

## Devoir en temps libre n°3

### Renault Twizy

#### 1 Présentation du véhicule

Dans le contexte actuel d'économie des énergies fossiles et de réduction des émissions de gaz nocifs, la Twizy est un quadricycle à propulsion électrique fabriqué par le constructeur automobile Renault. Elle constitue une alternative aux modes de déplacement urbains actuels. Se situant entre un scooter et une voiture, elle adopte un mode de propulsion entièrement électrique pour une autonomie d'environ 100 km. Son rayon de braquage très court et ses dimensions réduites lui permettent de stationner perpendiculairement au trottoir. Revers de la médaille, la Renault Twizy ne propose que deux places en tandem et un compartiment de 31 dm<sup>3</sup> sous le siège arrière.



Figure 1 : Renault Twizy

Logée sous le siège avant, la batterie, d'une capacité de 6,1 kWh (105Ah), se charge complètement en 3h30 sur une simple prise secteur via un câble d'une longueur de trois mètres.

Des informations nécessaires au sujet sont fournies dans l'annexe 1.

La chaîne d'énergie de la Renault Twizy comprend une batterie au Lithium, un onduleur, un moteur électrique et un réducteur à engrenages. Ce réducteur est relié aux roues arrière par l'intermédiaire d'un différentiel conique qui n'est pas étudié dans ce sujet.



Figure 2 : Chaîne de puissance de la Renault Twizy

#### 2 Choix du motoréducteur pour respecter les exigences de vitesse/accélération

Les courbes de l'évolution de l'accélération maximale  $\frac{dv(t)}{dt}$  du véhicule obtenue pour trois moteurs présélectionnés en fonction du rapport de transmission  $r$  issues de l'équation de mouvement du véhicule précédente sont fournies sur le document réponse.

**Question 1 :** Déterminer la valeur minimale du rapport de transmission  $r_{\min}$  pour les trois moteurs proposés qui permet d'obtenir l'accélération maximale moyenne souhaitée dans les exigences de l'annexe 1.

**Question 2 :** En fonction des données de l'annexe 4, déterminer la valeur maximale du rapport de transmission  $r_{\max}$  qui permet d'obtenir au moins la vitesse maximale du véhicule souhaitée dans les exigences de l'annexe 1.

**Question 3 :** A partir des résultats précédents, choisir parmi les 3 moteurs proposés, celui qui respecte les exigences d'accélération et de vitesse souhaitées permettant la plus grande plage possible pour le rapport de transmission.

### 3 Modélisation de la mise en mouvement du véhicule

Le véhicule est équipé d'une machine électrique asynchrone alimentée par la batterie via un onduleur. Les commandes actuelles de ces machines permettent de se rapprocher du comportement d'une machine à courant continu.

On utilise le modèle d'une machine à courant continu en mode moteur, rappelé sur l'annexe 6. Nous donnons ci-dessous l'équation de mouvement nécessaire pour la suite de l'étude :

$$\frac{r \cdot C_m}{R} - F_r = M_{\text{éq}} \cdot \frac{dv(t)}{dt}$$

$C_m$  : Couple moteur

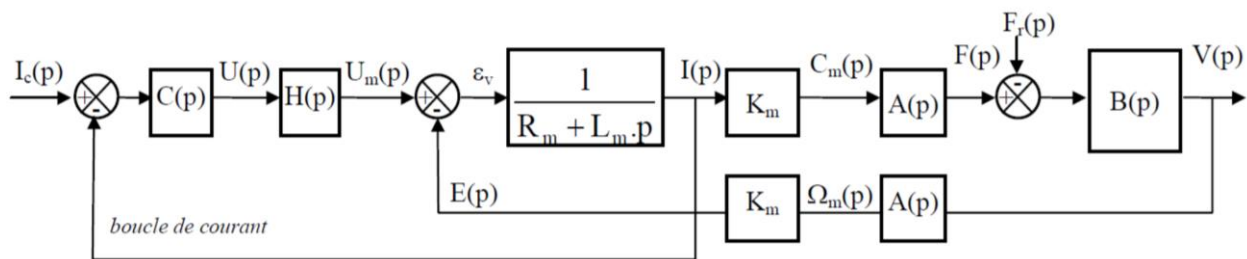
$r$  : Rapport de transmission

$F_r$  : Effort extérieur qui s'oppose au mouvement de la voiture. Il contient les termes du poids et de la résistance au roulement.

