

## Partie A

### ETUDE MECANIQUE DE LA CHAINE DE PROPULSION



Le but de cette étude est de déterminer les caractéristiques du moteur électrique afin de valider des données du cahier des charges.

- Par une étude dynamique nous déterminerons les actions mécaniques au niveau du train arrière motorisé (propulsion).
- Par une étude énergétique de la chaîne de transmission nous déterminerons le couple du moteur ainsi que sa puissance.
- Enfin, nous calculerons des points de fonctionnement pour valider des données du cahier des charges fonctionnel.

Ce dossier est constitué de :

- 17 pages numérotées de A1 à A17.

Temps conseillé : 2 heures.

## Objectifs de l'étude

- Détermination des paramètres influents le choix du moteur électrique.
- Détermination des points de fonctionnement de ce moteur.

Les parties A1 ; A2 ; A3 ; A5 ; A6 ; A7 et A9 sont indépendantes !

## A1 : Détermination de la position du centre de gravité

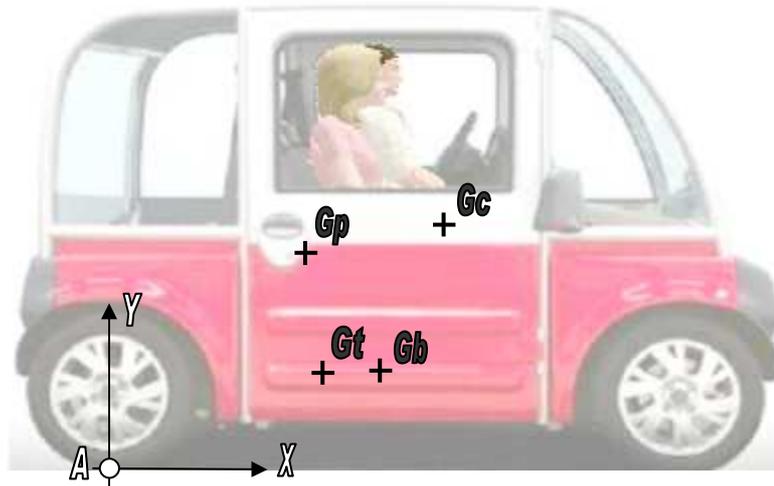
Le véhicule F-CITY est modulable à la construction. Il est constitué d'une caisse et accessoires **(c)** ; d'un rack batterie **(b)** et du module « trains roulants, transmission, motorisation » **(t)**.

### Données et hypothèses :

- ⇒ Le système admet un plan de symétrie matérielle  $(A, \bar{x}, \bar{y})$ .
- ⇒ Masse maximale et position (en mm) du centre de gravité de chacun des modules :

- ✱ Caisse **(c)** :  $m_c = 259 \text{ kg}$  et  $\overline{AG_c} = 1029 \bar{x} + 775 \bar{y}$ .
- ✱ Rack batterie **(b)** :  $m_b = 273 \text{ kg}$  et  $\overline{AG_b} = 757 \bar{x} + 283 \bar{y}$ .
- ✱ Transmission **(t)** :  $m_t = 138 \text{ kg}$  et  $\overline{AG_t} = 624 \bar{x} + 271 \bar{y}$ .
- ✱ Personnes et bagages :  $m_p = 200 \text{ kg}$  et  $\overline{AG_p} = 535 \bar{x} + 668 \bar{y}$ .

Sur la figure ci-dessous, on donne la position des différents centres de gravité.



- ⇒ La position du centre de gravité d'un solide constitué de n solides élémentaires est définie par la relation suivante :  $\overline{AG} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n m_i \times \overline{AG_i}$ , sachant

que :

- ✱  $m$  : Masse totale du solide.
- ✱  $m_i$  : Masse du solide élémentaire (i).
- ✱  $\overline{AG_i}$  : Vecteur position du centre de gravité de ce solide élémentaire (i).

