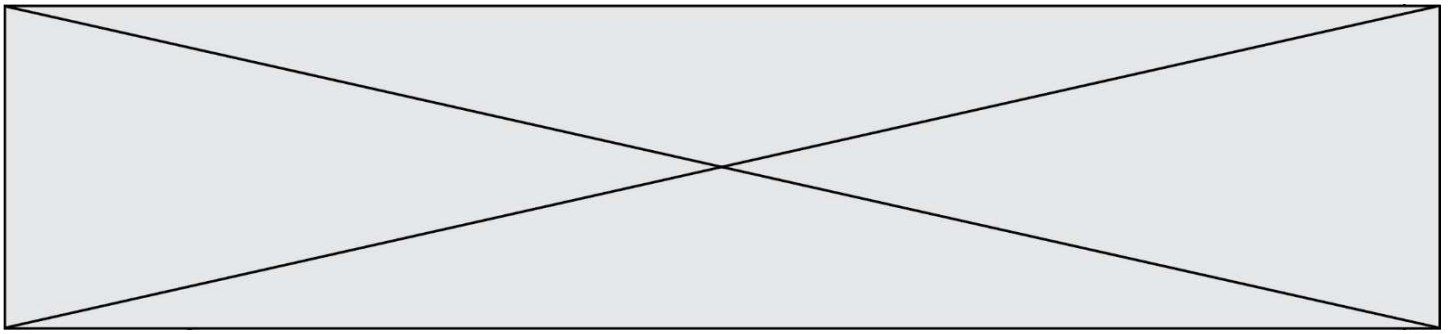


**TRAINING!**

**2021-2022**

**SCIENCES  
INGÉNIEUR**

**PREMIÈRE  
SPÉCIALITÉ**



**BACCALAURÉAT GÉNÉRAL**  
**Épreuve Commune de Contrôle Continu**  
**E3C**  
**SCIENCES DE L'INGÉNIEUR**

Coefficient 5

Durée : 2 heures

Aucun document autorisé

L'usage des calculatrices est autorisé dans les conditions suivantes :

- l'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé ;
- l'usage de calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

**Information aux candidats** : les candidats qui disposent d'une calculatrice avec mode examen devront l'activer le jour des épreuves et les calculatrices dépourvues de mémoire seront autorisées. Ainsi tous les candidats composeront sans aucun accès à des données personnelles pendant les épreuves.

**Constitution du sujet**

- **Étude d'une performance du produit**..... Pages 5 à 7
- **Commande du fonctionnement du produit ou modification de son comportement** ..... Pages 8 à 11
- **Documents techniques** ..... Pages 12 à 15
- **Documents réponses** ..... Pages 16 à 18

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :


(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :  N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

Né(e) le :  /  /



1.1

### Rappel du règlement de l'épreuve

Le sujet comporte deux exercices indépendants l'un de l'autre, équilibrés en durée et en difficulté, qui s'appuient sur un produit unique.

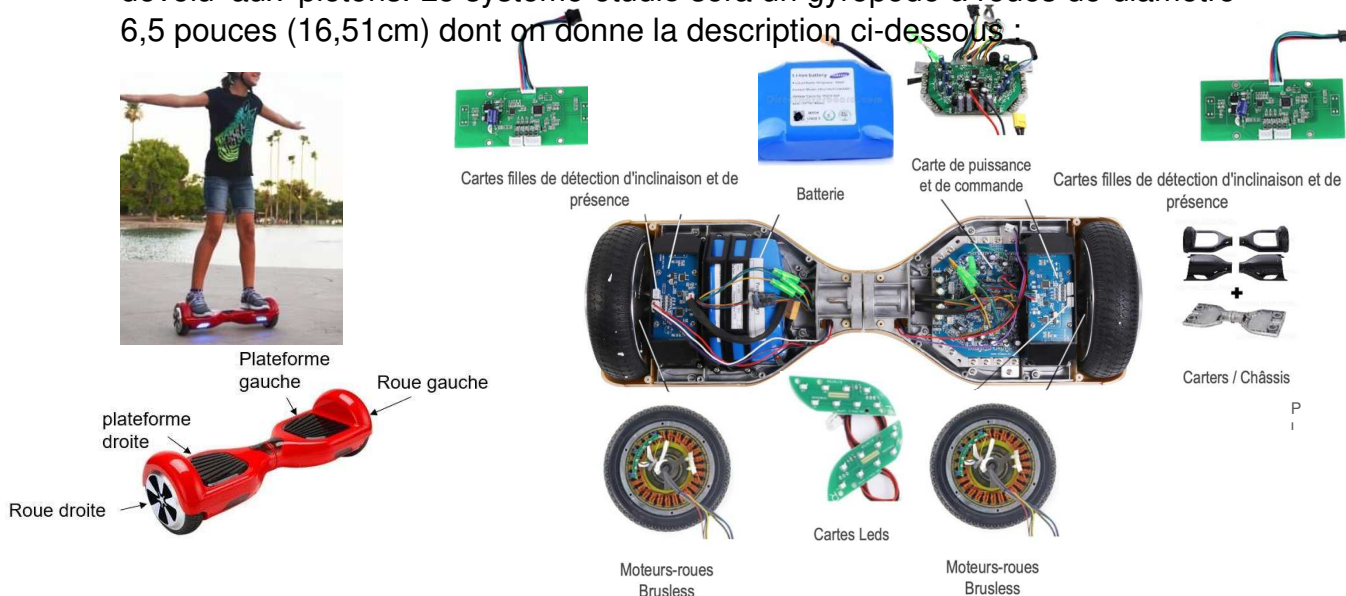
Un premier exercice s'intéresse à l'étude d'une performance du produit. Les candidats doivent mobiliser leurs compétences et les connaissances associées pour qualifier et/ou quantifier cette performance, à partir de l'analyse, de la modélisation de tout ou partie du produit ou de relevés expérimentaux.

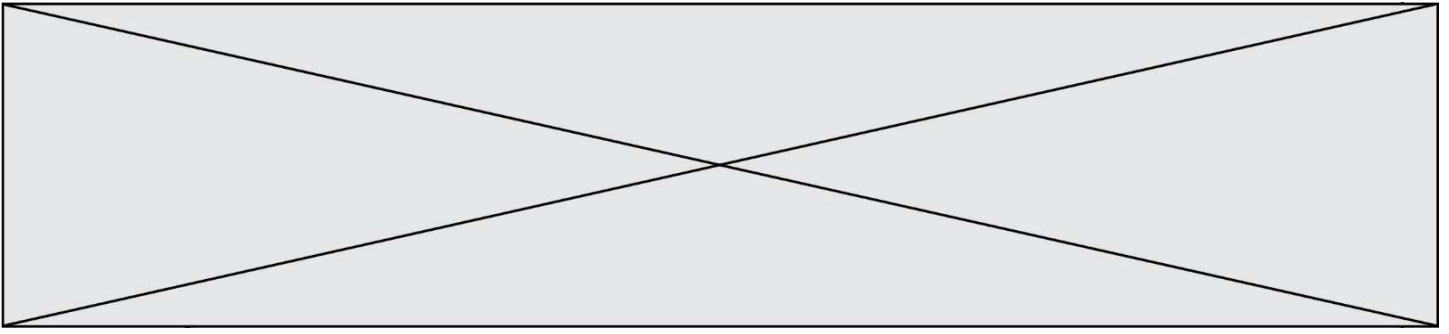
Le second exercice porte sur la commande du fonctionnement du produit ou la modification de son comportement. L'étude s'appuie sur l'algorithmique et de la programmation, à partir de ressources fournies au candidat qu'il devra exploiter, compléter ou modifier.