$M_{\text{éq}}$  : Masse équivalente de la voiture ramenée sur l'axe de rotation du moteur.

$v(t)$  : Vitesse longitudinale de la voiture.

Le modèle du système est donné par le schéma-bloc suivant :

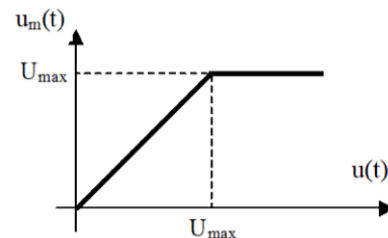


Avec  $C(p) = R_m \cdot \left(1 + \frac{R_m}{L_m \cdot p}\right)$  le correcteur proportionnel et intégral de la boucle de courant.

Le comportement du hacheur de fonction de transfert  $H(p)$  en fonction de  $u(t)$  est :

$$u_m(t) = u(t) \text{ si } u(t) < U_{\max}$$

$$u_m(t) = U_{\max} \text{ si } u(t) > U_{\max}$$



#### 3.1 Détermination du temps de réponse du véhicule lors de l'accélération avec une consigne de courant constante

**Objectif** : Mettre en place un modèle pour déterminer le temps de réponse du véhicule lors d'une accélération.

##### 3.1.1 Détermination de la réponse en vitesse dans le cas où $u_m(t) \leq U_{\max}$

**Question 4** : Appliquer la transformée de Laplace à l'équation du mouvement et en déduire  $A(p)$  et  $B(p)$ .

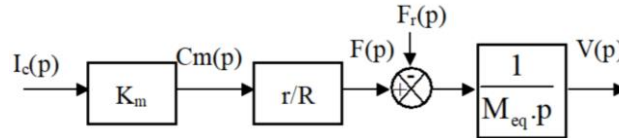
**Question 5** : Calculer, si  $F_r(p) = 0$  la fonction de transfert  $\frac{I(p)}{I_c(p)}$  avec les paramètres du schéma bloc, puis en remplaçant  $A(p)$  et  $B(p)$  à l'aide de la question précédente.

**Question 6** : Calculer le courant en régime établi noté  $I_\infty$  si  $I_c(p)$  est un échelon d'amplitude  $I_0$ . Montrer alors que  $I_\infty = I_0$  sachant que :

$$\frac{L_m \cdot K_m^2 \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^2}{R_m^2 \cdot M_{\text{éq}}} = 5 \cdot 10^{-4} \ll 1$$

La constante de temps électrique étant petite devant la constante de temps mécanique, on supposera que la condition précédente est toujours vraie.

Le schéma bloc simplifié du véhicule si  $i(t) = i_c(t)$  et  $u_m(t) < U_{max}$  est :

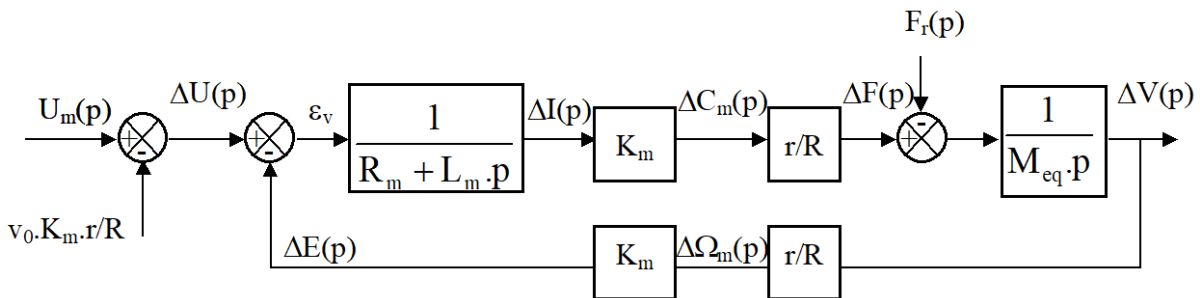


**Question 7 :** En utilisant le schéma bloc, calculer  $V(p)$  en fonction de  $I_c(p)$  et  $F_r(p)$  puis en utilisant le tableau fourni en annexe 7, déterminer l'équation de la vitesse  $v(t)$  du véhicule dans le cas où  $i_c(t)$  et  $F_r(t)$  sont des échelons respectivement d'amplitude  $I_0$  et  $F_0$ .

