 0,02$$

### b-2-10 Le coefficient de résistance maximal $\psi_{max}$

$$\psi_{max} = (0,015 \cos 20^\circ + \sin 20^\circ) = 0,35$$

$$\psi_{max} = 0,35$$

### b-2-11 Le coefficient de correction $K_p$

Le coefficient  $K_p$  dépend aussi bien des conditions d'exploitation que des particularités standards et des normes selon lesquelles la caractéristique tirée a été faite. Il peut quelque peu augmenter avec le régime n. Les données des valeurs du coefficient  $K_p$  existent selon les standards des différents pays. Il varie entre [0,85 et 0,95]

$$k_p = 0,89$$

### b-2-11 La surface frontale

Encore appelée le maître couple frontal, elle se calcule à l'aide de la voie au sol et de la hauteur du véhicule

$$F = 0,8BH \quad \left\{ \begin{array}{l} b = \text{grandeur caractéristique de la voie (m)} \\ H = \text{hauteur du véhicule (m)} \end{array} \right.$$

$$F = 0,8 \times 1,42 \times 1,709$$

$$F = 1,94 \text{ m}^2$$

### b-3. CHOIX DE LA CARACTERISTIQUE DU MOTEUR

C'est la relation qui lie  $N_e$ ,  $M_e = f(n_e)$  on obtient sur bancs avec volet de gaz complètement ouverts.

Le calcul débute par la détermination de la **puissance  $N_{ev}$  (puissance effective)** puissance nécessaire pour déplacer le véhicule à la vitesse constante sur une route horizontale et droite.

$$N_e = N_{\max} \left[ a \left( \frac{n}{n_N} \right) + b \left( \frac{n}{n_N} \right)^2 - c \left( \frac{n}{n_N} \right)^3 \right]$$

et

$$M_k = M_{kN} \left[ a + \frac{bn}{nN} - c \left( \frac{n}{nN} \right)^2 \right]$$

$$a = 1 - \frac{25}{M_r} ; \quad b = \frac{50}{M_r - 1} \quad \text{et} \quad c = \frac{25}{M_r}$$

$$a_n = 0.53; \quad b_n = 1.56; \quad c_n = 0.09$$

**NB** : Nous rappelons ici que le choix de la caractéristique est la relation qui lie  $N_e$ ,  $M_e = f(n_e)$  on obtient sur bancs avec volet de gaz complètement ouverts.

**Le choix de la puissance effective  $N_{ev} = f(v)$**  sur la caractéristique, lors d'un projet de conception d'une auto est très délicat car c'est lui qui permet une utilisation optimale de

puissance du moteur pendant son fonctionnement en différent régime. Parlant donc du choix, on peut avoir plusieurs possibilités non toutes bonnes

$$N_{ev} = \frac{N_J}{1000\eta_T K_p} = \left( \frac{G_a \Psi_v + k_a F V^2_{max}}{1000\eta_T \cdot K_p} \right) V_{max}$$

Où  $\Psi_v$  est le coefficient de résistance de la route horizontale normalement revêtue et par vent nul.

Si sur l'automobile en projet, les données relatives aux résistances au roulement sont inexistantes, on peut utiliser la formule suivante :

$$\Psi_v = 0,01 + 5,10^{-6} v^2_{max} \rightarrow \text{pour les véhicules de tourisme}$$

$$\Psi_v = (0,015 - 0,02) + 6,10^{-6} v^2_{max} \rightarrow \text{pour les poids lourds}$$

**AN :**

$$N_{ev} = \left( \frac{1240 \times 9,81 \times 0,2}{854,4} \right) V_{max} + \left( \frac{0,17 \times 1,94 \times V^3_{max}}{854,4} \right)$$

$$D'où N_{ev} = 3,86 \cdot 10^{-4} V^3_{max} + 0,28 V_{max}$$

Etant donné que  $N_{ev}$  varie en fonction de  $V_{max}$  sur le choix de la caractéristique

$$N_{ev} = f(V_{max})$$

**Tableau 3 : Données de la puissance effective**

Vmax(m/s)	0	10	20	30	40	50	57,77	60
N <sub>ev</sub> (KW)	0	3,18	8,68	18,82	35,90	62,25	90,59	100,17

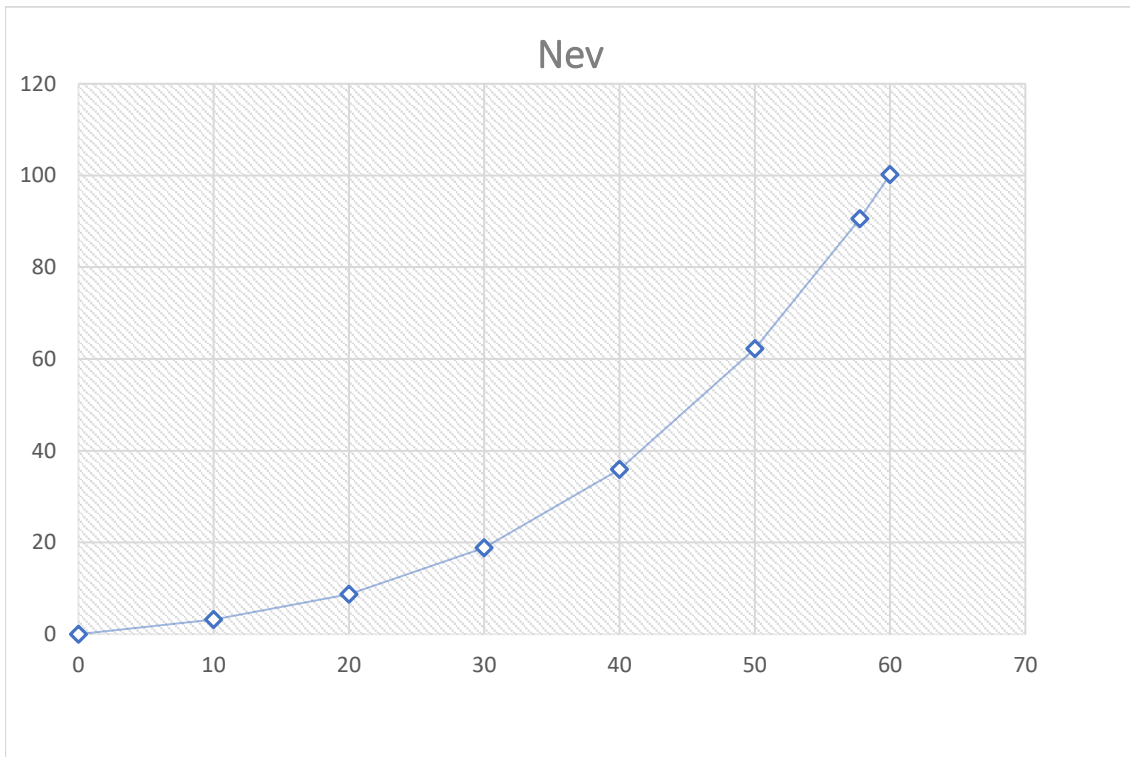


Figure I-16 : courbe puissance effective

**ix du rapport de transmission [26]**

**i. Détermination du rapport de transmission principale du pont  $i_p$**

Ce rapport s'obtient à partir des conditions de déplacement à  $V_{max}$  au rapport supérieur de la boîte de vitesse.

$$i_{TS} = i_{BVS} \cdot i_p$$

- $i_{bvs}$  est le rapport supérieur de la boîte de vitesses
- $i_p$  est le rapport du pont
- $i_{ts}$  est le rapport supérieur de toute la transmission
- $i_{bvc}$  : Rapport de la boîte de vitesse complémentaire. Lorsqu'il n'existe pas on prend  $i_{bvc} = 1$

Soit  $i_{TS}$  le rapport supérieur de calcul de toute la transmission :

$$i_{TS} = i_{BVS} \cdot i_p = \frac{0,105 \cdot r_k \cdot n_v}{i_{BVC} \cdot V_{max}}$$

Dans le cas d'un véhicule avec pont à l'arrière moteur avant, avec trois arbres dans la boîte,

$$\text{AN} \quad i_{BVS} = 1 \Rightarrow i_{TS} = i_p$$

$$i_p = \frac{0,105 \times 0,25 \times 5750}{57,77} \quad i_p = 2,61$$

- Véhicules de tourisme :  $i_p \leq 5$

ii. **Détermination du rapport de la première vitesse**

$$i_{BV1} = \frac{Ga \cdot \Psi_{\max} \cdot r_d}{M_{k_{\max}} \cdot i_{BVC} \cdot i_p \cdot \eta_T \cdot k_p} \quad [26]$$

$$\text{AN} \quad i_{BV1} = \frac{1240 \times 9,81 \times 0,25 \times 0,35}{178 \times 1 \times 2,61 \times 0,96 \times 0,89}$$

$$i_{BV1} = 2,68$$

➤ **Choix du nombre de rapport et des rapports de transmission de la boîte de vitesse**

$$d = i_p \times i_{BV1} = 2,61 \times 3,29 = 8,58$$

or  $d \in [7,9 - 9,35]$  d'où  $n = 6$  rapports

- Détermination des autres rapports

$$i_{bvm} = \sqrt[n-j]{i_{bv1}^{n-m} \cdot i_{bvs}^{m-1}} \quad [26]$$

$$i_{BV2} = 2,2 \quad ; \quad i_{BV3} = 1,8 \quad ; \quad i_{BV4} = 1,48 \quad ; \quad i_{BV5} = 1,2 \quad ; \quad i_{BV6} = 1$$

- Calcul des rapports globaux de transmission

$$i_{Ti} = i_{bvi} \cdot i_p$$

$$i_{T1} = 6,994; \quad i_{T2} = 5,742; \quad i_{T3} = 4,698; \quad i_{T4} = 3,868; \quad i_{T5} = 3,132; \quad i_{T6} = 2,61$$

**Tableau 4 :** Caractéristiques calculées de la TOYOTA AVENSIS 2.0 4D LINEA SOL 5P

Paramètres valeurs	Valeurs
<b>Caractéristiques dimensionnelles et de pesanteur</b>	
Centre de masse du véhicule	$hg = 0,569m$
Volume de chargement	$V_c =$
Rayon cinématique	$r_k = 0,25 m$
La pente d'inclinaison	$\alpha = 20^\circ$
Coefficient aérodynamique	$k_v = 0,17 \approx 0,2$
Coefficient d'adaptabilité par rapport au régime	$K_\omega = 1,5$
Coefficient d'adaptabilité par rapport au couple	$K_m = 1,06$
Coefficient de résistance au roulement	$f = 0,015$
Coefficient de résistance totale au déplacement.	$\psi_v = 0,02$
Coefficient de résistance maximal	$\psi_{max} = 0,43$
Coefficient de correction	$k_p = 0,89$
La surface frontale	$F = 1,941m^2$
Coefficients empiriques du couple moteur	$a_n = 0.53; b_n = 1.56; c_n = 1.09$
<b>Caractéristiques du moteur</b>	
Couple nominal	$M_{kN} = 166,6 N.m$
La réserve du couple	$M_r = 7\%$
Régime nominal effectif maximal	$n_v = 5750tr/min$
<b>CARACTERISTIQUE DE LA TRANSMISSION</b>	
Type de boîte de vitesses	Manuelle à 5 rapports en marche avant et 1 rapport en marche arrière
Rapports de la BV (marche avant)	$i_{BV_1} = 2,68$ $i_{BV_2} = 2,2$ $i_{BV_3} = 1,8$ $i_{BV_4} = 1,48$ $i_{BV_5} = 1,2$ $i_{BV_6} = 1$
Rapport du pont	$i_p = 2,61$
Rapports globaux de la transmission (marche avant)	$i_{T_1} = 6,994$ $i_{T_2} = 5,742$ $i_{T_3} = 4,698$ $i_{T_4} = 3,868$ $i_{T_5} = 3,132$ $i_{T_6} = 2,61$

- Calcul de  $n_e$  à chaque rapport  $i$  en utilisant la formule (20)

Cette relation est la suivante :

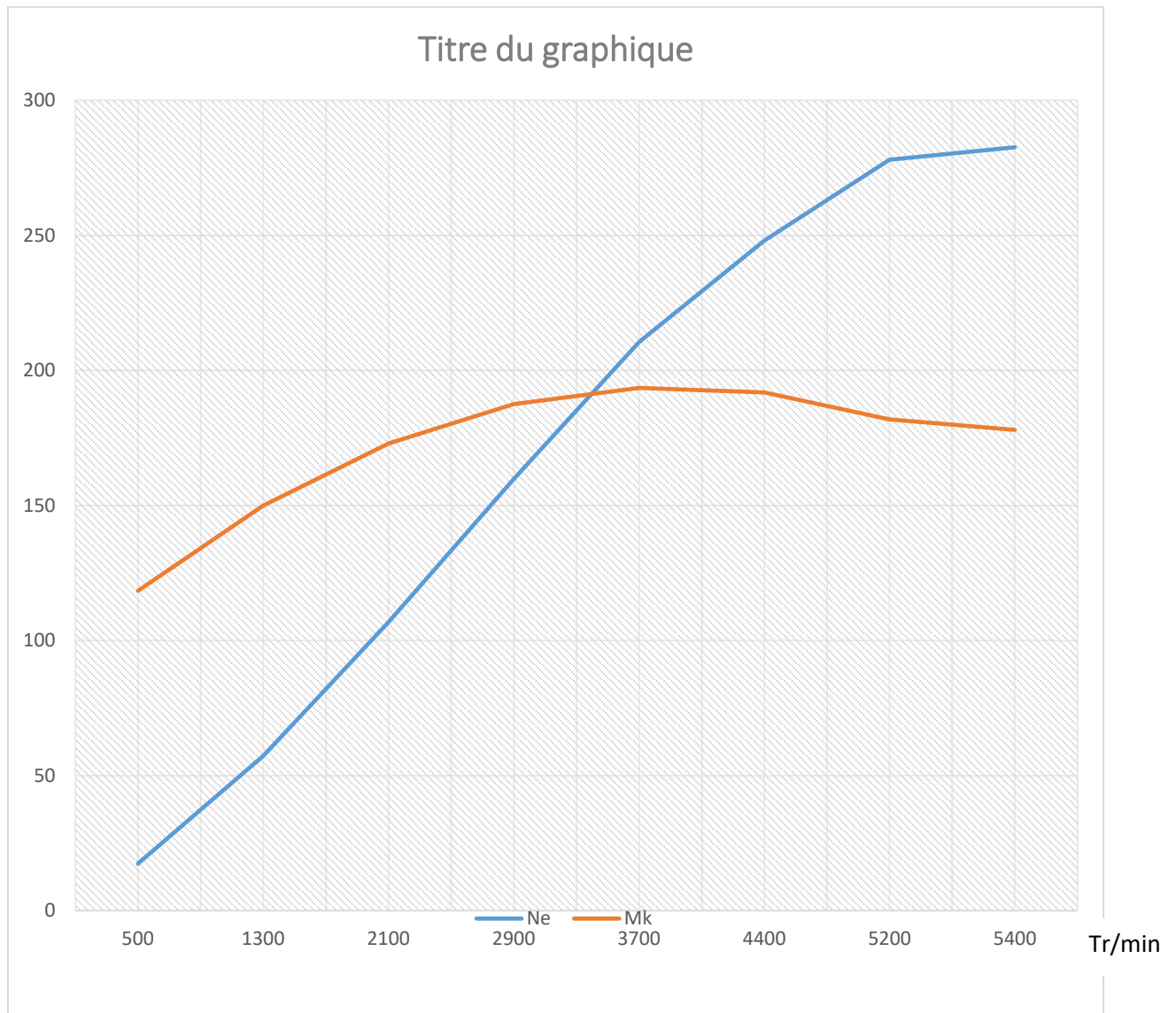
$$n_e = \frac{30Vi_{t_i}}{\pi r_k} \quad (20)$$