## GYROPODE « HOVERBOARD »

L'objet de cette étude est un gyropode (souvent appelé « hoverboard »).

Un gyropode est un véhicule de loisirs permettant de se déplacer rapidement, silencieusement et sans émission polluante dans l'espace dévolu aux piétons. Le système étudié sera un gyropode à roues de diamètre 6,5 pouces (16,51cm) dont on donne la description ci-dessous :





### **Description :**

Le gyropode est constitué de 2 plateformes (droite et gauche) reliées entre elles par un axe leurs permettant une rotation relative l'une par rapport à l'autre.

Chaque plateforme contient :

- Un ensemble moteur brushless associé à une roue ;
- Un capteur d'inclinaison permettant d'acquérir l'angle d'inclinaison de la plateforme par rapport à l'horizontale ;
- Un capteur de vitesse permettant d'acquérir la vitesse de rotation du moteur ;
- Un capteur de présence.

L'ensemble contient également une batterie et une carte électronique (carte de commande et de puissance, carte Leds).

### **Fonctionnement :**

Par l'intermédiaire de ses pieds, l'utilisateur génère l'inclinaison des plateformes par rapport à l'horizontal de manière indépendante. La mesure de cette inclinaison, est interprétée par la carte électronique comme une consigne de vitesse pour les moteurs. La carte électronique génère alors le signal correspondant de commande de la tension d'alimentation des moteurs.

### **Caractéristiques :**

- Puissance Moteur : 700 Watts (2 moteurs de 350W) ;
- Batterie : 36 V - 4.4 Ah (lithium-ion) ;
- Autonomie : 1h environ ou 5 km avec une charge complète (varie selon le poids de l'utilisateur, le type de terrain pratiqué et la vitesse d'utilisation) ;
- Temps de chargement : 2 à 3 heures ;
- Vitesse maximale : 15 km·h<sup>-1</sup> en fonction du poids de l'utilisateur ;
- Charge maximale de l'utilisateur : 120 kg.

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :


(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :  N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

Né(e) le :  /  /



1.1

## EXERCICE 1 : ÉTUDE D'UNE PERFORMANCE DU PRODUIT

### OBJECTIF : vérifier l'autonomie du gyropode

#### Question I-1

Donner le « service attendu » offert par le système du point de vue utilisateur, en complétant le diagramme de cas d'utilisation (voir document réponse DR1). Puis à partir du diagramme des exigences (voir document technique DT1), donner l'exigence permettant de définir l'autonomie du gyropode ainsi que les paramètres de la batterie permettant de satisfaire cette exigence.

Dans le but de vérifier l'autonomie du gyropode, un modèle multi-physique de la chaîne de puissance est élaboré (voir document technique DT3). Il comprend entre autres la batterie, les moteurs, et prend en compte la masse de la personne, les inerties des roues et la résistance au roulement.

Nota : Le contrôle de la stabilité ne sera pas étudié ici.

Les courbes de la fig1. sont le résultat d'une simulation effectuée avec le modèle multi-physique du gyropode. La simulation a été réalisée en considérant une personne utilisant le gyropode ayant une masse de 70 Kg.

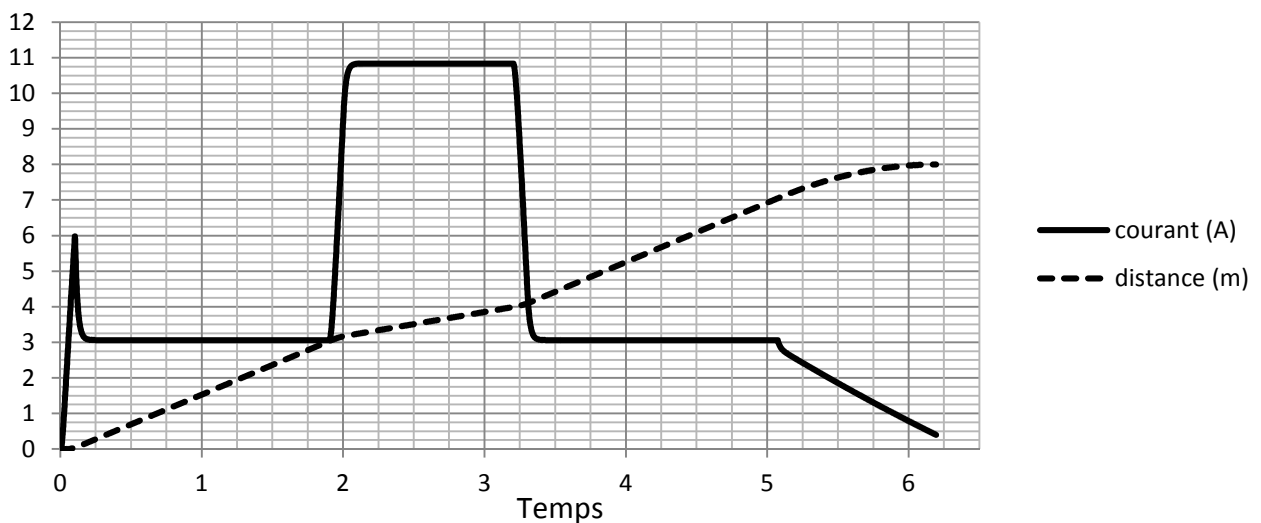
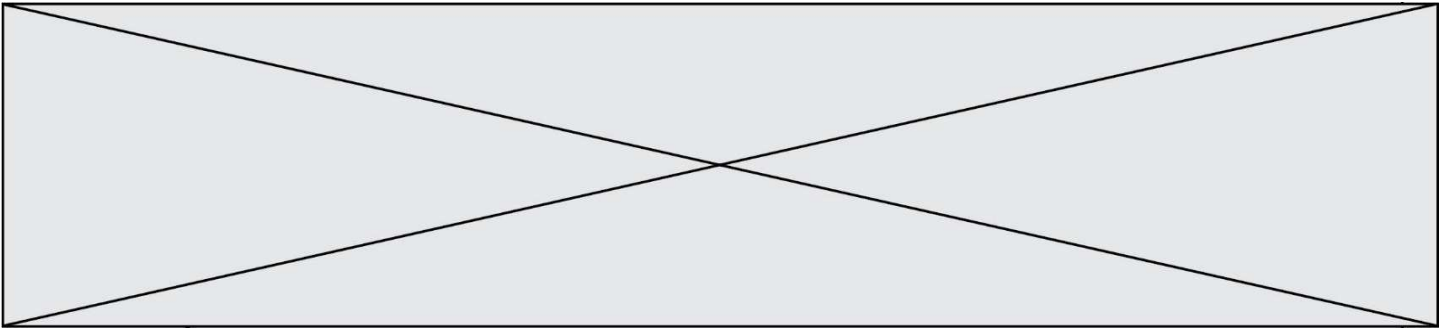