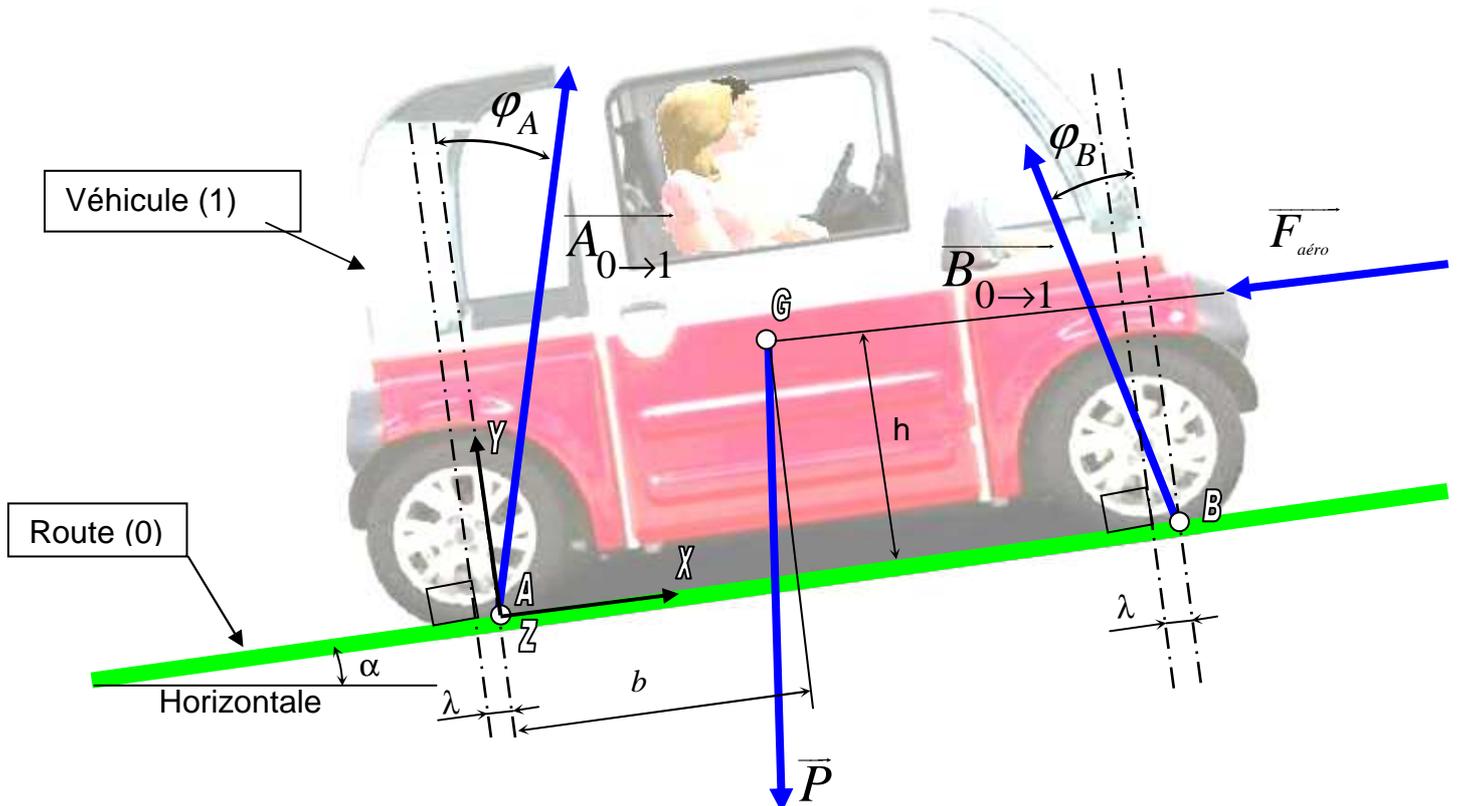
**A1.1 : Calculer** le vecteur position du centre de gravité  $\overline{AG}$  du véhicule F-CITY dans la base  $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ .



## A2 : Détermination du bilan des actions mécaniques extérieures au véhicule.

### Données et hypothèses :

- ⇒ On se place dans une pente d'inclinaison  $\alpha$  de la route par rapport à l'horizontale.
- ⇒ Le véhicule (1) admet un plan de symétrie matérielle  $(A, \vec{x}, \vec{y})$ .
- ⇒ On modélise les actions mécaniques extérieures à (1) sur la figure ci-dessous.



