TD Sciences de l’ingénieur

Le « Challenge ÉducÉco » est une compétition automobile, organisée en France depuis 2009 par l'Association pour le Développement d’Épreuves Éducatives sur l’Écomobilité (AD3E). Ce challenge est basé sur les économies d'énergie liées à l’usage des véhicules. Son objectif est de parcourir le plus de kilomètres avec la plus faible quantité d’énergie possible, sur des véhicules innovants.

Figure 1 : le prototype « ÉcoDark » en compétition

Diagrammes SysML

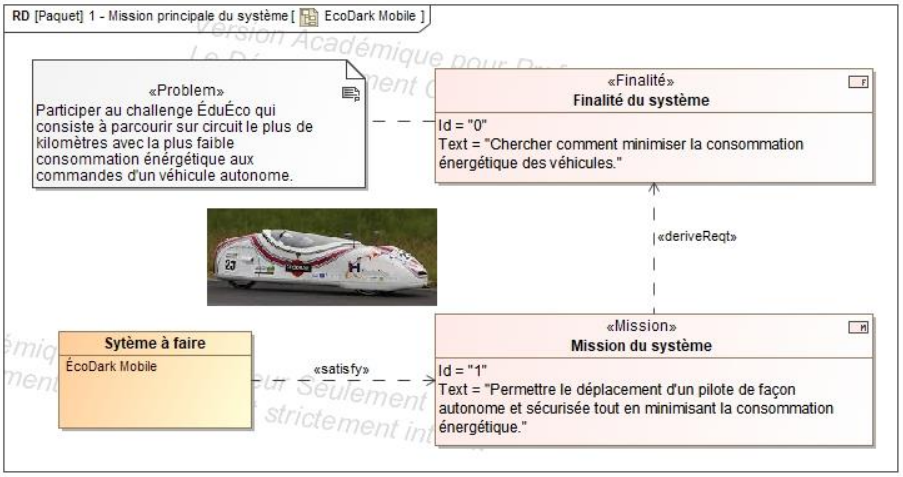


Figure 2 : diagramme de mission principale

Diagramme de définition de blocs

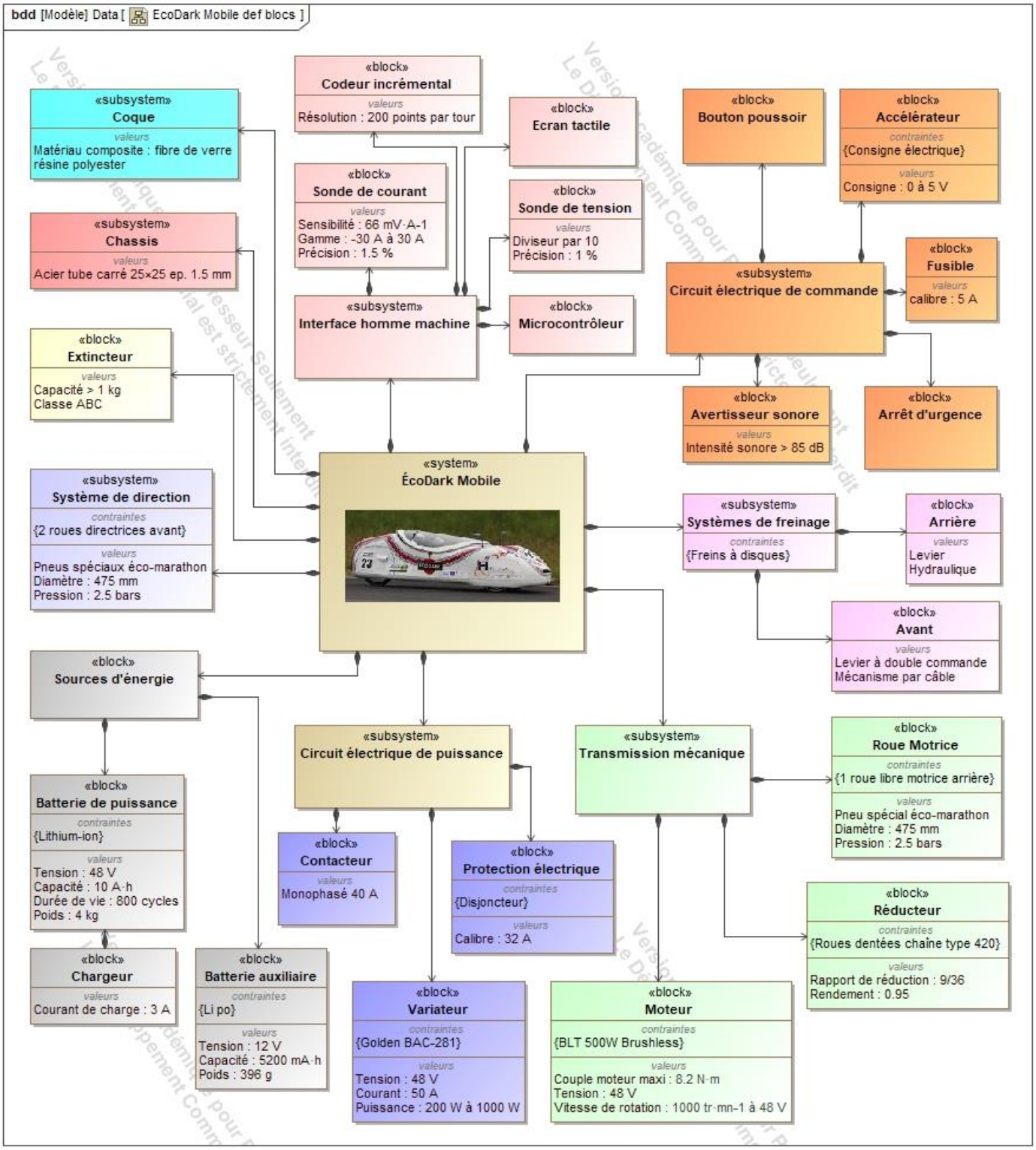


