

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.

Les véhicules utilisent les carburants ou types d'énergies suivants : l'essence sans plomb 95 (EU), le diesel, le bio méthane, l'ester méthylique d'acide gras (100% FAME), l'éthanol E100 (100% Éthanol), l'hydrogène liquide, l'énergie électrique embarquée sur batterie chargée à partir du réseau électrique national.

Deux types de véhicules sont autorisés à concourir :

- les éco-citadins semblables aux véhicules routiers classiques dans leur aspect comme dans leur technique, en ayant pour objectif les préoccupations habituelles du transport de personnes ;
- les prototypes pour lesquels la quantité d'énergie utilisée pendant la course constitue le critère le plus important. Cette catégorie entend favoriser le maximum d'innovation technique avec le moins de contraintes possible. Le classement est effectué par type d'énergie utilisé.

Le slogan du « Challenge ÉducÉco » est : « la course à l'innovation pour une mobilité durable ».



Les sous-parties 1, 2 et 3 sont indépendantes. Elles sont à traiter obligatoirement.

Les documents réponses DR1, DR2 et DR3 sont à joindre à votre copie

Sous-partie 1

Présentation du véhicule prototype « ÉcoDark »

L'objectif de cette sous-partie est d'identifier les performances attendues du véhicule prototype ÉcoDark ainsi que la structure de sa chaîne de puissance.



Figure 1 : le prototype « ÉcoDark » en compétition

Diagrammes SysML

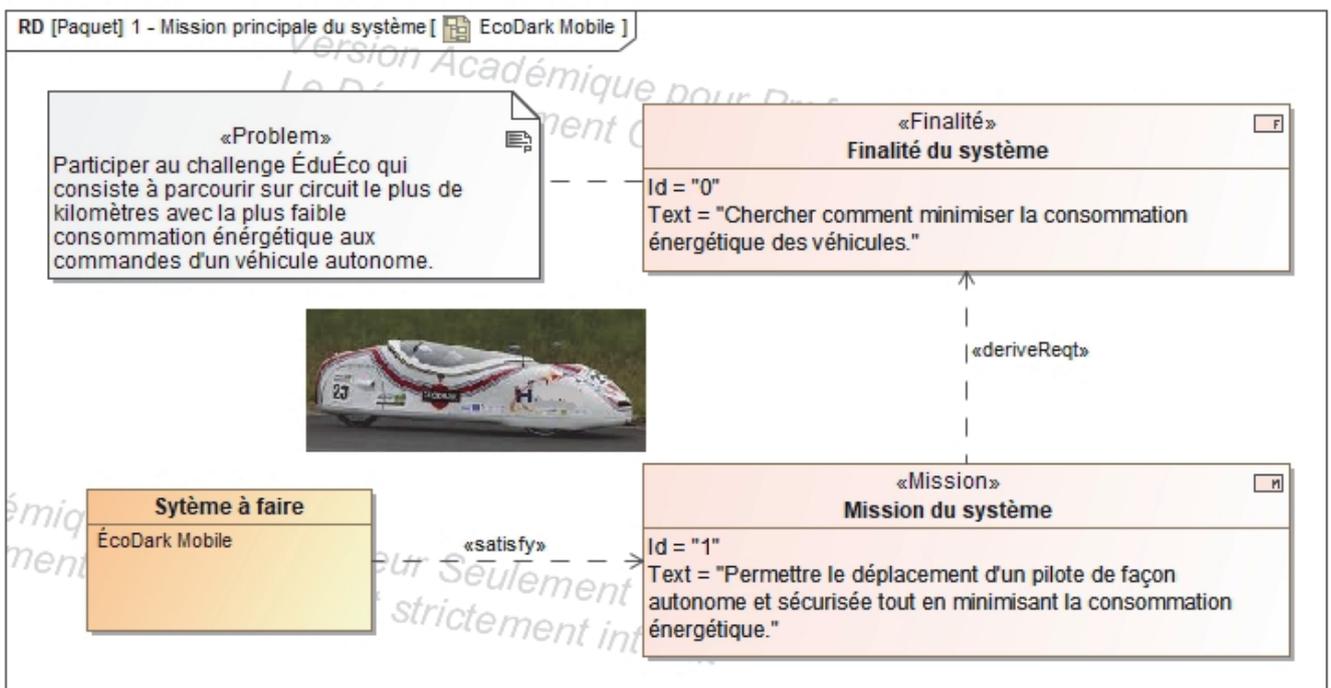


Figure 2 : diagramme de mission principale

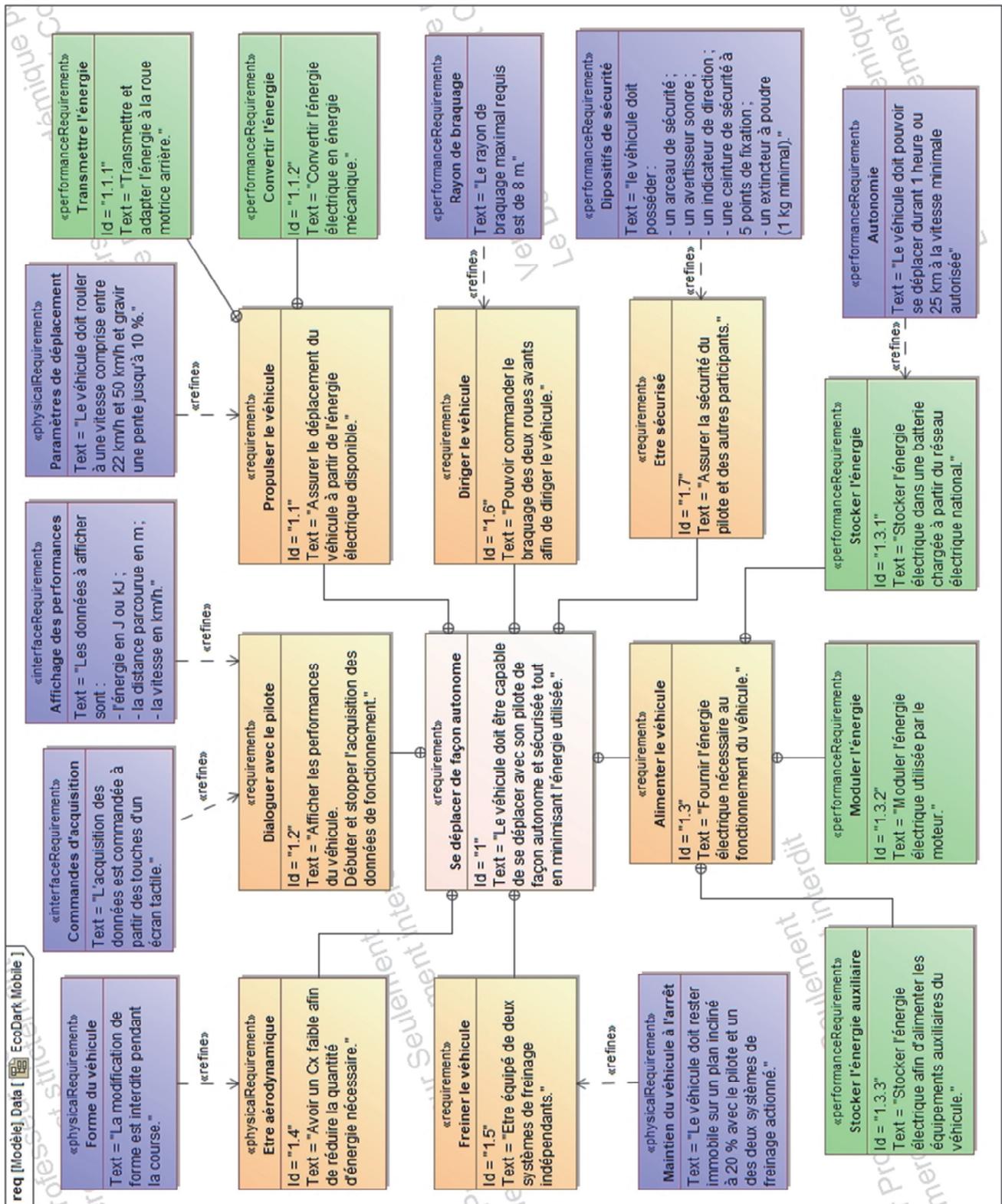


Figure 3 : diagramme des exigences du système

Question 1.1 À partir des diagrammes SysML illustrés en figures 2 et 3, indiquer :

- le type d'énergie exploitée par le véhicule « EcoDark » ;
- les exigences en termes de vitesse et de pente maximale à gravir ;
- les données à afficher afin de renseigner le pilote pendant la course.