Fig.1 : courbes du courant délivré par la batterie et de la distance parcourue



Cette courbe présente l'évolution du courant délivré par la batterie lors d'un déplacement type à une vitesse de  $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  sur un sol plat (vitesse maximale autorisée sur une voie piétonne). La distance totale parcourue lors de ce parcours est de 8 mètres. Ce parcours type est composé de quatre phases :

- Phase 1 : démarrage et déplacement de 3 m en ligne droite sur un plan horizontal (vitesse :  $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) ;
- Phase 2 : montée sur 1 m en ligne droite sur un plan incliné à  $10^\circ$  (vitesse :  $2,46 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) ;
- Phase 3 : déplacement de 3 m en ligne droite sur un plan horizontal (vitesse :  $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) ;
- Phase 4 : ralentissement sur 1 m jusqu'à l'arrêt complet.

Durant ce parcours, la valeur de la tension aux bornes de la batterie est considérée constante et égale à 36 V.

**Question I-2** Identifier sur le document DR2 les différentes phases du parcours type (phases 1 à 4) puis relever sur la fig. 1 la valeur du courant électrique  $i_1$  lorsque le gyropode se déplace sur un sol horizontal et la valeur du courant électrique  $i_2$  lorsque le gyropode se déplace sur une montée inclinée à  $10^\circ$ .

La mesure des courants consommés pendant les différentes phases du parcours précédent sur le système réel a permis d'obtenir la courbe de la fig. 2

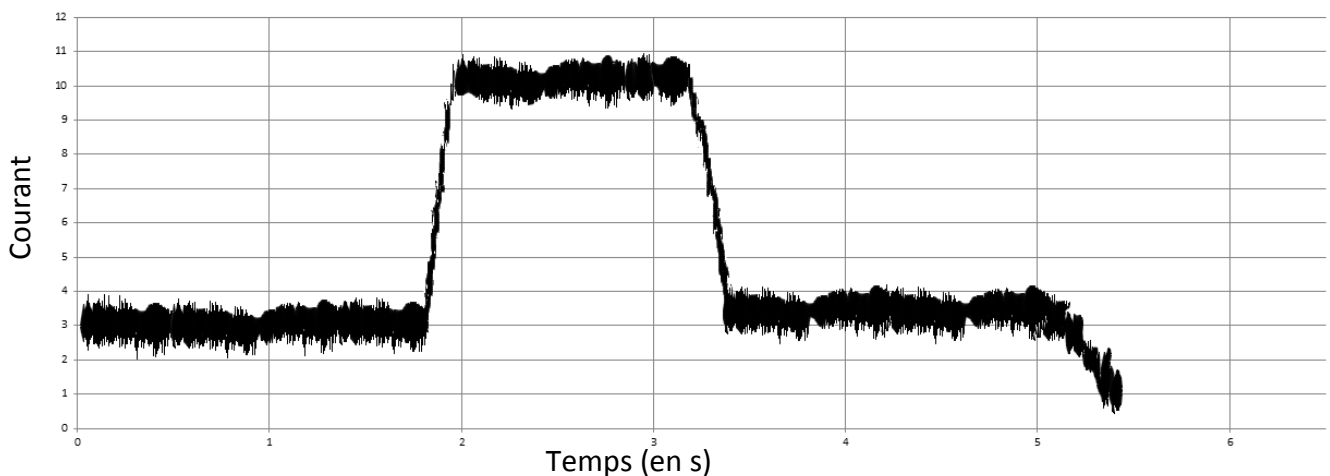


Fig.2 Intensité délivrée par la batterie durant le parcours type réel

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :


(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :  N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

Né(e) le :  /  /



1.1

**Question I-3**

Comparer l'allure des courbes « simulée » fig.1 et « réelle » fig. 2 ainsi que les valeurs moyennes des courants  $i_1$  et  $i_2$  lorsque le gyropode se déplace sur un sol horizontal et sur une montée inclinée à  $10^\circ$ . Conclure sur la validité du modèle multi-physique.

**Question I-4**

Calculer l'énergie nominale en  $W \cdot h$  stockée dans la batterie lorsque celle-ci est complètement chargée  $W_{bat}$ .

**Question I-5**

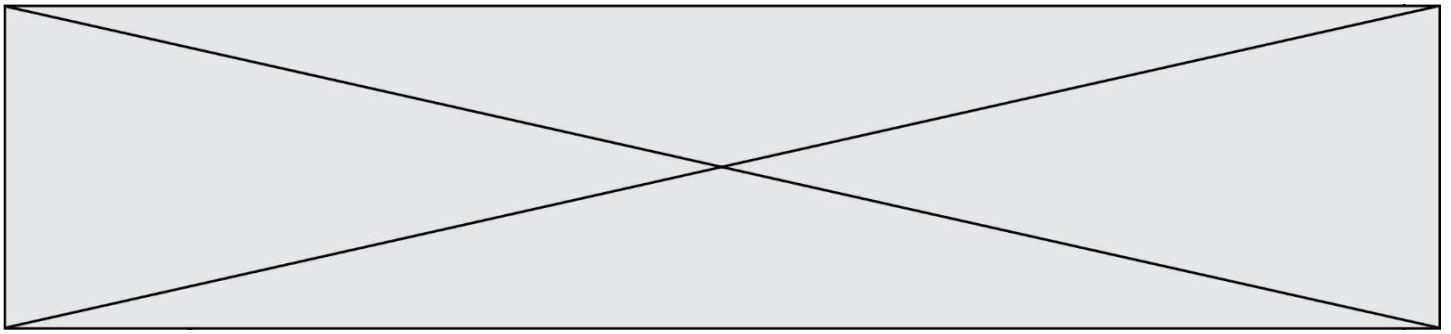
Évaluer en  $A \cdot h$  la charge de batterie consommée durant le parcours type sachant qu'elle représente l'aire définie par la courbe du courant de la fig.1 (faire des hypothèses et effectuer les tracés sur DR2). Puis calculer l'énergie consommée  $W_{conso}$  lors du parcours type.

Quel que soit le résultat trouvé précédemment, on suppose que la charge de la batterie consommée durant le parcours est de  $27 A \cdot s$ .

**Question I-6**

En déduire le nombre de parcours types qu'il serait possible d'effectuer, l'autonomie du gyropode  $t_{auto}$  (en heures) s'il n'effectue que des parcours types ainsi que la distance qu'il est possible de parcourir.

Comparer ces résultats avec les données du constructeur et commenter les écarts observés.



