BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

JOUR 2

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

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 29 pages numérotées de 1/29 à 29/29.

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 et DR2 (pages 20 et 21) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

EFOIL

Constitution du sujet

- Sujet ..... pages 3 à 19
- Documents réponses ..... pages 20 à 21

Le candidat devra traiter obligatoirement la sous-partie 1.
Puis, il devra choisir et traiter l'une des deux sous-parties suivantes :

- la sous-partie 2 (choix 1), question 8 à question 13
- la sous-partie 3 (choix 2), question 14 à question 19

Les documents réponses DR1 et DR2 (pages 20 et 21) sont à rendre avec la copie.

Mise en situation

L'Efoil est une planche de surf électrique qui permet de glisser au-dessus de l'eau en toute sécurité. Elle a été développée par la société PWRfoil, basée à Perpignan.

figure 1 - Efoil en action sur l'eau

La société PWRfoil souhaite avec ce produit développer les sports de glisse, notamment pour ceux qui n'habitent pas à proximité du littoral. Elle propose une grande variété de combinaisons de constituants pour répondre au mieux aux attentes de tous. L'Efoil ne génère que peu de vagues en se déplaçant, limitant ainsi l'impact sur la faune et la flore. Il n'en demeure pas moins un produit de divertissement, répondant à des exigences de qualité et de sécurité strictes.

La problématique de l'étude est la suivante :

Comment faire voler au-dessus de l'eau un pratiquant de glisse en toute sécurité ?

Pour rendre accessible l'Efoil au grand public, il est nécessaire d'assurer la sécurité de l'utilisateur.

Le sujet va s'attacher à répondre à cette question par la résolution de trois problèmes techniques :

- comment gérer l'énergie de la batterie afin de garantir le retour sur la berge du pratiquant en toute sécurité ?
- comment permettre au pratiquant de maintenir son équilibre sur sa planche ?
- comment gérer la commande de la propulsion pour sécuriser la pratique ?

Les diagrammes suivants présentent la mission (figure 2) de l'Efoil dans son environnement (figure 3) et définissent les cas d'utilisation (figure 4).