**Tableau 5** : Résultats des rapports  $i$  en fonction de la vitesse

<b>1<sup>ère</sup></b>	V(m/s)	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
	$n_{e_1}(t_r / \text{min})$	<b>534,573</b>	<b>801,859</b>	<b>1069,146</b>	<b>1336,433</b>	<b>1603,719</b>	<b>1871,006</b>	<b>2228,801</b>
<b>2<sup>ème</sup></b>	V(m/s)	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>16</b>
	$n_{e_2}(t_r / \text{min})$	<b>877,757</b>	<b>1316,636</b>	<b>1755,515</b>	<b>2194,394</b>	<b>2633,273</b>	<b>3072,152</b>	<b>3511,038</b>
<b>3<sup>ème</sup></b>	V(m/s)	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	<b>30</b>
	$n_{e_3}(t_r / \text{min})$	<b>1436,331</b>	<b>2154,496</b>	<b>2872,662</b>	<b>3590,828</b>	<b>4308,993</b>	<b>5027,159</b>	<b>5386,242</b>
<b>4<sup>ème</sup></b>	V(m/s)	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>19</b>	<b>26</b>	<b>29</b>	<b>32</b>
	$n_{e_4}(t_r / \text{min})$	<b>1478,216</b>	<b>2069,503</b>	<b>2512,968</b>	<b>2808,611</b>	<b>3843,363</b>	<b>4286,828</b>	<b>4730,29</b>
<b>5<sup>ème</sup></b>	V(m/s)	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>22</b>	<b>27</b>	<b>30</b>	<b>33</b>
	$n_{e_5}(t_r / \text{min})$	<b>1436,331</b>	<b>1795,414</b>	<b>2274,191</b>	<b>2633,273</b>	<b>3231,745</b>	<b>3590,8280</b>	<b>3949,910</b>
<b>6<sup>ème</sup></b>	V(m/s)	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>21</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	<b>31</b>	<b>35</b>
	$n_{e_6}(t_r / \text{min})$	<b>1496,178</b>	<b>1695,66</b>	<b>2094,649</b>	<b>2393,885</b>	<b>2792,866</b>	<b>3092,101</b>	<b>3491,082</b>



Détermination du couple moteur  $M_k$  correspondant à chaque régime



- Courbe de la puissance du moteur  $N_e$  en (kw)
- Courbe du couple moteur  $M_k$  (N.m)

**Figure I-17** : courbe caractéristique du moteur de la TOYOTA AVENSIS 2.0 TD4D LINEA SOL 4P

A partir de la courbe caractéristique du moteur de la TOYOTA AVENSIS 2.0 TD4D LINEA SOL 4P, lisons les valeurs du couple moteur en fonction des régimes trouvés :

**Tableau 6 : Résultats des couples**

<b>1<sup>ère</sup></b>	$n_{e_1}(t_r/min)$	<b>534,573</b>	<b>801,859</b>	<b>1069,146</b>	<b>1336,433</b>	<b>1603,719</b>	<b>1871,006</b>	<b>2228,801</b>
	$M_{k_1}(N.m)$	<b>119</b>	<b>130</b>	<b>140</b>	<b>150</b>	<b>155</b>	<b>167,5</b>	<b>170</b>
<b>2<sup>ème</sup></b>	$n_{e_2}(t_r/min)$	877,757	1316,636	1755,515	2194,394	2633,273	3072,152	3511,038
	$M_{k_2}(N.m)$	<b>135</b>	<b>149</b>	<b>165</b>	<b>170</b>	<b>173</b>	<b>174</b>	<b>176</b>
<b>3<sup>ème</sup></b>	$n_{e_3}(t_r/min)$	1436,331	2154,496	2872,662	3590,828	4308,993	5027,159	5386,242
	$M_{k_3}(N.m)$	<b>152</b>	<b>171</b>	<b>175</b>	<b>177 ;1</b>	<b>176</b>	<b>175,2</b>	<b>173</b>
<b>4<sup>ème</sup></b>	$n_{e_4}(t_r/min)$	1478,216	2069,503	2512,968	2808,611	3843,363	4286,828	4730,29
	$M_{k_4}(N.m)$	<b>152,1</b>	<b>170,3</b>	<b>175,6</b>	<b>175,9</b>	<b>177,3</b>	<b>176</b>	<b>175,2</b>
<b>5<sup>ème</sup></b>	$n_{e_5}(t_r/min)$	1436,331	1795,414	2274,191	2633,273	3231,745	3590,8280	3949,910
	$M_{k_5}(N.m)$	<b>151</b>	<b>165,3</b>	<b>170,4</b>	<b>175,8</b>	<b>175,9</b>	<b>177,02</b>	<b>177,3</b>
<b>6<sup>ème</sup></b>	$n_{e_6}(t_r/min)$	1496,178	1695,66	2094,649	2393,885	2792,866	3092,101	3491,082
	$M_{k_6}(N.m)$	<b>152</b>	<b>156</b>	<b>170,33</b>	<b>175,01</b>	<b>175,82</b>	<b>176,03</b>	<b>177,04</b>

Détermination de la force motrice en fonction du couple moteur en utilisant la formule (-22):

Rappelons que 
$$P_T = \frac{\eta_T M_k i T_i}{r_k} \quad (22)$$

**Tableau 7 : calcul de la force de traction à chaque rapport en fonction du couple moteur**

<b>1<sup>ère</sup></b>	$M_{k_1}(N.m)$	<b>119</b>	<b>130</b>	<b>140</b>	<b>150</b>	<b>155</b>	<b>167,5</b>	<b>170</b>
	$P_{T_1}(KN)$	<b>3,195</b>	<b>3,491</b>	<b>3,759</b>	<b>4,028</b>	<b>4,162</b>	<b>4,498</b>	<b>4,565</b>
<b>2<sup>ème</sup></b>	$M_{k_2}(N.m)$	135	149	165	170	173	174	176
	$P_{T_2}(KN)$	<b>2,976</b>	<b>3,285</b>	<b>3,638</b>	<b>3,748</b>	<b>3,814</b>	<b>3,836</b>	<b>3,880</b>
<b>3<sup>ème</sup></b>	$M_{k_3}(N.m)$	152	171	175	177 ;1	176	175,2	173
	$P_{T_3}(KN)$	<b>2,742</b>	<b>3,084</b>	<b>3,157</b>	<b>3,194</b>	<b>3,175</b>	<b>3,160</b>	<b>3,120</b>
<b>4<sup>ème</sup></b>	$M_{k_4}(N.m)$	152,1	170,3	175,6	175,9	177,3	176	175,2
	$P_{T_4}(KN)$	<b>2,259</b>	<b>2,529</b>	<b>2,608</b>	<b>2,612</b>	<b>2,633</b>	<b>2,614</b>	<b>2,602</b>
<b>5<sup>ème</sup></b>	$M_{k_5}(N.m)$	151	165,3	170,4	175,8	175,9	177,02	177,3
	$P_{T_5}(KN)$	<b>1,816</b>	<b>1,988</b>	<b>2,049</b>	<b>2,114</b>	<b>2,115</b>	<b>2,128</b>	<b>2,132</b>
<b>6<sup>ème</sup></b>	$M_{k_6}(N.m)$	152	156	170,33	175,01	175,82	176,03	177,04
	$P_{T_6}(KN)$	<b>1,523</b>	<b>1,563</b>	<b>1,707</b>	<b>1,754</b>	<b>1,762</b>	<b>1,764</b>	<b>1,774</b>

Calcul de la force de résistance aérodynamique en utilisant la formule (23) :

Rappelons que  $P_{\omega} = c_F k F v^2$  avec  $F = 0,8bH$  soit  $0,6 \leq c_F \leq 0,8$  (23)

**Tableau 8 :** calcul de la force aérodynamique de résistance à chaque rapport en fonction de la vitesse V

1 <sup>ère</sup>	V(m/s)	2	3	4	5	6	7	8
	$P_{\omega_1}$ (KN)	0,0010	0,0023	0,0042	0,0066	0,0095	0,0129	0,0168
2 <sup>ème</sup>	V(m/s)	4	6	8	10	12	14	16
	$P_{\omega_2}$ (KN)	0,0042	0,0095	0,0168	0,0264	0,0380	0,0517	0,0675
3 <sup>ème</sup>	V(m/s)	8	12	16	20	24	28	30
	$P_{\omega_3}$ (KN)	0,0168	0,0380	0,0675	0,1056	0,1520	0,2070	0,2376
4 <sup>ème</sup>	V(m/s)	10	14	17	19	26	29	32
	$P_{\omega_4}$ (KN)	0,0264	0,0517	0,0763	0,0953	0,1784	0,2220	0,2703
5 <sup>ème</sup>	V(m/s)	12	15	19	22	27	30	33
	$P_{\omega_5}$ (KN)	0,0380	0,0594	0,0953	0,1277	0,1924	0,2376	0,2875
6 <sup>ème</sup>	V(m/s)	15	17	21	24	28	31	35
	$P_{\omega_6}$ (KN)	0,0594	0,0763	0,1164	0,1520	0,2070	0,2537	0,3234

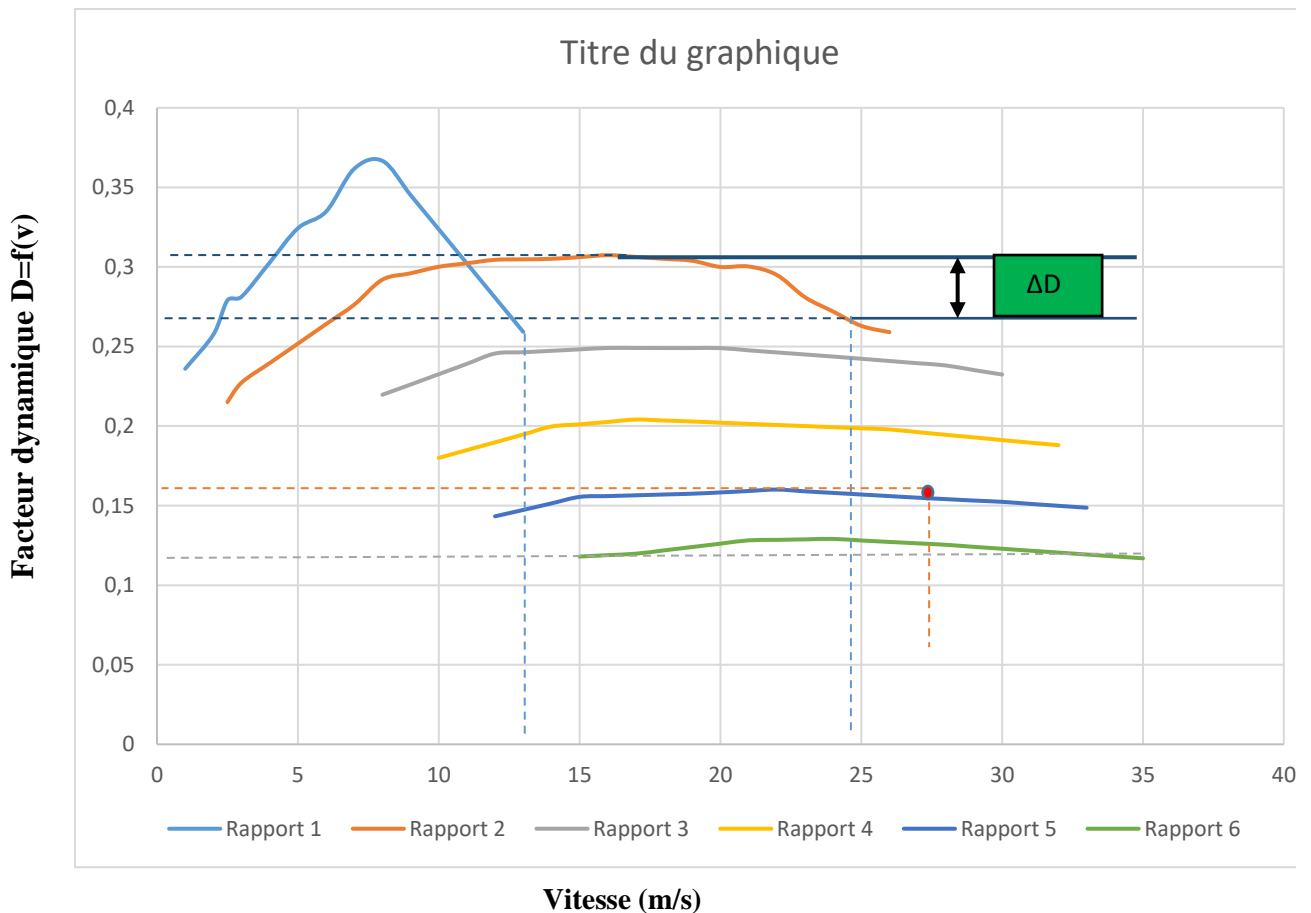
Détermination du facteur dynamique D pour chaque rapport i par la formule (24)

**Hypothèse de calcul :**  $G_0 = 9,81. m_0$

Rappelons que  $D = \frac{P_k - P_{\omega}}{G_0}$  (24)

**Tableau 9 :** établissement du facteur dynamique D à chaque rapport en fonction de la vitesse V

1 <sup>ère</sup>	V(m/s)	2	3	4	5	6	7	8
	$D_1$	0,2575	0,2813	0,3028	0,3243	0,3348	0,3617	0,3667
2 <sup>ème</sup>	V(m/s)	4	6	8	10	12	14	16
	$D_2$	0,2396	0,2641	0,2920	0,3001	0,3045	0,3051	0,3074
3 <sup>ème</sup>	V(m/s)	8	12	16	20	24	28	30
	$D_3$	0,2197	0,2456	0,2491	0,2490	0,2437	0,2381	0,2324
4 <sup>ème</sup>	V(m/s)	10	14	17	19	26	29	32
	$D_4$	0,1800	0,1997	0,2041	0,2029	0,1979	0,1929	0,1880
5 <sup>ème</sup>	V(m/s)	12	15	19	22	27	30	33
	$D_5$	0,1433	0,1555	0,1575	0,1601	0,1550	0,1524	0,1487
6 <sup>ème</sup>	V(m/s)	15	17	21	24	28	31	35
	$D_6$	0,1180	0,1198	0,1282	0,1291	0,1254	0,1217	0,1169



**Figure I-18** : caractéristique dynamique du véhicule étudié de la TOYOTA AVENSIS 2.0 TD4D LINEA SOL 4P

**Interprétation : Facteur dynamique  $D=f(v)$**

- Le graphique ci-dessus montre les différents facteurs dynamiques correspondant au niveau de résistance de la chaussée, en fonction de la vitesse de déplacement et les rapports de la boîte de vitesses qui vont avec. Nous remarquons par exemple que pour une route de facteur  $D = 0,16$ , le véhicule roule à une vitesse moyenne  $V = 27,75 \text{ m/s}$  soit **99,9 km/h** au rapport 5. En plus, pour pouvoir rouler à la même vitesse sur une route de facteur plus élevé, le conducteur sera obligé de passer au **quatrième rapport**.
- La **réserve de facteur dynamique  $\Delta D$**  peut être utilisée pour surmonter des résistances au déplacement qui peuvent apparaître tel que **les montées** avec en même temps une diminution de la vitesse de **16 à 12 m/s environ**. Dès lors, le conducteur est obligé de passer en **1<sup>ère</sup>** sinon le moteur s'arrêtera.

Ces informations sont capitales lors de l'analyse afin que le constructeur modifie en cas d'insatisfaction quelques paramètres de traction tels que **la largeur, la hauteur, ou la masse du véhicule** jusqu'à ce que les propriétés de traction de ce véhicule répondent à ses attentes.

## CONCLUSION

Les études que nous venons de mener nous permettent de faire le point sur les différents moyens scientifiques qui ont été utilisés jusqu'ici pour l'appréciation des propriétés de traction des automobiles, et donc d'évaluer l'efficacité tractive d'un véhicule par rapport à un autre, pendant et après sa conception. De ce fait, il nous a été révélé qu'il en existe deux (02) méthodes principales : **la méthode analytique** qui renseigne sur la pente maximale franchissable par l'automobile et les limites de vitesses et des accélérations admissibles ; **la méthode du bilan dynamique** qui permet d'exprimer graphiquement à chaque rapport la force de traction disponible à l'essieu moteur et la vitesse de déplacement correspondante du véhicule. Le diagramme de la force aux roues ne tenant pas compte des forces de résistance et de la masse de l'automobile, l'idéal est donc de construire et d'interpréter scientifiquement la **caractéristique dynamique** donnant pour chaque rapport le facteur dynamique **D** en fonction de la vitesse **V** du véhicule.

Cependant, la construction de cette caractéristique **étant très pénible et de très longue durée** du fait de l'effectuation de plusieurs calculs élémentaires qui pourraient être à l'origine de nombreuses erreurs dues à la fatigue du constructeur, il nous incombe de concevoir et de réaliser une application qui faciliterait ce travail ; tel est en effet l'objet du prochain chapitre.

## CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

### INTRODUCTION

Le domaine de la technologie automobile connaît une avancée au rythme de toute autre technologie. Nous constatons avec engouement l'implication de plus en plus de l'informatisation des systèmes liés à l'industrie automobile. De ce fait, nous élaborons cette application avec un des programmes les plus adaptés aux travaux approfondis de nature numérique : VISUAL STUDIO. Ce chapitre présente le logiciel utilisé l'obtention de notre application et toutes les étapes parcourues pour la conception et la réalisation de l'application de traçage de la caractéristique dynamique en fonction de la vitesse du véhicule.

### II-A- MATERIEL

#### II-A-1- Définition Visual studio

**VISUAL STUDIO** est un ensemble complet d'outils de développement permettant de générer des applications **web ASP.NET**, des services **web XML**, des applications bureautiques et des applications mobiles. [8]

#### II-A-2- Présentation de Visual studio

Visual Studio Code est présenté lors de la conférence des développeurs Build d'avril 2015 comme un éditeur de code multi-plateforme, open source et gratuit, supportant une dizaine de langages.

Il est basé sur **Electron**<sup>4</sup>, une structure utilisée pour déployer des applications **Node.js** pour le bureau exécuté sur le moteur Blink. Bien qu'il utilise le framework Electron, le logiciel n'utilise pas **Atom**<sup>5</sup> mais utilise le même composant éditeur (nommé "Monaco") utilisé dans Azure DevOps (anciennement appelé Visual Studio Online et Visual Studio Team Services). [8].

---

<sup>4</sup>Un **Electron** est un logiciel libre open source développé par Github sous licence MIT ou un framework permettant de développer des applications multiplateformes de bureau avec des technologies web (**Javascript, HTML et CSS**)

<sup>5</sup> Un **Atom** est un éditeur de texte libre pour macOS, GNU/Linux et Windows développé par GitHub. Il est aussi utilisé en tant qu'environnement de développement

**Le code source**<sup>6</sup> est fourni sous la licence libre MIT (plus précisément la licence MIT) sur le site du projet sur GitHub. En revanche, l'exécutable est proposé sur le site officiel de Microsoft sous une licence propriétaire [26].

On appelle **langage informatique** un langage formel non nécessairement Turing-complet utilisé lors de la conception, la mise en œuvre, ou l'exploitation d'un système d'information.

Un **langage de programmation** est une notation conventionnelle destinée à formuler des algorithmes<sup>7</sup> et produire des programmes informatiques qui les appliquent.

### A-3- Support des langages

**VISUAL STUDIO** Code prend immédiatement en charge presque tous les principaux langages de programmation. Plusieurs d'entre eux sont inclus par défaut, par exemple **JavaScript, TypeScript, CSS** et **HTML**, mais d'autres extensions de langage peuvent être trouvées et téléchargées gratuitement à partir de VS Code Marketplace [8].

Langages supportés par Visual Studio sont :

**Tableau 10 : Différents types de langages utilisé par Visual studio**

N°	Langage	N°	Langage	N°	Langage
01	ActionScript	16	HTML	31	Python
02	C and C++	17	Fichier INI	32	R
03	C#	18	Java	33	Razor
04	Clojure	19	JavaScript	34	Ruby
05	CoffeeScript	20	Julia	35	Rust
06	CSS	21	JSON	36	SCSS
07	D (Dlang)	22	LESS	37	Shader
08	Dockerfile	23	Log file	38	SQL
09	Erlang	24	Lua	39	Swift
10	F#	25	Makefile	40	TypeScript
11	Go	26	Markdown	41	Visual Basic
12	Groovy	27	Nim	42	XML
13	Handlebars	28	Perl	43	YAML
14	Haxe	29	PHP	44	Synapse
15	HLSL	30	Windows PowerShell	45	Ballerina

**NB : nous rappelons ici que nous avons utilisé les langages de programmation ci-après :**

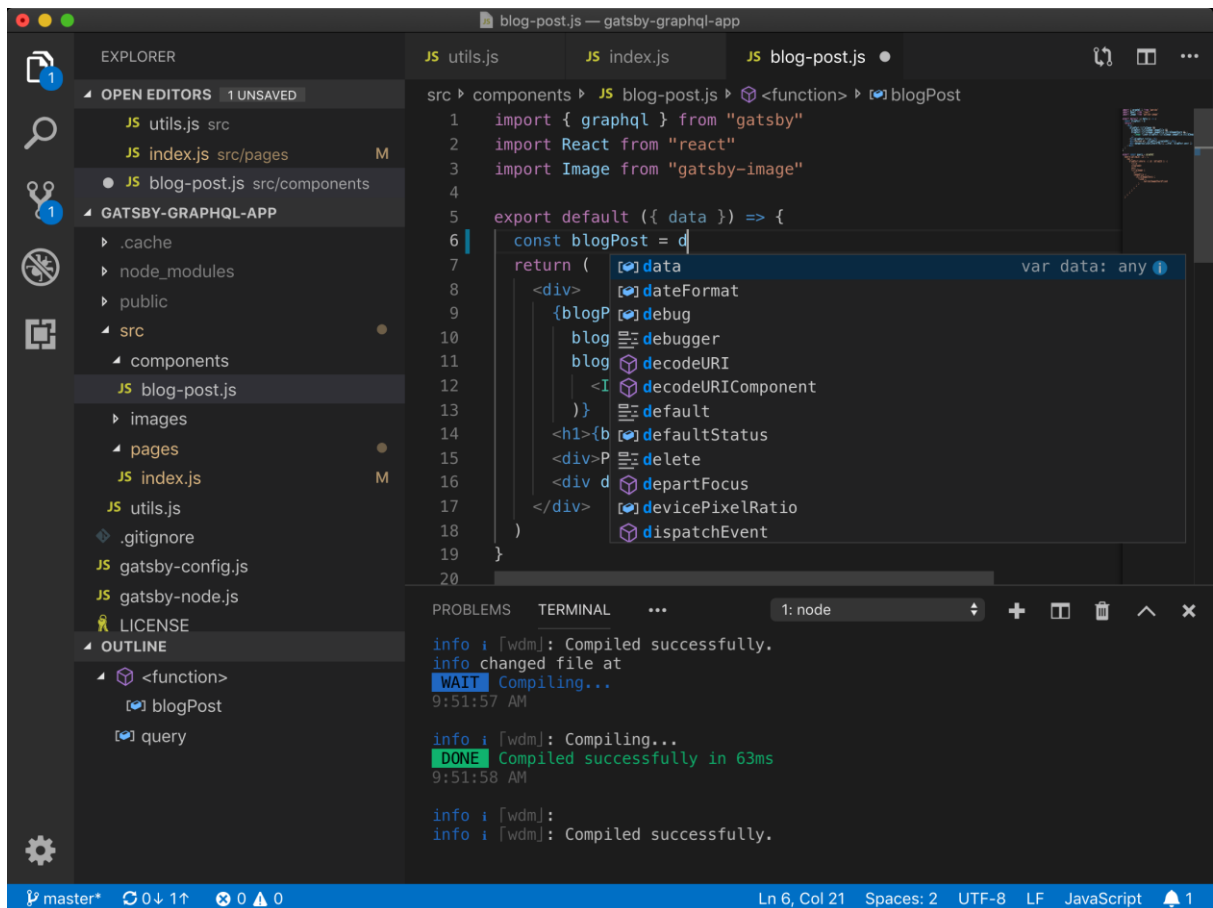
<sup>6</sup>Le **code source** est un texte qui représente les instructions d'un programme telles qu'elles ont été écrites dans un langage de programmation sous une forme humainement lisible par un programmeur. Le code source se matérialise souvent sous la forme d'un ensemble de fichiers textes.

<sup>7</sup>Un **algorithme** est une suite finie et non ambiguë d'opérations ou d'instructions permettant de résoudre une classe de problèmes.

C# CSS, HTML et JSON.

## II-A-4- L'INTERFACE GRAPHIQUE DE L'ENVIRONNEMENT VISUAL STUDIO [17].

L'interface est une zone réservée pour l'espace de travail.



**Figure II- 1** : l'interface graphique de l'environnement VISUAL STUDIO

## II-A-5- Avantages de VISUAL STUDIO

Visual Studio et IntelliSense. Parfaitement adapté pour le développement. NET, il possède toutes les fonctionnalités d'un éditeur de code ainsi que la possibilité de compiler, tester, lancer, publier et sauvegarder votre code dans un espace de stockage.

L'une des fonctionnalités les plus importantes de Visual Studio est IntelliSense : un assistant de complétion de code qui vous accompagne en listant chaque ligne de code que vous produisez. Il analyse les membres, variables, mots clés et toute information ayant un lien avec ce que vous êtes en train d'écrire. [8].



## II-B- METHODES

La conception d'une application met en œuvre un ensemble d'activités qui à partir d'une demande d'informatisation d'un processus permettent la conception, l'écriture et la mise au point d'une application jusqu'à sa livraison. C'est une opération qui renferme trois grandes phases :

- ☞ Phase d'analyse (fonctionnelle) ou de conception
- ☞ Phase de réalisation ou de programmation (écriture et tests des programmes)
- ☞ Phase de livraison

### II-B-2-1- PHASE D'ANALYSE (FONCTIONNELLE) OU DE CONCEPTION

Durant cette phase on effectue simultanément l'étude des données et l'étude des traitements à effectuer. C'est en général dans cette phase que s'appliquent les techniques de modélisation. Il en suit la description des bases de données éventuelles à créer, les programmes à écrire et la manière dont tout cela va être intégré. Il est également question de définir les hypothèses de programmation qui sous-tendront l'application à réaliser :

**H1** : l'accès à l'interface d'utilisation de l'application sera conditionné par la saisie d'un nom d'utilisateur et d'un mot de passe à inscrire dans l'interface d'accueil ;

**H2** : toute hauteur du véhicule doit être inférieure ou égale à **2,45m** pour les véhicules légers (VT) et 4m pour les poids lourds (VU) [11], [12] et [15]

**H3** : toute voie de véhicule doit être inférieure ou égale à **2m** pour les véhicules légers et **2,45m** pour les poids lourds. [11], [12] et [15]

**H4** : le rayon cinématique  $r_k$  d'un pneu est la distance entre son centre et la bande de roulement lorsqu'il est animé d'une vitesse angulaire  $\omega$  et d'une vitesse linéaire  $V$ . il doit être pris entre **0,25** et **0,39m** pour les véhicules légers et entre **0,39** et **0,57m** pour les poids lourds [11], [12] et [15]

**H5** : la masse d'un véhicule à vide doit être inférieure ou égale à **1,75 tonne** pour les véhicules légers et **17 tonnes** pour les poids lourds. [11], [12] et [15]

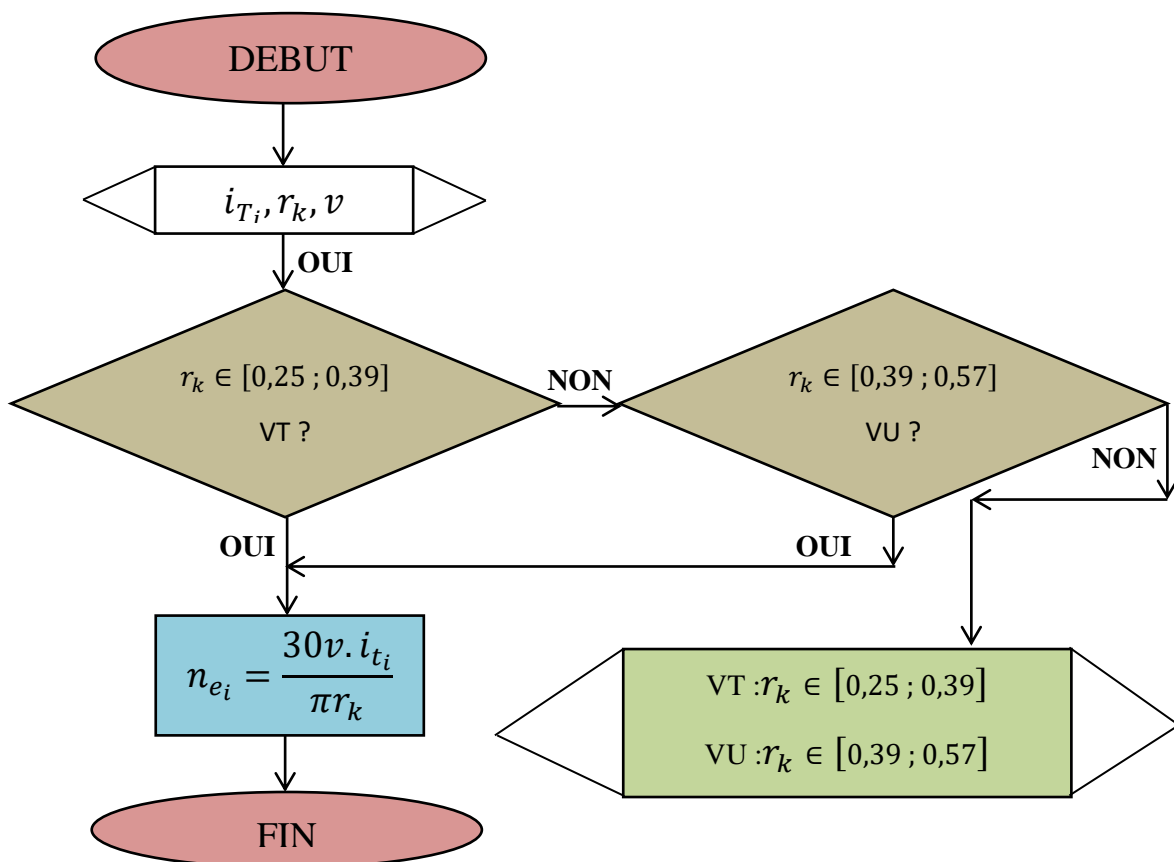
## II-B-2-2 PHASE DE REALISATION OU DE PROGRAMMATION (ECRITURE ET TESTS DES PROGRAMMES)

### Organigramme de programmation

L'algorithme est un processus systématique de résolution d'un problème permettant de décrire les étapes ou instruction vers le résultat ou réponse à ce problème.