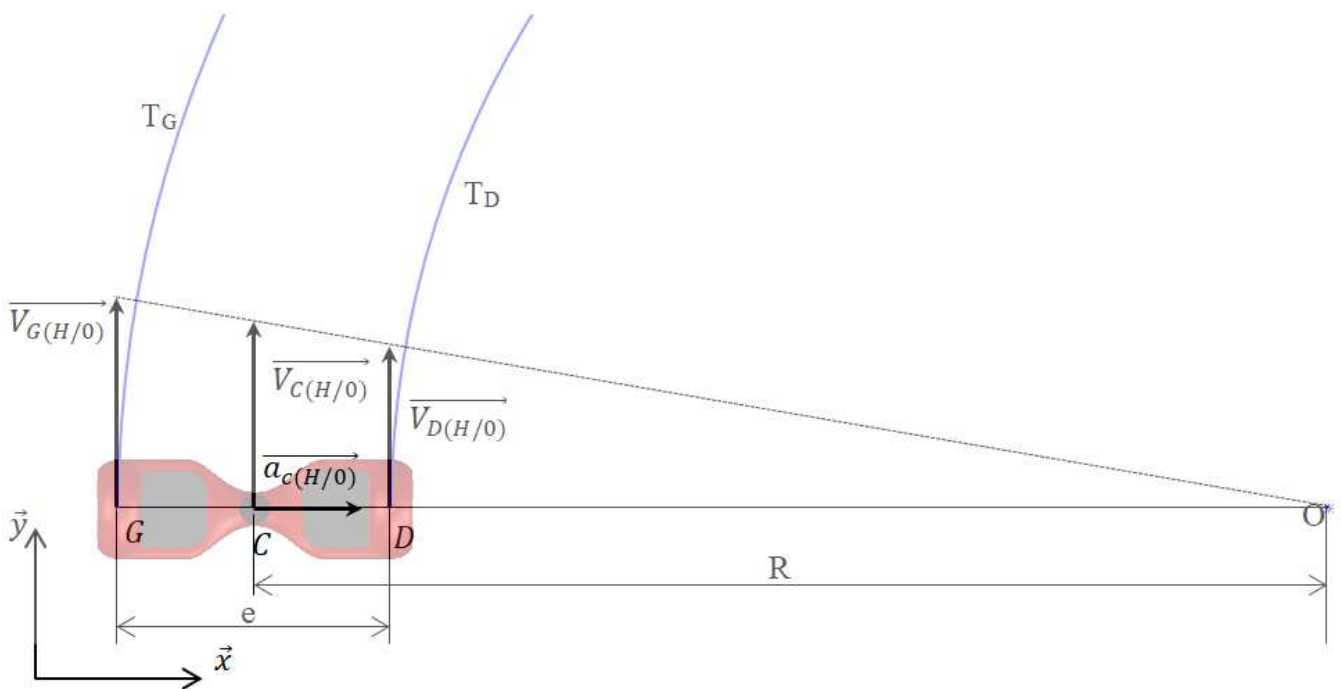
## EXERCICE 2 : MODIFICATION DU COMPORTEMENT DE L'HOVERBOARD

Lors de l'utilisation du gyropode, il est apparu que les chutes interviennent principalement lorsque l'utilisateur prend des virages trop serrés à trop grande vitesse.

En effet, dans le cas d'un virage, l'utilisateur génère une accélération centripète qui se traduit par une force d'inertie centrifuge qui le déstabilise.

**Objectif** : Pour améliorer la sécurité de son Hoverboard, le constructeur souhaite élaborer un algorithme permettant de limiter l'accélération centripète au centre du gyropode à  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  en limitant la norme de la vitesse du centre du gyropode tout en conservant sa direction, c'est-à-dire le rayon de courbure du virage.

**Notations et limites** : On se limite, dans cette étude, au cas d'un virage à droite.





Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :


(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :  N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

Né(e) le :  /  /



1.1

On note :

- $G$  et  $D$  les centres respectivement des roues gauche et droite ;
- $C$  le centre du gyropode ;
- $R$  le rayon de courbure du virage ;
- $e$  l'empattement du gyropode ( $e = GD$ ) ;
- $\vec{V}_{G(H/0)}, \vec{V}_{C(H/0)}, \vec{V}_{D(H/0)}$  les vitesses respectivement en  $G, C$  et  $D$  du gyropode par rapport au sol ;
- $\omega_G$  et  $\omega_D$  les normes des vitesses de rotation des roues droite et gauche par rapport au gyropode.

Pour simplifier les écritures, on notera dans la suite :

$$V_G = \|\vec{V}_{G(H/0)}\|, V_C = \|\vec{V}_{C(H/0)}\|, V_D = \|\vec{V}_{D(H/0)}\|$$

Une première réflexion permet d'établir l'algorithme fonctionnel suivant :

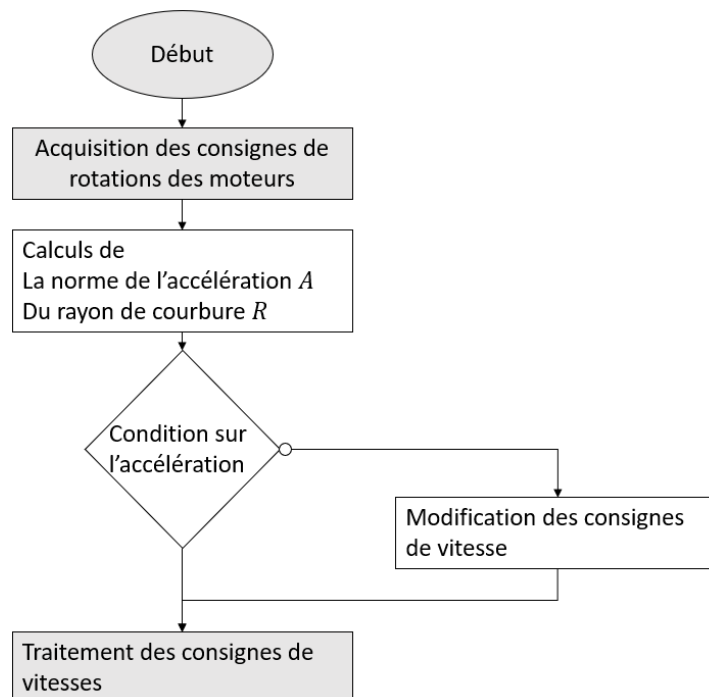
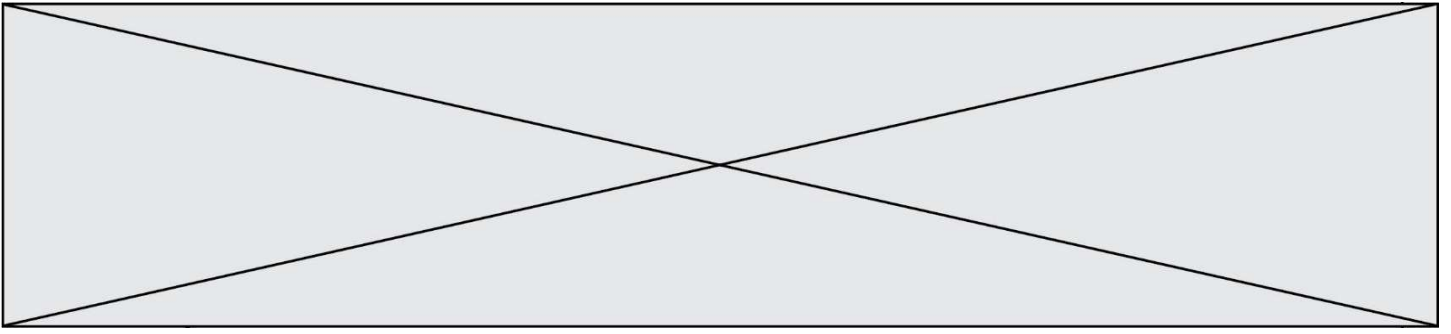


Fig.3 : Algorithme fonctionnel

La norme de la vitesse du centre  $C$  du gyropode par rapport au sol est la moyenne des vitesses en  $G$  et en  $D$  du gyropode par rapport au sol.