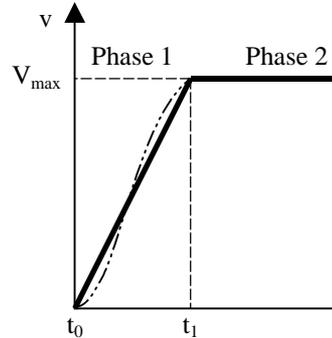
- \* En A, action de la route sur l'essieu motorisé :  $\vec{A}_{0 \rightarrow 1} = X_A \vec{x} + Y_A \vec{y}$  avec :
  - $\varphi_A$  : L'angle d'inclinaison de la résultante  $\vec{A}_{0 \rightarrow 1}$  par rapport à la normale à la route au point A.
  - $\lambda$  : Résistance au roulement de la roue sur le sol.
- \* En B, action de la route sur l'essieu avant :  $\vec{B}_{0 \rightarrow 1} = -X_B \vec{x} + Y_B \vec{y}$  avec :
  - $\varphi_B$  : Angle d'inclinaison de la résultante  $\vec{B}_{0 \rightarrow 1}$  par rapport à la normale à la route au point B avec  $\tan \varphi_B = \frac{X_B}{Y_B} = \frac{\lambda}{R}$  et  $R$  : rayon de la roue.
  - $\vec{AB} = L \vec{x}$ .
- \* En G : Le poids  $\vec{P}$  du véhicule de masse  $m$ , avec  $\vec{AG} = b \vec{x} + h \vec{y}$ .
- \* La force aérodynamique  $\vec{F}_{aéro}$  avec  $\|\vec{F}_{aéro}\| = \frac{1}{2} \rho_{air} \cdot \|\vec{V}_{G \in 1/0}\|^2 \cdot C_X \cdot S$ , dont la direction passe par le point G (voir DTA1 page A15).

**A2.1 : Effectuer** le bilan des actions mécaniques extérieures appliquées au véhicule (1), sous la forme de torseurs, en littéral, dans la base  $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ .

### A3 : Détermination de l'accélération $\overline{a_{G \in 1/0}}$ du véhicule par rapport à la route.

**Donnée :**

⇒ Le mouvement, suivant  $\vec{x}$ , du véhicule (1) est défini suivant la loi ci-dessous :



**A3.1 :** Pour la phase1, **identifier** le mouvement du véhicule (1). **Calculer** l'accélération  $a$  en fonction de  $t_0; t_1$  et  $V_{\max}$ . En **déduire** le vecteur accélération  $\overline{a_{G \in 1/0}}$  dans la base  $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ .

### A4 : Etude dynamique

**Données supplémentaires :**

Le théorème de la résultante dynamique s'écrit :

$$\overline{R(\overline{1} \rightarrow 1)} = m \overline{a_{G/R}}$$

$$\text{ou } \sum \overline{F_{ext \rightarrow 1}} = m \overline{a_{G/R}}$$

Le théorème du moment dynamique, en A, s'écrit :

$$\overline{M_A(\overline{1} \rightarrow 1)} = \overline{\delta_A(1/0)} .$$

$$\text{avec } \overline{\delta_A(1/0)} = \overline{AG} \wedge m \overline{a_{G/R}} .$$

**A4.1 :** Appliquer le théorème de la résultante dynamique au véhicule (1) et en déduire les deux équations scalaires sur  $\bar{x}$  et sur  $\bar{y}$ , en littéral.

**A4.2 :** Transférer tous les torseurs d'actions mécaniques extérieures identifiés à la question A-2-1, au **point A** et **déterminer** le moment résultant, en A, des actions mécaniques extérieures  $\overline{M_A(\bar{1} \rightarrow 1)}$ .

**A4.3 : Déterminer** le moment dynamique  $\overline{\delta_A(1/0)}$ .

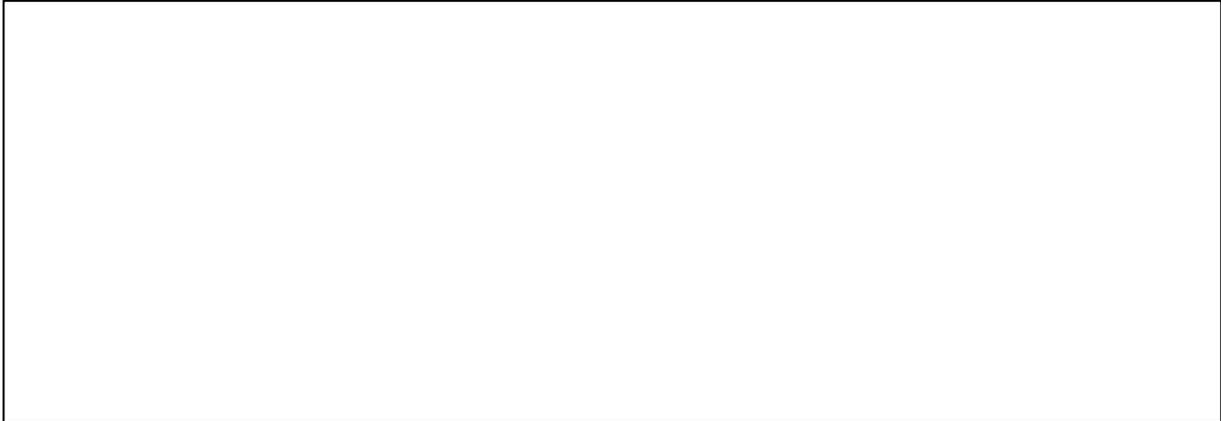
**A4.4 : Appliquer** le théorème du moment dynamique en A, au véhicule (1) et en **déduire** l'équation scalaire sur  $\vec{z}$ , en littéral.