Figure 3 : diagramme de définition de blocs

Diagramme interne de bloc

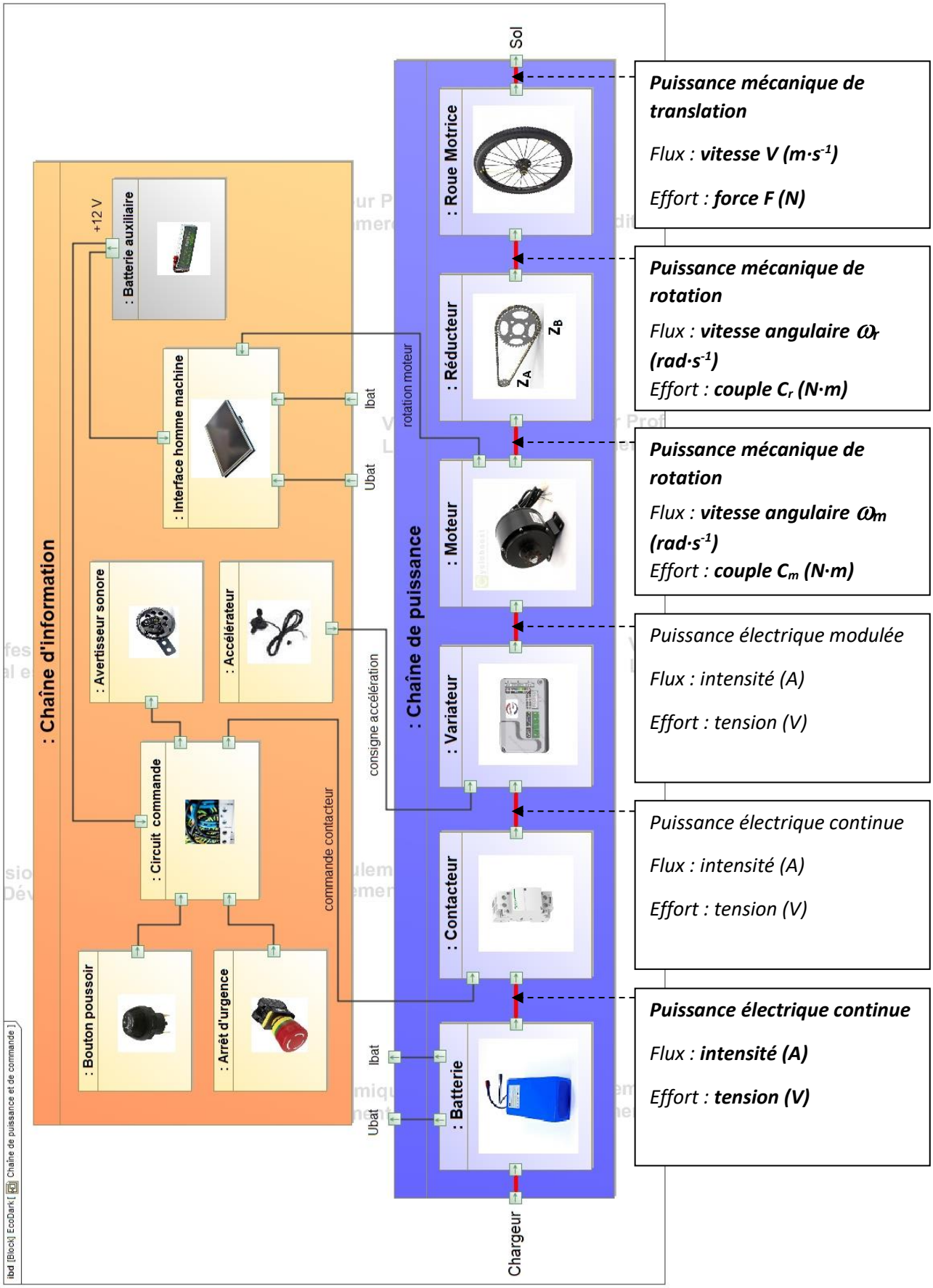


Figure 4 : diagramme de définition de blocs

I - Réduire la consommation énergétique du véhicule

L'objectif de partie est de modéliser le véhicule en situation de course réelle afin de déterminer les paramètres qui influent sur sa consommation et de valider la puissance du moteur électrique choisi.

Hypothèses :

- l'étude est réalisée lorsque le véhicule et son pilote montent une pente de 2% à la vitesse constante de 22 km·h^{-1} ;
- la pente de 2% donne un angle α estimé à 1,146 degrés ;