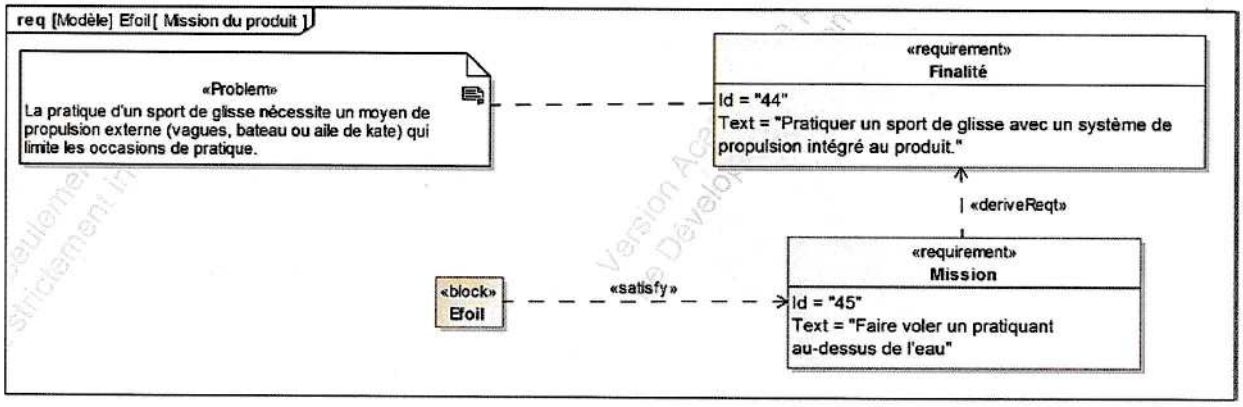


figure 2 - Diagramme de mission

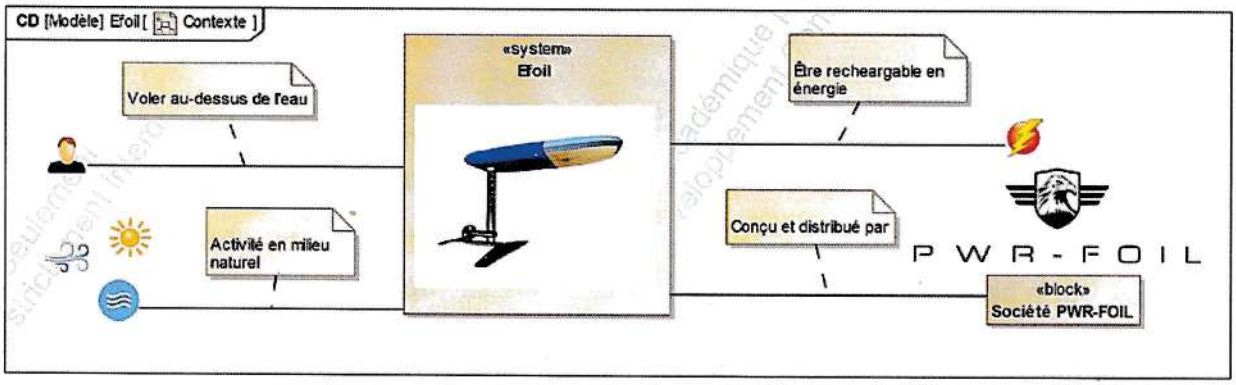


figure 3 - Diagramme de contexte

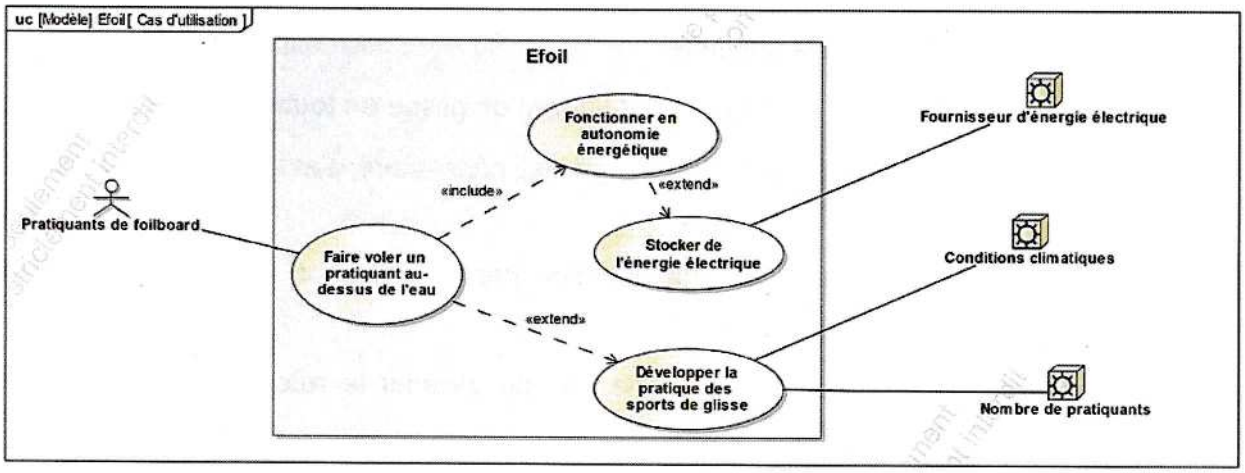


figure 4 - Diagramme des cas d'utilisation

Constitution de l'Efoil

L'Efoil est constitué d'une planche et d'un hydrofoil (figure 5). L'ensemble est mis en mouvement par un moteur électrique entraînant une hélice. L'hydrofoil comprend une partie constamment immergée, reliée à la planche par une poutre verticale appelée « mât ».

La partie immergée est composée de quatre éléments, l'aile (sustentation principale), le stabilisateur, le fuselage reliant le stabilisateur à l'aile et le propulseur électrique comprenant le moteur et son hélice.

Dans la planche, la batterie alimente en énergie le moteur via un boîtier électronique de distribution de l'énergie. Le boîtier électronique intègre aussi un système d'émission/réception radio permettant la communication avec le pratiquant grâce à une télécommande étanche. Il contrôle ainsi la vitesse de rotation de l'hélice et donc la poussée.

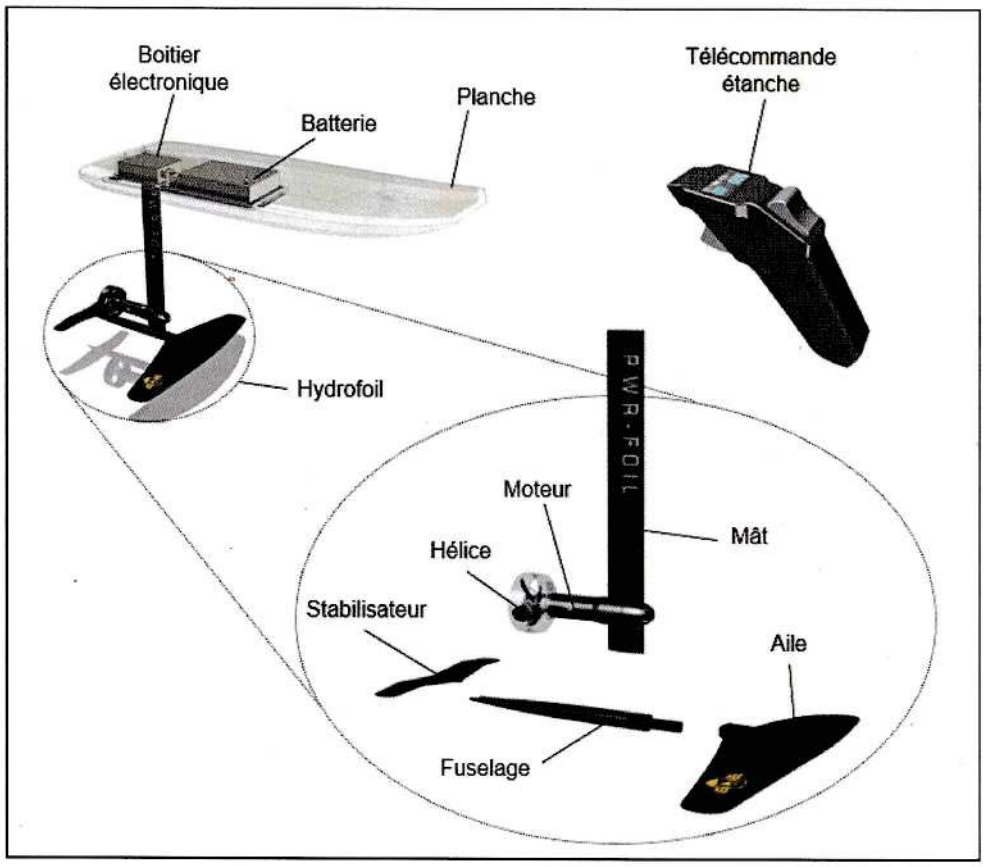


figure 5 - Constituants de l'Efoil

Principe de fonctionnement

L'Efoil a comme avantage, par rapport à un surf traditionnel, de supprimer la traînée de frottement de la planche. L'élévation permet au pratiquant débutant de ne pas être déstabilisé par les vagues. En maintenant la planche hors de l'eau durant la majeure partie du déplacement, la consommation énergétique du moteur électrique s'en trouve notablement réduite, garantissant ainsi une autonomie de fonctionnement conséquente à une vitesse pouvant atteindre 40 $km \cdot h^{-1}$.

