Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + SI, veuillez visiter :
bac-maths-si.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 2

Durée de l'épreuve : **4 heures**
Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 21 pages numérotées de 1/21 à 21/21.

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur	20 points
Partie 2 - Sciences Physiques	20 points

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR2 (pages 16 à 17) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Trottinette électrique



Constitution du sujet

- Sujet ..... pages 1 à 15
- Documents réponses..... pages 16 à 17

Les documents réponses DR1 à DR2 (pages 16 à 17) seront à rendre avec la copie.

Partie 1- sciences de l'ingénieur

Mise en situation : Les nouvelles technologies au service de la micro-mobilité

Le succès grandissant de la trottinette électrique s'accompagne d'améliorations de ses performances, de sa sécurité et de son utilisation.

Cet engouement est dû plus particulièrement aux innovations technologiques (voir figures 1 et 2) qui permettent de réinventer l'usage de la trottinette. Le modèle de trottinette étudié se voit attribuer un système de récupération de l'énergie cinétique KERS (Kinetic Energy Recovery System) intégré à la roue motrice, qui s'enclenche automatiquement lorsque l'accélérateur est relâché ou la poignée de frein actionnée ; cela a pour conséquence de ralentir la trottinette pour récupérer de l'énergie électrique lors des freinages.

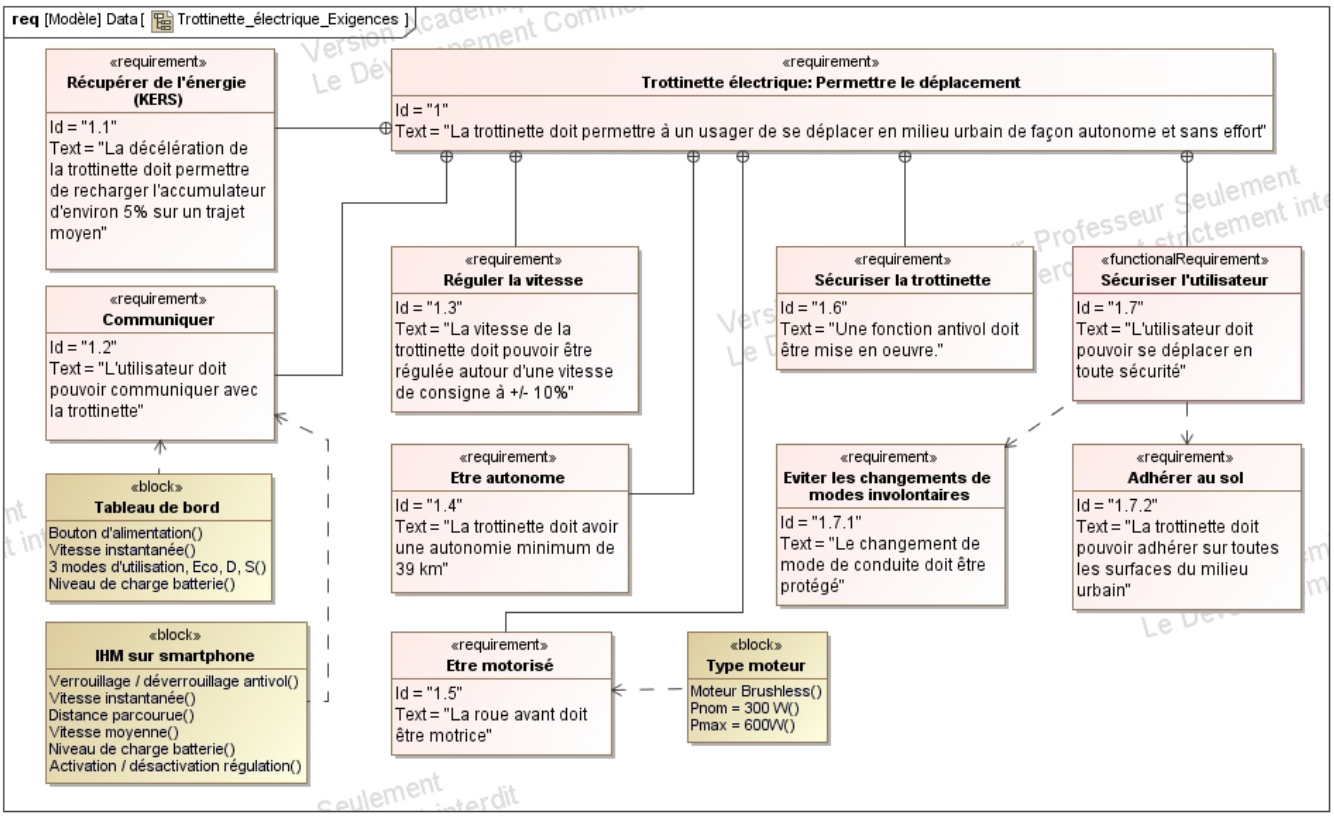


figure 1 : diagramme partiel des exigences

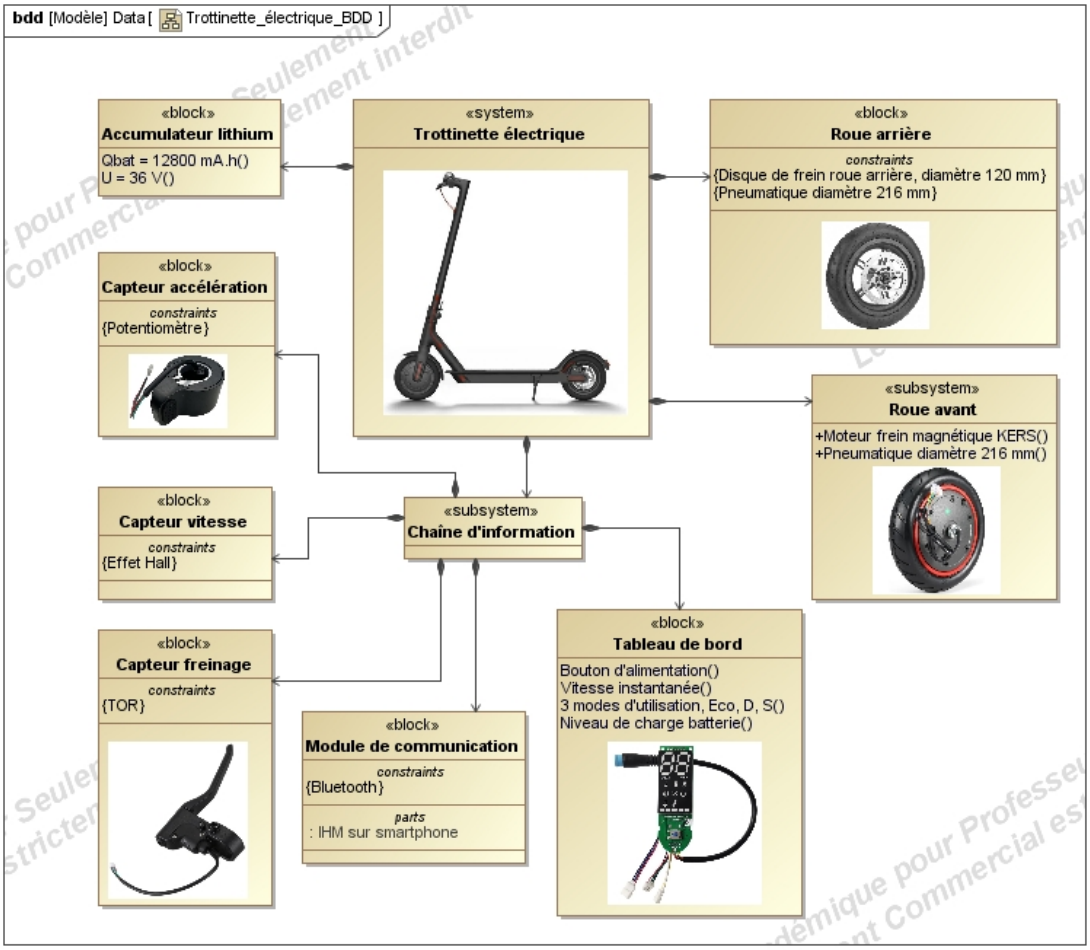


figure 2 : diagramme partiel de blocs

La problématique abordée dans ce sujet est de vérifier si les innovations mises en œuvre sur cette trottinette apportent bien un gain en terme d'énergie, de confort, et de sécurité.

Sous-partie 1 : adhérence lors d'un freinage

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que l'utilisateur peut se déplacer en toute sécurité.

À l'approche d'un feu rouge ou d'un stop, un freinage est nécessaire afin de marquer l'arrêt sans glisser.