Diagramme de définition de blocs

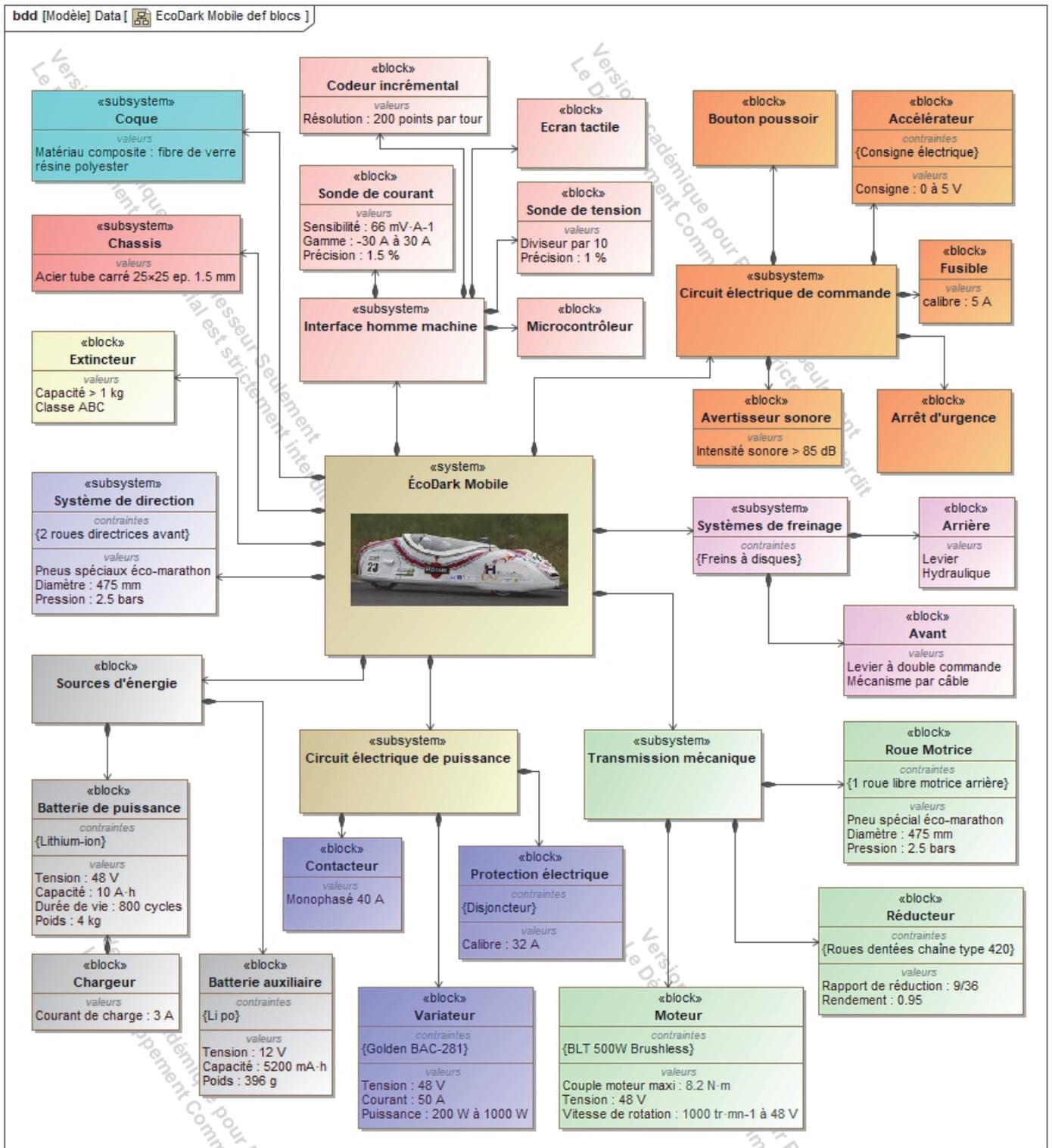


Figure 4 : diagramme de définition de blocs

Question 1.2 **Compléter** sur le document réponse DR1 la chaîne de puissance en indiquant la nature et l'unité des grandeurs de flux et d'effort.

DR1

Sous-partie 2

Réduire la consommation énergétique du véhicule

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

On se propose de réaliser des simulations sur un modèle multiphysique au plus près de la réalité des conditions de course. Pour construire ce modèle, il est nécessaire de réaliser une étude mettant en évidence les efforts agissant sur le véhicule.

Hypothèses :

- l'étude est réalisée lorsque le véhicule et son pilote montent une pente de 2% à la vitesse constante de $22 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- 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 $m = 120 \text{ kg}$;
- l'accélération de la pesanteur est $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- 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.

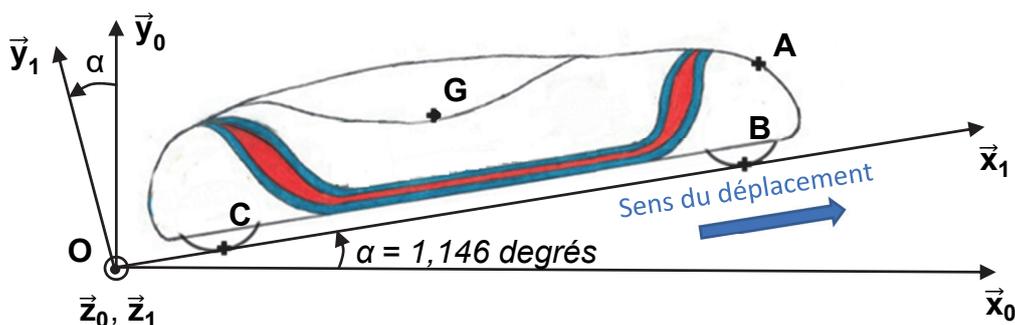


Figure 5 : véhicule isolé sur une pente d'angle $\alpha = 1,146$ degrés

$R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ 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 (\vec{x}_0, \vec{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 :

$$\vec{P} = P_{x_1} \cdot \vec{x}_1 + P_{y_1} \cdot \vec{y}_1 \quad \{T_{\text{pesanteur} \rightarrow \text{véhicule}}\}_G = \left\{ \begin{array}{c|c} P_{x_1} & 0 \\ P_{y_1} & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)}$$

Question 1.3 Calculer les composantes P_{x_1} et P_{y_1} du vecteur \vec{P} . **Représenter** sur le document réponse DR2 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 :

$$\vec{F}_{\text{sol} \rightarrow \text{roues avants}} = N_B \cdot \vec{y}_1 \quad \{T_{\text{sol} \rightarrow \text{roues avants}}\}_B = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ N_B & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)}$$

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

$$\vec{F}_{\text{sol} \rightarrow \text{roue arrière}} = N_C \cdot \vec{y}_1 \quad \{T_{\text{sol} \rightarrow \text{roue arrière}}\}_C = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ N_C & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)}$$

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

Cet effort est modélisé au point C par :

$$\vec{F}_{\text{sol} \rightarrow \text{roue arrière}} = T_C \cdot \vec{x}_1 \quad \{T_{\text{sol} \rightarrow \text{roue arrière}}\}_C = \left\{ \begin{array}{c|c} T_C & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)}$$

Question 1.4 Représenter N_B , N_C et T_C , les composantes des vecteurs $\vec{F}_{\text{sol} \rightarrow \text{roues avants}}$ et $\vec{F}_{\text{sol} \rightarrow \text{roue arrière}}$ sur le document réponse DR2.

- Effets aérodynamiques

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

$$\vec{F}_{\text{air} \rightarrow \text{véhicule}} = -F_A \cdot \vec{x}_1 \quad \{T_{\text{air} \rightarrow \text{véhicule}}\}_A = \left\{ \begin{array}{c|c} -F_A & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)}$$

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

Question 1.5 Calculer la valeur de F_A pour une vitesse de $22 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ et **représenter** cette composante sur le document réponse DR2.