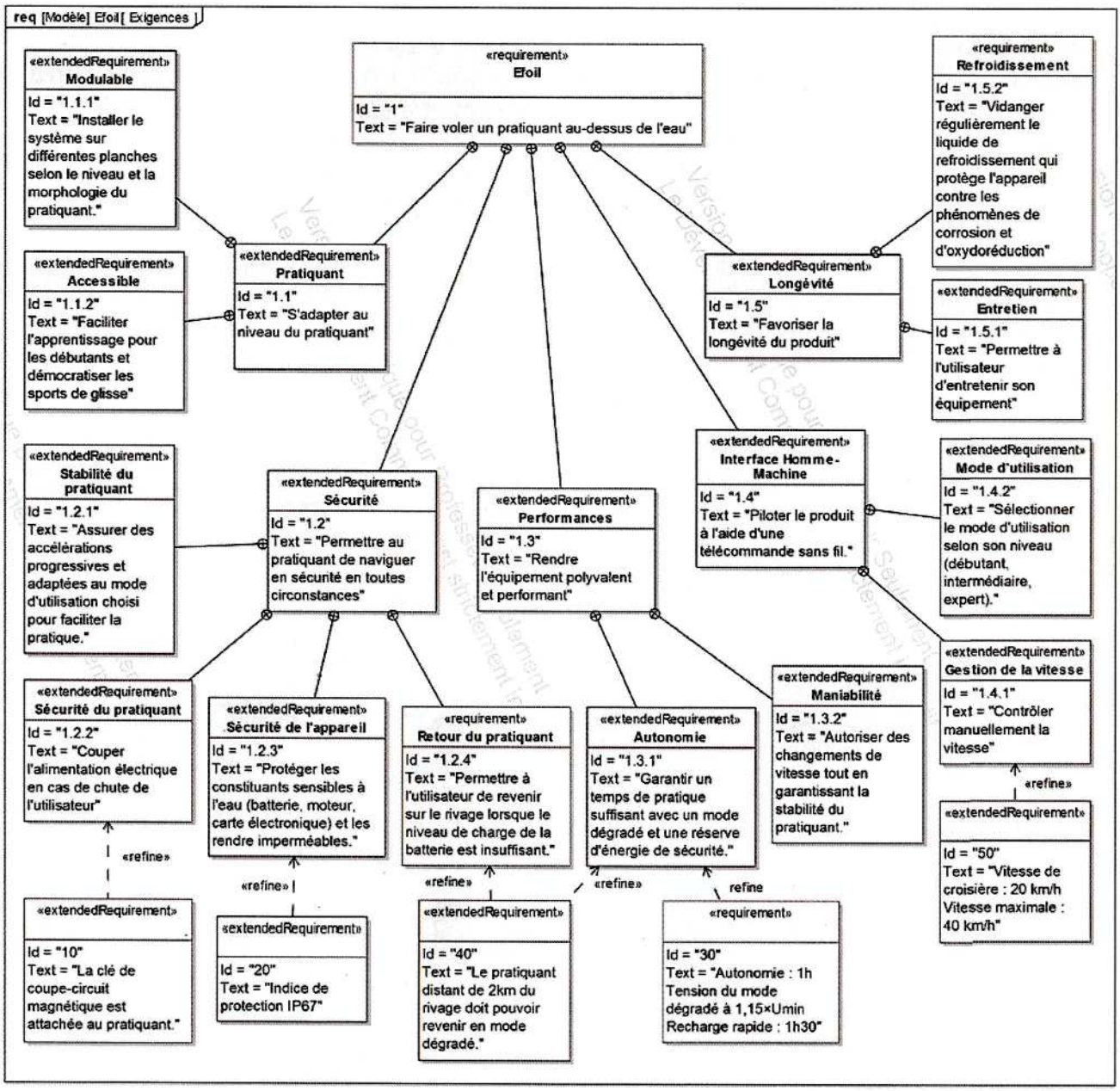


figure 6 - Diagramme partiel des exigences

Sous-partie 1 – obligatoire

Garantir une autonomie suffisante pour assurer le retour du pratiquant sur la berge

Objectif - Gérer l'énergie de la batterie afin de garantir le retour sur la berge du pratiquant en toute sécurité.

L'Efoil pouvant se déplacer très rapidement, il est possible, même pour un pratiquant débutant, de s'éloigner en peu de temps de manière conséquente de son point de départ. Afin d'assurer son retour en toute sécurité, un mode dégradé du fonctionnement a été implanté sur le produit. Ce mode limite la puissance électrique délivrée au moteur afin de préserver l'énergie restante de la batterie et permettre à l'utilisateur de regagner la berge.

Question 1
figure 6

Relever *sur le diagramme des exigences (figure 6) la valeur de la vitesse de croisière de l'Efoil et l'autonomie de fonctionnement.* ***Calculer*** *dans ces conditions la distance maximale théorique que peut parcourir le produit.*

Dans la réalité, l'Efoil ne fonctionne jamais pendant une heure à la vitesse de croisière. Le pratiquant commence par s'allonger sur sa planche, démarre, se redresse puis se déplace en ligne droite, réalise des virages à petite vitesse, ralentit, s'arrête puis redémarre, etc.

Ces différentes phases de fonctionnement rendent difficiles le calcul de la consommation énergétique. Afin d'évaluer au plus près cette consommation, un modèle de simulation multiphysique (figure 7) du produit dans son environnement a été développé.

Le modèle est constitué de différents blocs représentant la batterie, le contrôleur de vitesse du moteur (ESC : Electronic Speed Controller), le moteur, l'hélice ainsi que les parties portantes de l'hydrofoil (aile avant et stabilisateur). Le bloc « pilotage vitesse » permet de définir les ordres de commande du contrôleur de vitesse.

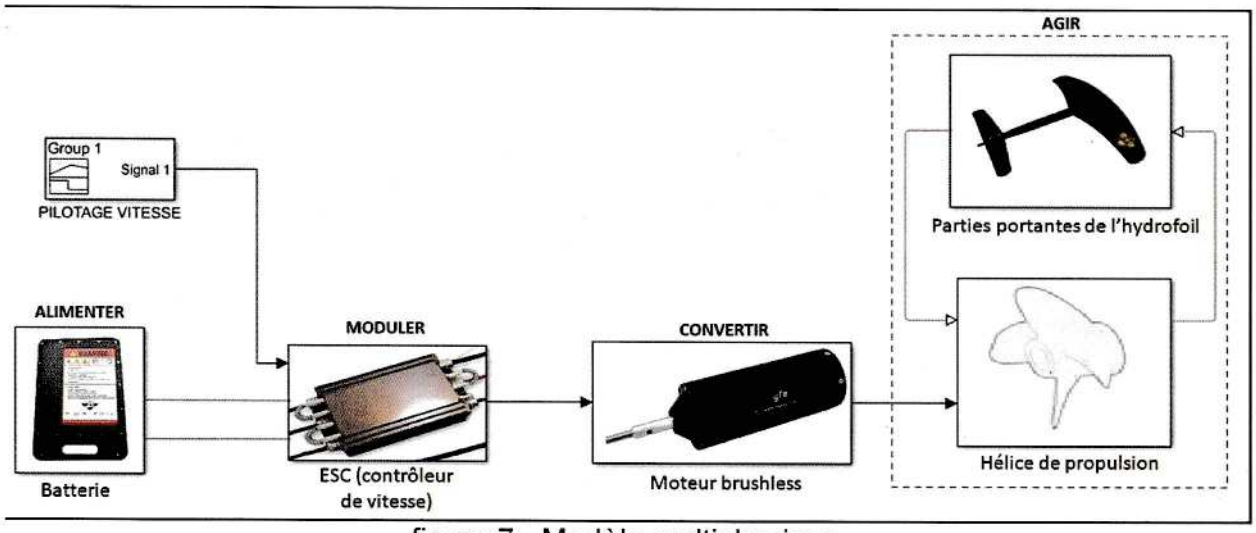


figure 7 - Modèle multiphysique

Le diagramme de définition des blocs ci-dessous représente les constituants du système.