La trottinette doit suivre la loi de vitesse simplifiée pour un freinage (normal) en ligne droite sur un sol horizontal (voir figure 3).

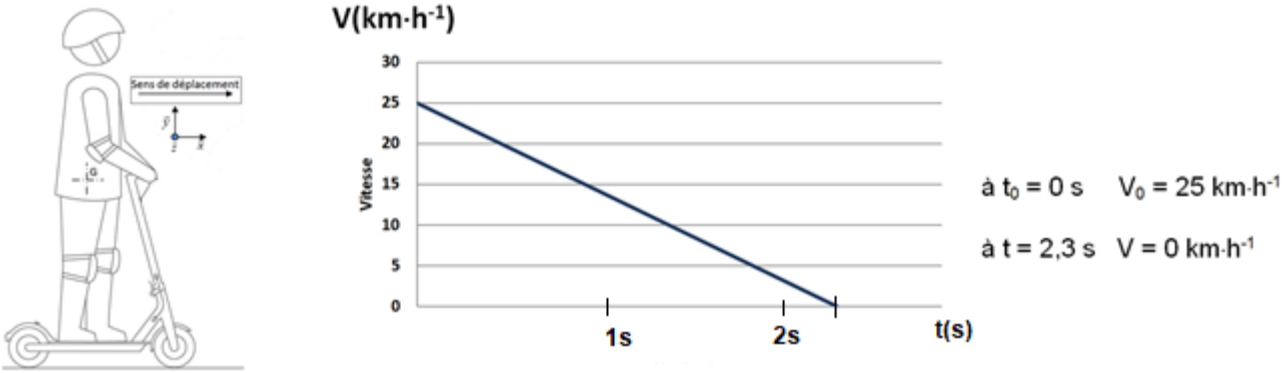


figure 3 : vitesse linéaire en phase de freinage en fonction du temps

Question 1. figure 3	À partir de la figure 3, **indiquer** la nature du mouvement dans cette phase de freinage, **exprimer** et **calculer** la décélération a_G en précisant son unité.

La trottinette doit pouvoir s'arrêter sans glissement entre le pneumatique de la roue avant et le sol.

Hypothèses :

- l'étude est menée dans le plan de symétrie $(O,\vec{x},\vec{y})$ pour les actions mécaniques ;
- on note $\Re(O,\vec{x},\vec{y},\vec{z})$ le repère galiléen lié au sol ;
- la trottinette{T} = {cadre+roues+utilisateur}, considérée comme un unique solide indéformable, de centre de masse G et de masse totale *M* en kg est animé par rapport au repère $\Re_0$ d'un mouvement de translation uniformément décéléré tout au long de la phase de freinage jusqu'à l'arrêt total ;
- le contact entre les pneumatiques de la trottinette et le sol est considéré comme ponctuel de normale $\vec{y}$ avec frottement ;
- l'action de l'air sur l'ensemble trottinette et la résistance au roulement sont négligées ;
- l'action sur le levier de frein coupe instantanément l'accélérateur et agit sur le système de freinage disque plaquettes de la roue arrière ;
- toute décélération déclenche le frein magnétique régénérateur KERS ;
- la répartition de freinage est de 86% sur la roue avant et 14% sur la roue arrière.

Modélisation et paramétrage du système {T}.

Données :

- masse trottinette, m_t = 14,2 kg ;
- masse utilisateur, m_u = 75 kg ;
- roues AV et AR, $\varnothing_{roue}$ = 216 mm ;
- l_1 = 390 mm ;
- l_2 = 420 mm ;
- h = 900 mm ;
- accélération de pesanteur : g = 9,81 m.s^{-2}.

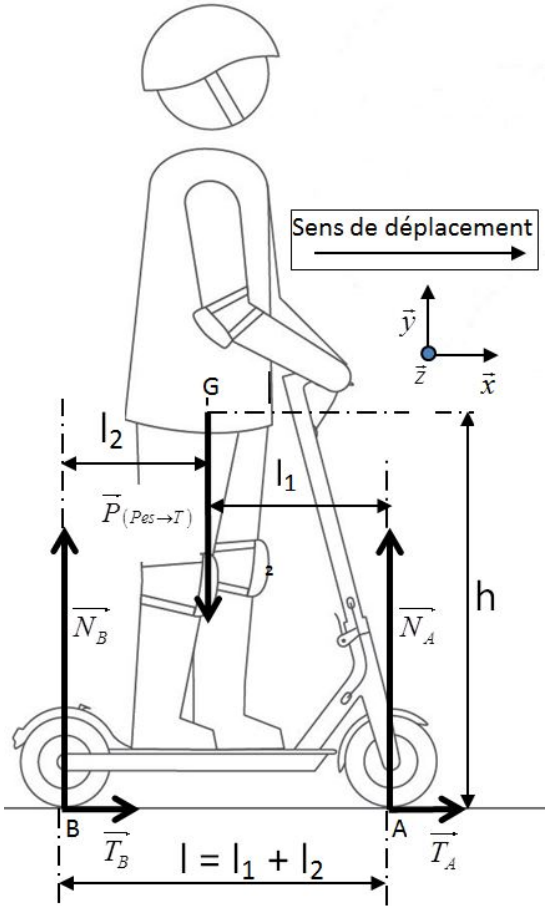


figure 4 : modélisation et paramétrage du système{T}

On isole la trottinette {T}, elle est soumise à 3 actions mécaniques extérieures représentées sur la figure 4.