### 3.1.2 Détermination du temps de réponse en vitesse à partir de l'instant où $u_m(t)$ atteint $U_{max}$

La tension d'alimentation du moteur ne peut pas dépasser une valeur maximale  $U_{max}$ . Le régulateur la limitera automatiquement à cette valeur.

Le schéma bloc simplifié du véhicule si  $u_m(t) = U_{max}$  est le suivant :



Dans le schéma-bloc, on note pour une variable  $x(t)$ ,  $\Delta x(t) = x(t) - x_0$  avec  $x_0 = x(t_0)$  et  $t_0$  l'instant où  $u_m(t)$  atteint la valeur  $U_{max}$ .

En particulier,  $\Delta v(t) = v(t) - v_0$  avec  $v_0$  la vitesse atteinte à la fin de la phase à accélération constante.

Le modèle précédent a permis de déterminer  $\Delta V(p) = H_1(p) \cdot \Delta U(p) + H_2(p) \cdot F_r(p)$  avec :

$$H_1(p) \approx \frac{\frac{1}{K_m \cdot \frac{r}{R}}}{1 + \frac{R_m \cdot M_{eq}}{\left(K_m \cdot \frac{r}{R}\right)^2} \cdot p} \quad \text{et} \quad H_2(p) = \frac{\frac{R_m}{\left(K_m \cdot \frac{r}{R}\right)^2}}{1 + \frac{R_m \cdot M_{eq}}{\left(K_m \cdot \frac{r}{R}\right)^2} \cdot p}$$

**Question 8 :** Donner le temps de réponse à 5% des fonctions  $H_i(p)$ .

### 3.1.3 Temps nécessaire pour passer d'une vitesse nulle à 95% de la vitesse maximale

**Question 9 :** Donner l'allure de la réponse en vitesse du véhicule pour une consigne en courant constant telle que  $u_m(t)$  croît de manière monotone jusqu'à  $U_{max}$ . Déduire de ce qui précède le temps  $t_{maxi}$  pour passer d'une vitesse nulle à 95% de la vitesse maximale en fonction de  $r$ ,  $R$ ,  $M_{eq}$ ,  $K_m$ ,  $R_m$ ,  $I_0$ ,  $v_0$  et  $F_0$ .

## 3.2 Validation du choix de la machine électrique et du réducteur associé

**Objectif :** Valider le choix de la machine électrique et du réducteur associé. Vérifier le modèle à partir d'une mesure sur le véhicule.

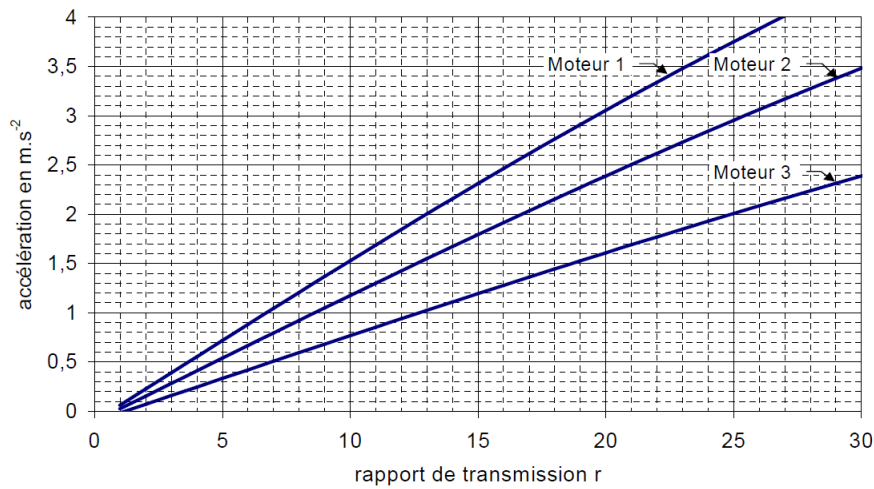
**Question 10 :** Un calcul numérique utilisant les résultats précédents a permis d'obtenir la courbe du **document réponse**. Proposer un rapport de transmission permettant de respecter les exigences souhaitées. Conclure au regard des résultats des questions 1 à 3.

**Question 11 :** Une mesure réalisée avec la pédale d'accélérateur à 100% est donnée sur le **document réponse**. On définit deux zones particulières de la réponse en vitesse du véhicule : zone 1 entre 0 et 15 km/h et zone 2 entre 15 et 45 km/h. Pour chaque zone de fonctionnement, proposer par identification, un modèle littéral de la vitesse du véhicule. Déterminer les valeurs numériques des constantes intervenant dans ces modèles (faire les tracés nécessaires).