**Question II-1** Donner l'expression de  $V_D$  et  $V_G$  en fonction des vitesses de rotation des roues  $\omega_D$  et  $\omega_G$  et du diamètre  $D$  des roues.

En déduire l'expression  $V_C$  en fonction de  $\omega_D$  et  $\omega_G$  et du diamètre  $D$  des roues.

D'autre part, on peut montrer que l'on a la relation :

$$\frac{V_G}{V_D} = \frac{R + e}{R - e}$$

**Question II-2** Déterminer alors l'expression du rayon  $R$  en fonction de  $\omega_D$  et  $\omega_G$ .

La norme de l'accélération centripète du centre  $C$  du gyropode par rapport au sol est donnée par :

$$A = \|\vec{a}_{C(H/0)}\| = \frac{V_C}{R^2}$$

Ainsi, si on conserve le rayon  $R$  et que l'on impose  $A$ , on a  $\omega_G = 2 \cdot \frac{R+e}{D} \cdot R \cdot A$

**Question II-3** Quelle est alors l'expression de  $\omega_D$  en fonction de  $R$ ,  $e$ ,  $D$  et  $A$  ?

**Question II-4** Reprendre l'algorithme fonctionnel fig. 3 donné page précédente, le refaire en introduisant les résultats des questions II.1 à II.3. Vous pouvez ajouter les blocs (étapes) qui vous semblent nécessaires.

***Vous ne modifierez pas les blocs grisés.***

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :


(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :  N° d'inscription :

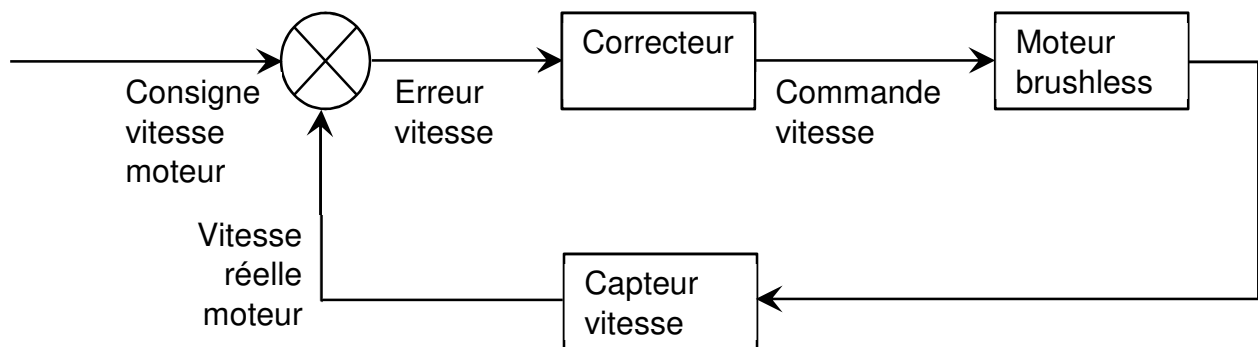
(Les numéros figurent sur la convocation.)

Né(e) le :  /  /



1.1

Afin de s'assurer qu'un virage soit pris en toute sécurité, il est nécessaire d'acquérir les vitesses de rotation réelles des moteurs et de les comparer avec les consignes de vitesse émises par la carte électronique. L'asservissement en vitesse présenté ci-dessous doit donc être mis en œuvre pour chaque moteur :

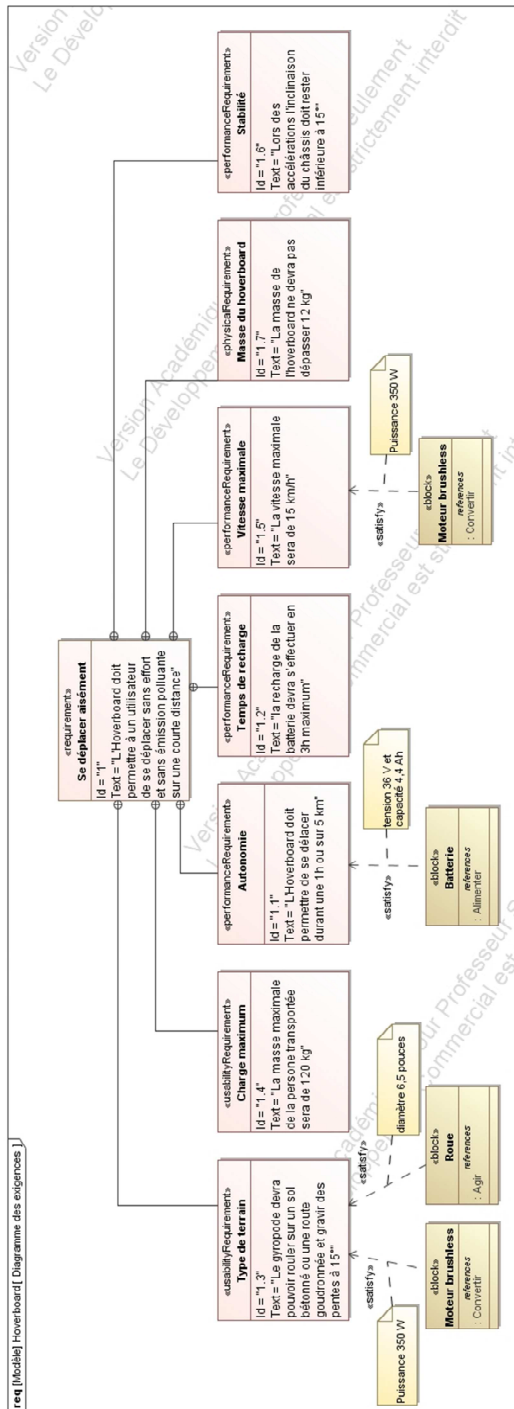


**Question II-5**

Compléter le diagramme des blocs internes (voir document réponse DR3), de façon à faire apparaître cet asservissement en vitesse.