- Action mécanique à distance de pesanteur sur l'ensemble {T} = {châssis+roues+utilisateur} exprimée au centre de gravité G de l'ensemble :

$$\{T_{(Pes\to T)}\} = \left\{\begin{array}{c}\overrightarrow{P_{(Pes\to T)}} = -M.g.\vec{y} \\ \overrightarrow{M_{G(Pes\to T)}} = \vec{0}\end{array}\right\}_G$$ avec M = m_t + m_u en kg

- Action mécanique de contact du sol sur la roue avant au point A :

$$\{T_{(Sol\to T)}\} = \left\{\begin{array}{c}\overrightarrow{A_{(Sol\to T)}} = T_A.\vec{x} + N_A.\vec{y} \\ \overrightarrow{M_{A(Sol\to T)}} = \vec{0}\end{array}\right\}_A$$ avec $\overrightarrow{GA} = l_1.\vec{x} - h.\vec{y}$

- Action mécanique de contact du sol sur la roue arrière au point B :

$$\{T_{(Sol\to T)}\} = \left\{\begin{array}{c}\overrightarrow{B_{(Sol\to T)}} = T_B.\vec{x} + N_B.\vec{y} \\ \overrightarrow{M_{B(Sol\to T)}} = \vec{0}\end{array}\right\}_B$$ avec $\overrightarrow{GB} = -l_2.\vec{x} - h.\vec{y}$

Question 2. figure 4	**Écrire** l'équation vectorielle de la résultante issue du principe fondamental de la dynamique appliqué à l'ensemble {T}. En **déduire** l'équation algébrique en projection sur $\vec{x}$ (équation 1) et l'équation algébrique en projection sur $\vec{y}$ (équation 2).

Question 3. figure 4	**Appliquer** le théorème du moment dynamique au point G à l'ensemble {T}. En **déduire** l'équation algébrique en projection sur $\vec{z}$ (équation 3) et **montrer** que $N_A = \frac{l_2.P - h.(T_A + T_B)}{l_1 + l_2} = \frac{l_2.P - h.M.a_G}{l}$

Rappels :

- la répartition de freinage est de 86% sur la roue avant et 14% sur la roue arrière,
- le facteur de frottement *f* est identique entre les roues et le sol,
- quel que soit le résultat trouvé à la question n°1, on prendra a_G = -3 m·s^{-2}.

Question 4. figure 4	À partir des équations 1 et 3, **exprimer** et **calculer** les efforts N_A et T_A en fonction de la décélération. **Évaluer** le rapport $\frac{T_A}{N_A}$.

Pendant la phase de freinage, le coefficient de frottement dynamique ou de glissement, dont la valeur dépend, entre autre, des deux matériaux en présence et de l'état de leurs surfaces amènent à prendre en compte différents coefficients de glissement suivant l'état de la chaussée.

- état de la chaussée : route goudronnée ou béton sec, *f* = 0,8,
- état de la chaussée : asphalte lisse ou mouillé, légèrement boueux, *f* = 0,4.

Question 5.	À l'aide de la loi de Coulomb et des coefficients de frottement, **conclure** sur l'exigence id 1.7.2. « adhérer au sol ».

Sous-partie 2 : régulation de la vitesse et récupération d'énergie

L'objectif de cette sous-partie est de s'assurer de la capacité de la trottinette à maintenir une vitesse constante sur un parcours, et d'en déterminer l'autonomie énergétique..

Un modèle multiphysique (figure 5) est utilisé pour vérifier les performances de régulation de vitesse sous différentes conditions.

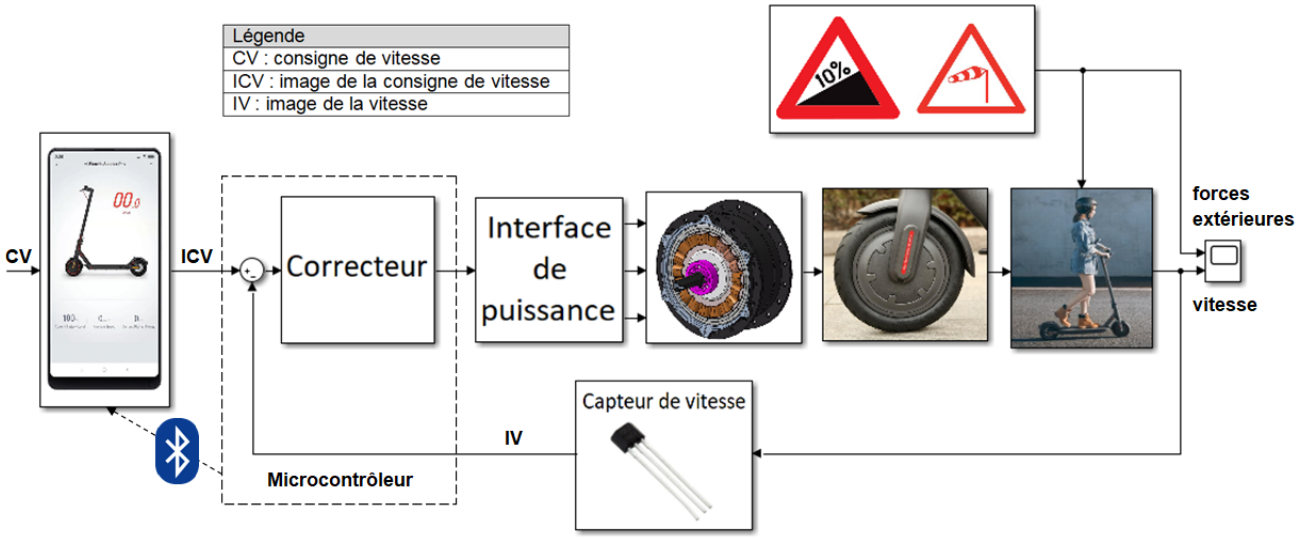


figure 5 : modèle multiphysique de régulation de vitesse de la trottinette

Les trois capteurs de vitesse à effet hall (mesurant un champ magnétique) intégrés au moteur permet de donner l'image de la valeur de la fréquence de rotation de roue.

Ces capteurs à effet hall sont placés en face des pôles magnétiques du rotor. Il y a 8 paires de pôles (nord – sud) sur le rotor. Ainsi, à chaque tour du moteur, donc à chaque tour de roue, chaque capteur à effet hall fournit 8 impulsions électriques.

Un oscillogramme issu d'un des capteurs à effet hall du moteur est fourni sur la figure 6.