• 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 :

$$\vec{F}_{\text{roulement} \rightarrow \text{véhicule}} = -F_R \cdot \vec{x}_1 \quad \{T_{\text{roulement} \rightarrow \text{véhicule}}\} = \begin{matrix} \left. \begin{matrix} -F_R & | & 0 \\ 0 & | & 0 \\ 0 & | & 0 \end{matrix} \right\} \\ G \quad (O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1) \end{matrix}$$

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 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

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 EducÉco
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 1.6 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 DR2.

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

Question 1.7 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 $T_C = 35 \text{ N}$.

Question 1.8 En prenant en compte le rendement global de la transmission $\eta_{gt} = 0,95$, **calculer** la puissance motrice P_m nécessaire pour réaliser le déplacement du véhicule dans les conditions de l'étude.

Le choix du moteur BLT 500W-48V a été réalisé à partir de la valeur de P_m déterminée par l'étude précédente. Les paramètres de ce moteur ont été utilisés pour construire le modèle multiphysique.

Lors de la course réelle, le véhicule ÉcoDark doit parcourir 3 tours d'un circuit fermé constitué d'une succession de pentes positives ou négatives, de virages et de parties planes.

Le circuit réel est modélisé en traduisant les points de données GPS du parcours en coordonnées cartésiennes. La topologie du circuit est décrite sur les graphes des figures 7 et 8.

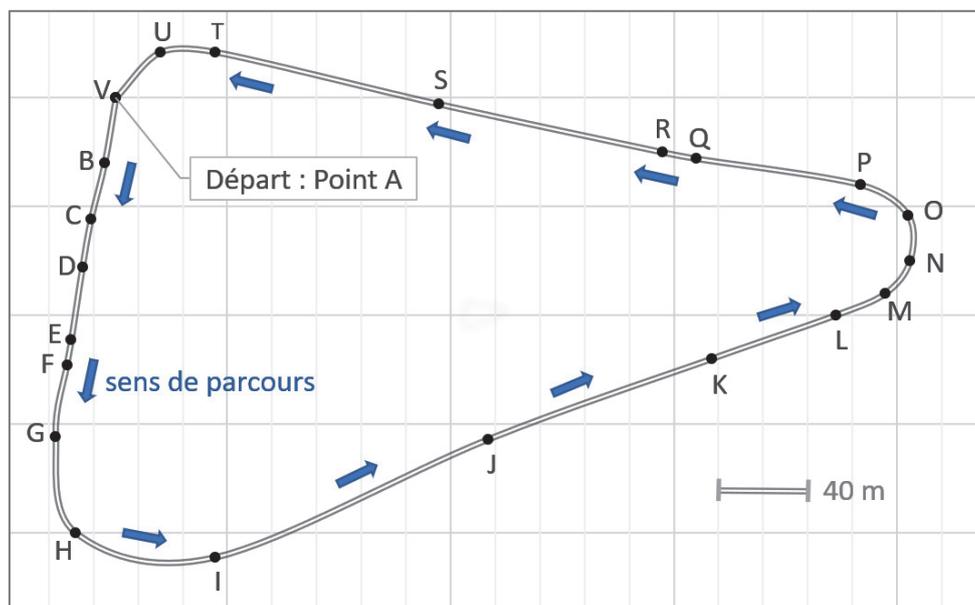


Figure 7 : plan du circuit

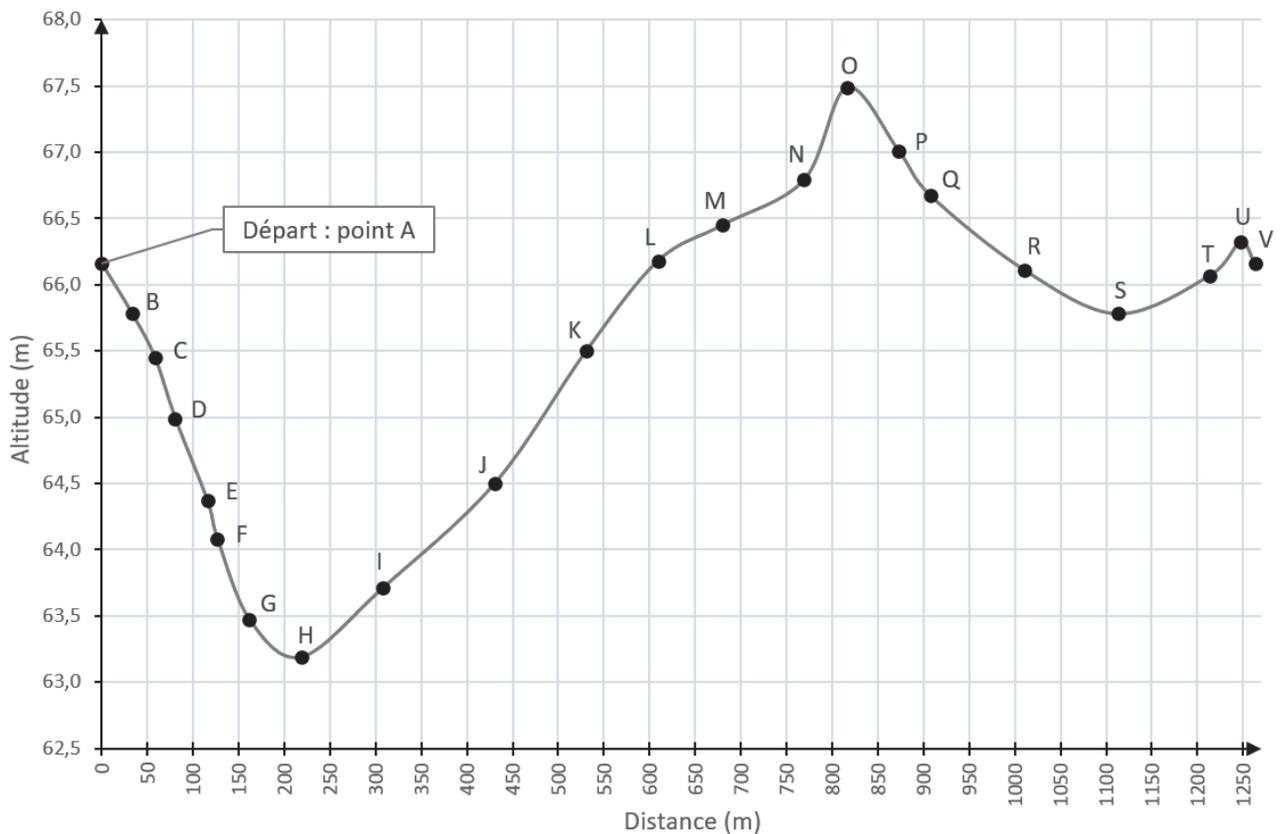


Figure 8 : dénivelé du circuit

Question 1.9 En faisant l'hypothèse d'un tracé linéaire, **calculer** la pente en % entre les points N et O. Sachant que cette pente représente le dénivelé positif maximal du circuit, **valider** l'hypothèse de calcul (pente maximale de 2%) du paragraphe 2.

Le modèle multiphysique du véhicule est proposé figure 9. Il permet d'évaluer la quantité d'énergie nécessaire pour réaliser un tour de circuit à la vitesse moyenne de $22 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Ce modèle simule le fonctionnement du véhicule dans les conditions de course sans tenir compte de la stratégie de pilotage. Il a pour but d'optimiser les paramètres qui influent sur la consommation énergétique du véhicule.

Pour utiliser ce modèle numérique de calcul, un certain nombre de données essentielles ont été renseignées :

- caractéristiques électriques du moteur et de la batterie ;
- masse du véhicule et de son pilote, coefficient de pénétration dans l'air, taille des roues, résistance au roulement, rendement de transmission, rapport de réduction de la transmission ;
- caractéristiques du circuit (pentes et longueur).