**A4.5 : Exprimer**  $X_A$  et  $Y_A$  en fonction de  $m; a; g; \|\overrightarrow{F_{aéro}}\|; \alpha; \lambda; b; h; L$  et  $R$ .

## A5 : Décodage de la désignation du pneu

Le constructeur a choisi pour son véhicule des pneus de dimensions : **155/65 R14**.

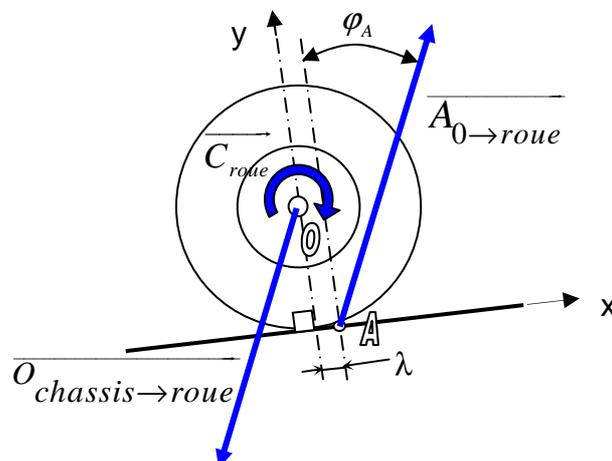
**A5.1** : A l'aide du document technique DT A2 (page A16), **établir** l'expression littérale donnant le rayon extérieur  $R$  de la roue en fonction du diamètre de la jante  $D_i$ , et de la hauteur du flanc  $H$ . En **déduire** la valeur de  $R$  en **mm**.



## A6 : Calcul du couple sur la roue

### Données et hypothèses :

- ⇒ Le système admet un plan de symétrie matérielle  $(A, \bar{x}, \bar{y})$ .
- ⇒ La masse des roues sera négligée.
- ⇒ On modélise les actions mécaniques extérieures à la roue sur la figure ci-dessous.



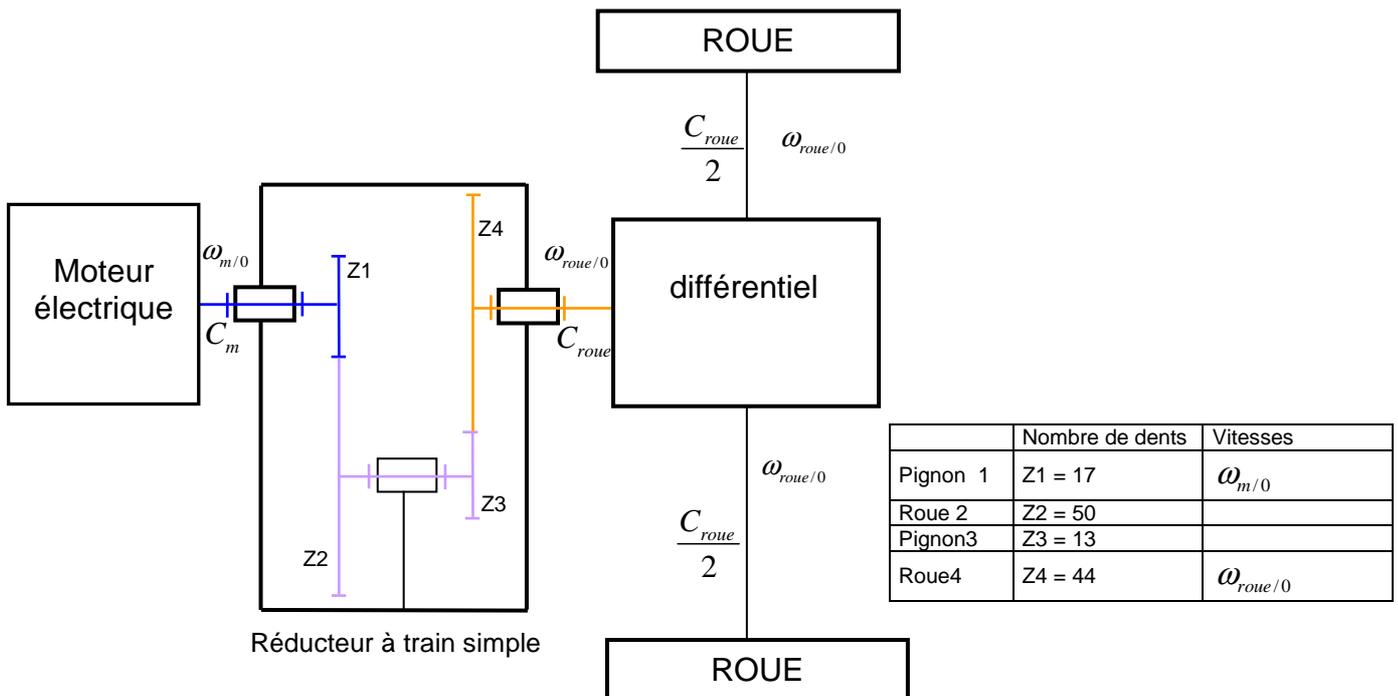
- ✱ En A : action de la route sur l'essieu motorisé :  $\overrightarrow{A_{0 \rightarrow 1}} = \overrightarrow{A_{0 \rightarrow roue}} = X_A \bar{x} + Y_A \bar{y}$  avec :
  - $\varphi_A$  L'angle d'inclinaison de la résultante  $\overrightarrow{A_{0 \rightarrow 1}}$  par rapport à la normale à la route au point A.
  - $\lambda$  : Résistance au roulement de la roue sur le sol.
- ✱ En O :
  - action du châssis sur l'essieu, par sa liaison pivot de centre (O ;  $\bar{z}$ )
  - Action de l'arbre de sortie du différentiel sur la roue (*couple sur la roue*) :
 