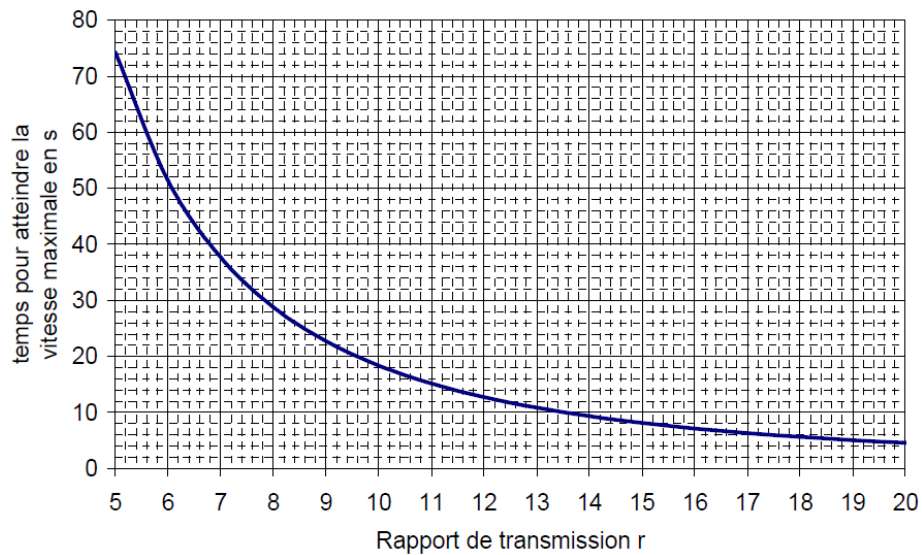
## Document réponse

Etudiant(e) :