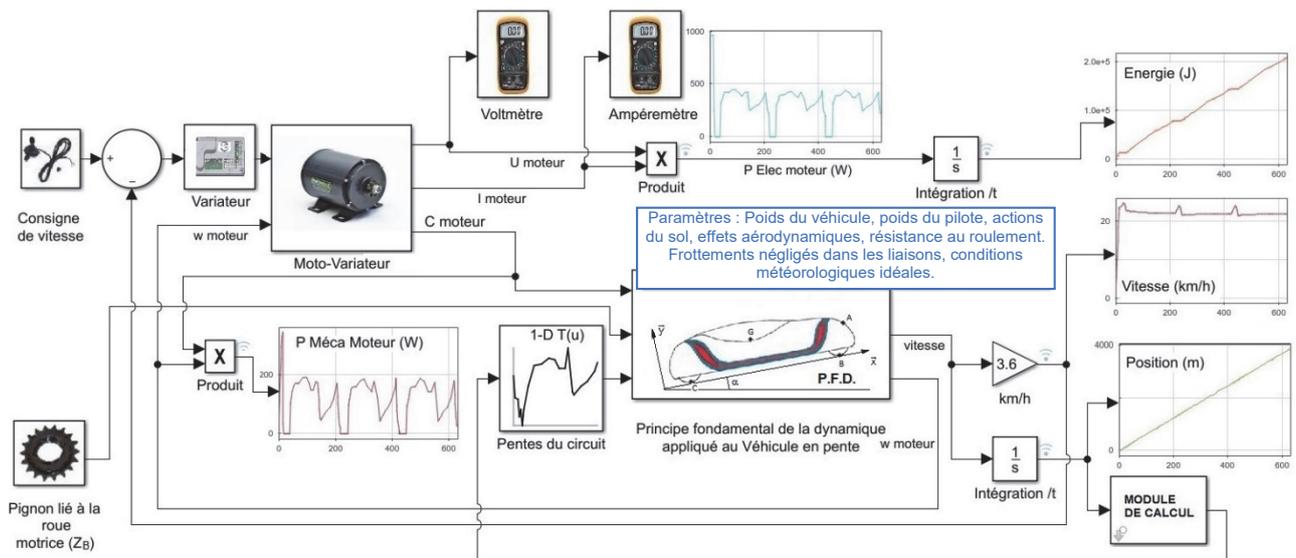


Figure 9 : modèle multiphysique du véhicule « ÉcoDark »

On se propose d'utiliser ce modèle afin de déterminer la quantité d'énergie utilisée pour plusieurs valeurs de Z_B , nombre de dents du pignon de la roue motrice. On vérifiera ensuite si le moteur choisi pour la modélisation va pouvoir réaliser la tâche demandée.

Le graphe représentant la quantité d'énergie nécessaire au véhicule (en kJ) pour un tour de circuit est donné figure 10. La simulation a été réalisée pour différentes valeurs de Z_B .

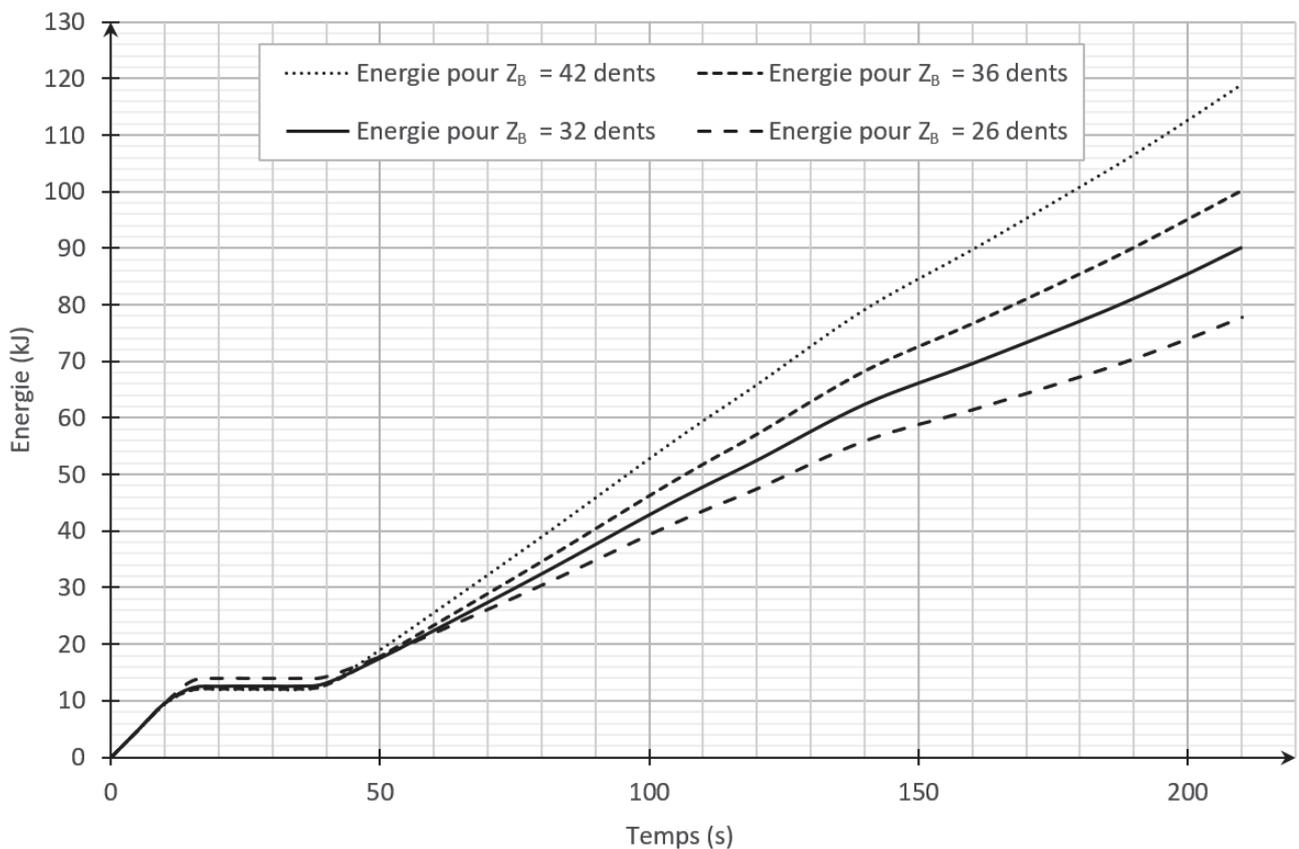


Figure 10 : quantité d'énergie électrique nécessaire pour un tour de circuit

La valeur référence de Z_B est 36 dents, elle correspond au nombre de dents du pignon utilisé sur le véhicule avant modification.

Question 1.10 Choisir la valeur de Z_B afin de réduire au maximum la quantité d'énergie électrique nécessaire au véhicule pour un tour de circuit (soit $t = 210 \pm 10$ s). Calculer le gain d'énergie (en %) obtenu avec la nouvelle valeur de Z_B .

Les courbes proposées figure 11, ont été obtenues à partir du modèle multiphysique durant trois tours de circuit, avec $Z_B = 26$ dents. Elles représentent les variations de la vitesse de rotation du moteur $N_{m \text{ mod}}$, du couple moteur $C_{m \text{ mod}}$, du courant absorbé par le moteur $I_{m \text{ mod}}$ et de la puissance mécanique fournie $P_{m \text{ mod}}$ (les grandeurs déterminées par modélisation sont annotées avec l'indice « mod »).