## DOCUMENTS TECHNIQUES

### DT1 Diagramme des exigences



Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :

(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :

N° d'inscription :



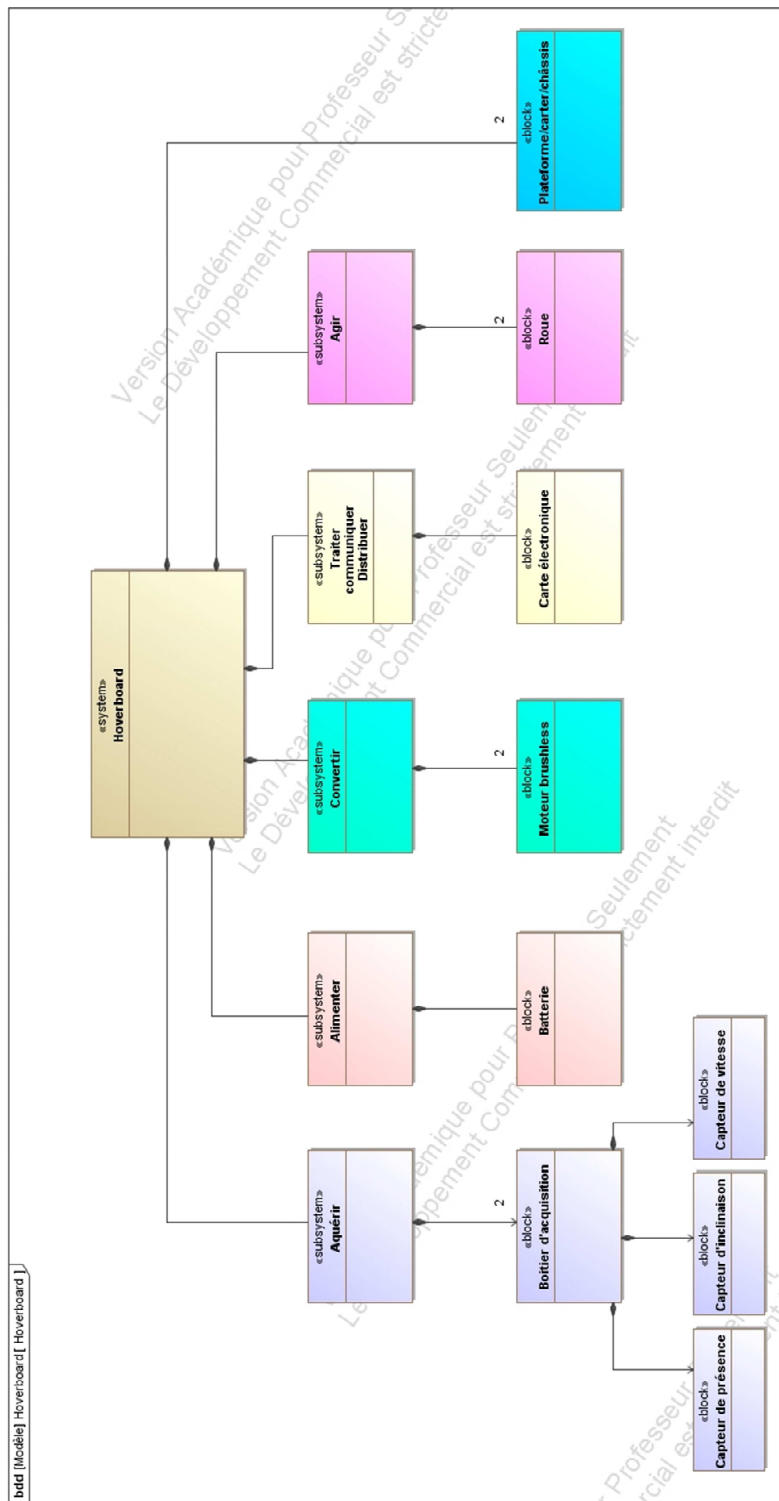
Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

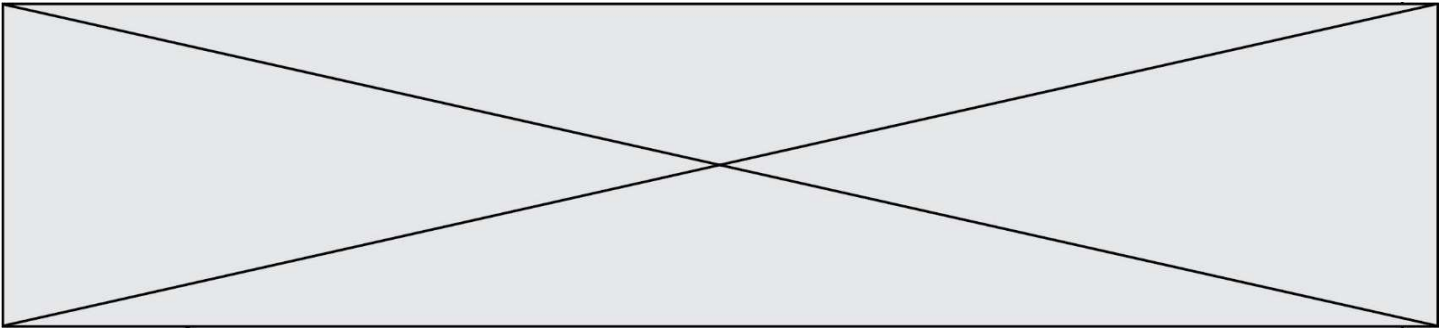
Né(e) le :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