Nous allons présenter l'algorithme d'exécution de chaque paramètre de traction selon la manière dont il doit être pris en compte par l'application

#### a-1 Algorithme de calcul du régime moteur $n_{ei}$ au rapport



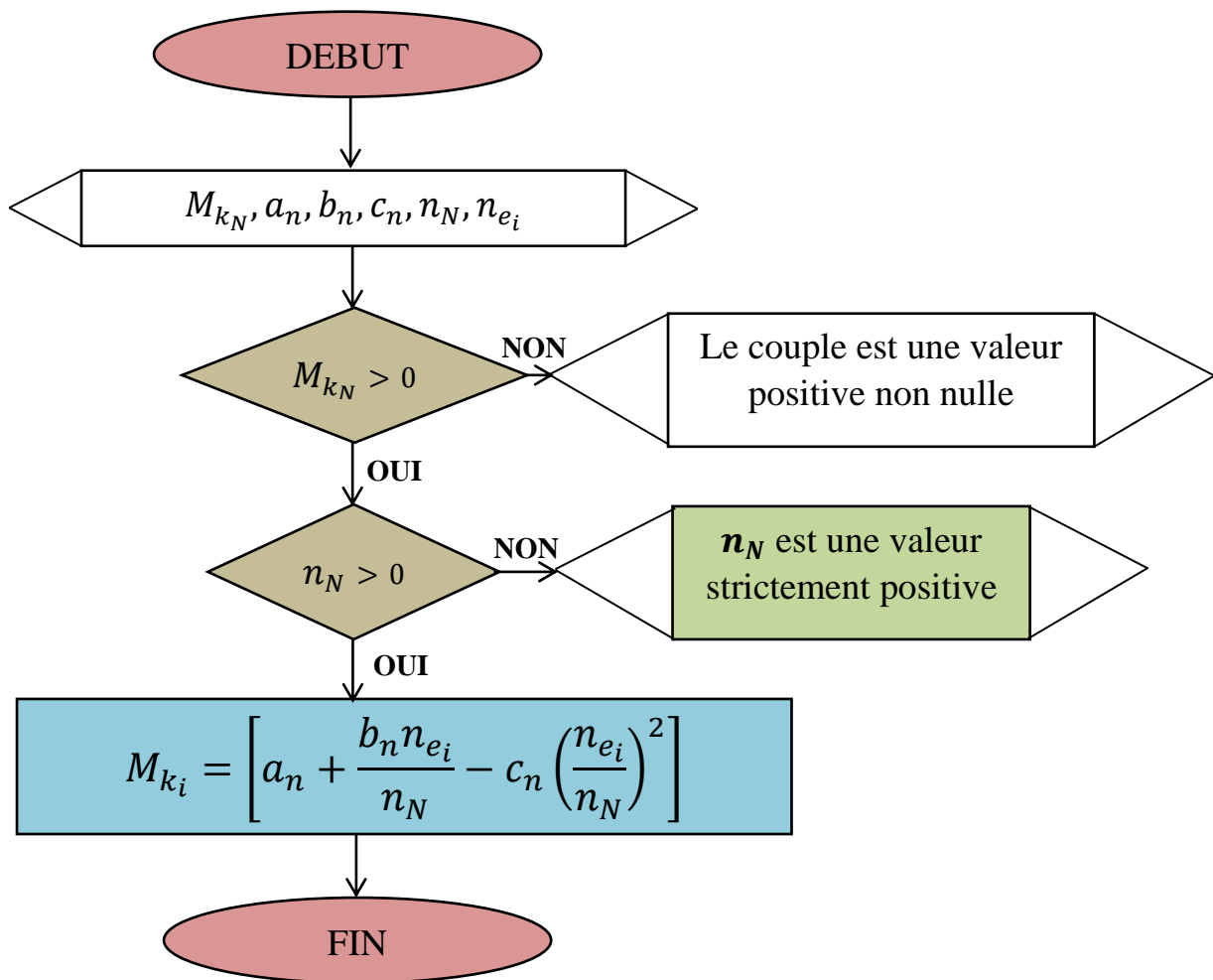
#### a-2 Algorithme de calcul du couple moteur $M_{ki}$ au rapport i

Le calcul du couple moteur se fait à l'aide d'une formule empirique [21] qui est fonction du régime moteur :

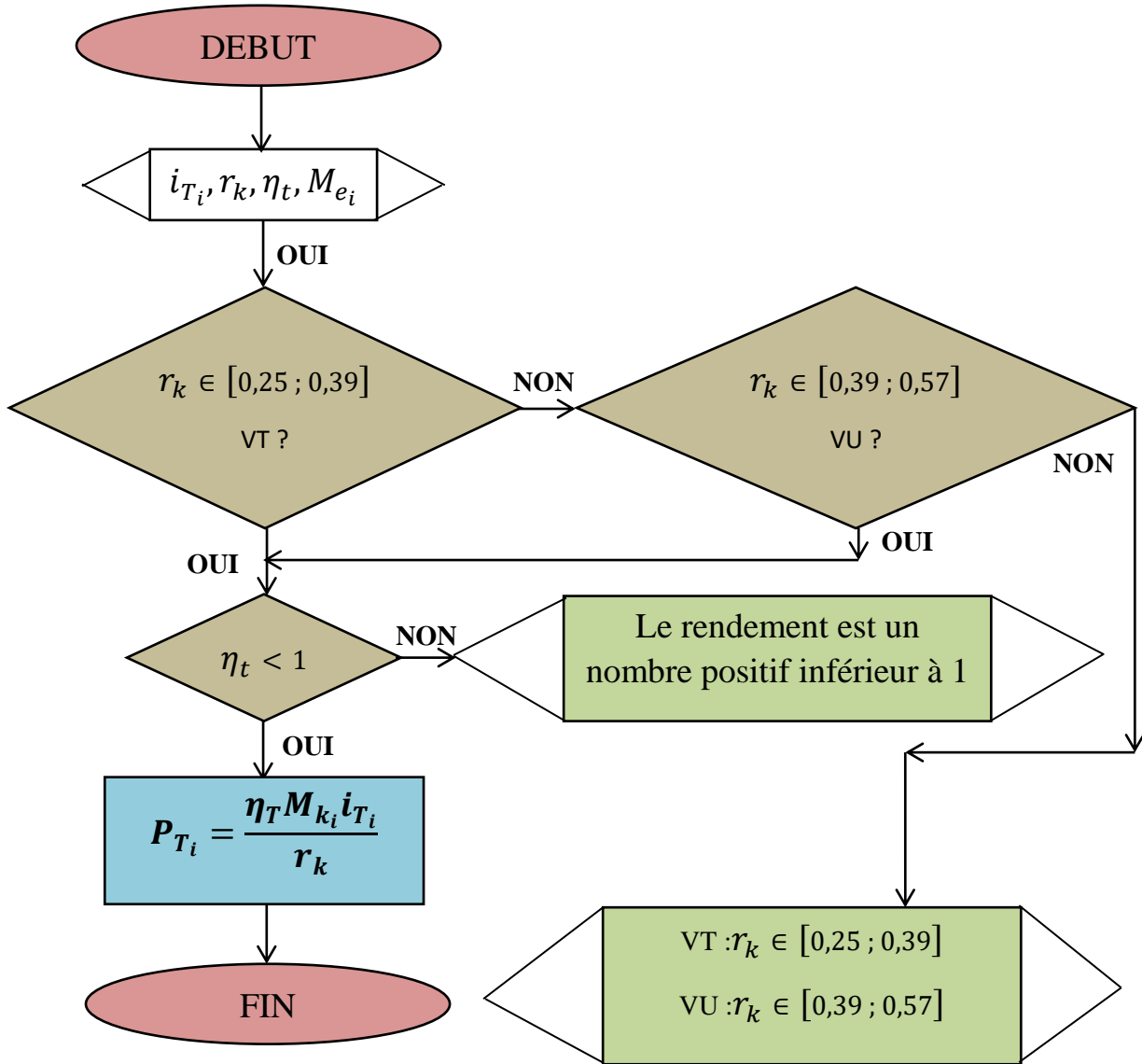
$$M_{k_i} = M_{k_N} \left[ a_n + \frac{b_n n_{ei}}{n_N} - c_n \left( \frac{n_{ei}}{n_N} \right)^2 \right]$$

Avec :  $\left\{ \begin{array}{l} M_{k_N} \text{ le couple nominal qui caractérise de couple du moteur lorsqu'il} \\ \text{atteint sa puissance maximale} \\ n_N \text{ le régime nominal qui caractérise le régime du moteur lorsqu'il} \\ \text{atteint sa puissance maximale} \\ a_n, b_n \text{ et } c_n \text{ les coefficients empiriques de calcul du couple moteur} \\ \text{et de la puissance motrice} \end{array} \right\}$

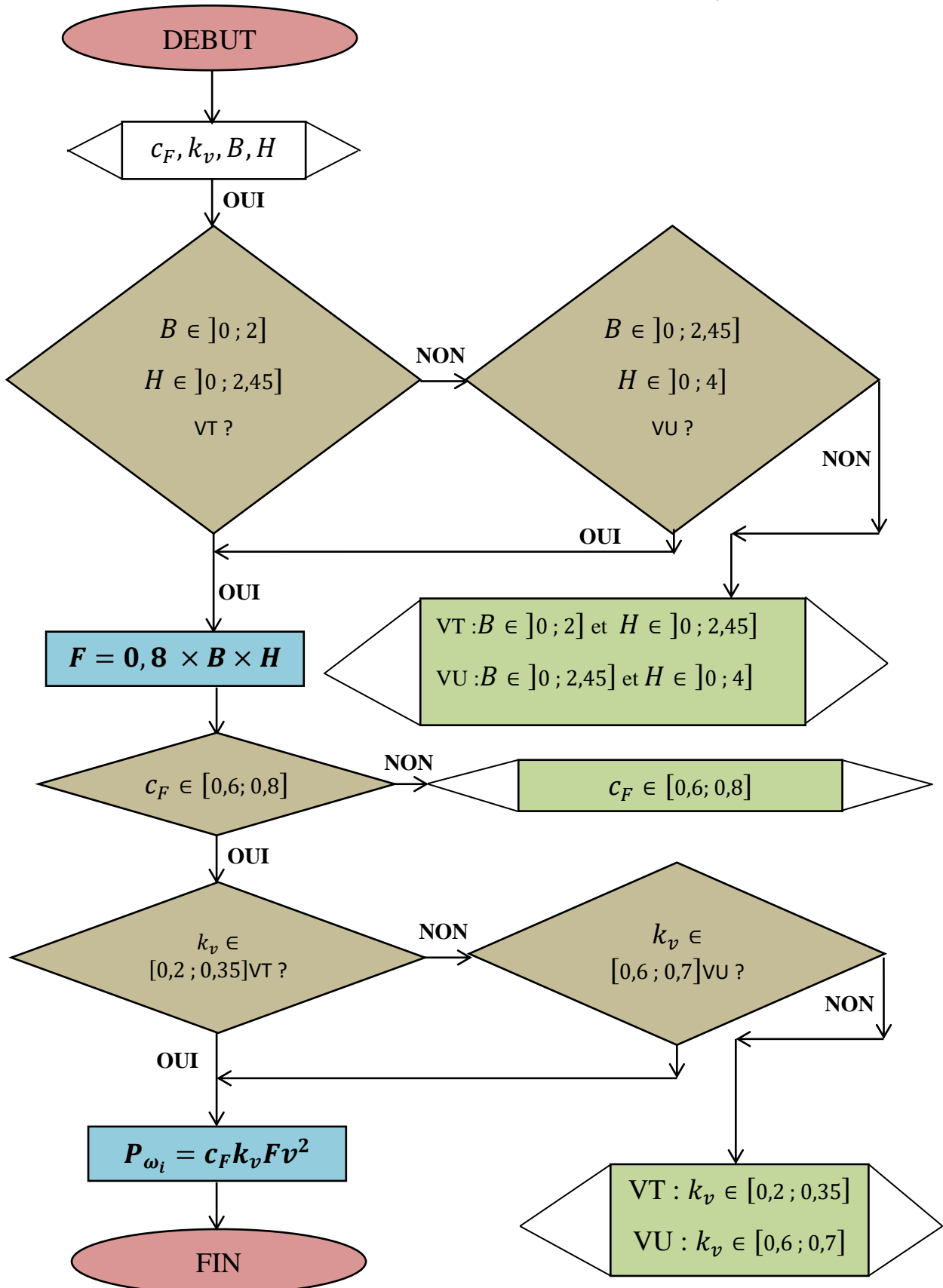
- $a_n = b_n = c_n = 1$  Pour moteurs à essence ;
- $a_n = 0,53; b_n = 1,56; c_n = 1,09$  Pour moteurs Diesel.



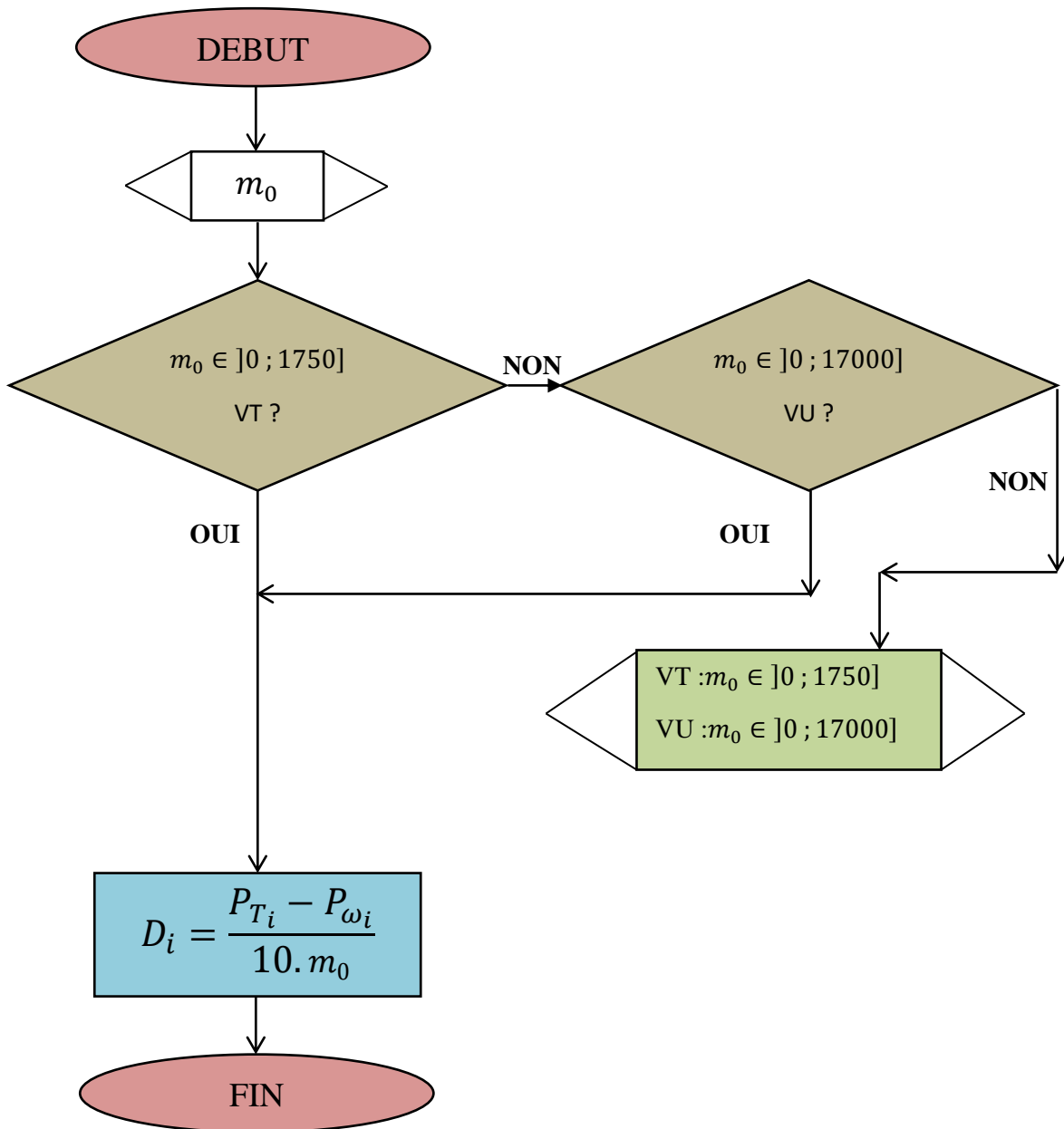
a-3 Algorithme de calcul de la traction tangentielle  $P_{T_i}$  au rapport  $i$



a-4 Algorithme de calcul de la force aérodynamique de résistance  $P_{\omega_i}$  au rapport  $i$



a-5 Algorithme de calcul du facteur dynamique  $D_i$  au rapport  $i$



Les fonctions de traçage seront programmées directement en code **VISUAL STUDIO** selon le modèle de programmation qui convient.

### II-B-2-3- Ecriture du code source

Le code source a vu le jour en 1954 portant le nom de **FORTRAN** (c'est un langage de programmation utilisé principalement pour le calcul Scientifique) et a pour Auteur **John Backus** et **IBM** ; la dernière version stable est celle appelée **Fortran 2008** ceci dit, le code source ici respecte cette norme qui est un ensemble de lignes de commande respectant l'organigramme ci-dessus afin de respecter et traiter étape par étape le programme, ce qui permettra d'obtenir les résultats escomptés. Il est exécuté dans la **fenêtre de commande (voir la figure ci-dessous)**.