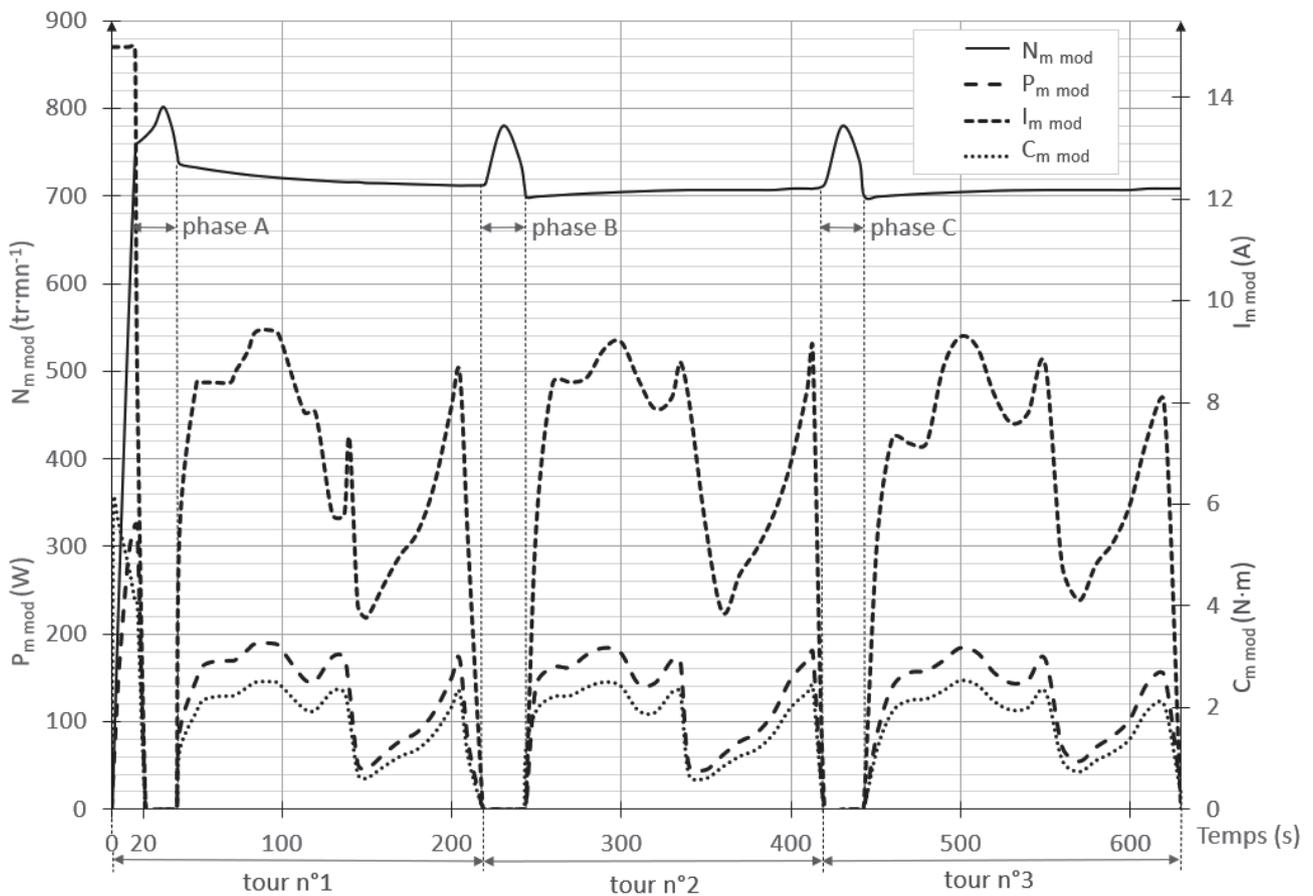


Figure 11 : variations de $N_{m \text{ mod}}$, $C_{m \text{ mod}}$, $I_{m \text{ mod}}$ et $P_{m \text{ mod}}$ obtenues par modélisation

Remarque : Afin d'adopter une stratégie de course qui consiste à accumuler l'énergie cinétique en phase de descente, la roue motrice arrière est dotée d'un mécanisme irréversible (de type roue libre). De ce fait, la vitesse du véhicule (et donc celle du moteur) augmente au-delà de $22 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en cas d'un dénivelé négatif important. Ce fonctionnement correspond aux phases A, B et C des graphes de la figure 11.

Les caractéristiques du moteur BLT 500W-48V données par le constructeur sont proposées figures 12 et 13. Celles-ci vont permettre de vérifier si le moteur est correctement choisi.

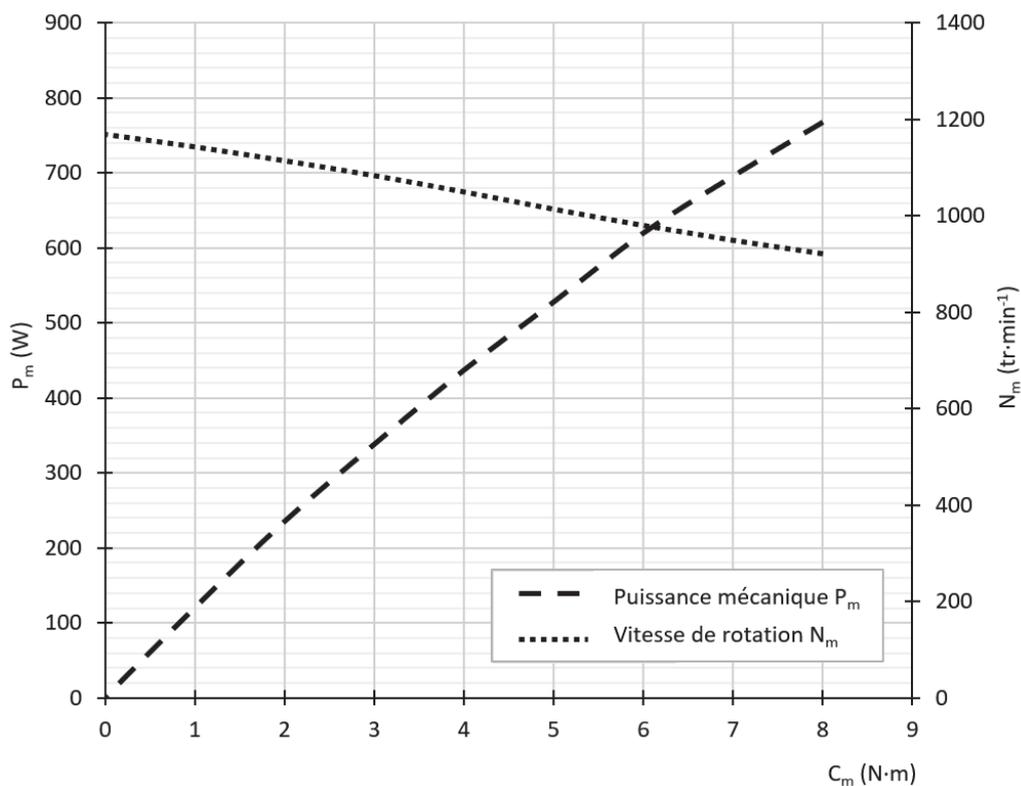


Figure 12 : caractéristiques constructeur $P_m = f(C_m)$ et $N_m = f(C_m)$ pour $U = 48$ V

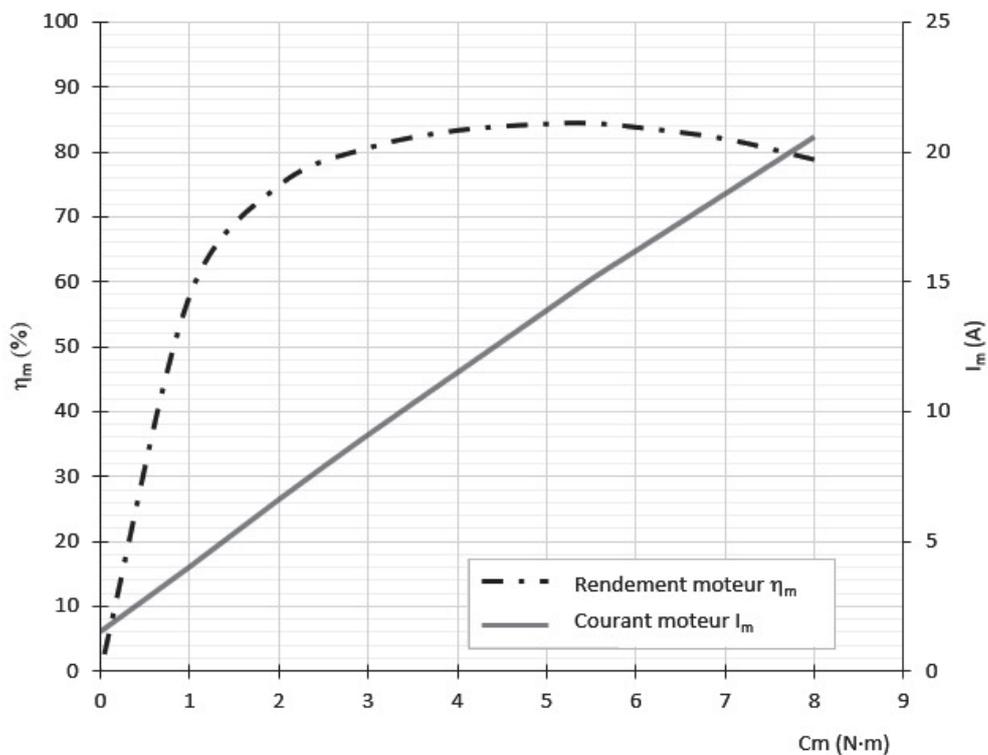


Figure 13 : caractéristiques constructeur $I_m = f(C_m)$ et $\eta_m = f(C_m)$ pour $U = 48$ V

Afin de valider le choix du moteur, les grandeurs à vérifier sont : la vitesse de rotation N_m , le couple moteur C_m , le courant absorbé I_m , et la puissance mécanique fournie P_m .