- le roulement au contact des roues sur le sol est sans glissement ;
- la masse totale du véhicule et de son pilote est m = 120 kg ;
- l'accélération de la pesanteur est g = 9,81 m·s^{-2} ;
- le système possède un plan de symétrie matériel $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$;
- la modélisation des efforts se situe dans le plan $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$.

La situation d'étude est illustrée figure 5.

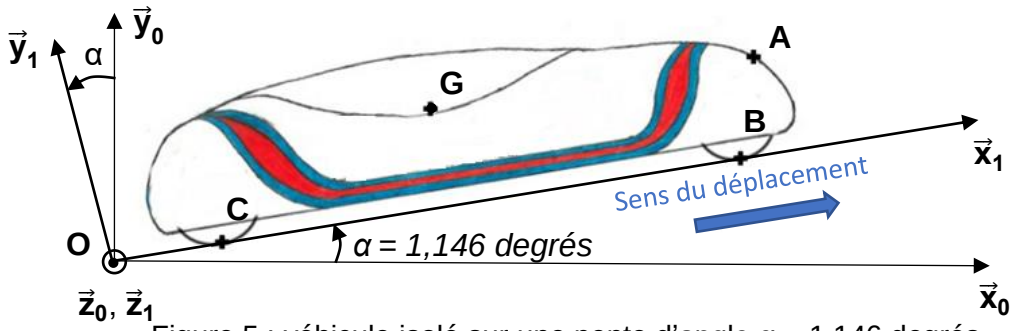


Figure 5 : véhicule isolé sur une pente d'angle α = 1,146 degrés

$R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est un repère fixe lié au sol.