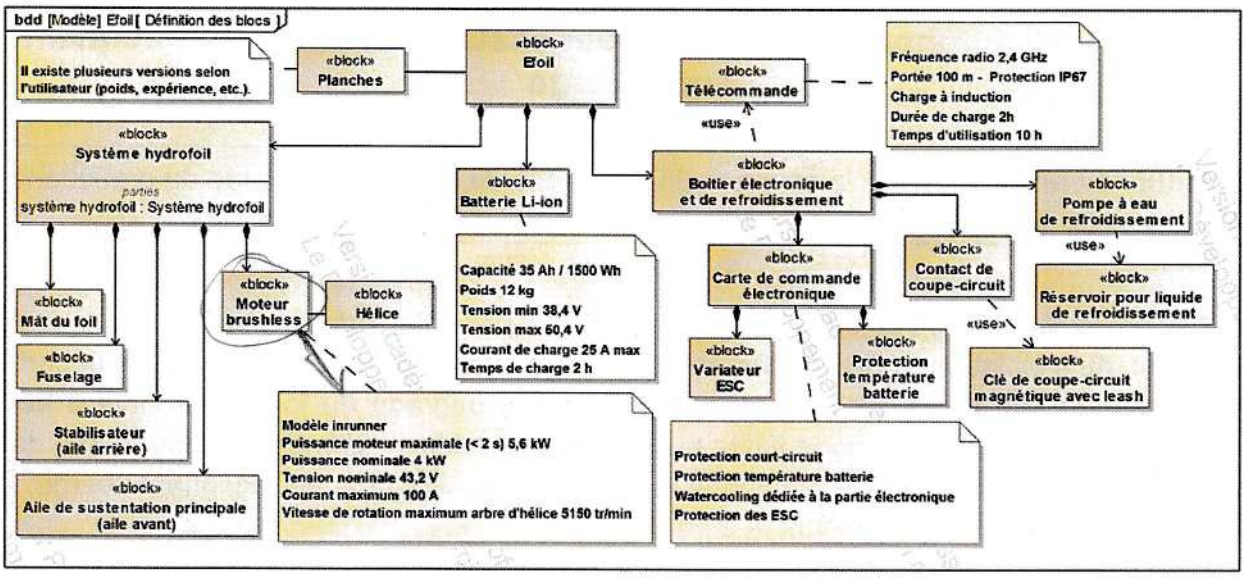


figure 8 - Diagramme de définition des blocs

Question 2
figure 8

Le paramétrage du modèle nécessite de disposer d'informations. ***Relever*** *dans le diagramme de définition des blocs, la valeur de la puissance nominale du moteur ainsi que les valeurs des tensions minimale et maximale aux bornes de la batterie.*

Le scénario d'essai retenu par le fabricant de l'Efoil pour tester l'autonomie de son produit est détaillé ci-dessous (ce scénario est répété plusieurs fois en continu avec un pratiquant de 75 kg) :

- le pratiquant s'allonge sur sa planche qui est immobile sur l'eau puis accélère (a_i = 0,2 m·s^{-2}). Cette phase à accélération constante dure le temps d'atteindre une vitesse de 7 km·h^{-1}, nécessaire à un appui hydrodynamique suffisant de la planche sur l'eau (l'hydrofoil n'élève pas encore la planche) ;
- le pratiquant se met alors debout en restant à une vitesse constante de 7 km·h^{-1}, cette phase dure 8 s ;
- à ce stade, une nouvelle accélération constante (a_d = 0,3 m·s^{-2}) peut être appliquée jusqu'à atteindre une vitesse de 14,5 km·h^{-1}, nécessaire pour sortir la planche hors de l'eau. L'hydrofoil élève alors le pratiquant et sa planche au-dessus de l'eau et le « vol » peut débuter ;
- une fois la vitesse de 14,5 km·h^{-1} atteinte, une dernière accélération constante (a_v = 0,2 m·s^{-2}) est appliquée pour obtenir la vitesse de croisière de 20 km·h^{-1} ;
- le « vol », à la vitesse de croisière, dure 2 min puis le pratiquant s'arrête (pour simplifier la simulation, l'arrêt est considéré instantané dans cette partie).

Question 3 Voir DR1 figure 7	*À partir de la description du scénario d'essai présenté dans la page précédente,* ***tracer*** *sur le document réponse DR1 le profil de vitesse imposé au contrôleur de vitesse du modèle multiphysique en se limitant à la première minute.* ***Justifier*** *les tracés sur la copie.*

Une simulation numérique hydrodynamique du comportement de l'Efoil a permis d'obtenir le graphe figure 9. Il montre l'évolution de la puissance nécessaire sur l'axe moteur pour déplacer l'Efoil dans l'eau en fonction de la vitesse. La puissance présente un pic juste avant le « décollage » du produit puis diminue brutalement suite à la réduction importante de la traînée hydrodynamique.

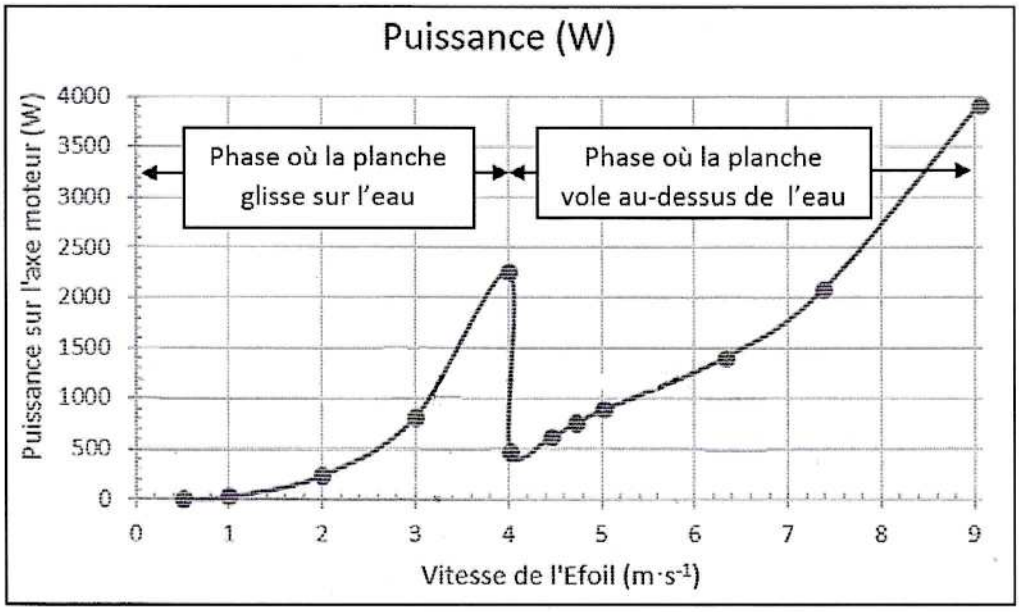


figure 9 - Courbe puissance sur l'axe moteur en fonction de la vitesse

Le passage en mode dégradé est étudié avec les hypothèses suivantes : la puissance du moteur est limitée à 30 % de sa puissance nominale et le pratiquant tombe à l'eau, il redémarre sur sa planche avec une vitesse nulle.