Question 1.11 **Compléter** le tableau du document réponse DR2 avec les valeurs maximales des grandeurs obtenues par modélisation (en dehors de la phase de démarrage soit $t > 20$ s) et celles données par le constructeur (cas particulier où le rendement du moteur η_m est optimal). **Calculer** les écarts relatifs par rapport aux données du constructeur et **conclure** sur le choix du moteur BLT-500 W - 48 V.

Question 1.12 **Compléter** le tableau du document réponse DR2 avec les écarts relatifs entre les valeurs maximales des grandeurs obtenues par modélisation et les données du constructeur.
Conclure sur le choix du moteur BLT-500 W - 48 V.

Sous-partie 3

Réduire la consommation énergétique du véhicule

L'objectif de cette sous-partie est d'évaluer les performances du logiciel permettant de renseigner le pilote sur la consommation électrique et la vitesse du véhicule.

3. Comment renseigner le pilote sur les performances du véhicule ?

Le pilote est renseigné sur les données de fonctionnement instantanées du véhicule. Ces informations, sont affichées sur une interface de dialogue du type écran tactile (figure 14). Durant la course, elles vont lui permettre d'adapter au mieux le mode de conduite afin de réaliser la meilleure manche possible. À la fin de chaque manche, les valeurs obtenues sont enregistrées pour être analysées en vue d'améliorer les performances futures.



Figure 14 : interface de dialogue du véhicule

Acquisition de l'énergie électrique et de la distance parcourue

L'affichage de la quantité d'énergie électrique utilisée par le véhicule nécessite de mesurer la tension aux bornes de la batterie U_{bat} et l'intensité du courant I_{bat} délivrée par celle-ci. Pour réaliser ces mesures, la batterie du véhicule est équipée d'une sonde de courant et d'une sonde de tension. Un codeur incrémental placé en bout d'arbre moteur permet la mesure de la distance parcourue par le véhicule.

Les données issues de ces capteurs sont transmises à un microcontrôleur qui calcule en permanence les informations relatives au fonctionnement du véhicule.

Le diagramme de blocs internes de l'interface homme machine est représenté figure 15.

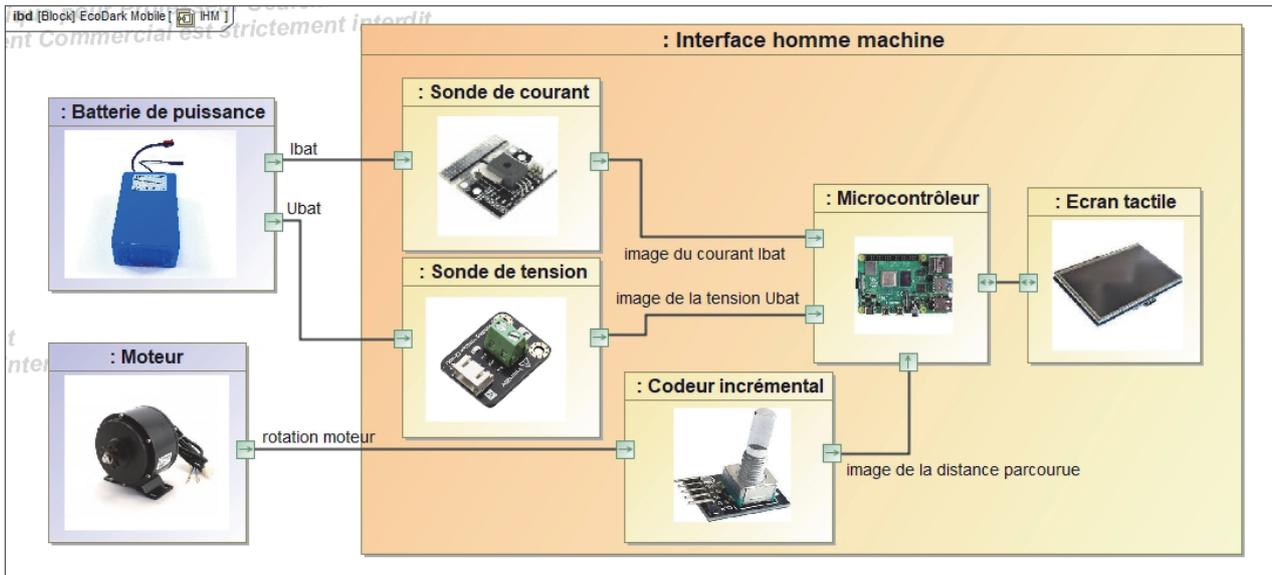


Figure 15 : diagramme de blocs internes de l'interface homme machine

Mesure de la quantité d'énergie électrique utilisée par le véhicule

La sonde de courant utilise le principe de l'effet Hall pour mesurer l'intensité du courant la traversant. Son information de sortie est une tension continue comprise entre 0 V et 5 V, proportionnelle au courant mesuré. La sensibilité du capteur est de $66 \text{ mV}\cdot\text{A}^{-1}$, la gamme de mesure est de -30 A à 30 A.

On note U_i la tension en sortie de la sonde de courant. La figure 16 illustre la caractéristique de U_i en fonction du courant mesuré.

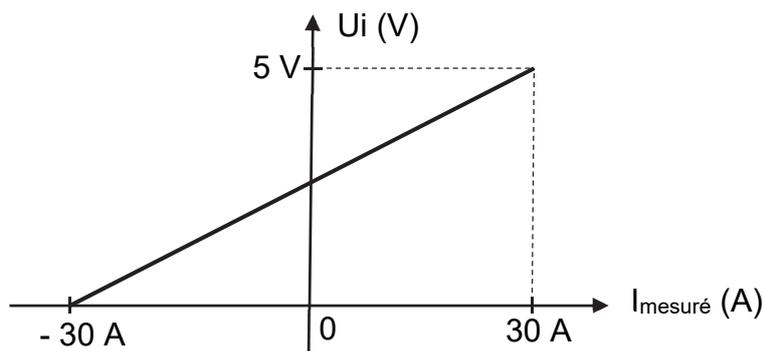


Figure 16 : caractéristique de la sonde de courant, U_i (V) en fonction de $I_{\text{mesuré}}$ (A)

La sortie de cette sonde est reliée à une entrée analogique du microcontrôleur. Le Convertisseur Analogique Numérique (CAN) du microcontrôleur effectue une conversion sur 10 bits, avec une tension de référence égale à 5 V. Le résultat de la conversion analogique numérique est noté « N_i ».

La courbe illustrée en figure 17 est une approximation linéaire de la caractéristique du CAN. Cette caractéristique indique la valeur disponible dans la variable Ni en fonction de la tension Ui appliquée en entrée du CAN.

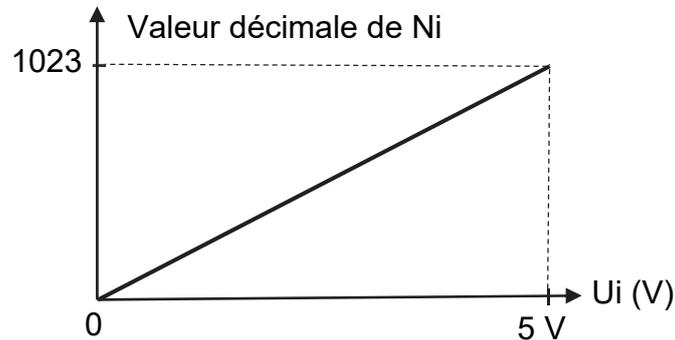


Figure 17 : caractéristique du CAN, Ni (10 bits) en fonction de Ui (V)

Question 1.13 À l'aide des caractéristiques des figures 16 et 17, **tracer** l'allure de la caractéristique de $I_{mesuré}$ en fonction de Ni. **Préciser** les points particuliers de cette caractéristique.