$R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ est un repère fixe lié au sol tel que l'angle $(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_1})$ est α et que les axes $\vec{z}_0$ et $\vec{z}_1$ sont confondus.

Efforts agissant sur le véhicule

On cherche à modéliser l'ensemble des efforts agissant sur l'ensemble « véhicule - pilote ».

- Poids du véhicule et de son pilote

Le poids du véhicule et de son pilote appliqué en G est modélisé par :

$$\overrightarrow{P} = P_{x_1} \cdot \vec{x}_1 + P_{y_1} \cdot \vec{y}_1 \qquad \{T_{\text{pesanteur}\to\text{véhicule}}\} = {}_G\left\{\begin{matrix} P_{x_1} \\ P_{y_1} \\ 0 \end{matrix}\middle|\begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix}\right\}_{(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)}$$

Question 1.1 DR1	**Calculer** les composantes P_{x_1} et P_{y_1} du vecteur $\vec{P}$. **Représenter** sur le document réponse DR1 les composantes $P_{x_1} \cdot \vec{x}_1$ et $P_{y_1} \cdot \vec{y}_1$ du vecteur $\vec{P}$.

- Actions du sol sur les roues

Sur les roues libres avants, l'action du sol sur les roues est modélisée au point B par :

$$\vec{F}_{sol \to roues\ avants} = N_B \cdot \vec{y}_1 \qquad \{T_{sol \to roues\ avants}\} = {}_B\left\{\begin{matrix} 0 & 0 \\ N_B & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix}\right\}_{(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)}$$

Sur la roue motrice arrière, l'action du sol sur la roue est modélisée au point C par :

$$\vec{F}_{sol \to roue\ arrière} = N_C \cdot \vec{y}_1 \qquad \{T_{sol \to roue\ arrière}\} = {}_C\left\{\begin{matrix} 0 & 0 \\ N_C & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix}\right\}_{(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)}$$

Le couple appliqué au centre de la roue arrière engendre un effort au contact du sol.

Cet effort est modélisé au point C par :

$$\vec{F}_{sol \to roue\ arrière} = T_C \cdot \vec{x}_1 \qquad \{T_{sol \to roue\ arrière}\} = {}_C\left\{\begin{matrix} T_C & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix}\right\}_{(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)}$$

Question 1.2 DR1	**Représenter** N_B, N_C et T_C, les composantes des vecteurs $\vec{F}_{sol \to roues\ avants}$ et $\vec{F}_{sol \to\ roue\ arrière}$ sur le document réponse DR1.

- Effets aérodynamiques

Un effort aérodynamique de trainée appelé $\vec{F}_{air \to véhicule}$ est modélisé au point A par :

$$\vec{F}_{air \to véhicule} = -F_A \cdot \vec{x}_1 \qquad \{T_{air \to véhicule}\} = {}_A\left\{\begin{matrix} -F_A & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix}\right\}_{(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)}$$

L'expression de F_A est : $F_A = \frac{1}{2} \times \rho_{air} \times S \times C_X \times V_v^2$ où :

- ρ_{air} : est la masse volumique de l'air estimée à 1,292 $kg \cdot m^{-3}$;
- S : est la surface projetée de la face avant du véhicule estimée à 0,25 m^2 ;
- C_X : est le coefficient de pénétration dans l'air estimé à 0,4 (sans unité);
- V_v : est la vitesse du véhicule en $m \cdot s^{-1}$.

Question 1.3 DR1	**Calculer** la valeur de F_A pour une vitesse de 22 $km \cdot h^{-1}$ et **représenter** cette composante sur le document réponse DR1.

- Efforts de résistance au roulement au niveau des roues

Un phénomène de résistance au roulement existe au niveau des 3 roues. Par soucis de simplification, la résultante de ces efforts de résistance sera modélisée au point G par :

$$\vec{F}_{roulement \rightarrow véhicule} = -F_R \cdot \vec{x}_1 \qquad \{T_{roulement \rightarrow véhicule}\} = \begin{Bmatrix} -F_R & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{G\,(O,\vec{x}_1,\vec{y}_1,\vec{z}_1)}$$

La valeur de F_R est donnée par l'expression : $F_R = n \times C_{rr} \times m \times g$ où :

- n : est le nombre de roues ;
- C_{rr} : est le coefficient de résistance au roulement ;
- m : est la masse du véhicule en kg ;
- g : est l'accélération de la pesanteur en $m \cdot s^{-2}$.