$$\overrightarrow{C_{roue}} = -C_{roue} \bar{z}.$$

**A6.1 :** Déterminer le moment  $\overrightarrow{M}_O(\overrightarrow{A}_{0 \rightarrow roue})$  par la méthode de votre choix.

**A6.2 :** A partir des hypothèses précédentes, le théorème du moment dynamique s'écrit :  $\overrightarrow{M}_O(\overrightarrow{A}_{0 \rightarrow roue}) + \overrightarrow{C}_{roue} = \vec{0}$ , **exprimer** le couple  $C_{roue}$  en fonction de  $X_A; Y_A; \lambda$  et  $R$ .

**A7 : Calcul du rapport de réduction**

La chaîne de transmission du véhicule est représentée sur le schéma synoptique ci-dessous :



Hypothèses :

- On suppose que le véhicule roule en ligne droite. Le différentiel n'intervient pas dans la cinématique de la transmission. Ainsi la vitesse des deux roues motrices est identique de même que la puissance transmise à chaque roue.
- On note  $\omega_{roue/0}$  et  $\omega_{m/0}$ , les vitesses angulaires respectives de l'arbre de sortie (4) du réducteur et de son arbre d'entrée (1).
- Le rendement du réducteur est noté  $\eta$ .

**A7.1 :** Etablir l'expression littérale du rapport de réduction du réducteur  $k = \frac{\omega_{roue/0}}{\omega_{m/0}}$  en fonction des nombres de dents des différentes roues et pignons le constituant.  
**Effectuer** l'application numérique.

**A8 :** Calcul du couple moteur.

**A8.1 :** exprimer le rendement  $\eta$  du réducteur en fonction des couples d'entrée  $C_m$ , de sortie  $C_{roue}$  et du rapport de réduction k.

**A8.2 :** en déduire l'expression littérale donnant le couple moteur  $C_m$  en fonction de  $C_{roue}$  ; k et du rendement  $\eta$ .

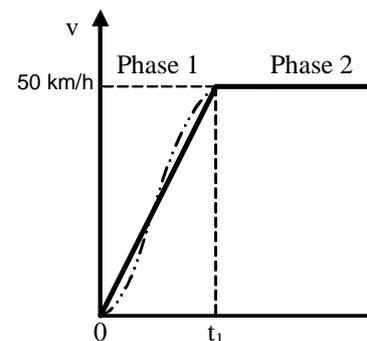
**A8.3 :** à partir du résultat obtenu à la **question A6.2**, **exprimer**  $C_m$  en fonction de  $X_A$  et  $Y_A$ .