Question 4 figure 9	***Calculer*** *la puissance maximale disponible sur l'axe moteur en mode dégradé puis* ***relever*** *sur le graphe la vitesse maximale correspondant à ce mode dégradé.*

La batterie installée sur le produit est de technologie Li-ion. La tension à ses bornes évolue en fonction de son temps d'utilisation. La tension minimale U_{min} dite de « *cut off* » est la tension correspondant à une batterie complètement déchargée. La batterie doit impérativement être coupée à cette tension sous peine de la détériorer. Le constructeur a défini la tension de seuil U_s du passage du mode normal au mode dégradé à $U_s = 1{,}15 \times U_{min}$.

La simulation du modèle multiphysique permet d'afficher sur le document réponse DR1 l'évolution de la tension aux bornes de la batterie pour les vitesses de pilotage déterminées dans les questions précédentes. Cette simulation intègre les deux phases de fonctionnement (modes normal et dégradé). En mode dégradé, la vitesse est supposée constante et égale à la vitesse maximale relevée précédemment.

Question 5 Voir DR1	***Tracer*** *sur le document réponse DR1 les valeurs des tensions U_{min} et U_s. En raisonnant uniquement en mode dégradé,* ***déterminer*** *la distance que peut parcourir le pratiquant sur son Efoil avant l'arrêt complet de son embarcation.*

Le tracé figure 10 représente l'enregistrement d'un essai réel en mode dégradé sur un lac. Cet essai a permis au pratiquant de regagner le rivage. Le point où se situait le pratiquant au moment du passage en mode dégradé est noté *A* sur la figure 10, le point d'arrivée est noté *B*.

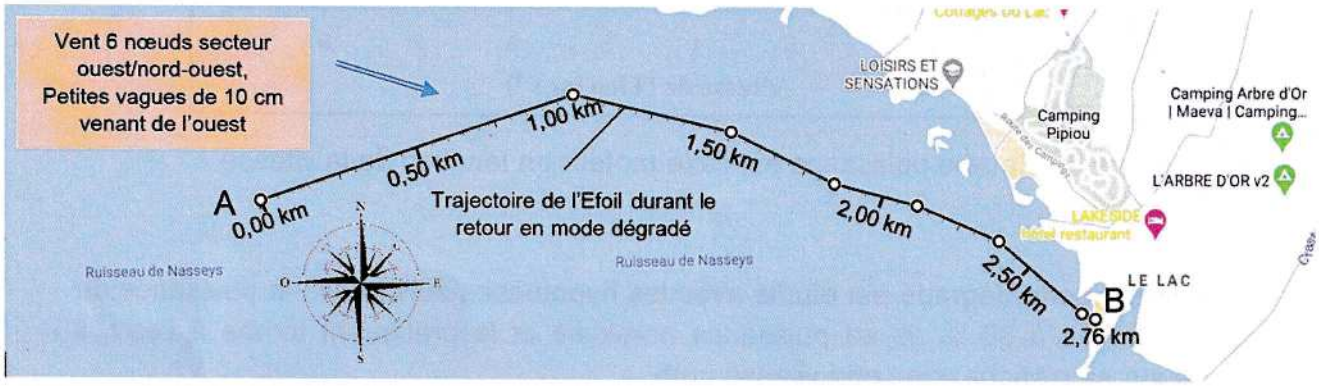


figure 10 - Relevé de l'enregistrement d'un essai réel en mode dégradé

Question 6 figures 6 et 10	***Relever*** *sur la figure 10 l'information de la distance réellement parcourue par le pratiquant en mode dégradé entre les points A et B.* ***Calculer*** *les écarts relatifs en pourcentage de ce résultat par rapport à la simulation et au cahier des charges; exigence «Id='40'» du diagramme des exigences.*
Question 7 figures 6 et 10	***Analyser*** *les écarts calculés à la question 6.* ***Conclure*** *sur la capacité du système à répondre à l'exigence «Id='40'».*

Sous-partie 2 – choix 1

Permettre au pratiquant de maintenir son équilibre

Objectifs - Permettre au pratiquant de maintenir son équilibre sur sa planche :
- lors du passage en mode dégradé :
- avec l'implantation future d'un système automatique de contrôle d'altitude de la planche.

Passage en mode dégradé

De par sa conception, lorsque l'Efoil commence à « voler », il a naturellement tendance à se cabrer. Pour continuer à gagner en vitesse, le pratiquant doit transférer son poids sur l'avant. Cette position n'est pas rassurante (car instable) mais nécessaire.

Un des points importants en lien avec la sécurité de la pratique est décrit par l'exigence « Id='1.2.1'». Lors du passage en mode d'utilisation dégradé, la vitesse de rotation de l'arbre moteur est limitée à 1500 tr·min^{-1} (vitesse correspondant à 30 % de la puissance).

Si la décélération angulaire de l'arbre moteur qui en résulte est trop importante, cela risque d'entraîner un déséquilibre du pratiquant sur l'avant puis une chute potentiellement dangereuse. Le premier objectif de cette deuxième étude a pour but de déterminer la valeur critique de cette décélération angulaire au-dessus de laquelle le pratiquant est déséquilibré.

Pour valider cet objectif, une étude dynamique de l'équilibre du pratiquant seul en position de pratique est menée. Le schéma du document réponse DR1 représente le pratiquant sur sa planche « en vol » au-dessus de l'eau. Le repère $(O,\vec{x},\vec{y},\vec{z})$ lié à l'eau est considéré galiléen.