On souhaite disposer, dans le programme du microcontrôleur, d'une variable de type réel (float) notée « *intensite* » qui contient la valeur de l'intensité en A du courant de la batterie mesurée par la sonde de courant.

Question 1.14 À partir de la caractéristique établie à la question précédente, **donner** la relation qui permet de calculer la variable « *intensite* » en fonction de la grandeur numérique Ni.

La sonde de tension, dont le schéma interne est donné figure 18, est constituée d'un pont diviseur de tension. L'information de sortie U_v est reliée à une entrée analogique du microcontrôleur. La caractéristique de conversion du CAN est celle définie à la question précédente, le résultat de cette conversion est noté « N_v ».

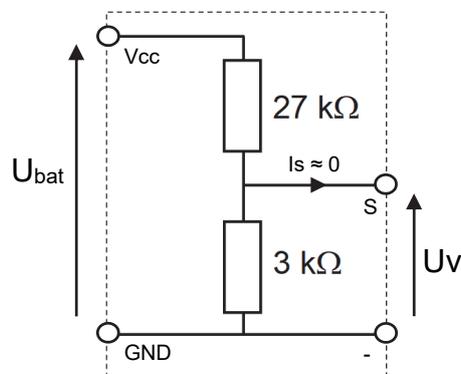


Figure 18 : schéma interne de la sonde de tension

Question 1.15 **Donner** l'expression de la tension U_v en fonction de U_{bat} et des valeurs de résistance. En **déduire** la relation qui permet de calculer la variable de type réel « *tension* » contenant la valeur de U_{bat} en V en fonction de la grandeur numérique N_v .

L'acquisition de l'intensité du courant I_{bat} (en A) et de la tension U_{bat} (en V) est déclenchée toutes les secondes par un timer du microcontrôleur. Ces données permettent le calcul de la puissance électrique instantanée P_i absorbée par le véhicule et de la quantité d'énergie électrique E_{1s} nécessaire au fonctionnement du véhicule pendant une seconde. Les valeurs de I_{bat} et U_{bat} sont supposées constantes pendant la période d'acquisition.

Question 1.16 **Donner** l'expression de la puissance électrique instantanée P_i (en W) en fonction de I_{bat} et U_{bat} . En **déduire** l'expression de la quantité d'énergie E_{1s} (en J).

L'algorithme « *mesure énergie* » est proposé sur le document réponse DR2.

Question 1.17 **Compléter** cet algorithme sur le document réponse DR2 afin de calculer les variables « *intensite* » et « *tension* » en fonction des grandeurs numériques N_i et N_v . **Compléter** ce même algorithme par le calcul des variables de type réel « *energie_par_seconde* », la quantité d'énergie électrique E_{1s} et « *energie_cumulee* », la quantité d'énergie électrique (en J) cumulée toutes les secondes.

Affichage de la quantité d'énergie électrique par unité de distance

L'affichage de la quantité d'énergie nécessaire pour un tour de circuit et celle ramenée au kilomètre nécessite de connaître la distance parcourue par le véhicule. Un codeur incrémental disposé en bout d'arbre du moteur est utilisé pour mesurer cette distance. La mesure de la vitesse du véhicule à partir de ce codeur ne fait pas partie de l'étude.

Le codeur délivre un train d'impulsions dont le comptage permet de déduire la distance parcourue. La voie A du codeur est reliée à une entrée d'interruption (INT) du microprocesseur. Chaque front montant du signal A entraîne le comptage d'une impulsion.

Le schéma de principe de la mesure de distance est donné figure 19.

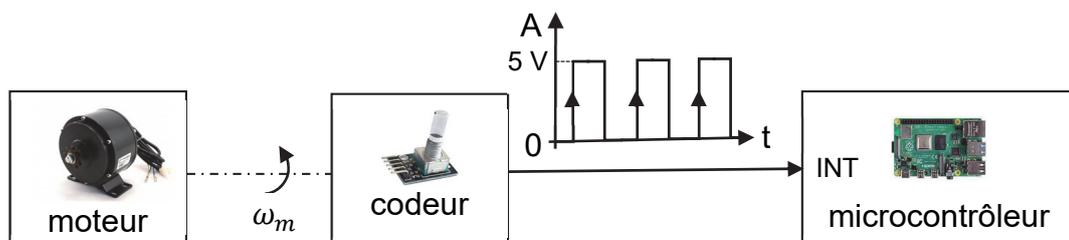


Figure 19 : schéma de principe de la mesure de distance

La résolution du codeur est de 200 points par tour, sa tension de travail est de 5 V. Le diamètre de la roue motrice du véhicule est $D_{\text{roue}} = 475$ mm. Le rapport de réduction du système de transmission entre l'arbre moteur et la roue est de $r = \frac{9}{26}$.

Question 1.18 **Calculer** la distance (en m) parcourue par le véhicule pour un tour de l'arbre moteur. **Calculer** la précision de la mesure notée dl qui correspond à la distance élémentaire parcourue par le véhicule pour une impulsion délivrée par le codeur.

L'algorithme « `mesure distance parcourue` » est proposé sur le document réponse DR3.

Question 1.19 **Compléter** l'algorithme du document réponse DR3 afin d'incrémenter la variable de type entier (integer) « `nb_impulsion` » à chaque front montant du signal A et de calculer la variable de type réel « `distance` » contenant la distance instantanée parcourue par le véhicule.

Le pilote dispose de deux commandes « `start mesure` » et « `stop mesure` » sur l'écran tactile. En début de manche, la touche tactile « `start mesure` » active l'acquisition et l'affichage des performances du véhicule. La touche tactile « `stop mesure` » enregistre les données et réinitialise l'ensemble des variables. L'interface de dialogue est programmée à l'aide du module Tkinter intégré à la bibliothèque de l'environnement Python.

La séquence « `calcul_energies` » à compléter est donnée sur le document réponse DR3. Elle permet de calculer et d'afficher tous les 100 m la quantité d'énergie électrique instantanée ramenée sur un kilomètre. La quantité d'énergie totale et la moyenne au kilomètre sont calculées et affichées à la fin de chaque tour (voir affichage proposé sur l'interface illustrée en figure 14).

Les instructions du langage Python nécessaires sont définies dans le tableau de la figure 20. Le tableau de définition des variables utilisées est donné figure 21. La longueur du circuit est de 1263 m.

Question 1.20 **Compléter** sur le document réponse DR3 la séquence « `calcul_energies` » en langage Python, afin de calculer et d'afficher les différentes quantités d'énergie demandées.

condition if	if condition1 :
elif	instruction1 # si condition1 vraie faire instruction1
else	elif condition2 :
	instruction2 # sinon si condition2 vraie
	# faire instruction2
	else :
	instruction3 # sinon faire instruction3
afficher dans la zone texte n°1 de l'interface	zone_texte_n1.config (text = 'texte 1' + 'texte 2') texte 1 et texte 2 variables de type chaînes de caractères (string)
str (donnée)	Convertit la variable donnée (float ou int) en chaîne de caractères
round (donnée, x)	Arrondit la variable donnée (float) en gardant x décimales

Figure 20 : instructions du langage Python à utiliser

<i>energie_cumulee</i>	Variable de type réel contenant la valeur de la quantité d'énergie électrique (en J) cumulée toutes les secondes pendant le tour en cours.
<i>distance</i>	Variable de type réel contenant la valeur de la distance instantanée (en m) parcourue par le véhicule.
<i>distance_test</i>	Variable de type réel contenant la valeur de la distance de test (en m) pour laquelle la variable « energie_inst_km » est calculée.
<i>energie_au_tour</i>	Variable de type réel contenant la valeur de la quantité d'énergie électrique utilisée (en kJ) au dernier tour de circuit.
<i>energie_au_km</i>	Variable de type réel contenant la valeur de la quantité d'énergie électrique moyenne (en kJ) ramenée sur un km au dernier tour de circuit.
<i>energie_inst_km</i>	Variable de type réel contenant la valeur de la quantité d'énergie électrique instantanée (en J) ramenée sur un km et calculée tous les 100 m.

Figure 21 : définition des variables de la séquence

Les quantités d'énergie électrique enregistrées par le système d'acquisition du véhicule durant le challenge ÉducÉco sont données figure 22. Ces valeurs ont été mesurées lors de la meilleure manche réalisée (3 tours de 1263 m).