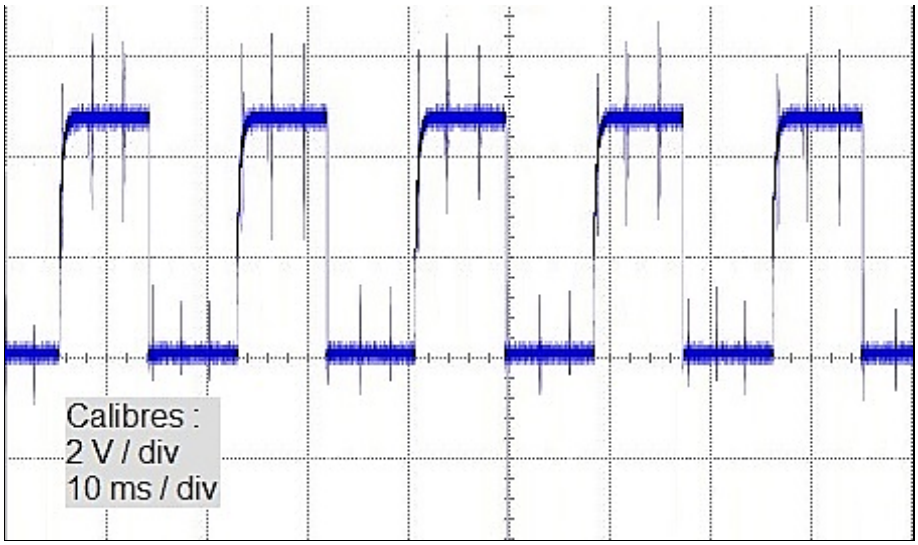


figure 6 : oscillogramme d'un capteur à effet hall

Question 6. figure 6	**Mesurer** la période T de ce signal et en **déduire** sa fréquence. **Calculer** alors la fréquence de rotation de la roue (en $tr \cdot s^{-1}$).

Rappel des données :

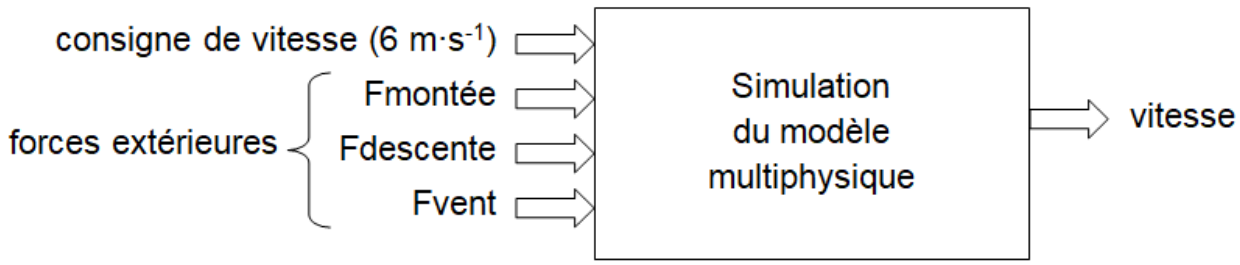
- Le rayon de la roue avant est de 10,8 cm.

Question 7. figure 6	**Calculer** la vitesse linéaire de la trottinette (en $m \cdot s^{-1}$ puis en $km \cdot h^{-1}$) lors de cette acquisition. En **déduire** l'expression de la loi de vitesse V_T ($m \cdot s^{-1}$) de la trottinette en fonction de la période T.

Afin d'analyser l'efficacité de la régulation de vitesse sous différentes perturbations, l'ensemble utilisateur + trottinette peut être soumis en simulation :

- à des franchissements de pentes (montante puis descendante) paramétrables,
- à du vent de face optionnel et d'intensité paramétrable.

Les simulations sont réalisées sur une durée de 2 min, et pour une vitesse de consigne valant 6 $m \cdot s^{-1}$.



Une force (Fmontée) de -80 N permet de simuler une pente montante d'environ 10%, et une force (Fdescente) de +40 N permet de simuler une pente descendante d'environ 5%.

Les résultats de trois simulations sont présentés figures 7, 8, 9.

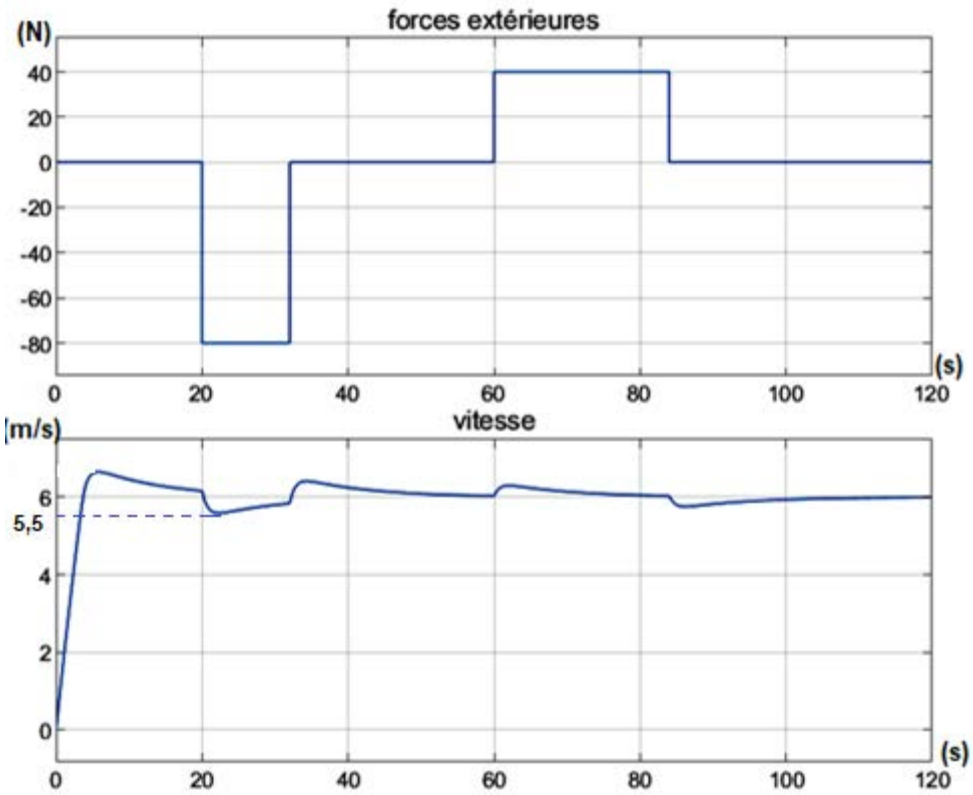


figure 7 : première simulation avec Fmontée = -80 N, Fdescente = +40 N et Fvent = 0 N