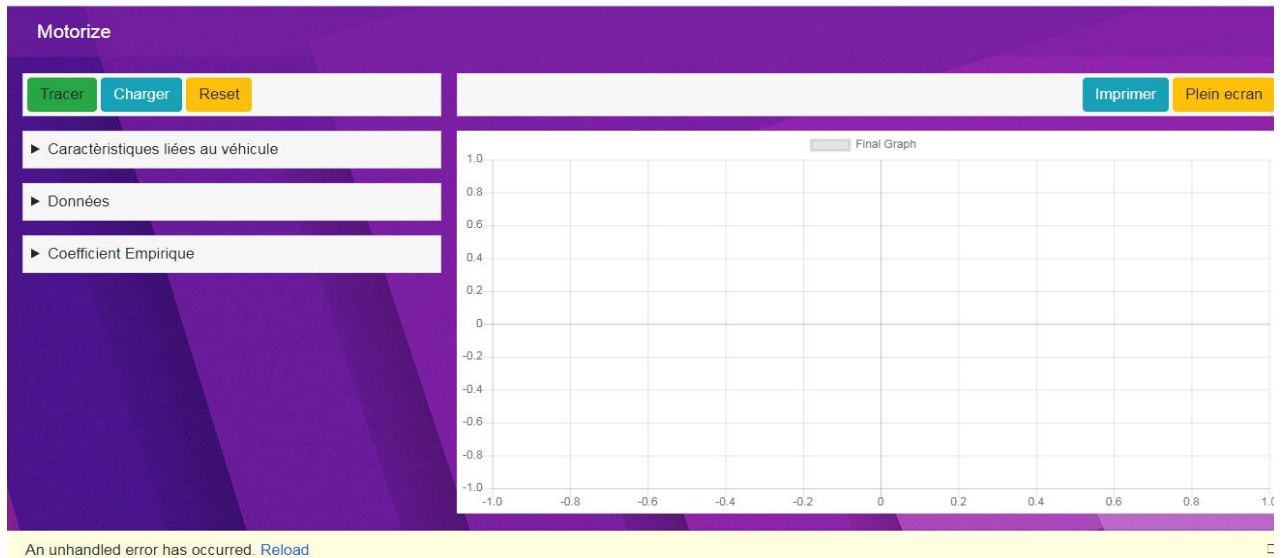
```
namespace Motorize {
    using System.Collections.Generic;
    using System;
    using Motorize.Models;
    public class Calculator {
        //Coefficient resistance roulement
        private const decimal f = 0.015M;
        //Coefficient de correction kp
        private const decimal kp = 0.89M;
        // Coefficient de resistance Maximal
        private const decimal Psi_max = 0.35M;
        //I think this will change (Rapport de boite de vitesse complementaire)
        private const decimal ibvc = 1;
        //I think this will change (Rapport superieur de boite de vitesse)
        private const decimal ibvs = 1;
        /// <summary>
        /// Generates Dataset for Nev versus Vmax graph.
        /// </summary>
        /// <param name="dataViewModel">Data viewmodel</param>
        /// <returns>The dataset</returns>
        public List<Tuple<decimal, decimal>> GenerateDatasetForNevVmax (
            DataViewModel dataViewModel,
            decimal[] velocities
        ) =>

        GetDatasetPuissanceEffectiveVelocite (
            CalculateGravitationalForce (dataViewModel.mo),
            CalculateCoefficientResistanceTotalDeplacement (
                GetCoefficientResistanceRoulement (),
                dataViewModel.alpha
            ),
            dataViewModel.Kv,
```

**Figure II-2** code source

### II-B-3 L'architecture

L'architecture est créée par le programmeur en exécutant l'instruction >> **guide** puis validé ; une fenêtre apparait proposant un guide de conception (**GUIDE Quick Start**). Dès lors le programmeur peut créer une interface en exploitant les différents boutons de commande disponible, parmi lesquelles (**voir figure ci-dessous**).

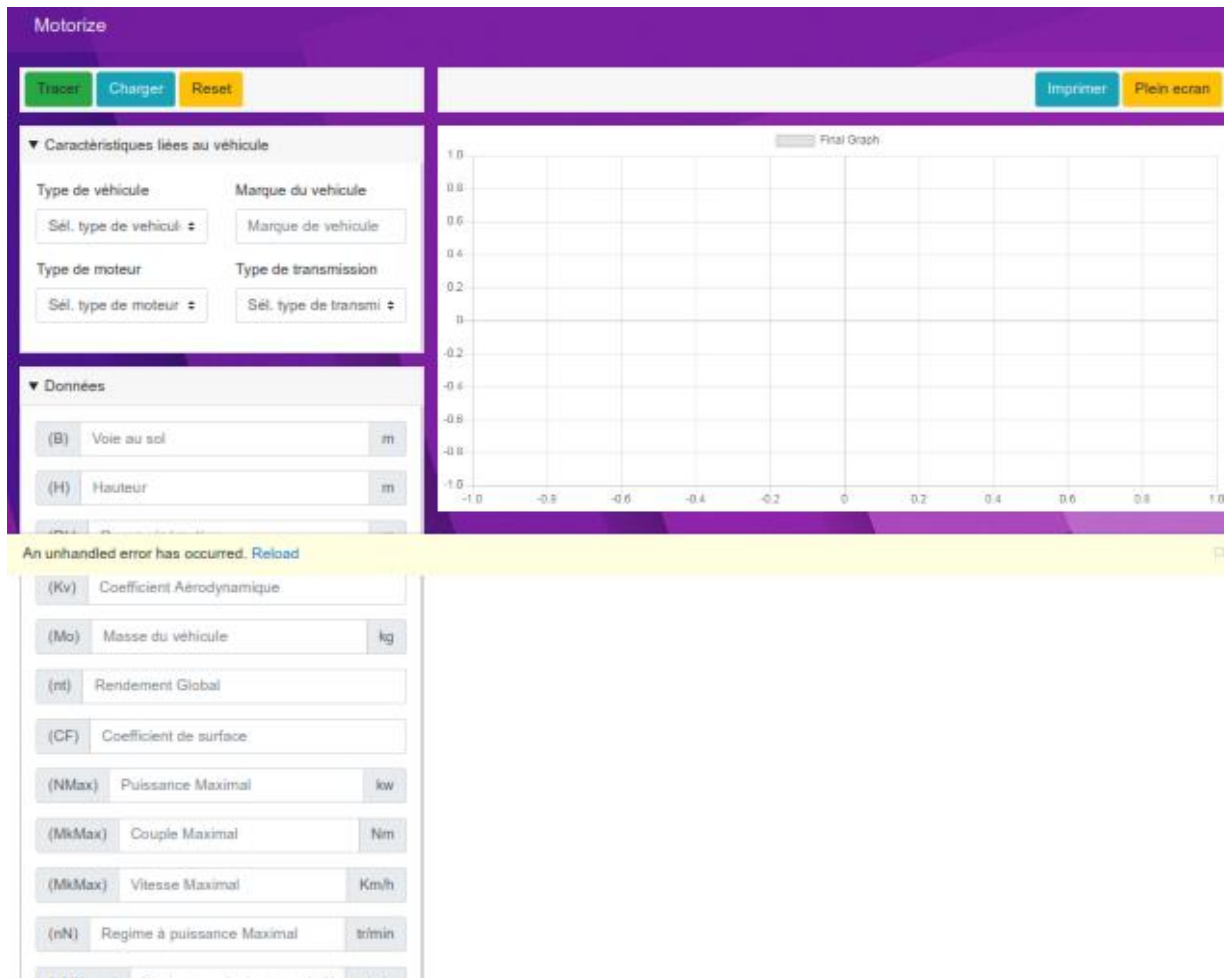


**Figure II-3 : Création d'une interface d'utilisation**

### II-B-4-Chargement du programme

Dans les différents champs d'exécution se trouvant sur l'interface d'utilisateur, il est nécessaire de charger le programme dans chaque case tout en respectant l'organisation de l'organigramme traité ci-dessus afin d'obtenir un programme concret et exécutable, tout ceci se réalise en exécutant des **callbacks** qui sont un moyen de charger un programme en utilisant des raccourcis vers ce dernier comme le présente la figure ci-dessous.





**Figure II-4** Chargement d'un programme dans une interface

### **II-B-5-Compilation**

Compiler un programme sous VISUAL STUDIO est une méthode permettant de rendre ce dernier exécutable à partir d'une application Web. [10]

#### **Méthodes à suivre**

- On utilise une application Web qui fait appel à des fichiers binaires dans lesquels se trouve un code source fait en langage Csharp. Cette technologie s'appelle Web assembly.
- La seule partie compilée est logique qui se trouve dans ces fichiers binaires. Une fois compilé, lors de l'exécution de l'application Web pendant l'interprétation des différentes commandes si le besoin est la logique du code binaire est invoqué.
- Ce code binaire est compilé grâce au CLR (Common langage runtime) du framework dotnet core qui est l'outil de développement qui permet de créer ces fichiers binaires pour le Web.

**NB** : Cette technologie de développement s'appelle blazor web assembly

### **II-B-6-PHASE DE LIVRAISON**

Dans la phase de livraison, on met en œuvre le guide d'utilisation de l'application qui permet à l'utilisateur de comprendre la nécessité d'utiliser **l'application** ainsi que le processus d'installation et de maintenance.

La livraison s'opère en fournissant ce lien : <http://demos.codeplement.com/> et aussi à l'aide **du dossier source** qui seront mise en cache dans un support (**Téléphone portable et dans un ordinateur**) du programme compilé, afin de le sécuriser pour une utilisation en temps réel ou avenir ; ce support est aussi nécessaire pour la maintenance du fichier exécutable.

**NB** : nous rappelons que notre application sera utilisée dans les ordinateurs, ordinateurs portables, téléphones Android, et smartphones.

### **CONCLUSION**

Dans ce chapitre, nous avons décrit comment concevoir et réaliser une application permettant de tracer la courbe caractéristique de traction qui donne le facteur dynamique (**D**) en fonction de la vitesse de déplacement (**V**) du véhicule ; compte tenu de la voie au sol (**B**), de la hauteur du véhicule (**H**), du rayon cinématique des roues (**r<sub>K</sub>**), du coefficient aérodynamique (**K<sub>V</sub>**), de la masse du véhicule à vide (**m<sub>0</sub>**), du rendement global (**η<sub>T</sub>**), du coefficient de surface frontale (**C<sub>F</sub>**), du couple nominal (**M<sub>kN</sub>**), du régime nominal (**n<sub>N</sub>**) et des coefficients empiriques qui tiennent compte du mode de carburation des moteurs. Nous avons étudié ce que c'est que **VISUAL STUDIO** et élaboré trois grandes phases de conception et de réalisation de l'application notamment : la phase d'analyse du projet de conception, la phase de réalisation ou de programmation et enfin la phase de livraison.

Toutes ces phases étant minutieusement étudiées et respectées de façon à obtenir une application fonctionnelle, il nous incombe ici de présenter l'application dans lequel nous ressortons le mode d'exploitation ainsi que ses différentes fonctions.

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

### INTRODUCTION

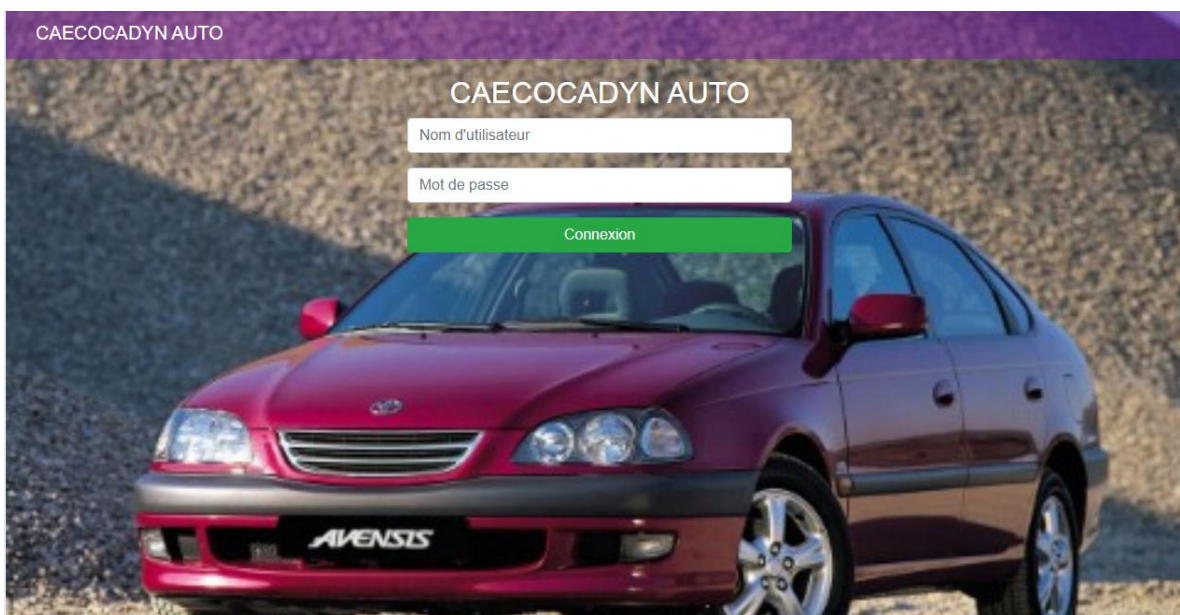
Suite aux travaux effectués dans le chapitre précédent, nous avons obtenu le produit fini numérique permettant de juger rapidement les propriétés de traction et de vitesse des véhicules automobiles. L'application est écrite en langage de VISUAL STUDIO, étant une application WEB, elle se caractérise par un lien obtenu en ligne. Pour l'utiliser, il faut avoir un téléphone (smartphone et tablette) et un ordinateur muni d'une connexion internet, ce qui permet de faire la recherche et cliquer sur le lien pour obtenir l'interface d'accueil.

Ce chapitre rend compte des différentes fonctions élémentaires ; il s'agit en effet d'expliquer le mode opératoire d'utilisation de l'application dans tous ses aspects, de façon à permettre à l'utilisateur d'en jouir pleinement et en toute assurance.

Pour cela, nous allons présenter toutes les fonctions disponibles, ensuite son utilisation à travers un cas pratique de construction et d'interprétation objective de la caractéristique dynamique d'un véhicule et enfin nous élaborerons une politique de maintenance ainsi que le devis de réalisation de cette application.

### III-1) PRESENTATION GENERALE DE L'APPLICATION

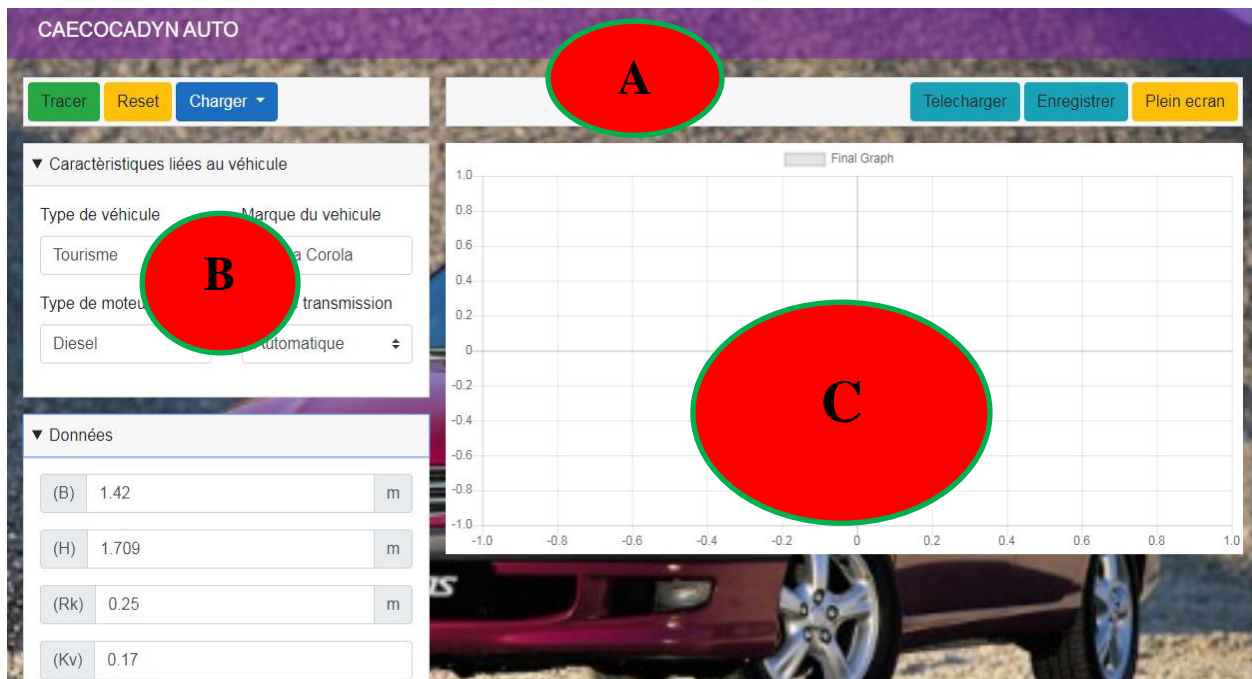
#### III-1-1) Présentation de l'interface d'accueil



**Figure III-1 : interface d'accueil de l'application CAECOCADYN AUTO**

Après l'obtention du lien, il suffit de doubler cliquer sur lien et entrer les informations d'enregistrement demandées, puis cliquer sur **Connexion** pour continuer.