**A8.4 :** à partir des expressions de  $X_A$  et  $Y_A$  obtenues à la **question A4.5**, **exprimer** le couple moteur  $C_m$  en fonction de  $\eta; k; m; a; g; \|\overline{F_{aéro}}\|; \alpha; \lambda$  et  $R$ .

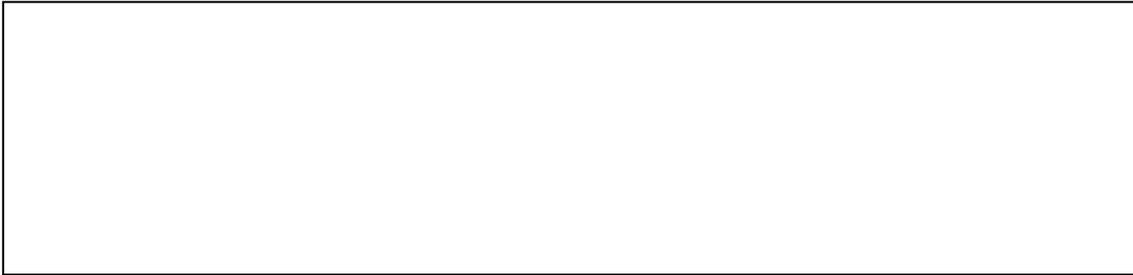
**A9 : Calcul de points de fonctionnement**

Nous allons étudier le cas d'un véhicule qui démarre en ligne droite sur une route horizontale pour atteindre la vitesse de 50 km/h. L'évolution de sa vitesse en fonction du temps est représentée par la courbe ci-contre.

Pendant la phase transitoire (phase 1), on supposera une accélération constante de 0,3.g. imposée par le cahier des charges, avec  $g = 9,81 m.s^{-2}$ .