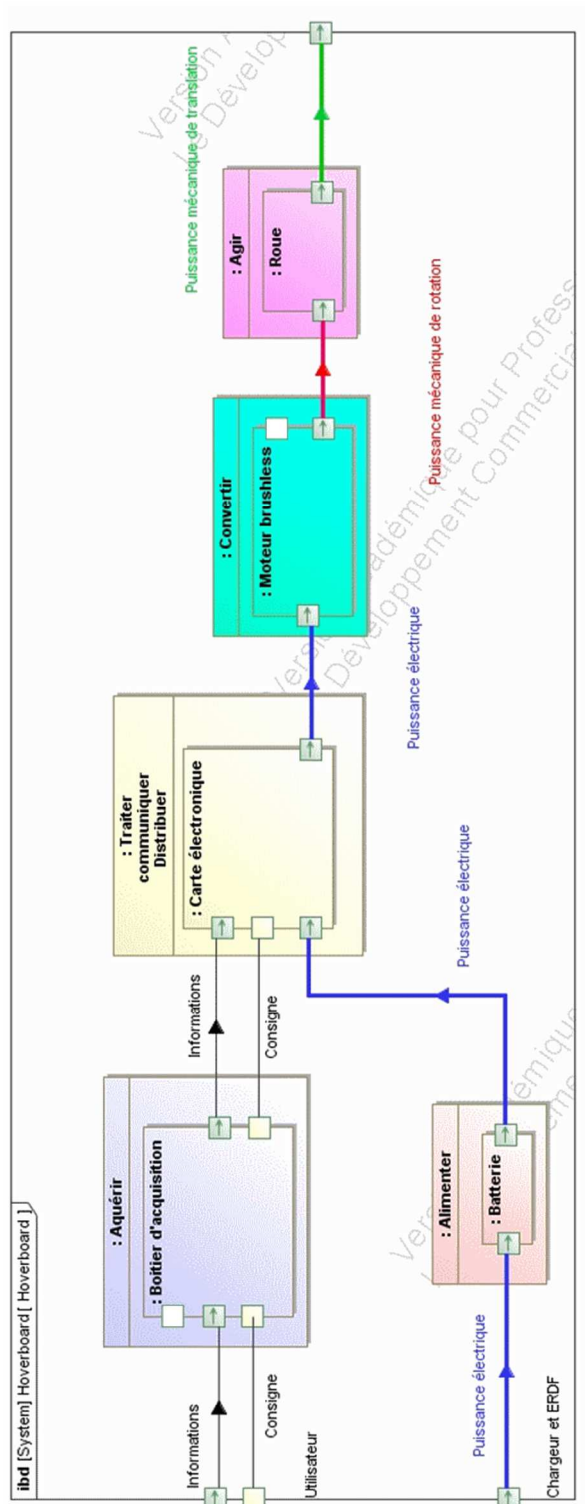
1.1

DT2 Diagramme de définition de blocs





DT3 Diagramme de blocs internes (partiel)



Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :

(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :

N° d'inscription :

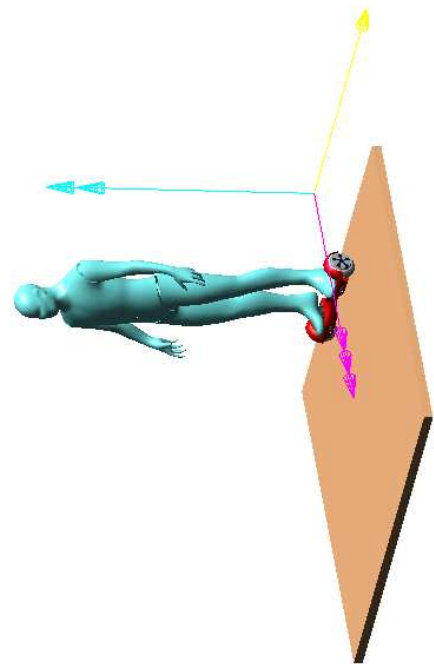
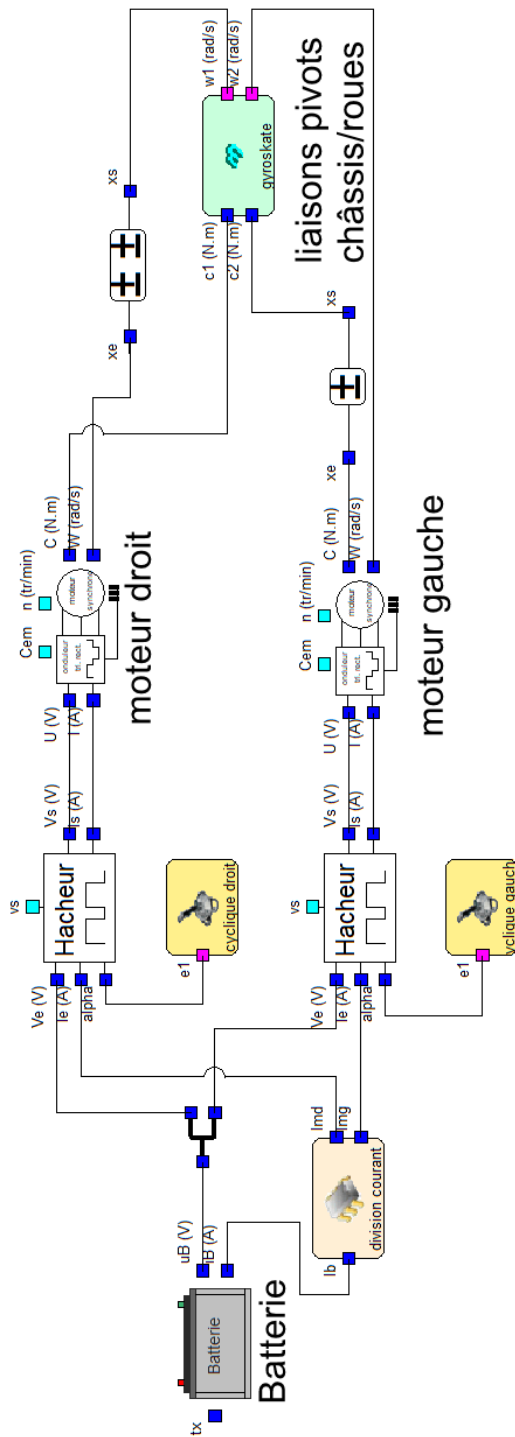


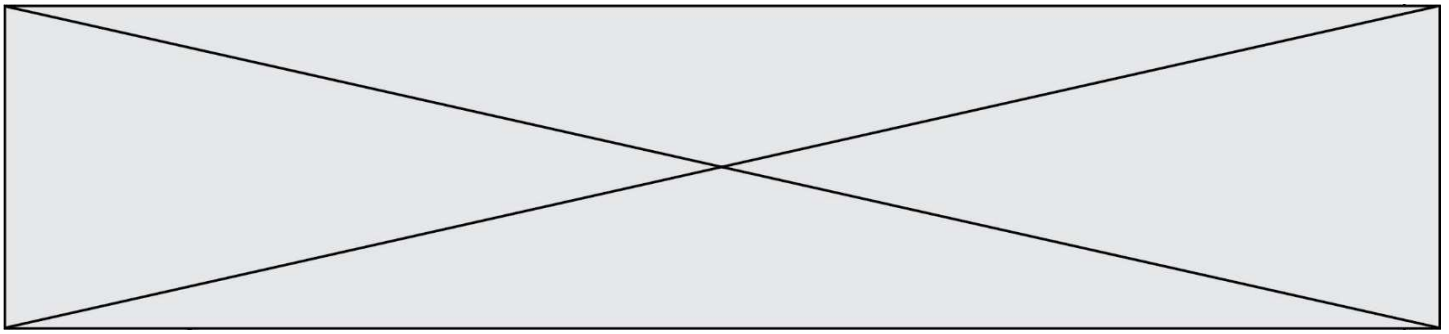
Né(e) le :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