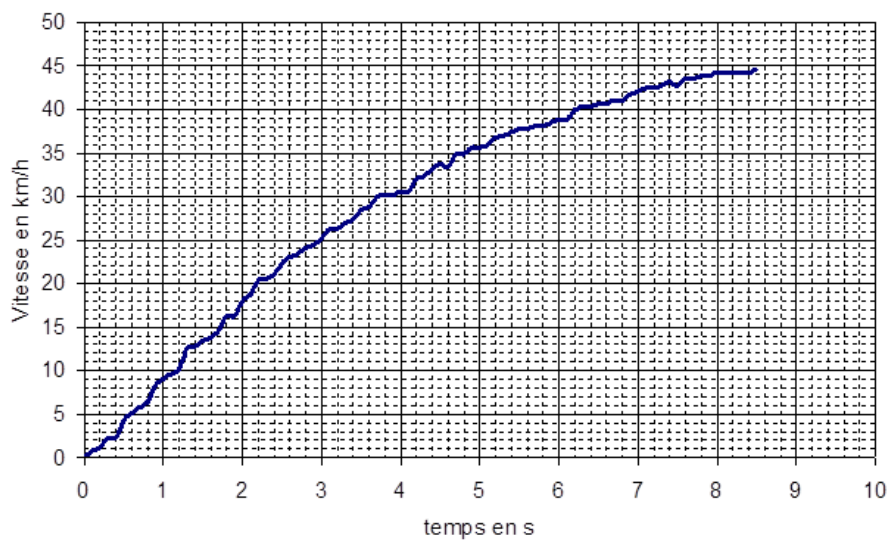
## Question n°1



## Question n°10



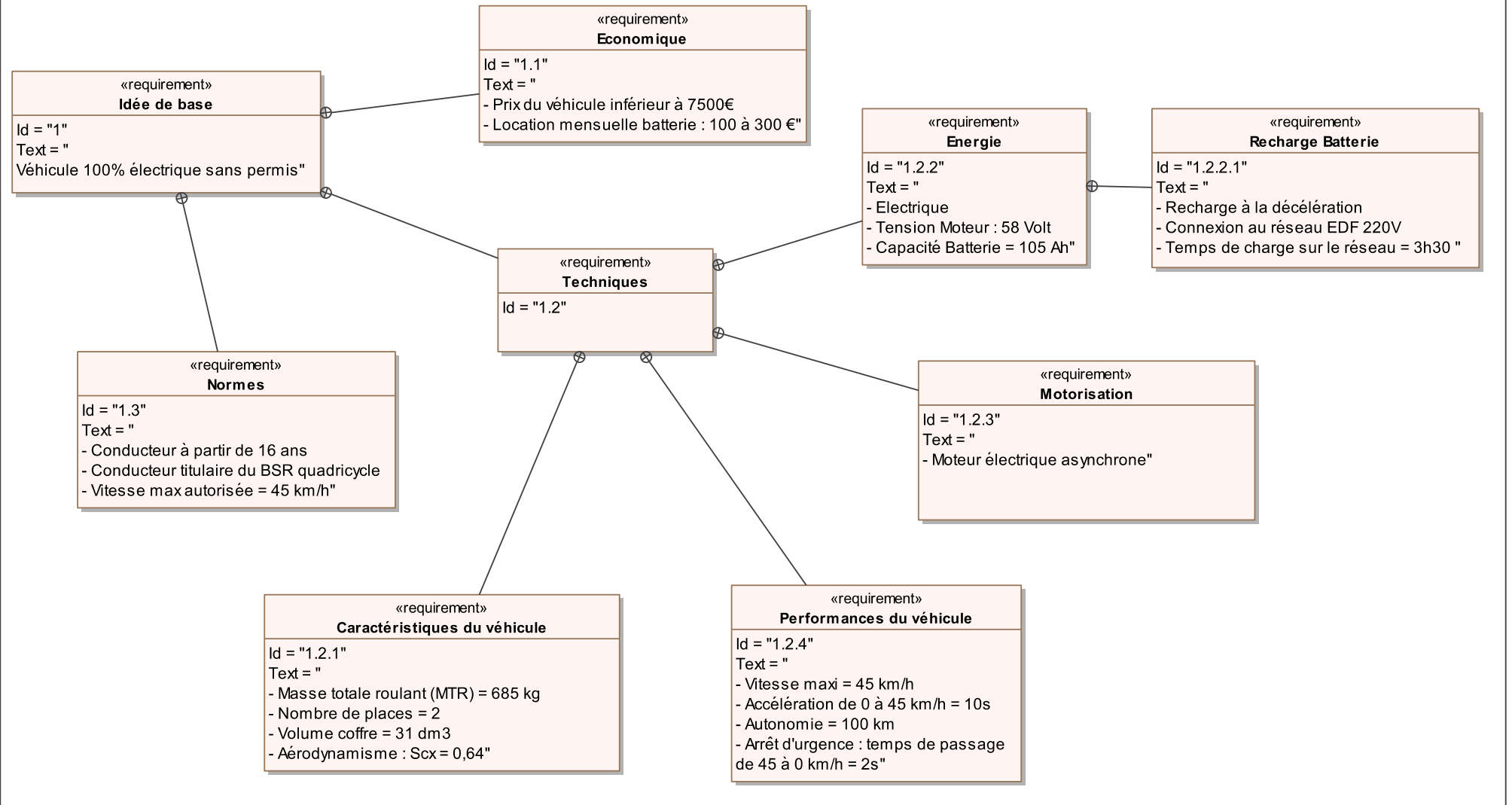
## Question n°11



# Renault Twizy.

## Annexe 1 : SYSML (Diagramme des exigences partiel)

req [Modèle] Renault [ Twizy 45 ]



# Renault Twizy.

## Annexe 4 : Paramétrages, notations et hypothèses

	<p>Modélisation du contact roue sol</p> <p>On notera R le rayon d'une roue et <math>\mu</math> le coefficient de résistance au roulement.</p>
--	---

<p>Moteur</p> <p>Arbre moteur 4</p> <p><math>\vec{y}_3 = \vec{y}_0</math></p> <p>Lié à 3</p>	<p>Réducteur</p> <p>Arbre relié à l'arbre moteur 4</p> <p>Lié à 3</p> <p>Arbre relié aux roues arrières 1</p>
--	---

### Hypothèses générales

- Le vecteur  $\vec{z}_0$  est vertical ascendant et on notera g l'accélération de la pesanteur.
- Le repère  $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  est galiléen.
- Le centre de gravité de l'ensemble voiture et charges est supposé rester dans le plan de symétrie de la voiture  $(O, \vec{x}_s, \vec{z}_s)$
- Toutes les liaisons sont supposées parfaites à l'exception du contact roue - sol.
- Les roues roulent sans glisser sur le sol en  $I_i$ .
- Le coefficient de résistance au roulement  $\mu$  est identique pour tous les contacts roue - sol :  $\mu = 3.10^{-3}$  m. On pose  $\vec{I}_i \vec{J}_i = \mu \vec{x}_s$ , avec  $\mu > 0$ , si le déplacement du véhicule est suivant  $+\vec{x}_s$ .
- Les frottements de l'air sur le véhicule seront négligés.
- Seules les roues arrière sont motrices.