Hypothèses :

- cette étude est menée dans le cas d'un problème plan $(O,\vec{x},\vec{y})$;
- le pratiquant (noté P) se déplace en translation rectiligne uniformément variée (décélération linéaire a_x avec $a_x < 0$) suivant l'axe $\vec{x}$;
- l'ensemble est en mouvement par rapport à l'eau qui est supposée immobile ;
- l'effet du vent est négligé devant les autres actions mécaniques mises en jeu ;
- l'étude se fait pour la position définie sur le schéma du document réponse DR1 ;
- l'étude se place à la limite du basculement vers l'avant, la décélération a_x (composante de l'accélération suivant l'axe $(O, \vec{x})$ entraînant une action de la planche sur le pied arrière au point B nulle) ;
- le contact sans glissement de la planche sur le pied avant est ponctuel au point A ;
- le point G_p est considéré comme le centre de gravité du pratiquant ;
- la masse du pratiquant m_p vaut 75 kg, elle est considérée concentrée en G_p ;
- l'accélération de la pesanteur g vaut 9,81 m·s^{-2} ;
- $\overrightarrow{P_{g\to P}} = -P_P\,\vec{y}$ l'action de la pesanteur sur le pratiquant est appliquée au point G_p ;
- $\overrightarrow{R_{planche\to P}} = X_A\vec{x} + Y_A\vec{y}$ est l'action de contact de la planche sur le pied avant au point A. La composante X_A est générée par la baisse de vitesse de rotation du moteur.

Question 8 Voir DR1	***Tracer*** *sur DR1 les directions et les sens des actions mécaniques exercées sur le pratiquant.* ***Exprimer*** *le principe fondamental de la dynamique au point G_p.* ***Écrire*** *les équations scalaires littérales de la résultante dynamique en projection sur l'axe $\vec{x}$ et l'axe $\vec{y}$, puis celle du moment dynamique autour de l'axe $\vec{z}$ exprimée au point G_p.*
Question 9	***Exprimer*** *Y_A en fonction de m_p et g.* ***En déduire*** *la valeur de la décélération linéaire a_x critique pour l'équilibre.*

Quelle que soit la valeur trouvée à la question précédente, la décélération critique sera considérée égale à a_x = - 1,1 m·s^{-2}.

La simulation multiphysique a permis de tracer la courbe (figure 11) de la décélération linéaire a_x de l'ensemble { pratiquant + Efoil } en fonction de la décélération angulaire de l'arbre moteur exprimée en rad·s^{-2}.

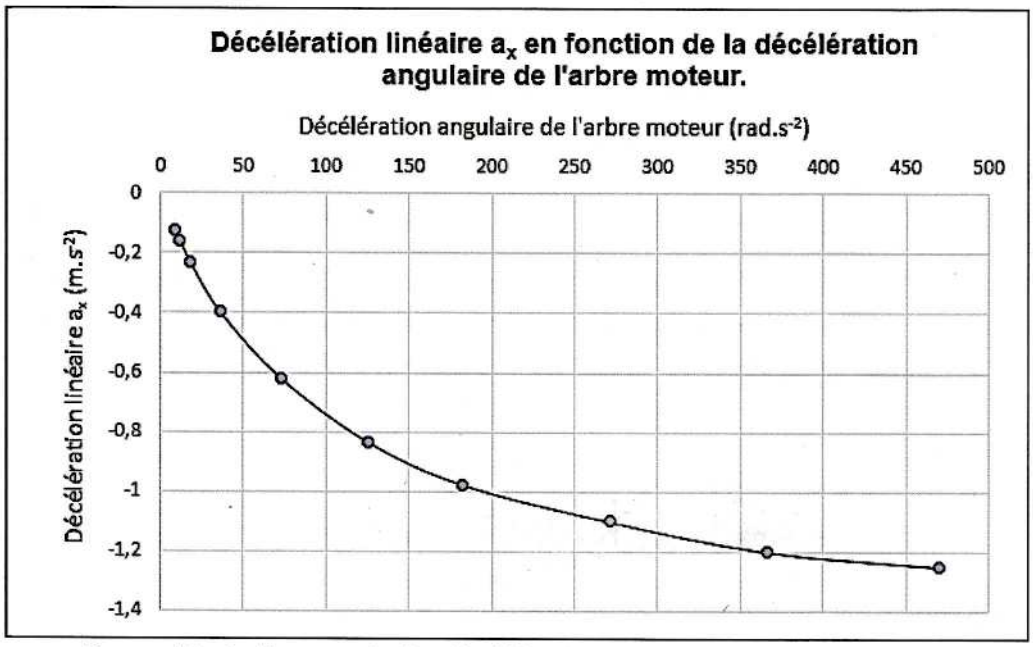


figure 11 - Influence de la décélération angulaire de l'arbre moteur

Question 10 figure 11	***Relever*** *sur la figure 11 la décélération angulaire critique (en rad·s^{-2}) de l'arbre moteur pour s'assurer du maintien de l'équilibre du pratiquant lors du passage en mode dégradé.*

Utilisation d'un système automatique de contrôle d'altitude de la planche

L'étude précédente a permis de déterminer la valeur de décélération angulaire critique de l'arbre moteur pour maintenir le pratiquant sur sa planche. Une des difficultés pour un débutant est de contrôler l'altitude de la planche par rapport à l'eau. Cette grandeur est d'une part difficile à évaluer par le pratiquant debout sur la planche et d'autre part, la maîtrise de cette grandeur demande beaucoup d'anticipation.

Le changement d'altitude peut être obtenu de deux manières différentes en modifiant :

- la position du centre de gravité de l'ensemble. Si le pratiquant s'avance, l'incidence de l'aile par rapport à l'eau diminue, la planche descend;
- la vitesse de rotation de l'arbre moteur. Si le pratiquant diminue la pression sur la gâchette de la télécommande, la vitesse diminue, la planche descend.

L'entreprise souhaite étudier la possibilité d'installer un système automatique de gestion de l'altitude de la planche par rapport à l'eau en agissant sur la vitesse de rotation de l'arbre moteur.

Un capteur ultrason placé sous la planche donne l'image de la distance (en mm) de la planche par rapport à la surface libre de l'eau. Cette information est traitée par un microcontrôleur qui va, à l'aide d'un correcteur numérique, moduler la puissance électrique fournie au moteur. Il en résulte une variation de vitesse de la planche et par conséquent, une variation de son altitude par rapport à l'eau.

Les vagues du plan d'eau ainsi que les mouvements du pratiquant peuvent créer des perturbations pour le système. Dans cette étude, les perturbations sont considérées nulles.

Le modèle de simulation présenté figure 12 permet de simuler le comportement de ce système automatique dans l'environnement du produit.