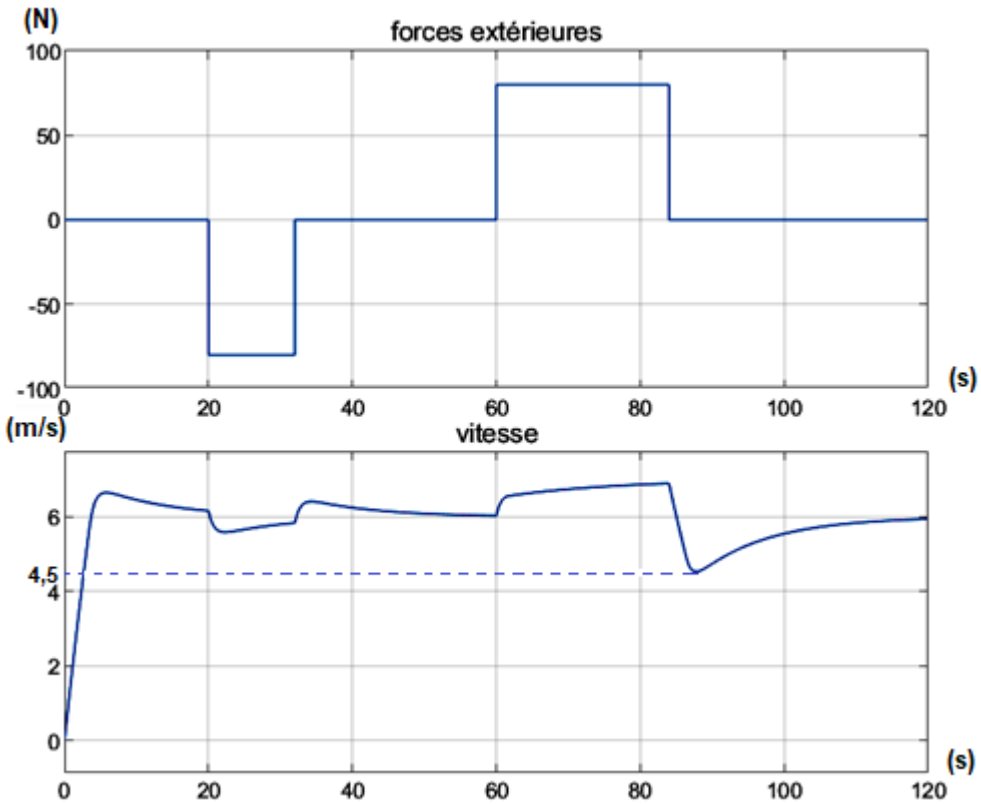


figure 8 : deuxième simulation avec Fmontée = -80 N, Fdescente = +80 N et Fvent = 0 N

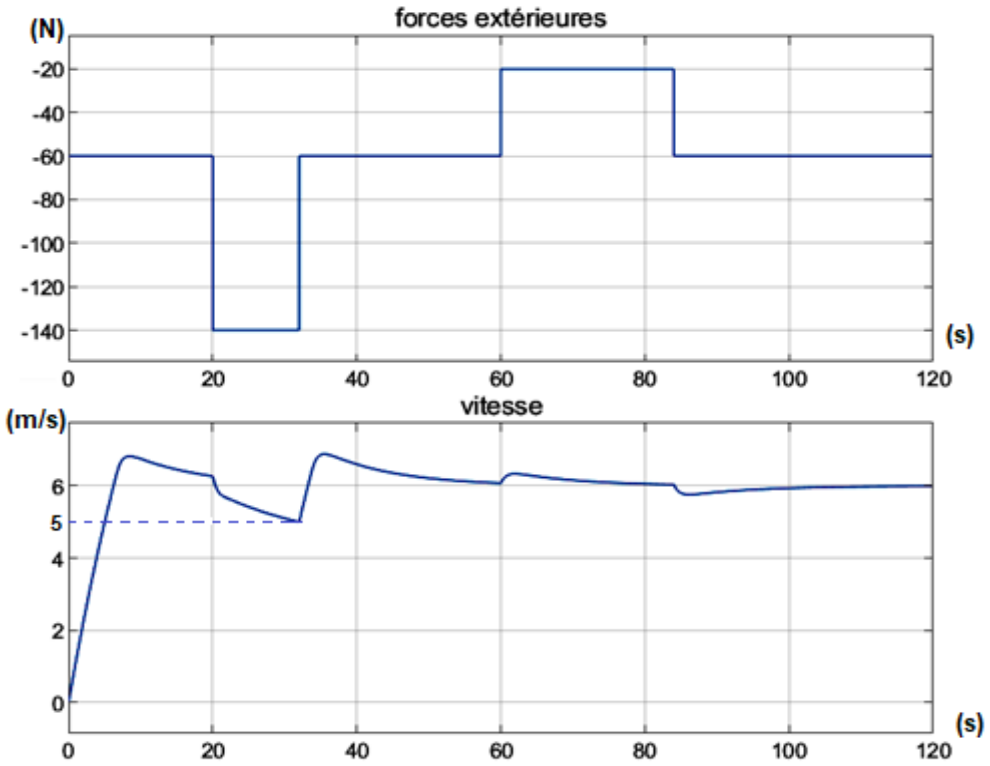


figure 9 : troisième simulation avec Fmontée = -80 N, Fdescente = +40 N et Fvent = -60 N

Question 8. figures 7, 8 et 9	Pour chacune des simulations, **déterminer** en pourcentage l'écart maximal entre la vitesse obtenue en simulation et la consigne de vitesse. **Préciser** si l'exigence de régulation de vitesse id 1.3 est respectée. **Conclure** sur l'efficacité de la régulation dans les différents cas proposés.

La trottinette est dotée d'un système de récupération d'énergie cinétique (KERS) qui s'enclenche automatiquement lorsque l'accélérateur est relâché ou le levier de frein actionné. Le moteur est utilisé dans ce cas en générateur d'énergie et sert de frein magnétique. Cela a pour conséquence de ralentir la trottinette et de produire de l'électricité afin de recharger la batterie.

On considère le roulement sans glissement entre les pneumatiques et la chaussée.

L'énergie récupérable par le système (KERS) correspond à l'aire du domaine délimité par la courbe de puissance en fonction du temps.

à t_0 = 0 s P_0 = 1552 W

à t = 2,3 s P = 0 W

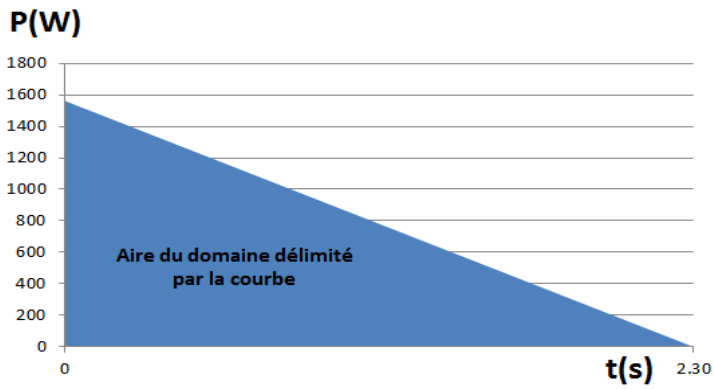


figure 10 : puissance en fonction du temps

Une représentation sous forme de schéma-bloc de la chaîne de puissance est fournie figure 11.

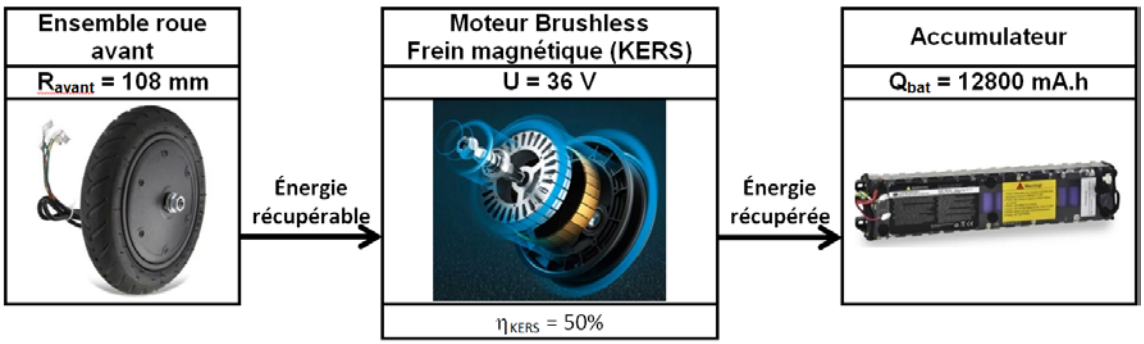


figure 11 : chaîne de puissance partielle

Question 9. figures 10 et 11	En utilisant la méthode des aires de la figure 10, **calculer** l'énergie ($E_{récupérable}$ en J) puis l'énergie récupérée ($E_{récupérée}$ en J) par le frein magnétique pendant la phase de freinage (1 W·s = 1 J). Montrer que la quantité d'électricité $Q_{récupérée}$ est de 6,88 mA·h

Un trajet moyen de 17,2 km avec 40 freinages a permis de mesurer la quantité d'électricité consommée Q_{conso} pour ce parcours.