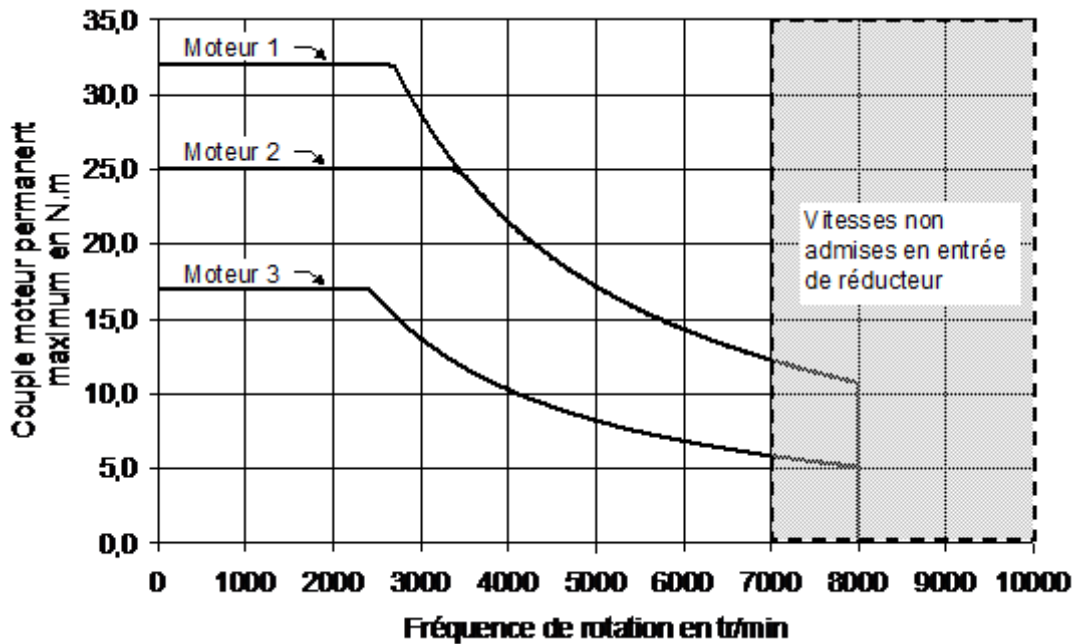
## Actions mécaniques

Le torseur des actions mécaniques du sol sur un ensemble, avant ou arrière, de roues est :

$$\{F(s \rightarrow i)\}_{J_i} = \begin{Bmatrix} T_i \vec{x}_s + N_i \vec{z}_s \\ \vec{0} \end{Bmatrix} \text{ avec } J_i \in (0, \vec{x}_s, \vec{z}_s) \text{ et } i = 1 \text{ (roues arrière) ou } 2 \text{ (roues avant)}$$

Le moteur permet d'appliquer un couple entre 3 et 4 tel que  $\{F(3 \rightarrow 4)\} = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ C_m \vec{y}_0 \end{Bmatrix}$

Courbes caractéristiques de différents moteurs :



## Masses et inerties

Moment d'inertie du rotor moteur autour de son axe  $(A, \vec{y}_0)$  :  $J_m = 6.10^{-3} \text{ kg.m}^2$ .

Moment d'inertie d'une roue autour de son axe  $(O_i, \vec{y}_0)$  :  $J_R = 0,1 \text{ kg.m}^2$ .

Masse du véhicule en charge :  $m = 685 \text{ kg}$ .

Centre de gravité du véhicule en charge sera noté :  $G$ .

Les autres inerties seront négligées.

## Grandeurs cinématiques

Soit  $\omega_m$  la vitesse de rotation de l'arbre moteur 4 par rapport à 3,  $\omega_{13}$  la vitesse de rotation des roues arrière 1 par rapport à 3 et  $\omega_{23}$  la vitesse de rotation des roues avant 2 par rapport à 3.