	1 ^{er} tour	2 ^{ème} tour	3 ^{ème} tour
Énergie au tour (kJ)	93,7	95,6	96,9
Énergie au km (kJ)	74,2	75,7	76,7

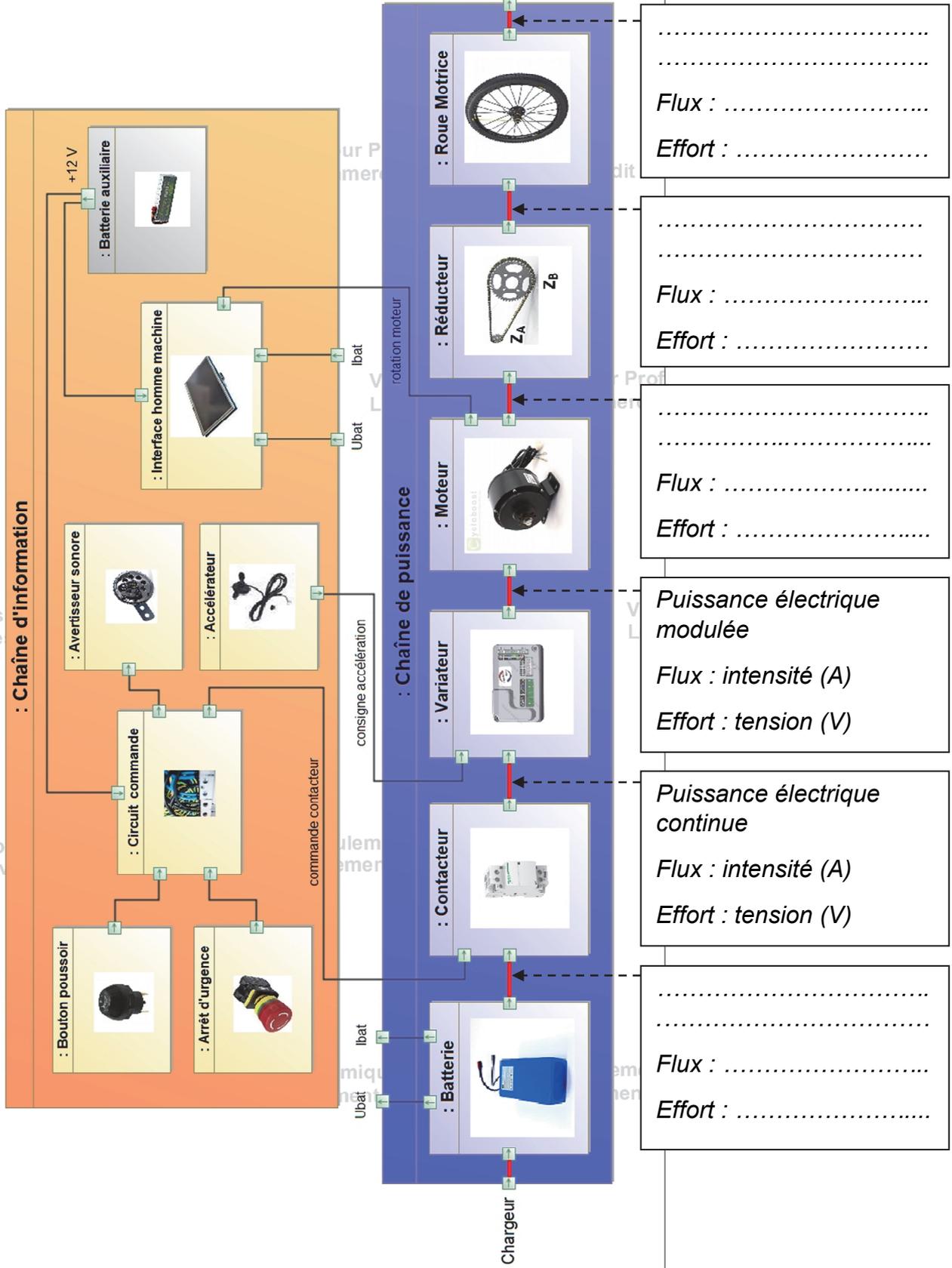
Figure 22 : énergies mesurées durant le challenge par le système d'acquisition

Les résultats officiels sont mesurés par un autre système d'acquisition (joulemètre) installé sur le véhicule à la demande du jury. Ce joulemètre officiel assure une précision de mesure optimale. Le meilleur résultat relevé par le jury durant cette manche est de 78,5 kJ au km.

Question 1.21 **Calculer** l'écart relatif (en %) par rapport à la valeur officielle, entre la quantité d'énergie au km mesurée par le système d'acquisition (choisir la valeur optimale) et la quantité d'énergie au km mesurée par le joulemètre officiel. **Conclure** en proposant des améliorations possibles sur les éléments de la chaîne d'acquisition afin de réduire cet écart.

Document-réponse DR1

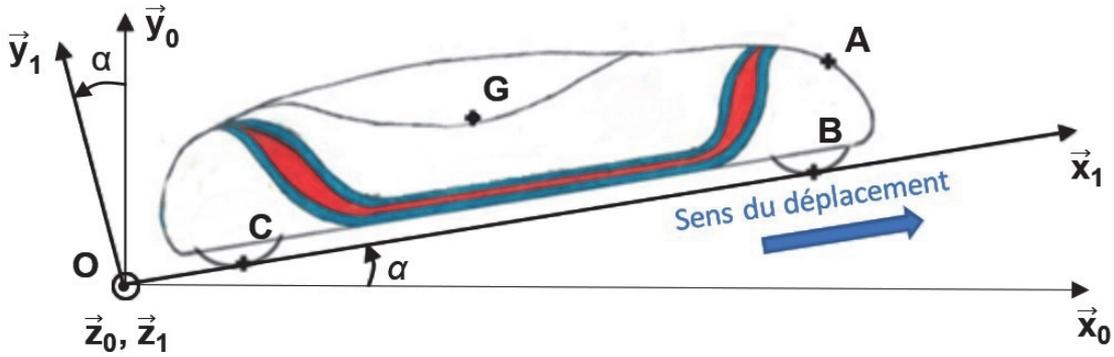
Question 1.2



Document-réponse DR2

Questions 1.3, 1.4, 1.5 et 1.6

Les vecteurs forces demandés seront représentés sans échelle.



Questions 1.11 et 1.12

	Valeurs maximales obtenues par modélisation	Valeurs données par le constructeur (cas d'un rendement optimal)	Écart relatif (en %)
N_m (en tr/mn)			
C_m (en N·m)			
I_m (en A)			
P_m (en W)			

Question 1.17

Algorithme mesure énergie

Toutes les 1 s **FAIRE**

LIRE Ni

LIRE Nv

intensite ←

tension ←

energie_par_seconde ←

energie_cumulee ←

FIN

Document-réponse DR3

Question 1.19

Algorithme mesure distance parcourue

À chaque front montant sur l'entrée d'interruption **FAIRE**

```
nb_impulsion ← .....  
distance ← .....
```

FIN

Question 1.20

```
def calcul_energies () :  
..... : # si un tour de circuit est effectué  
# calculer les énergies à la fin de chaque tour  
energie_au_tour = round (.....)  
energie_au_km = round (energie_au_tour / 1.263,2)  
# afficher les résultats dans les zones textes n°8  
# (zone d'affichage de l'énergie au tour)  
# et n°10 (zone d'affichage de l'énergie moyenne au km)  
zone_texte_n8.config (text = str(.....) + .....)  
zone_texte_n10.config(text = str(energie_au_km) + ' kJ')  
# réinitialiser les variables  
energie_cumulee = .....  
distance = .....  
nb_impulsion = 0  
distance_test = 100  
.....: # sinon si une distance de 100 m est parcourue  
# calculer l'énergie instantanée ramenée au km  
energie_inst_km = round (.....)  
# afficher le résultat dans la zone texte n°4  
# (zone d'affichage de l'énergie instantanée)  
zone_texte_n4.config (text = str(.....) + .....)  
distance_test += 100 # ajouter 100 à la variable  
# « distance-test »  
IHM.after(100, calcul_energies) # exécuter la fonction  
# calcul_energies périodiquement
```