Données :

- distance parcourue, d_{trajet} = 17,2 km ;
- quantité d'électricité consommée, Q_{conso} = 5740 mA·h ;
- taux de récupération, $\tau = Q_{40freinages} / Q_{conso.}$

Question 10.	**Calculer** la quantité d'électricité ($Q_{40freinages}$ en mA·h) récupérée pour 40 freinages. En **déduire** le taux de récupération en pourcentage.

Question 11.	En justifiant votre réponse, **conclure** sur l'exigence de récupération d'énergie (KERS) id 1.1 et sur l'exigence d'autonomie minimum id 1.4.

Sous-partie 3 : la sécurisation

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que l'exigence de sécurisation est respectée afin d'améliorer le confort d'utilisation de la trottinette.

La trottinette propose trois modes de conduite :

- « ECO » pour le mode d'économie d'énergie (vitesse maximale de 15 $km \cdot h^{-1}$, accélérations modérée, convient aux débutants ;
- « D » pour le mode standard (vitesse maximale de 20 $km \cdot h^{-1}$) ;
- « S » pour le mode sport (vitesse maximale de 25 $km \cdot h^{-1}$, accélérations vives, recommandé uniquement aux pilotes chevronnés).

Le bouton poussoir unique et multifonctions implanté sur la potence permet de passer d'un mode à l'autre de manière circulaire.

Il pourrait être dangereux pour un débutant de passer en mode sport.

Ainsi, pour éviter les changements de modes involontaires, notamment lorsque l'on pousse la trottinette à la main par la potence, le constructeur a décidé de n'effectuer ces changements de modes que lors d'un double appui bref sur ce bouton poussoir. En l'occurrence, un double appui est considéré uniquement si la durée entre deux fronts montants est inférieure à 250 ms.

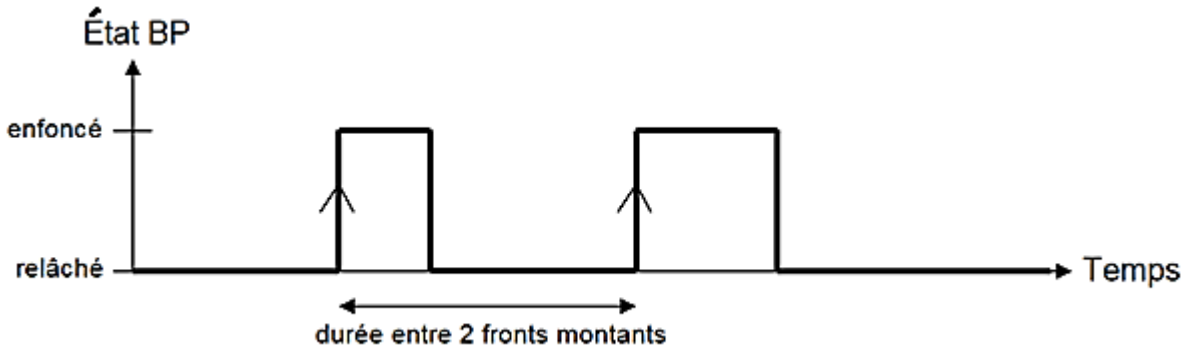


figure 12 : chronogramme d'un double appui sur le bouton poussoir

L'algorigramme permettant de détecter un double appui et par conséquent d'effectuer un changement de mode est proposé sur le document réponse DR2. Pour cela, il met en œuvre en interne une détection de fronts montants, et utilise également un horodatage (en millisecondes) de ces fronts.

Question 12. figure 12 et DR1	**Compléter** sur le DR2 les parties vides en pointillés de l'algorigramme afin de répondre au fonctionnement désiré.

Une nouvelle fonctionnalité permet en de protéger la trottinette contre le vol. L'application proposée avec cette trottinette connectée offre ainsi la possibilité de la verrouiller lorsqu'on la laisse dans la rue pour ensuite la déverrouiller au moment de repartir. Ainsi, une personne mal intentionnée qui voudrait s'en aller avec cette trottinette ne pourrait pas le faire en roulant car celle-ci serait alors non opérationnelle.

Si le propriétaire n'a pas défini de mot de passe, sa trottinette peut être déverrouillée à partir de n'importe quel téléphone via l'application. Celui-ci doit donc définir un mot de passe par l'intermédiaire de son application dès que possible. Une fois défini lors de cette phase d'initialisation, le mot de passe n'est plus à saisir pour le verrouillage / déverrouillage de la trottinette afin de faciliter l'utilisation de cette fonctionnalité.

La documentation technique du constructeur indique les données suivantes sur la communication Bluetooth entre la trottinette et le smartphone :

- bande de fréquence : 2,4000 – 2,4835 GHz ;
- puissance RF maximale : 100 mW.

La figure 13 présente des informations générales relatives à cette technologie.

Classe	Puissance d'émission maximale	Portée en champ libre
1	100 mW	100 m
2	2,5 mW	40 m
3	1 mW	10 m

figure 13 : classes de puissance en Bluetooth

Question 13. figure 13	**Indiquer** la distance maximale de verrouillage ou déverrouillage de la trottinette grâce à l'application. **Préciser** si cela est pertinent au regard d'une utilisation normale.

Une fois calculée par le microcontrôleur et affichée sur la potence de la trottinette, la vitesse doit être transmise au smartphone pour mettre à jour l'IHM de l'application avec cette valeur, et pour ensuite permettre d'activer ou pas une régulation de vitesse.

En plus de la vitesse instantanée, la trottinette transmet également la distance parcourue, la vitesse moyenne et le niveau de charge de la batterie. La taille de chacune des données est indiquée dans le tableau suivant.

Données transmises	Nombre d'octets par donnée
Vitesse instantanée	4
Distance parcourue	4
Vitesse moyenne	4
Niveau de charge de la batterie	1

Par ailleurs, la figure 14 donne des informations relatives à la trame Bluetooth.

En-tête	Données 240 bits maximum	Terminaison

figure 14 : constitution de la trame Bluetooth

Pour des raisons de rapidité de traitement, il est nécessaire de faire remonter les données au smartphone en une seule trame.

Question 14. figure 14	**Justifier** par calcul que ces quatre données peuvent toutes être transmises dans la même trame Bluetooth.