### III-1-2) Présentation de l'interface d'utilisation



**Figure III-2 :** Interface d'utilisation de l'application CAECOCADYN AUTO

**A :** la barre d'outils qui contient les différentes commandes spéciales de tracé du diagramme de gestion des résultats et d'affichage de l'utilitaire d'aide à l'utilisation de l'application.

**B :** la zone de saisie des paramètres d'entrée qui permet à l'utilisateur de saisir les caractéristiques du véhicule concerné

**C :** l'interface graphique qui constitue la zone sur laquelle construite la caractéristique dynamique du véhicule concerné.

**Tableau 11 :** fonctions de la barre d'outils de l'application CAECOCADYN AUTO

N°	Nom de la commande	Actions
1	Plein écran	Sert d'agrandir l'image sur l'écran
2	Reset	Permet de reprendre l'opération en cas de mauvaise manipulation
3	Charger	Il permet d'introduire et de transmettre données à la mémoire de la machine
4	Tracer	Son rôle est de tracer les courbes après notation des valeurs
5	Imprimer	Permet de lancer l'impression en cas de la demande d'utilisateur

### III-1-3) Mode opératoire d'utilisation de l'application

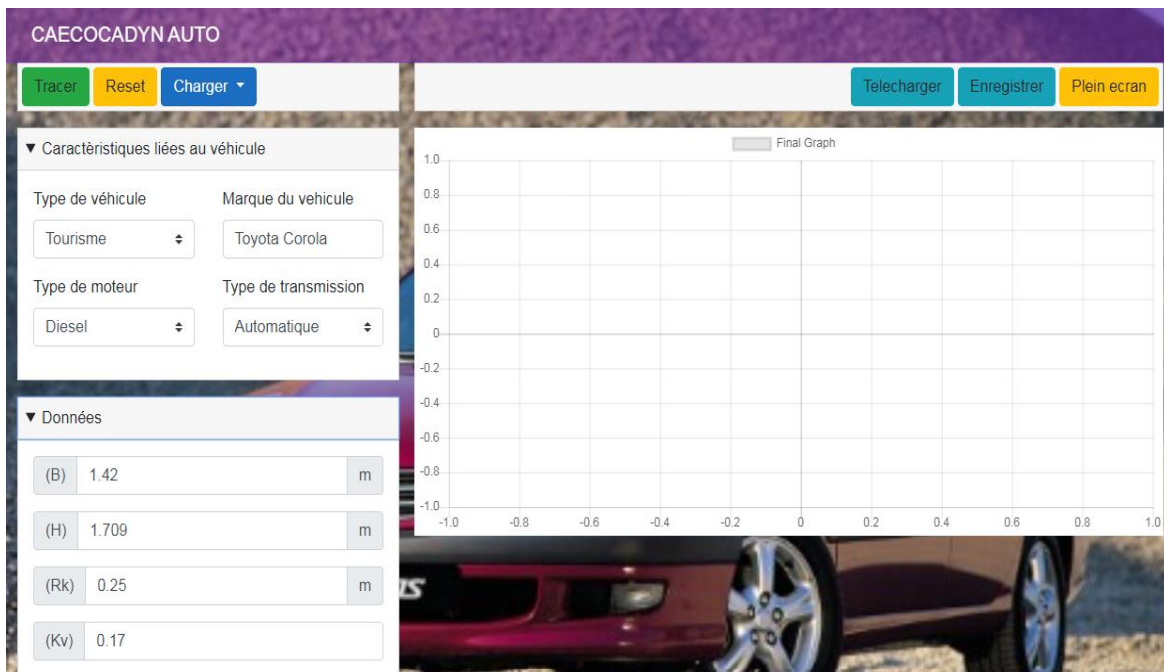
Prenons le véhicule du chapitre 1 de marque **TOYOTA de type AVENSIS 2.0 TD4D LINEA SOL 4P**, avec une **transmission mécanique**. Ayant les caractéristiques suivantes

**Tableau 12** : caractéristiques du prototype étudié

Paramètres	Valeurs
Masse du véhicule à vide	1240 Kg
Rayon cinématique	$r_k = 0,25 \text{ m}$
Coefficient aérodynamique	$k_v = 0,2$
Coefficient de correction de la surface frontale	$c_F = 0,8$
Voie	$B = 1,42 \text{ m}$
Hauteur	$H = 1,709 \text{ m}$
Puissance Maximal	$Ne_{max} = 94,2 \text{ kw} = 128 \text{ ch}$
Le couple maximal	$M_{kmax} = 178 \text{ N.m}$
La vitesse maximale	$V_{max} = 208 \text{ km/h}$
Le régime à la puissance Max	$n_N = 5400 \text{ tr/min}$
Le régime au couple Max	$n_{Mkmax} = 4400 \text{ tr/min}$
L'angle d'inclinaison ou la pente	$\alpha = 20^\circ$
Rendement global de la transmission	$\eta_T = 0,96$
Coefficient de résistance Max	$\psi_{max} = 0,43$
Coefficients empiriques du couple moteur	$a_n = 0,53; b_n = 1,56; c_n = 1,09$
Couple nominal	$M_{kN} = 166,6 \text{ N.m}$
Régime nominal	$n_N = 5750 \text{ tr/min}$
Rapports de la BV	$i_{BV_1} = 2,68$ $i_{BV_2} = 2,2$ $i_{BV_3} = 1,8$ $i_{BV_4} = 1,48$ $i_{BV_5} = 1,2$ $i_{BV_6} = 1$
Rapport du pont	$i_p = 2,61$
Rapports globaux de la transmission	$i_{T_1} = 6,994$ $i_{T_2} = 5,742$ $i_{T_3} = 4,698$ $i_{T_4} = 3,868$ $i_{T_5} = 3,132$ $i_{T_6} = 2,61$

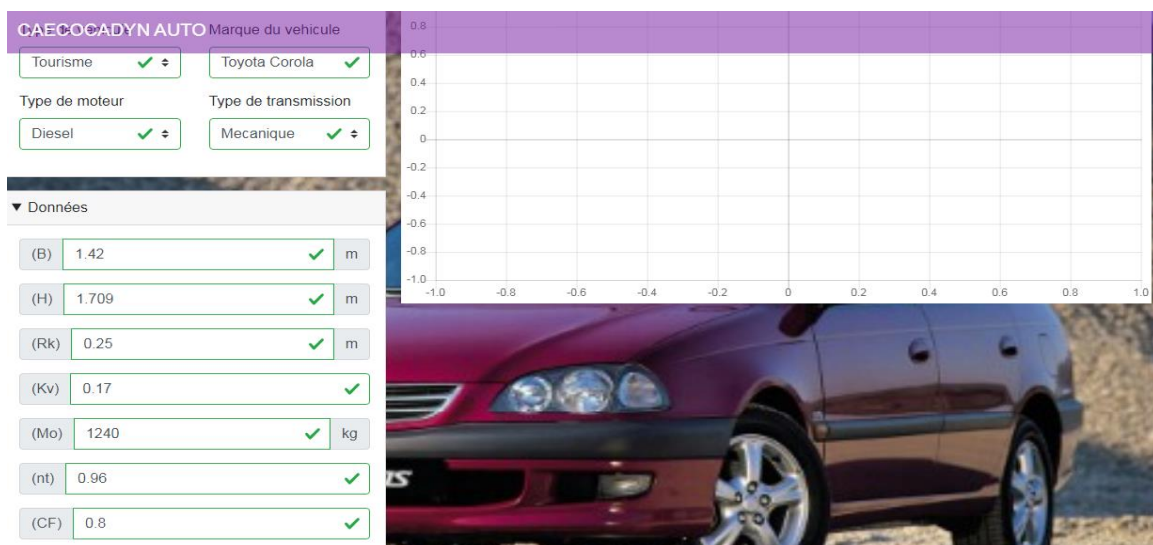


**1<sup>ère</sup> étape :** connaissant déjà les caractéristiques prévisionnelles du véhicule, nous pouvons à l'aide de l'application CAECOCADYN AUTO, tracer rapidement ses courbes caractéristiques dynamique qui nous permettra ainsi d'apprécier rationnellement ses propriétés de traction. Après avoir ouvert l'application et entré ses identifiants, il suffit de saisir tous ces paramètres aux endroits indiqués comme suit.



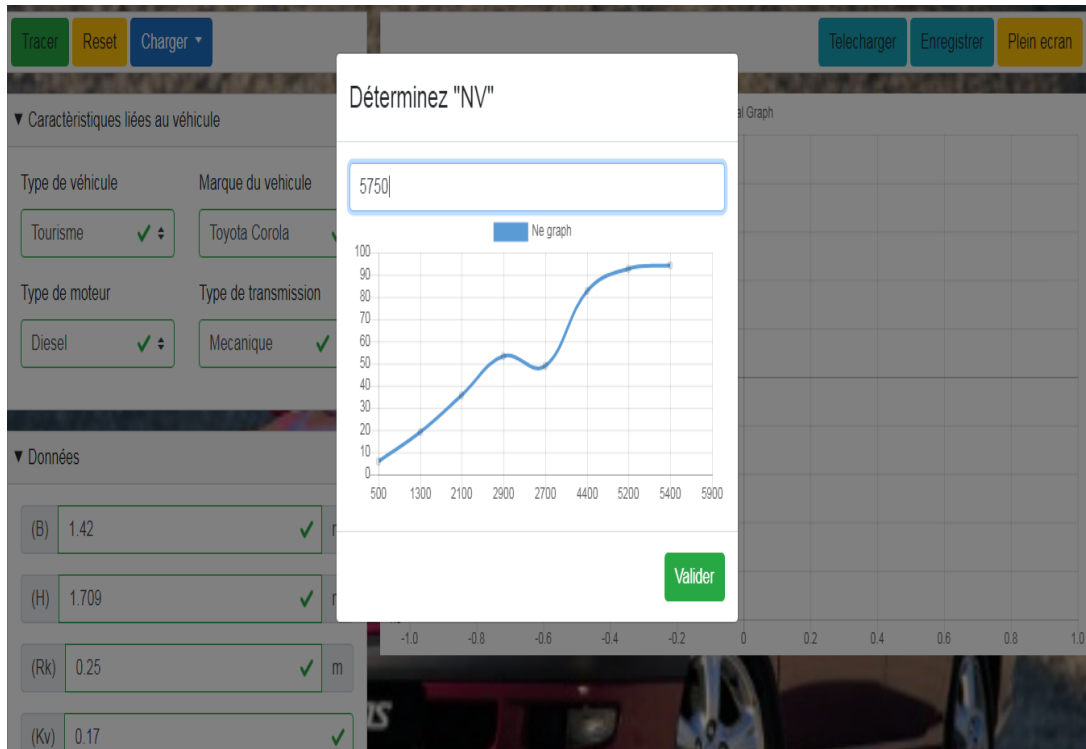
**Figure III-3 :** saisie des paramètres de TOYOTA de type AVENSIS 2.0 TD4D LINEA SOL 4P

**2<sup>ème</sup> étape :** cliquer sur l'onglet « tracer » et patienter quelques secondes



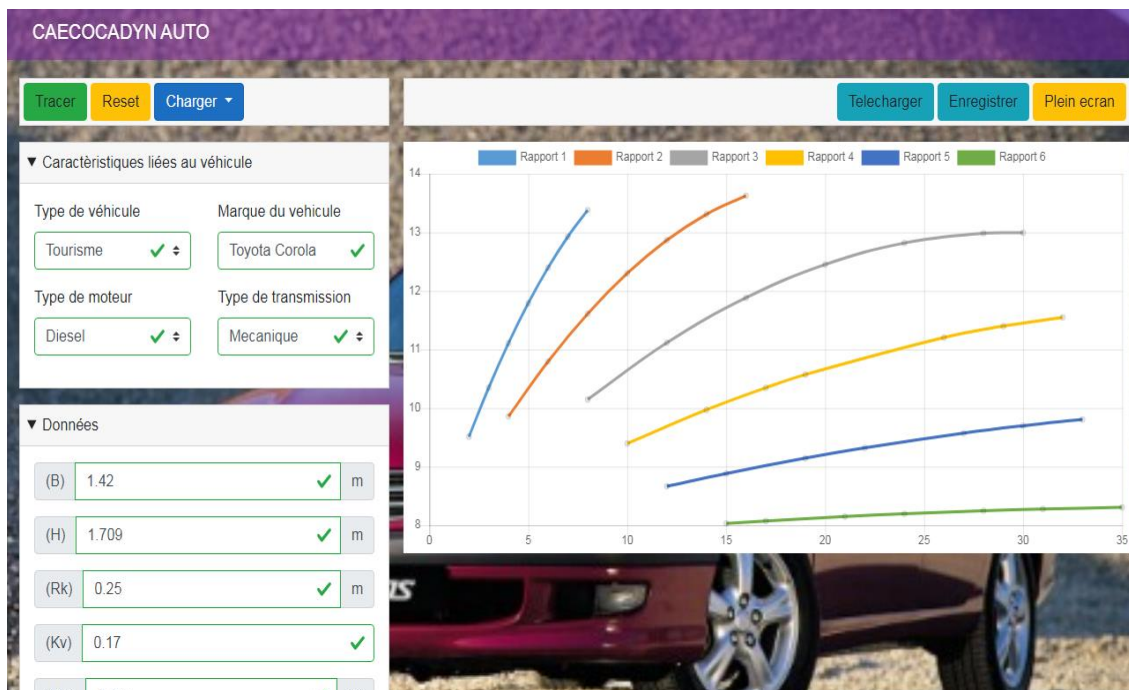
**Figure III-4 :** sélection des paramètres

**3<sup>ème</sup> étape :** Insérez le régime nominal et cliquez sur valider puis la caractéristique dynamique du véhicule étudié s'affiche sur l'interface graphique.



**Figure III-5 :** saisie du régime nominale

**4<sup>ème</sup> étape :** L'observation et l'analyse des diagrammes comme au pratique du chapitre 1.



**Figure III-5 :** affichage des courbes  $D=f(v)$  pour chaque rapport

### Légende :

**Rapport 1** : courbe du facteur dynamique au **1<sup>er</sup> rapport**

**Rapport 2** : courbe du facteur dynamique au **2<sup>ème</sup> rapport**

**Rapport 3** : courbe du facteur dynamique au **3<sup>ème</sup> rapport**

**Rapport 4** : courbe du facteur dynamique au **4<sup>ème</sup> rapport**

**Rapport 5** : courbe du facteur dynamique au **5<sup>ème</sup> rapport**

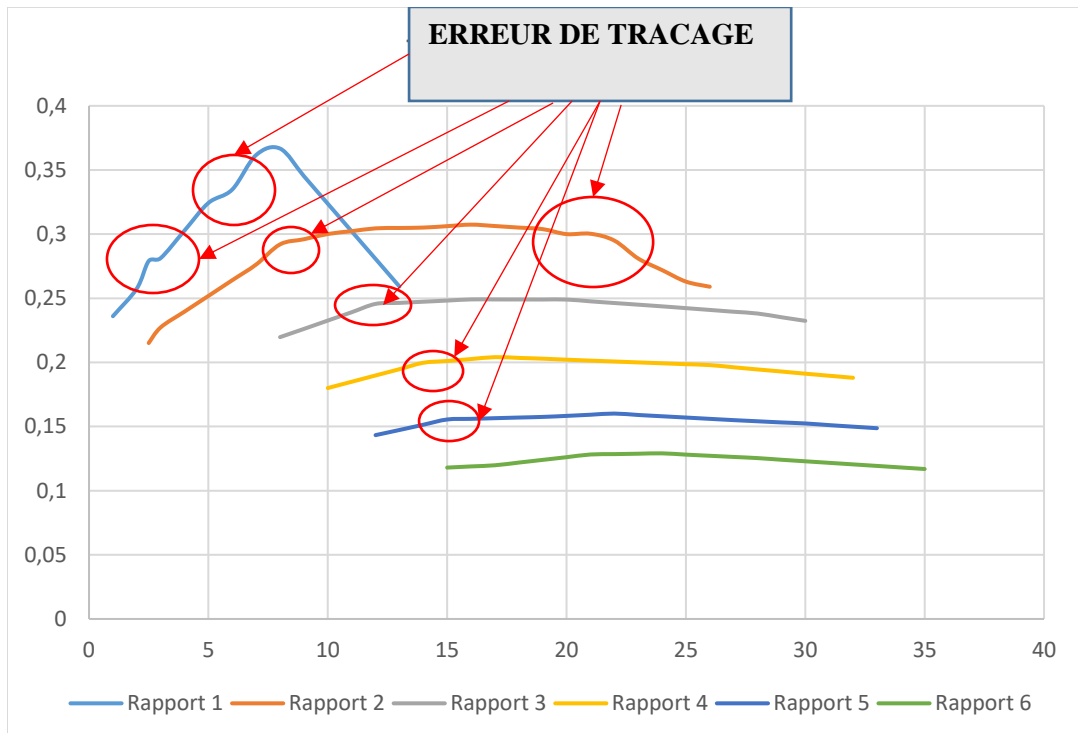
**Rapport 6** : courbe du facteur dynamique au **6<sup>ème</sup> rapport**