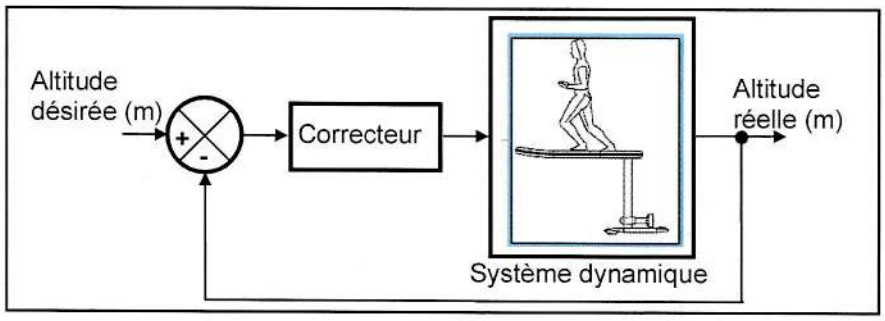


figure 12 – Modèle de l'asservissement en altitude de la planche

Le réglage des paramètres du correcteur de l'asservissement en altitude de la planche s'effectue par simulation sur le modèle de comportement hydrodynamique établi précédemment, avant d'être implanté sur le futur système.

La consigne d'altitude de la planche est fixée à 0,4 m à l'instant initial (t = 0 s). Trois cas successifs de configuration du correcteur (réglages a, b et c) sont envisagés. Les courbes données sur le document réponse DR2 représentent l'évolution de l'altitude de la planche par rapport à l'eau en fonction du temps pour chaque réglage du correcteur.

Question 11 Voir DR2	***Déterminer*** *graphiquement pour chaque réglage, la valeur (en mm) du premier dépassement.* ***Justifier*** *les résultats en faisant apparaître les constructions graphiques sur DR2.*

L'hélice d'un diamètre de 150 mm doit être maintenue 40 mm sous la surface de l'eau pour garantir l'efficacité de la propulsion (risque d'aspiration d'air). La distance entre l'axe moteur et le dessous de la planche est de 685 mm.

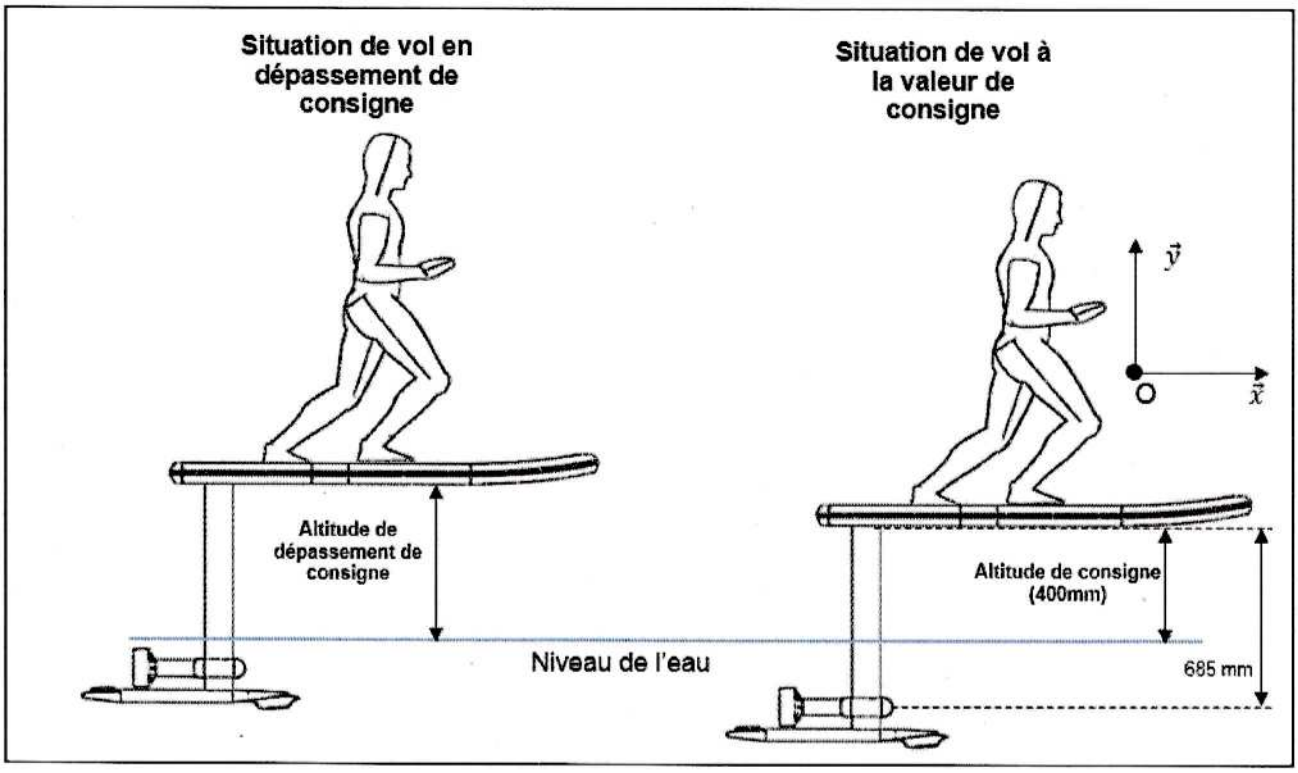


figure 13 - Comportement du système

Question 12 figure 13	***Calculer*** *le dépassement maximal admissible (en mm) pour assurer la propulsion du produit.*

Question 13 figure 13	*Parmi les courbes théoriques proposées sur le DR2,* ***identifier*** *celle qui n'est pas compatible avec le système réel.* ***Justifier*** *la réponse.*

Sous-partie 3 – choix 2

Sécuriser la pratique lors du passage en mode dégradé

Objectif : Gérer la commande de la propulsion pour sécuriser la pratique lors du passage en mode dégradé

Architecture de la partie commande

Afin de répondre à l'exigence « Id1.2 » du diagramme des exigences (figure 6) « Permettre au pratiquant de naviguer en sécurité en toutes circonstances », la carte de commande du produit doit intégrer trois fonctions en lien avec la sécurité du pratiquant :

- interrompre l'alimentation du moteur en cas de chute du pratiquant ;
- assurer un retour sur le rivage grâce au mode dégradé ;
- assurer des décélérations adaptées lors de la pratique y compris lors du passage en mode dégradé.

La première fonction appelée « Dead Man » est réalisée par une clé de coupe-circuit magnétique (figure 6) qui interrompt l'alimentation électrique du moteur au moyen d'un sectionneur électronique. Cette clé est constituée d'une part, d'un aimant accroché par un lien souple à l'une des jambes du pratiquant et d'autre part, d'une base métallique solidaire de la planche. Lorsque l'aimant se décroche de la planche suite à une chute, la coupure électrique est effective et la planche s'arrête.