Un prototype de l'application est réalisé en Python. Cette interface homme-machine (IHM) représentée sur la figure 15 permet d'afficher des informations relatives à l'état de la trottinette, et permet également à ce stade d'activer ou de désactiver la régulation de vitesse grâce à un bouton, dans le cas où la trottinette avance.

Une partie du code source de ce programme est donnée dans le document réponse DR2.



figure 15 : prototype de l'application

Question 15. figure 15 et DR2	**Identifier** la ligne de code qui permet de s'assurer que la trottinette avance avant d'activer la régulation. **Indiquer** la nouvelle couleur et le nouveau texte du bouton après un appui sur ce bouton bleu « Activer ».

L'unique bouton de cette IHM doit également gérer le verrouillage ou le déverrouillage de la trottinette si celle-ci est à l'arrêt. Sous cette condition, le bouton doit pouvoir permuter entre les couleurs rouge et verte et son texte doit pouvoir permuter respectivement entre « Déverrouiller » et « Verrouiller ».

Question 16. DR2	**Compléter** sur le document réponse DR2 les lignes de code permettant de répondre à cette demande et donc d'offrir à l'utilisateur cette nouvelle fonctionnalité sur l'IHM.

Deux aspects de la sécurisation sont désormais étudiés.

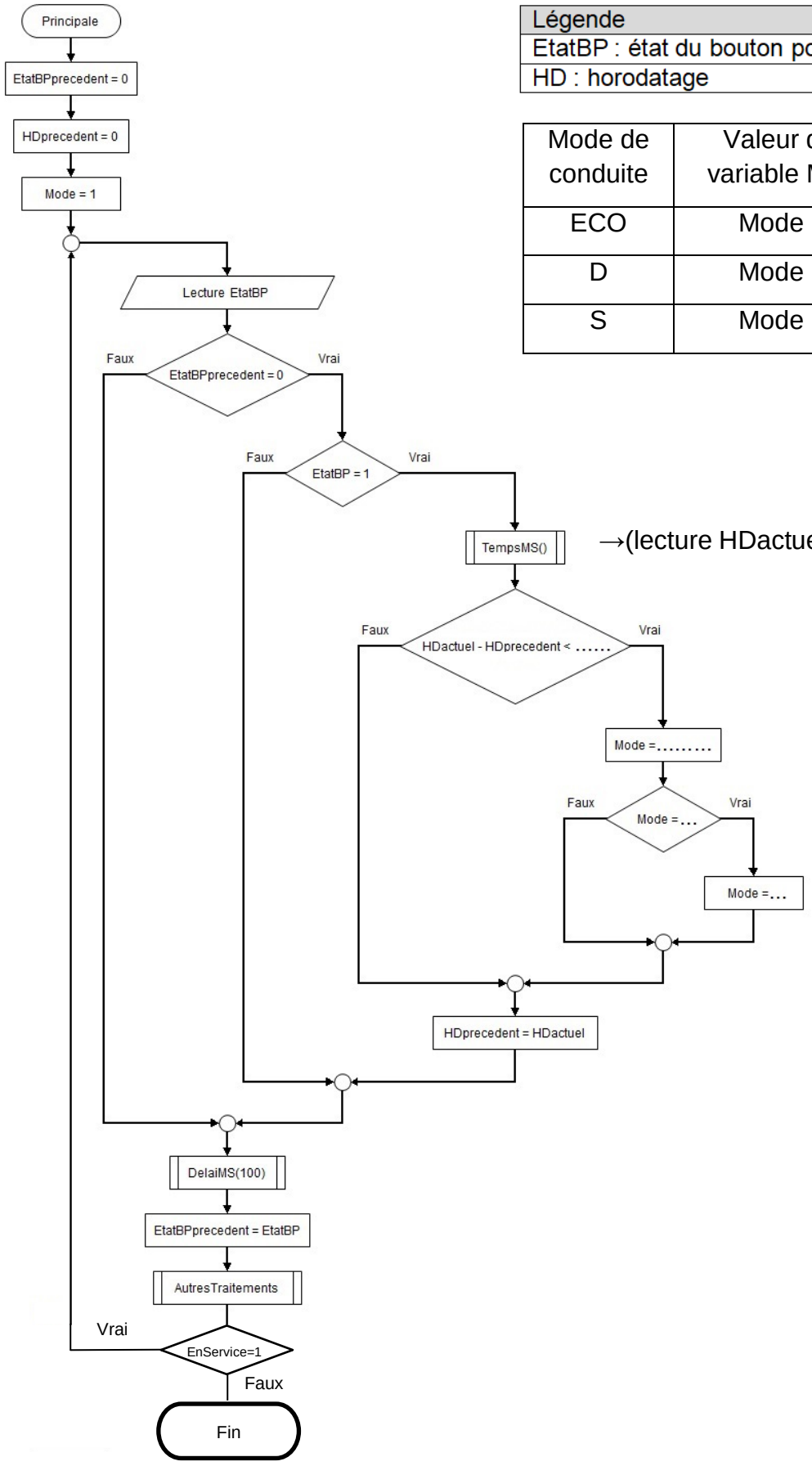
Question 17. figure 1	**Conclure** alors quant à la pertinence de ces fonctionnalités et à leur intérêt afin de valider les exigences id 1.6 et id 1.7.1 associées.

Page blanche laissée intentionnellement.

Ne rien inscrire dessus.

Documents réponses DR1

Question 12



Légende
EtatBP : état du bouton poussoir
HD : horodatage

Mode de conduite	Valeur de la variable Mode
ECO	Mode = 1
D	Mode = 2
S	Mode = 3

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

Documents réponses DR2

Questions 15 et 16

```
from tkinter import *

def Clic(event):
    global etat_verrouillage
    global etat_regulation
    X = event.x                 # détection en X du pouce sur l'écran
    Y = event.y                 #détection en Y du pouce sur l'écran
    (xmin,ymin,xmax,ymax) = Appli.coords(Bouton)
    if xmin<=X<=xmax and ymin<=Y<=ymax:
        if Acquisition_vitesse()>0:
            if etat_regulation==True:
                etat_regulation=False
                Appli.itemconfig(Bouton, fill='blue')
                Appli.itemconfig(Texte_bouton, text='Activer')
            else:
                etat_regulation=True
                Appli.itemconfig(Bouton, fill='orange')
                Appli.itemconfig(Texte_bouton, text='Désactiver')

        ..............

            ....................................

                ..........................................................

                Appli.itemconfig(Bouton, fill=.........................)

                Appli.itemconfig(Texte_bouton, text=.....................)

            ....................................

                ..........................................................

                Appli.itemconfig(Bouton, fill=.........................)

                Appli.itemconfig(Texte_bouton, text=.....................)

etat_verrouillage=False
etat_regulation=False
```

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A - Peser un corps céleste (10 points)

Pour déterminer la masse m d'un objet sur Terre, il suffit simplement de poser cet objet sur une balance adaptée. Pour les masses d'objets célestes tels que la Terre elle-même, la résolution du problème n'est pas aussi simple et directe.

L'objectif de cet exercice est de déterminer expérimentalement la masse de la Terre notée M_T.