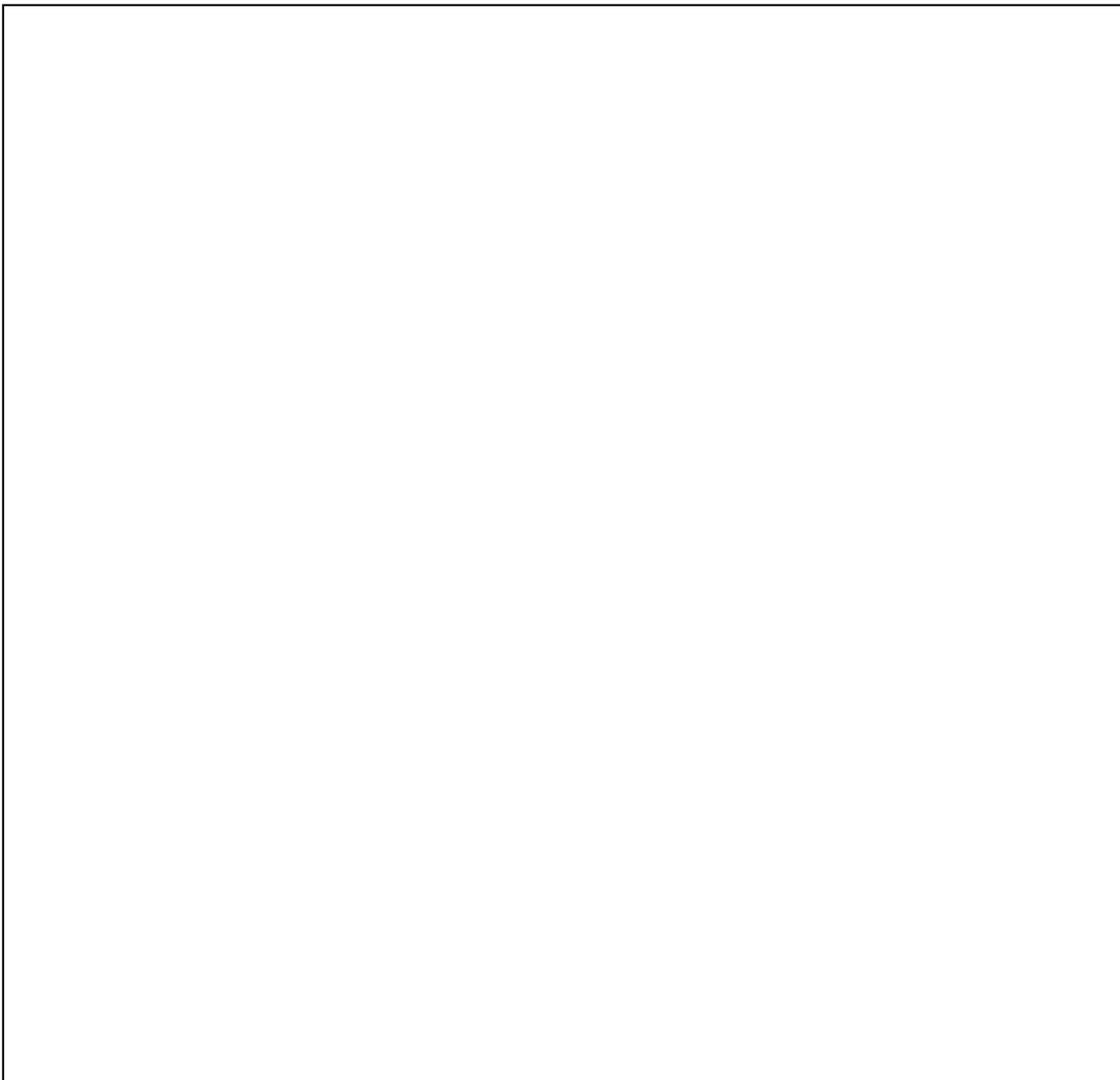


**A9.1 : Calculer** le temps  $t_1$  (en seconde) pour lequel le véhicule atteint la vitesse de 50 km/h.



**A9.2 : Compléter** le document réponse **DR A1** (page A17), en plaçant la valeur du temps  $t_1$  sur les graphes. **Tracer** la courbe d'évolution de l'accélération du véhicule en fonction du temps.

**A9.3 : Etablir** l'expression littérale de la vitesse angulaire du moteur  $\omega_{m/0}$  en fonction du rapport de réduction  $k$ , de la vitesse du véhicule  $V$  (en m/s), et du rayon de la roue  $R=278.5\text{mm}$ . **Tracer**, sur le document réponse **DRA1**, la courbe d'évolution de cette vitesse  $\omega_{m/0}$  en fonction du temps.



**A9.4 :** On donne le couple moteur :  $C_m = \frac{k}{\eta} \left[ \lambda.m.g.\cos\alpha + R \left( m.g.\sin\alpha + \left\| \overrightarrow{F_{aéro}} \right\| + m.a \right) \right]$

**Simplifier** cette expression grâce à la configuration de la route.

**Donner** l'expression littérale de la résultante des forces aérodynamiques en fonction de l'accélération du véhicule **a** et du temps **t**.

En **déduire** la nouvelle expression du couple moteur  $C_m$  en fonction du temps.

**Tracer**, sur le document réponse **DRA1**, la courbe d'évolution de ce couple  $C_m$  en fonction du temps.



**A9.5 :** **Tracer**, sur le document réponse **DRA1**, la courbe d'évolution de la puissance  $P_m$  en fonction du temps.

**A9.6 :** **Critiquer** l'allure de la courbe d'évolution de la puissance  $P_m$  en fonction du temps en vous aidant des données constructeur (document DT A1) du moteur.