On notera  $r$  le rapport de transmission du réducteur tel que  $\omega_m = r.\omega_{13}$ .

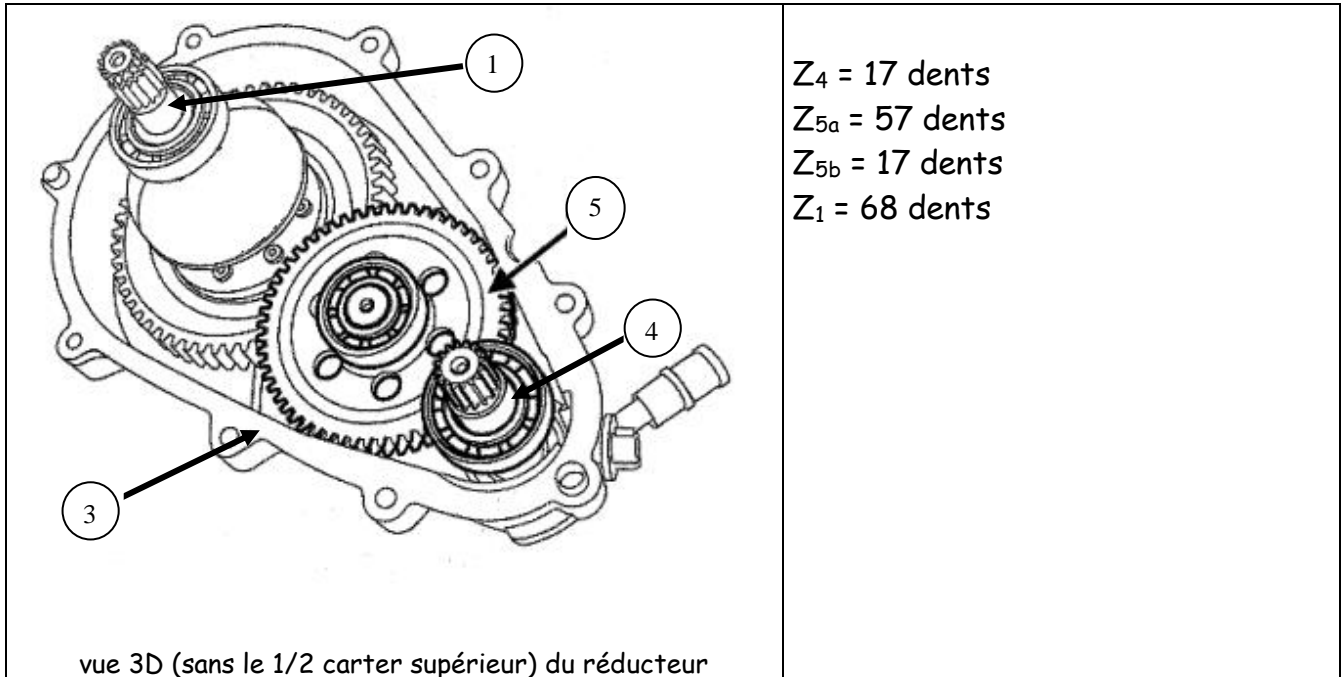
On appellera  $\vec{V}(G,3/0) = \vec{V}_{3/0} = v \vec{x}_s$  la vitesse du véhicule.

Les roues ont un rayon  $R = 280 \text{ mm}$ .



# Renault Twizy.

## Annexe 5 : Paramétrages du réducteur



$Z_4 = 17$  dents  
 $Z_{5a} = 57$  dents  
 $Z_{5b} = 17$  dents  
 $Z_1 = 68$  dents

## Annexe 6 : Equations de la machine à courant continu

### Mode moteur

$$u_m(t) = e(t) + R_m \cdot i(t) + L_m \frac{di(t)}{dt}$$

$$c_m(t) = k_m \cdot i(t)$$

$$e(t) = k_m \cdot \omega_m(t)$$

### Mode génératrice

$$e(t) = u_a(t) + R_m \cdot i(t) + L_m \frac{di(t)}{dt}$$

$$c_m(t) = k_m \cdot i(t)$$

$$e(t) = k_m \cdot \omega_m(t)$$

## Annexe 7 : Table de transformées de Laplace

$f(t), t > 0$	$F(p)$
1	$\frac{1}{p}$
t	$\frac{1}{p^2}$
$t^2$	$\frac{2}{p^3}$
$e^{-at}$	$\frac{1}{p+a}$