### III-2) COMPARAISON ENTRE LA METHODE NUMERIQUE DE CONSTRUCTION DE LA COURBE CARACTERISTIQUE DYNAMIQUE ET LA METHODE MANUELLE

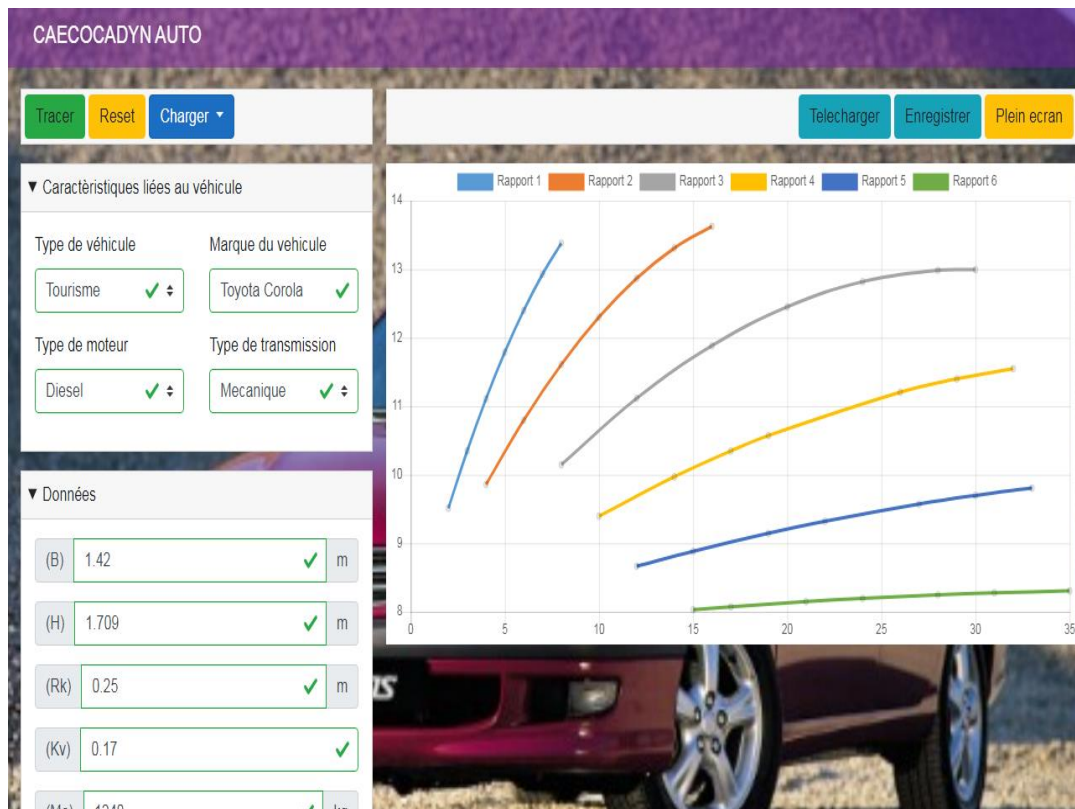
Le modèle brut de Jo Yung WONG pour la construction de la caractéristique dynamique est une méthode basée sur des calculs laborieux tels qu'élucidés au chapitre III. En appliquant ces calculs sur un modèle de véhicule automobile (**de marque TOYOTA de type AVENSIS 2.0 TD4D LINEA SOL 4P**), nous avons obtenu manuellement la caractéristique dynamique présentée à la figure ci-dessous ; cela nous a un intervalle horaire variant de **dix (10) et douze (12) heures** sans interruption comptées.

En revanche, la méthode numérique appliquée pour ressortir la courbe caractéristique dynamique du même véhicule en utilisant l'application **CAECOCADYN AUTO** nous a permis d'obtenir les mêmes résultats mais en temps relativement réduit (**05 à 10 minutes**), bien sûr en insérant simplement les paramètres de traction tels que : la voie au sol (**B**), la hauteur du véhicule (**H**), le rayon cinématique des roues (**r<sub>k</sub>**), le coefficient aérodynamique correspondant (**K<sub>v</sub>**), la masse du véhicule à vide (**m<sub>0</sub>**), le rendement global de la transmission (**η<sub>T</sub>**), le coefficient de surface frontale (**C<sub>F</sub>**), le couple nominal (**M<sub>kN</sub>**), le régime nominal (**n<sub>N</sub>**) Puissance Maximal (**N<sub>e<sub>max</sub></sub>**), le couple maximal (**M<sub>kmax</sub>**), la vitesse maximale (**V<sub>max</sub>**), le régime à la puissance Max (**n<sub>N</sub>**), le régime au couple Max (**n<sub>Mk<sub>max</sub></sub>**), l'angle d'inclinaison ou la pente (**α**) Coefficient de résistance Max (**ψ<sub>max</sub>**) et des coefficients empiriques qui tiennent compte du mode de carburation du moteur équipant le véhicule.





**Figure III-6 :** caractéristique dynamique du véhicule étudié TOYOTA AVENSIS 2.0 TD4D LINEA SOL 4P



**Figure III-7 :** affichage des courbes  $D= f(v)$  pour chaque rapport

Pour ce fait nous pouvons ressortir quelques avantages donner par l'utilisation de l'application **CAECOCADYN AUTO** par rapport au modèle de **Jo Yung WONG** :

- ☞ **Gain de temps**, qui permet aux structures d'adaptation et de conception des véhicules de réaliser un gain économique considérable ;
- ☞ **Grande aisance d'analyse** : par de simples clics et saisies d'information à l'ordinateur ;
- ☞ **Meilleure précision dans les calculs et dans le traçage** : considérant la numérisation des calculs bruts qui peuvent être remplis d'erreurs pouvant entraîner les mauvais résultats d'analyse ;

➤ **EXPLOITATION DE L'APPLICATION « CAECOCADYN AUTO »**

L'application CAECOCADYN AUTO est un outil pratique d'analyse des performances tractives de tout véhicule automobile qu'il soit à moteur essence ou Diesel, de tourisme ou utilitaire, et quelque soit le type de transmission dont il est équipé. Ses axes d'application sont divers :

- ▶ Il permet d'analyser les propriétés de traction d'un véhicule en cours de conception et de réalisation ;
- ▶ Il permet d'analyser les propriétés de traction et de vitesse d'un véhicule à la fin de sa conception ;
- ▶ Il assiste le mécanicien dans le choix d'un nouveau moteur ou de nouveaux pneus pour un véhicule ;
- ▶ Il assiste le mécanicien lors de l'adaptation d'une nouvelle transmission sur un véhicule ;
- ▶ Il assiste le mécanicien en essai après la maintenance d'un moteur.

De ce fait, il serait souhaitable d'en équiper désormais certaines **structures automobilistes, notamment les établissements de visite technique, les entreprises de maintenance de véhicules, les maisons de construction des automobiles, ...**

### **III-4) POLITIQUE DE MAINTENANCE DE L'APPLICATION**

D'après la **NORME AFNOR X60-010**, la maintenance est l'ensemble des opérations permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou à mesure d'assurer un service déterminé. On en distingue trois types :

- La maintenance préventive systématique pratiquée avant défaillance suivant un échéancier ;
- La maintenance préventive conditionnelle pratiquée avant défaillance suivant l'état de dégradation d'un ou de plusieurs éléments ;

- La maintenance corrective ou curative pratiquée après défaillance pour remise en état. Quant à notre application **CAECOCADYN AUTO**, la maintenance à pratiquer est essentiellement préventive systématique. D'où les opérations à mener sont les suivantes :

- L'application est obtenue en lignes sous forme de lien afin qu'il ne soit pas vulnérable aux virus ;
- Veillez à son actualisation par mise à jour dès la publication de la nouvelle version ;
- Veillez à refermer après chaque utilisation.

### **III-5) DEVIS ESTIMATIF DE REALISATION DE L'APPLICATION**

La réalisation de tout projet d'étude nécessite un certain investissement, sur le plan financier aussi sur le plan humain. Raison pour laquelle nous allons détailler nos dépenses qui ont conduit à l'obtention de ladite application :

**Tableau 13 :** Devis estimatif de réalisation de l'application CAECOCADYN AUTO

N°	Référence	Prix unitaire (Franc CFA)	Quantité	Prix total (Franc CFA)
1	Ordinateur	300 000	1	300 000
2	Téléchargement du logiciel de programmation	30 000	1	30 000
3	Main d'œuvre	3000	55 heures	165 000
4	Connexion internet	500	100	50 000
5	Disque dur	50 000	1	50 000
6	Autres (transport appels téléphoniques, ...)	/	/	85 000
<b>Total des dépenses</b>		<b>680 000f CFA</b>		

### **CONCLUSION**

**CAECOCADYN AUTO** est une application d'appréciation des propriétés de traction des véhicules automobiles par interprétation de la caractéristique dynamique correspondante. Ce chapitre renseigne sur le mode d'utilisation et sur les mesures de prévention à accepter pour garantir sa fiabilité et sa disponibilité. Par ailleurs, après établissement d'un bilan de dépenses qui ont conduit à sa mise en œuvre, nous l'avons évalué à une somme de **680 000 francs CFA**, étant donné que ce travail n'était pas à but lucratif.

## CONCLUSION GENERALE

Arrivé au terme des réflexions menées dans le cadre de notre mémoire de fin d'étude à L'ENSET D'EBOLOWA dont le thème est : **CONCEPTION ET REALISATION D'UNE APPLICATION DE CALCUL DES ELEMENTS DES COURBES CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES DES AUTOMOBILES CORRELATIVE AUX PROPRIETES DE TRACTION**. Il est impossible de marquer le degré de pertinence marqué par la numérisation des méthodes d'analyse des performances tractives des véhicules automobiles. Les différentes raisons de ce thème ont été multiples, parmi lesquelles :

- ❖ La difficulté d'obtention d'une courbe caractéristique dynamique pour l'appréciation des propriétés de traction d'un véhicule en cours de conception ou en fin de conception ;
- ❖ La difficulté d'appréciation des performances de traction et de vitesse d'un véhicule par rapport à un autre ;
- ❖ Les difficultés de prise de décision lors du choix d'un nouveau moteur, des nouveaux pneus ou d'une nouvelle transmission pour un véhicule déjà en circulation.

Pour mener à bien notre travail, dans un premier temps nous avons détaillé l'ensemble des méthodes existantes d'appréciation des propriétés de traction et de vitesse des automobiles. Ensuite nous avons pris un exemple avec un prototype pour élucider. Puis nous avons élaboré en langage **VISUAL STUDIO** une application de construction de la **courbe caractéristique dynamique**, outil pratique d'analyse desdites propriétés, ce qui fut appuyé par une politique de maintenance et un devis estimatif présentant le coût total de sa réalisation.

Toutefois, nous ne saurions prétendre que la réalisation de cette application a été aisée compte tenu des multiples problèmes rencontrés au cours de son exécution à savoir : **l'inaccessibilité des programmes déjà existant à cet effet, la complexité du choix de l'algorithme adéquat pour l'application en projet**. Malgré toutes ces difficultés, nous nous estimons heureux d'avoir atteint les objectifs fixés au préalable.

Néanmoins, il n'est pas exclu que nous ayons quelques détails que ce soit dans l'étude conceptuelle que dans la réalisation de l'application ; nous souhaiterions donc que la notion de complémentarité dans la recherche scientifique se manifeste dans le futur par la mise en

évidence d'une part une caractéristique **universelle** qui permettrait de déterminer, par rapport à la caractéristique initiale, la vitesse du véhicule et le rapport de la boîte de vitesses correspondant à chaque niveau d'obstacle de la route ; d'autre part, il serait judicieux de mettre sur pied une application d'appréciation des propriétés de freinage qui permettrait de prévoir le comportement du véhicule lors des freinages dans différentes situations de conduite. De ce fait, nous restons ouverts à tous ceux qui voudront bien apporter leur contribution à ces travaux.

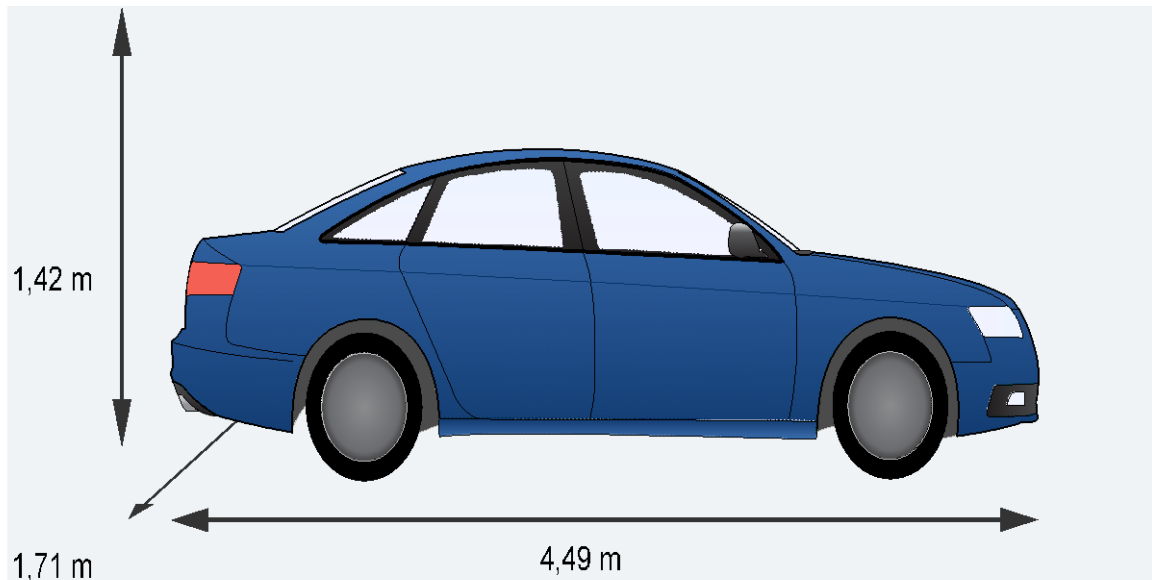
## Références bibliographiques

- [1] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Conception\\_d'une\\_automobile](http://fr.wikipedia.org/wiki/Conception_d'une_automobile) (septembre 2019)
- [2] <http://www.industrie-techno.com/eolab-secrets-de-conception-d-une-voiture-ultra-basse-consommation-signee-renault.33367> (février 2020)
- [3] <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=11&cad=rja&uact=8&ved=0CFIQFjAK&url=http%3A%2F%2Fwww.latribuneauto.com%2Freportages-65-1692-decouvrez-en-images-les-grandes-etapes-de-la-conception-d-une-voiture.html&ei=cWgeVezVL4fSaKrDgIgC&usg=AFQjCNFVr8HeSYSVj4mTVr-QmJOfq4VSIg&bvm=bv.89947451,d.d2s> (février 2020)
- [4] <http://www.virtualmuseum.ca/edu/ViewLoitDa.do;jsessionid=D73F0DEB38FF6362C111048C1D9CCABC?method=preview&format=7&lang=FR&id=19528> (Mars 2020)
- [5] <https://www.google.com/search?q=conception+d%27une+automobile&client=opera&biw=1006&bih=542&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=cWgeVezVL4fSaKrDgIgC&ved=0CDkQsAQ> (Mars 2020)
- [6] <http://www.psa-peugeot-citroen.com/fr/innovation-automobile/voiture-demain/ameliorer-process-production> (Avril 2020)
- [7] [https://www.google.com/search?q=Courbe+de+couple+et+de+puissance+moteur.&rlz=1C1AVFA\\_enCM869CM870&oq=Courbe+de+couple+et+de++puissance+moteur.&aqs=chrome..69i57j0l3.2279j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Courbe+de+couple+et+de+puissance+moteur.&rlz=1C1AVFA_enCM869CM870&oq=Courbe+de+couple+et+de++puissance+moteur.&aqs=chrome..69i57j0l3.2279j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8) (Avril 2020)
- [8] <https://fr.m.wikipedia.org/wiki> (Mai 2020)
- [9] [http://www.saaq.gouv.qc.ca/lourds/definition\\_lourd/index.php](http://www.saaq.gouv.qc.ca/lourds/definition_lourd/index.php) (Mai 2020)
- [10] <https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/core/blazor/get-started?view=aspnetcore-3.1> (Mai 2020)
- [11] [www.différence%20entre%20logiciel%20et%20 progiciel.htm](http://www.différence%20entre%20logiciel%20et%20progiciel.htm) (Mai 2020)
- [12] [https://www.ctq.gouv.qc.ca/actualites/detail/article/nouvelle\\_definition\\_de\\_vehicule\\_lourd.html#:~:text=Afin%20d'harmoniser%20ses%20r%C3%A8gles,nouvelle%20d%C3%A9finition%20de%20v%C3%A9hicule%20lourd.&text=Ainsi%2C%20depuis%20le%201er%20janvier,consid%C3%A9r%C3%A9%20comme%20un%20v%C3%A9hicule%20lourd.](https://www.ctq.gouv.qc.ca/actualites/detail/article/nouvelle_definition_de_vehicule_lourd.html#:~:text=Afin%20d'harmoniser%20ses%20r%C3%A8gles,nouvelle%20d%C3%A9finition%20de%20v%C3%A9hicule%20lourd.&text=Ainsi%2C%20depuis%20le%201er%20janvier,consid%C3%A9r%C3%A9%20comme%20un%20v%C3%A9hicule%20lourd.) (Mai 2020)
- [13] <https://www.caradisiac.com/> (Janvier 2020)