1.1

DT4 Schéma multi-physique



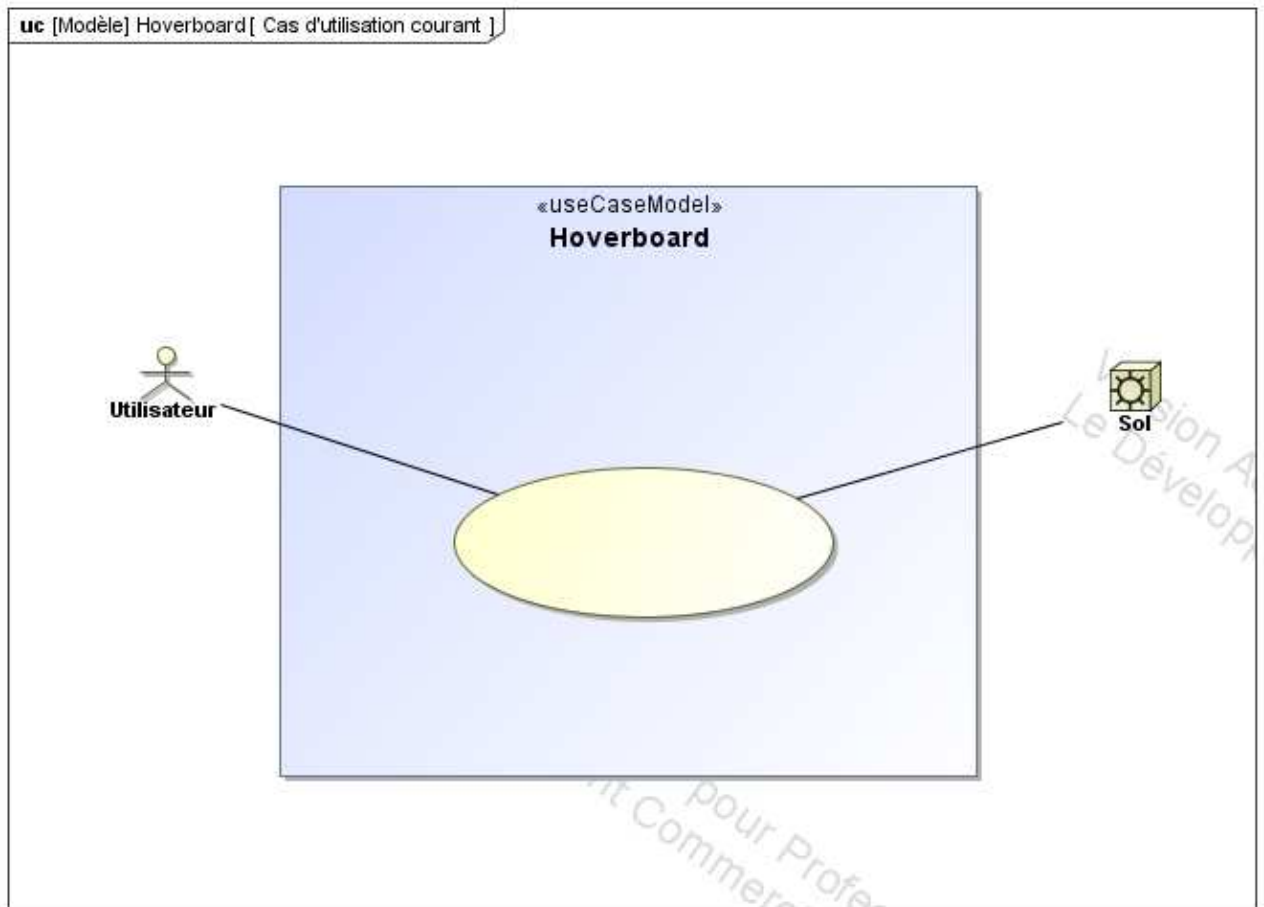


## DOCUMENTS RÉPONSES

---

DR1

Question I-1 : Diagramme de cas d'utilisation





Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :

(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :

N° d'inscription :



Né(e) le :

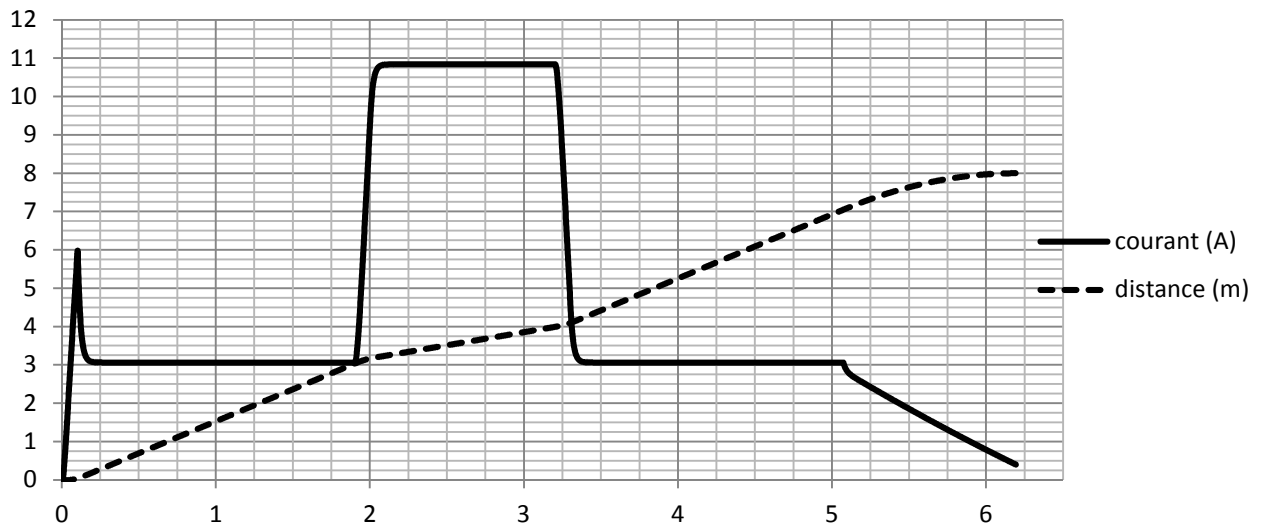
(Les numéros figurent sur la convocation.)

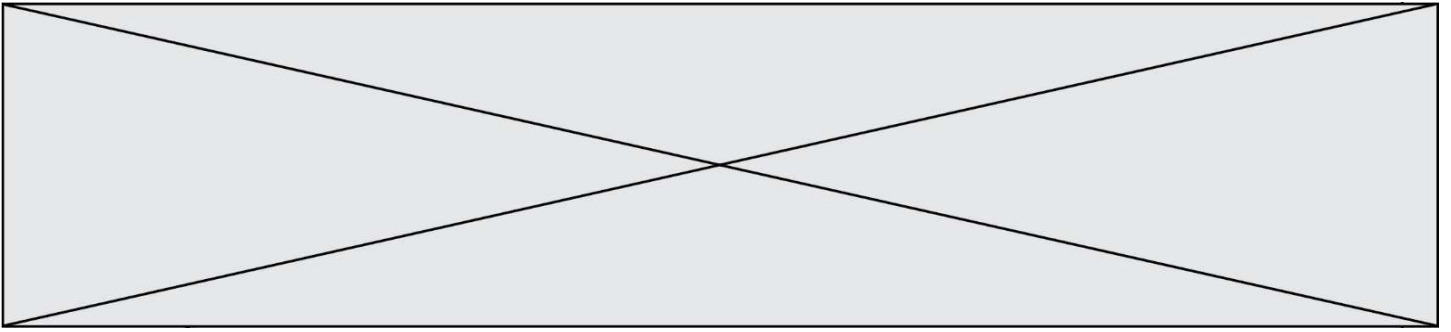
1.1

**DR2**

**Question I-2** : phases du parcours type

**Question I-5** : évaluation de la charge de batterie consommée





DR3

Question II-5 : Diagramme de blocs internes