Le tableau de la figure 6 donne quelques valeurs possibles du coefficient de résistance au roulement C_{rr} .

C_{rr}	Description
0,005	Pneus de bicyclette typique
0,0025	Pneus spéciaux challenge ÉducÉco
0,010 à 0,015	Pneus de voiture ordinaire sur béton
0,3	Pneus de voiture ordinaire sur sable

Figure 6 : coefficient de résistance au roulement

Question 1.4 DR1	À partir des données du tableau de la figure 6, **déterminer** la valeur du coefficient C_{rr} à utiliser dans la modélisation. **Calculer** la valeur de F_R pour 3 roues et **représenter** la composante modélisant cette résistance au roulement, ramenée en G sur le document réponse DR1.

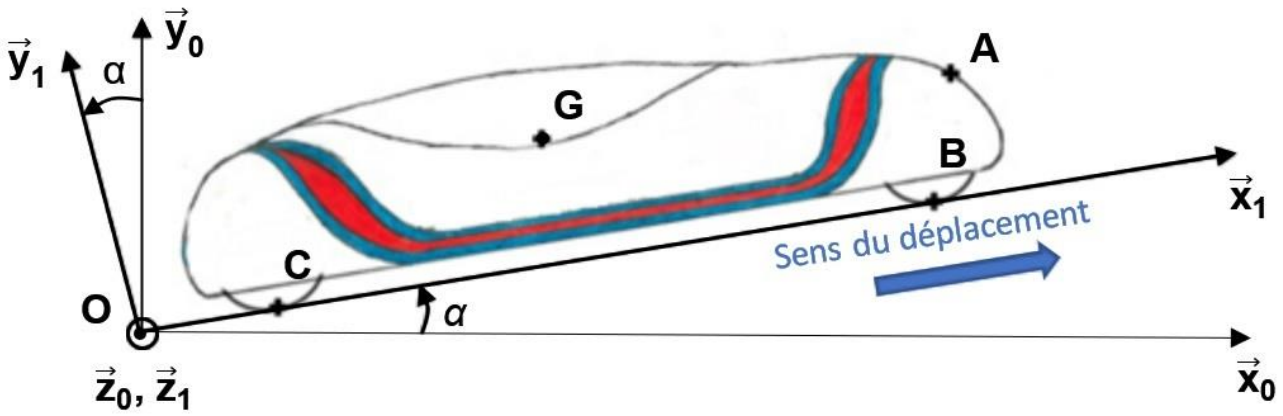
On rappelle que, dans le cadre de l'étude menée, on suppose que le véhicule avance à une vitesse constante de 22 $km \cdot h^{-1}$.

Question 1.5	En appliquant le Principe Fondamental de la Dynamique, **écrire** l'équation littérale de la résultante des efforts en projection sur l'axe $\vec{x}_1$. En **déduire** la valeur de la composante T_C.

Dans la suite de l'étude on utilise la valeur T_C = 35 N.

Question 1.6	**Retrouver** dans le diagramme Bdd (fig 3) le rendement global de la transmission (on négligera le rendement des roues). **Calculer** la puissance motrice P_m nécessaire pour réaliser le déplacement du véhicule dans les conditions de l'étude. **Vérifier** que le moteur utilisé permet l'obtention de cette puissance.

Question 1.7	En supposant que le rendement de l'ensemble moteur + variateur $\eta_{mot+var}$ = 0,8 **calculer** la valeur du courant délivré par la batterie. **Estimer**, à partir des éléments vus dans le diagramme Bdd l'autonomie du véhicule dans ces conditions de fonctionnement.

Document-réponse DR1

Les vecteurs forces demandés seront représentés sans échelle.