- [14] <https://www.caradisiac.com/fiches-techniques/modele--toyota-avensis/1998/2.0+td+linea+terra+5p> (Mars 2020)
- [15] [https://www.google.com/search?q=classification+des+v%C3%A9hicules&rlz=1C1AVFA\\_enCM869CM870&oq=classification+des+v%C3%A9hicules&aqs=chrome.0.0l8.27927j1j7&sourceid=chrome](https://www.google.com/search?q=classification+des+v%C3%A9hicules&rlz=1C1AVFA_enCM869CM870&oq=classification+des+v%C3%A9hicules&aqs=chrome.0.0l8.27927j1j7&sourceid=chrome)
- [16] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Toyota\\_Avensis](https://fr.wikipedia.org/wiki/Toyota_Avensis) (Octobre 2020)
- [17] [https://www.google.com/search?q=Guide+toyota&rlz=1C1AVFA\\_enCM869CM870&oq=Guide+toyota&aqs=chrome..69i57j0l7.5968j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Guide+toyota&rlz=1C1AVFA_enCM869CM870&oq=Guide+toyota&aqs=chrome..69i57j0l7.5968j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8) (Mars 2020)
- [18] **Gentiane Venture.** IDENTIFICATION DES PARAMETRES DYNAMIQUES D'UNE VOITURE. THÈSE DE DOCTORAT à L'Ecole Centrale de Nantes (ECN) ; Université de Nantes, 2003. Français.
- [19] **Salim Maakaroun** MODELISATION ET SIMULATION DYNAMIQUE D'UN VEHICULE URBAIN INNOVANT EN UTILISANT LE FORMALISME DE LA ROBOTIQUE. THÈSE DE DOCTORAT à L'Ecole des Mines de Nantes, 2011.
- [20] S. TIMBA, Dynamique de l'automobile et Economie de carburant, Support de cours licence, ENSET de Douala, non publié.
- [21] P. DUYSINX, Performances du véhicule : Forces propulsives aux roues et forces de résistance, université de Liège, année académique 2014-2015
- [22] S. TIMBA, Théorie des propriétés d'exploitation des véhicules automobiles, Support de cours MASTER 1, ENSET D'EBOLOWA, non publié
- [23] Pierre DUYSINX, Performances du véhicule : critères de performance en régime stationnaire, année 2008,
- [24] Jo Yung WONG, Professeur d'Université, Theory of Ground vehicles, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2001, ISBN: 0-471-35461-9
- [25] T. GILLESPIE, Fundamentals of vehicle dynamics, Society of Automotive Engineers (SAE), 1992.
- [26] S. TIMBA, Construction et design automobile, Support de cours MASTER 2, ENSET D'EBOLOWA, non publié.
- [27] Copie de véhicule spécifications (Construction et design automobile)
- [28] Dr DJUIGNA André Construction des moteurs à combustion interne, Support de cours 5eme année Mécanique Automobile ENSET D'EBOLOWA, non publié

## ANNEXES

### ANNEXE 1 : FICHE TECHNIQUE TOYOTA AVENSIS 2.0 TD LINEA TERRA 5P

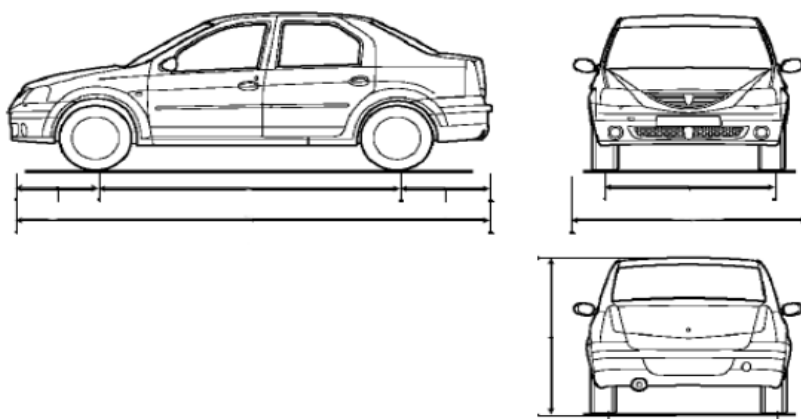


<b>CONFORT</b>	
Nombre de places assise	5
Nombre de portes	5
<b>GENERALITES</b>	
Date de commercialisation	01/01/1998
Date de fin de commercialisation	30/09/2000
Durée de la garantie	36 mois
Intervalles de révision en km	NC
Intervalles de révision maxi	NC
<b>DIMENSIONS</b>	
Longueur	4,49 m
Largeur sans rétros	1,71 m
Hauteur	1,42 m
Empattement	2,63 m
Volume de coffre mini/maxi	510 l / NC
Nombre de portes	5
Nombre de places assises	5
Poids à vide	1 300 kg
<b>CARACTERISTIQUES DU MOTEUR</b>	
Type	Mécanique
Nombre de rapports	5
Motorisation	Diesel



<b>Puissance fiscale</b>	6 CV
<b>Moteur</b>	4 cylindres L, 8 soupapes
<b>Cylindrée</b>	1 975 cm <sup>3</sup>
<b>Puissance</b>	90 ch à 4 000 trs/min
<b>Couple</b>	203 Nm à 2 200 trs/min
<b>Type de suralimentation</b>	Pas de suralimentation
<b>Boîte de vitesse, Nb de rapports</b>	Mécanique à 5 rapports
<b>Roues motrices</b>	AV
<b>PERFORMANCES / CONSOMMATION</b>	
<b>Vitesse maxi</b>	180 km/h
<b>0 à 100 km/h</b>	12 sec
<b>Consommation urbaine</b>	8,50 l / 100 km
<b>Consommation extra-urbaine</b>	5,40 l / 100 km
<b>Consommation mixte</b>	6,50 l / 100 km
<b>Volume du réservoir</b>	60 l
<b>Emission de CO2 (NEDC)</b>	NC
<b>Bonus / Malus écologique</b>	--
<b>Norme Euro</b>	NC
<b>CHASSIS ET TRAINS ROULANTS</b>	
<b>Suspension avant</b>	NC
<b>Suspension arrière</b>	NC
<b>Taille des pneus avant</b>	195/60/15
<b>Taille des pneus arrière</b>	195/60/15
<b>Roue de secours</b>	NC
<b>Freins à disque</b>	2
<b>Diamètre de braquage entre murs</b>	NC
<b>Diamètre de braquage entre trottoirs</b>	NC
<b>Blocage de différentiel</b>	non

## ANNEXE 2 : REPRESENTATION DES DIFFERENTES FACES DU VEHICULE

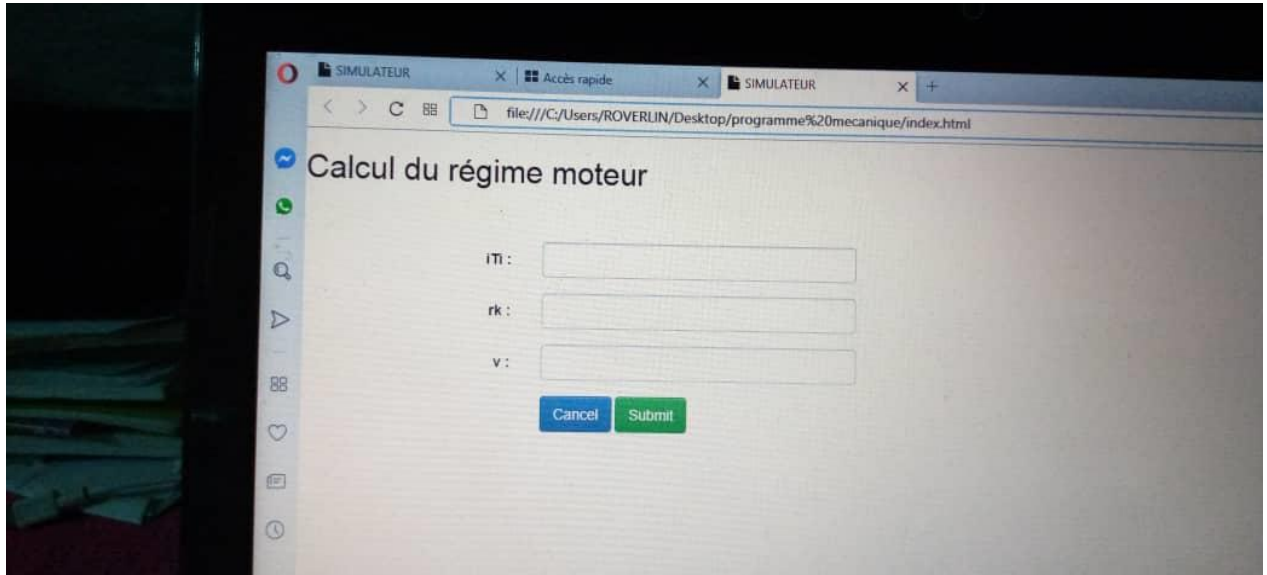


## **ANNEXE 3 : DIFFERENTES CATEGORIES DES VEHICULES**

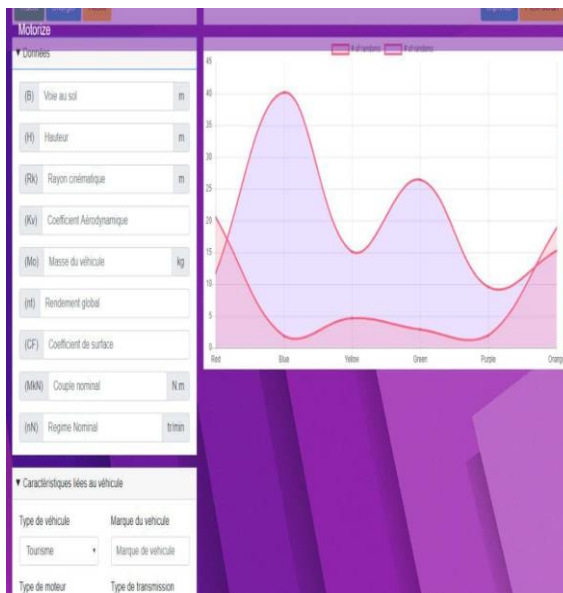
CARACTERISTIQUES	PHOTOGRAPHIES ET APPELLATION
<b>LES VEHICULES DE TOURISME</b>	
<p><b>Carrosserie : fermée</b>  <b>5 places assises</b>  <b>Toi : rigide</b>  <b>4 ou 5 portes</b>  <b>Particularité : on retrouve sur le modèle 3 et 5 portes, la 3<sup>ème</sup> ou 5<sup>ème</sup> porte faisant office d'hayon</b></p>	 <p style="text-align: right;">Berline</p>
<p><b>Carrosserie : fermée</b>  <b>5 ou 7 places assises</b>  <b>Toit : rigide ou verre</b>  <b>5 portes</b>  <b>Particularités : La forme arrière offre un grand volume intérieur. Une partie du toit peut être ouvrante</b></p>	 <p style="text-align: right;">Break familiale</p>
<p><b>Carrosserie : fermée</b>  <b>5 ou 7 places assises</b>  <b>Toi : rigide</b>  <b>5 portes</b>  <b>Particularités : Rouler dans la boue, la neige ou les cailloux nécessite une grande robustesse, une garde au sol importante et quatre roues motrices.</b></p>	 <p style="text-align: right;">4*4</p>
<p><b>Carrosserie : fermée</b>  <b>3 ou 5 places assises</b>  <b>Toit : rigide</b>  <b>2 ou 4 portes</b>  <b>Particularités : possède une benne peut être en 4 ou 2 roues motrices</b></p>	 <p style="text-align: right;">Pick up</p>
<b>LES VEHICULES UTILITAIRES DONT LE POIDS N'EXCEDE PAS 3T5</b>	
<p><b>Fourgonnette</b>  <b>Marque : fiat Scudo</b>  <b>Poids : 1320 kg</b></p>	
<b>LES CAMION : POIDS SUPERIEUR A 3T5</b>	
<p><b>Camion bâché</b>  <b>Poids à vide 19000 kg</b></p>	

<p><b>Camion benne</b>                  4 roues directrices                  Poids à vide : 26000 kg</p>	
<p><b>Camion toupie</b>                  4 roues directrices                  Poids à vide : 26000 kg</p>	
<p><b>LES ENSEMBLES DE TRACTES ET LES TRACTEURS</b></p>	
<p><b>Semi-remorque</b>                  Tracteur un essieu                  Maximum 49T500                  Longueur 12 mètres entre le pivot d'attelage et l'arrière de la semi</p>	
<p><b>Tracteur</b>                  Poids à vide : 5000 kg                  Un essieu sous la sellette.                  Il peut en comporter deux essieux sous la sellette</p>	
<p><b>LES CARS ET BUS</b></p>	
<p><b>CAR</b>                  Les personnes transportées voyagent assises et doivent boucler leur ceinture de sécurité.</p>	
<p><b>BUS</b>                  Les utilisateurs voyagent soit debout assis : la vitesse en villes ne doit pas excéder 50 km/h</p>	

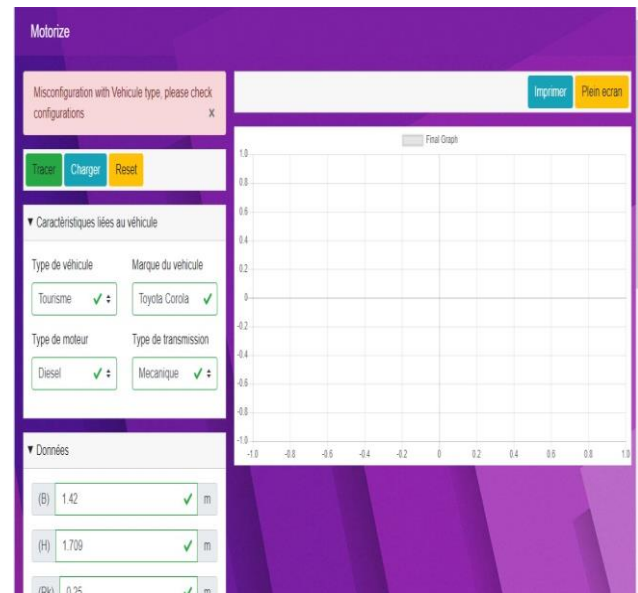
## **ANNEXE 4 : LES ETAPES CONCEPTION ET DE MODIFICATION DE L'APPLICATIO**



**Etape de l'implémentation des algorithmes**



**Modification de l'espace de travail de  
l'application**



**Implémentation des résultats et  
modification de l'espace de travail de**