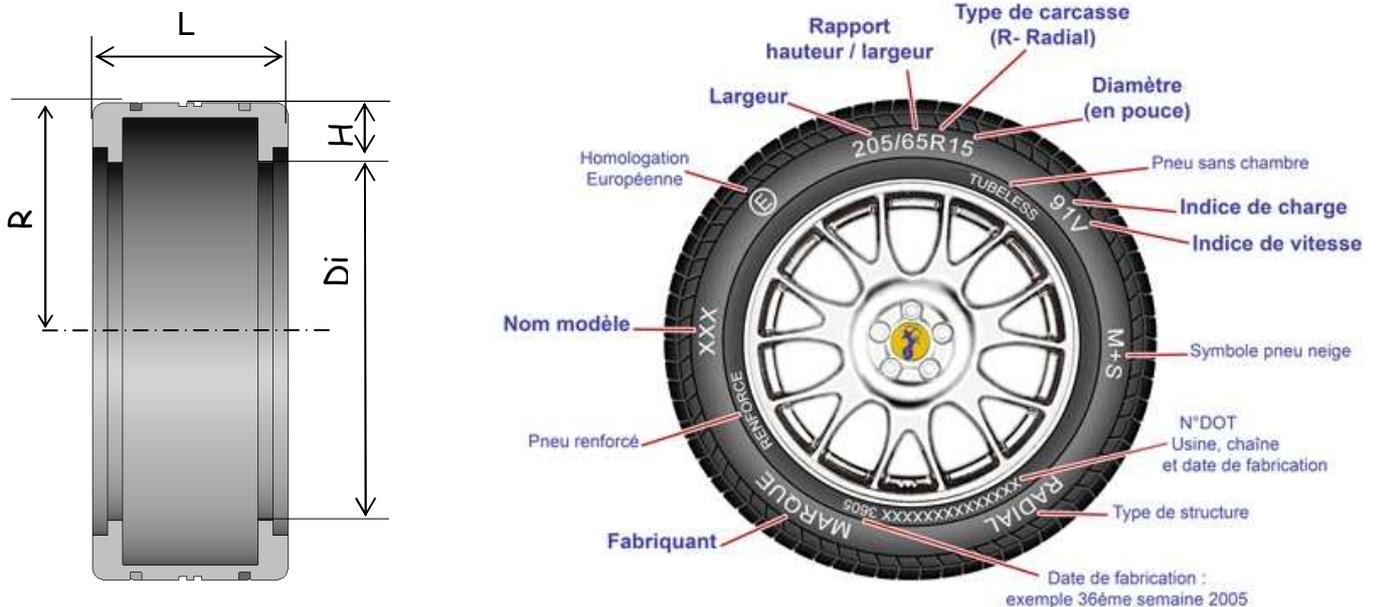


**DOCUMENT TECHNIQUE      DT A1**

Empattement	<b>L=1,8 m</b>
Hauteur du centre de gravité <b>h (en m)</b>	voir calculs
Masse Répartition Avant / Arrière	<b>m = 870 kg</b> voir calculs
Maître couple Masse volumique de l'air Coefficient aérodynamique <b>Cx</b>	<b>S= 2,1m<sup>2</sup></b> $\rho_{air} = 1,2 kg / m^3$ <b>Cx= 0,37</b>
Puissance nominale  Couple nominal	<b>Pn= 8kW jusqu'à 10kW</b>  <b>Cm= 45 N.m à 0 tr/min</b>
Transmission :	Rapport de réduction : $k = \frac{1}{9,91}$ Rendement : <b><math>\eta= 0,95</math></b>
Pneumatiques (pneu vert) Résistance au roulement	<b>155 65R14</b> <b><math>\lambda= 0,0104 m</math></b>
Performances Accélération maximale: Vitesse maxi Vitesse maxi dans une pente de 10 % : Pente maxi <b>(en %)</b>	<b>a = 0,3.g= 0,3x9,81 m/s<sup>2</sup></b> <b>Vmax= 60km/h</b> <b>Vmax= 40 km/h</b> <b>14%</b>

# DOCUMENT TECHNIQUE DT A2

## DESIGNATION D'UN PNEUMATIQUE DE VOITURE



Les inscriptions inscrites sur le flan d'un pneu donnent de nombreux renseignements sur ses caractéristiques ainsi que l'utilisation pour laquelle il a été conçu.

Les dénominations de base se décomposent toujours de la même manière, celles-ci ayant été normalisées à l'échelle mondiale.

On y trouve évidemment la **marque** commerciale du manufacturier (le fabricant) ainsi que le nom du **modèle**, suivi d'un groupe de chiffres et de lettres : par exemple **205/65/R15 91V**.

- **Les trois premiers chiffres** (dans cet exemple : 205) : correspondent à la **largeur (L)** de la bande de roulement exprimée en mm. La bande de roulement est la partie sculptée du pneu, qui est en contact avec le sol.
- **Le nombre suivant (ici 65)** indique le rapport entre la **hauteur (H)** du flanc et la **largeur (L)** du pneu. Il s'agit d'un pourcentage. Soit  $H/L = 0.65$ . Celui-ci n'est pas mentionné lorsqu'il est égal à 80%.
- **La lettre (R)** indique le type de structure du pneu. De nos jours, hormis les voitures de collection, la totalité de la production se compose de pneus à structure radiale identifiée par la lettre R.
- **Le nombre à deux chiffres, (ici 15)** indique le **diamètre intérieur du pneu (Di)**. Il correspond au diamètre de la jante sur laquelle il est monté. Il est exprimé en pouces. (un pouce = 2.54 cm).
- **Le nombre suivant est donné pour l'indice de charge**. un indice 91 correspond à une charge par pneu de 450 kg. (voir tableau indices de charge).
- **Enfin la lettre (V)** correspond à l'indice de vitesse. Ici V signifie que la vitesse maximale du pneu est de 240 km/h. (voir tableau indices de vitesse)

DOCUMENT REPOSE DR A1