1. Pour un objet de masse m situé à la surface de la Terre, rappeler la relation vectorielle entre son poids $\vec{P}$ et le champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$.

2. En s'appuyant sur le modèle de la chute libre et une loi de Newton, justifier que l'intensité du champ de pesanteur g s'exprime en m·s^{-2}.

Pour mesurer expérimentalement la valeur de g en un point donné de la Terre, on peut utiliser un pendule simple qui oscille périodiquement avec une période T supposée constante durant l'expérience (figure 1).

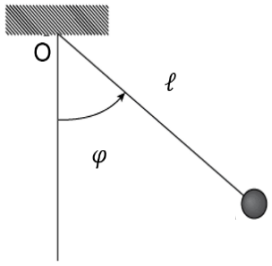


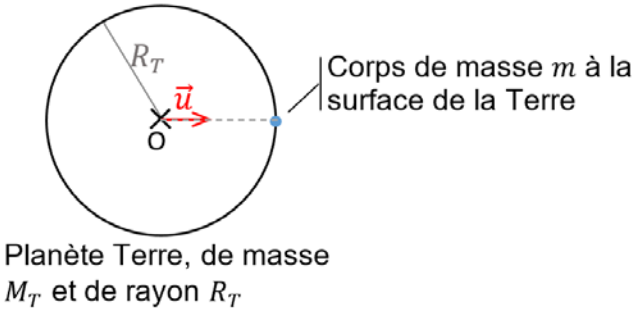
Figure 1 : pendule simple écarté d'un angle φ par rapport à sa position d'équilibre et lâché sans vitesse initiale.

Pour un pendule de longueur ℓ, on peut montrer que, pour des angles φ petits, la période d'oscillation T s'exprime par la relation : $T = 2\pi \times \sqrt{\frac{\ell}{g}}$

Au niveau de l'équateur, pour une longueur de pendule ℓ = 0,991 m, la période est de T = 2,00 s.

3. Déterminer la valeur de g au niveau de l'équateur.

4. Reproduire sur sa copie le schéma de la Terre ci-dessous et le compléter, sans souci d'échelle, en rajoutant la force gravitationnelle $\overrightarrow{F_g}$ exercée par la planète Terre sur un corps modélisé par un point matériel de masse m situé à sa surface. Le vecteur $\vec{u}$ est un vecteur unitaire.



Planète Terre, de masse M_T et de rayon R_T

Données

- Constante de gravitation universelle : G = 6,674 30 × 10^{-11} N·m^2·kg^{-2}.
- Rayon de la Terre au niveau de l'équateur : R_{T} = 6 378 km.

5. Exprimer vectoriellement la force gravitationnelle $\overrightarrow{F_g}$ exercée par la Terre sur un objet de masse m situé à sa surface. En admettant que le champ de gravitation est égal au champ de pesanteur et donc que $F_{\mathrm{g}} = P$, en déduire l'expression littérale de M_T puis calculer sa valeur numérique.

Données

- Incertitude-type de l'intensité du champ de pesanteur terrestre : $u(g)$ = 0,05 m·s^{-2}.
- Incertitude-type du rayon de la Terre : $u(R_{\mathrm{T}})$ = 1 km.
- On admettra que : $u(M_{\mathrm{T}}) = M_{\mathrm{T}} \times \sqrt{\left(\frac{u(g)}{g}\right)^2 + \left(2 \times \frac{u(R_{\mathrm{T}})}{R_{\mathrm{T}}}\right)^2}$.
- Masse de référence de la Terre : M'_{T} = 5,98 × 10^{24} kg ;
- le résultat d'une mesure x est considéré en accord avec une valeur de référence x_{ref} si la valeur du quotient $\frac{|x-x_{ref}|}{u(x)}$ est inférieure ou égale à 2, avec $u(x)$, l'incertitude-type associée.

6. Calculer l'incertitude $u(M_{\mathrm{T}})$ sur la masse de la Terre et vérifier que la valeur expérimentale M_{T} est bien en accord avec la valeur communément admise de nos jours notée M'_{T}.

EXERCICE B - Installation d'une fenêtre de toit (10 points)



Afin d'accroître la luminosité d'une pièce située sous le toit de sa maison, une famille envisage d'installer une fenêtre de toiture d'entrée de gamme constituée d'un simple vitrage de surface $S = 1{,}0\ m^2$.

L'objectif de cet exercice est d'étudier une des conséquences de cet achat en termes de température lors de la période estivale.

Pour simplifier, on suppose qu'en période estivale, à partir de midi, la température de l'air au voisinage de cette fenêtre est constante et égale $\theta_e = 50\ °C$.

On admettra que la partie toiture en tuiles est parfaitement isolée thermiquement et que tout transfert thermique par rayonnement à travers la fenêtre de toit est négligeable.

On considèrera que le seul transfert thermique échangé par l'air de la pièce est dû au transfert conducto-convectif provenant de la vitre.

Données

- Coefficient de transfert conducto-convectif : $h = 8{,}0\ W{\cdot}K^{-1}{\cdot}m^{-2}$;
- Surface de la vitre : $S = 1{,}0\ m^2$;
- Masse d'air contenue dans la pièce : $m_{air} = 1{,}3 \times 10^2\ kg$;
- Capacité thermique massique de l'air sec : $c_{air} = 1{,}0 \times 10^3\ J{\cdot}K^{-1}{\cdot}kg^{-1}$.
- Le flux thermique $\Phi(t)$ entre un système à la température uniforme $\theta(t)$ et un milieu extérieur à la température θ_e fixe (thermostat) peut être modélisé par la loi de Newton :

$$\Phi(t) = h \times S \times (\theta_e - \theta(t))$$

avec Φ en W ; h coefficient conducto-convectif en $W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}$ et S surface d'échange entre le système et le milieu extérieur, en m².

1. Exprimer le transfert thermique Q qui a lieu à travers la vitre pendant la durée très courte Δt en fonction de Δt, h, S, θ_e et θ.

Le système étudié est l'air de la pièce que l'on considérera incompressible.

2. Appliquer le premier principe de la thermodynamique au système et en déduire une relation entre Φ et les grandeurs Δt, m_{air}, c_{air} et $\Delta\theta$ *où* $\Delta\theta$ désigne la variation de température du système pendant la durée Δt.

3. Montrer que la température de l'air de la pièce $\theta(t)$ obéit à l'équation différentielle :

$$\frac{d\theta}{dt} + a \times \theta(t) = a \times \theta_e \text{ avec } a = \frac{h \times S}{m_{air} \times c_{air}}$$

4. En utilisant les données, montrer que $a = 6{,}2 \times 10^{-5}\ s^{-1}$ environ. Justifier son unité.

On admet que la solution à l'équation différentielle a pour expression :

$$\theta(t) = \theta_i + (\theta_e - \theta_i) \times \left(1 - e^{-a \times t}\right)$$

où θ_i est la température de l'air de la pièce à l'instant initial.

5. Calculer la température θ de la pièce au bout d'une heure puis au bout de trois heures lorsque la température initiale intérieure θ_i vaut 20 °C. À partir de ces résultats numériques, justifier si la fenêtre de toit choisie convient lors de la période estivale.

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.