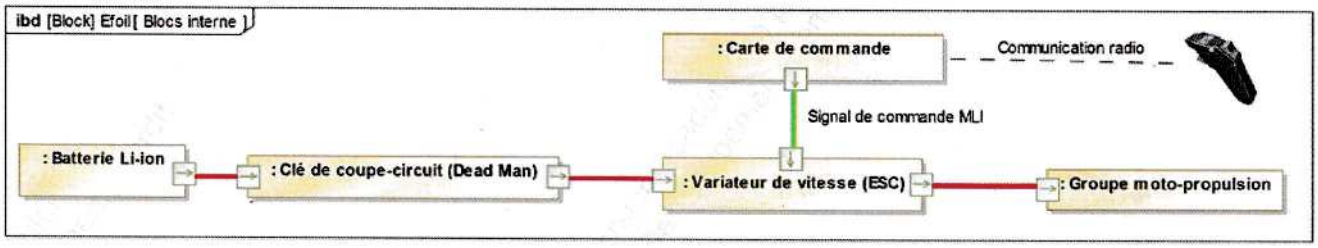


figure 14 - Diagramme de blocs interne simplifié

Les deux autres fonctions de sécurité sont gérées par une carte de commande (figure 14) située à l'avant de la planche. Cette carte intègre un système d'émission/réception radio communiquant avec la télécommande sans fil que le pratiquant tient dans sa main. La carte de commande reçoit le niveau de vitesse souhaité par l'utilisateur.

Elle traite ensuite le signal pour l'adapter au niveau de pratique choisi et au mode de fonctionnement (normal ou dégradé) puis transmet l'ordre au contrôleur de vitesse (ESC) sous forme d'un signal MLI (Modulation de Largeur d'Impulsions).

Algorigramme simplifié du programme principal

Un extrait du programme implanté dans la carte de commande est traduit par un algorigramme simplifié (figure 15). N_{can} est l'image numérique de la tension U_{bat} aux bornes de la batterie. Sa lecture est indispensable pour l'activation du mode dégradé. Le programme gère les deux modes d'utilisation : normal ou dégradé. En mode normal, le pratiquant peut adapter le comportement de l'Efoil selon son niveau : débutant, intermédiaire ou expert.

U_s est la tension de seuil du passage du mode normal au mode dégradé avec $U_s = 1{,}15 \times U_{min}$.

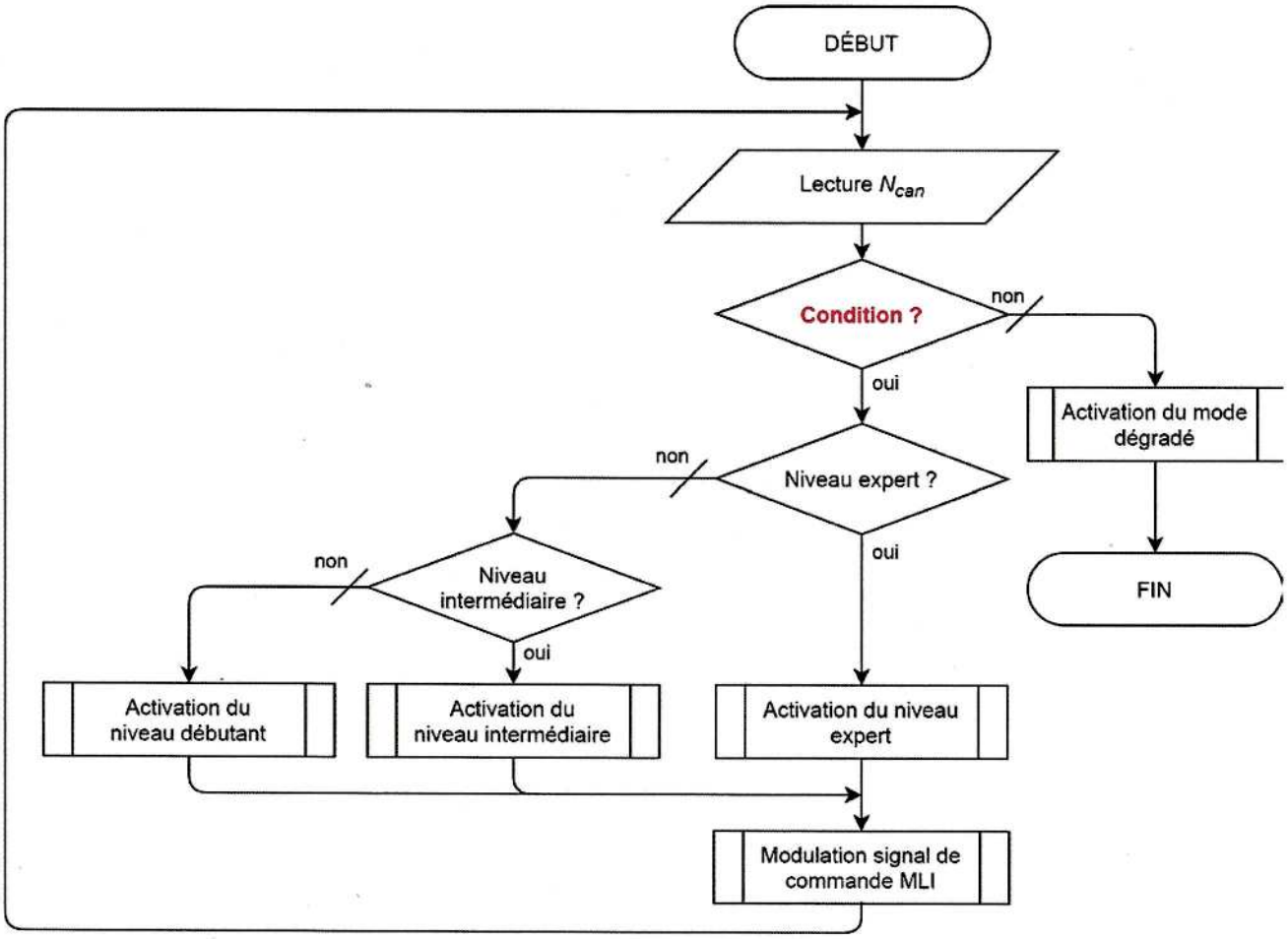


figure 15 - Algorigramme simplifié du programme principal

Question 14 figure 15	***Déterminer*** *la condition (notée « Condition ? » sur la figure 15) portant sur la tension U_{bat} qui permet d'activer le mode dégradé.*

Numérisation de la tension U_{bat}

L'algorigramme simplifié figure 15 montre la nécessité de connaître à tout instant la tension U_{bat}. Sa numérisation (grandeur N_{can}) est réalisée au moyen du montage électronique décrit sur la figure 16.

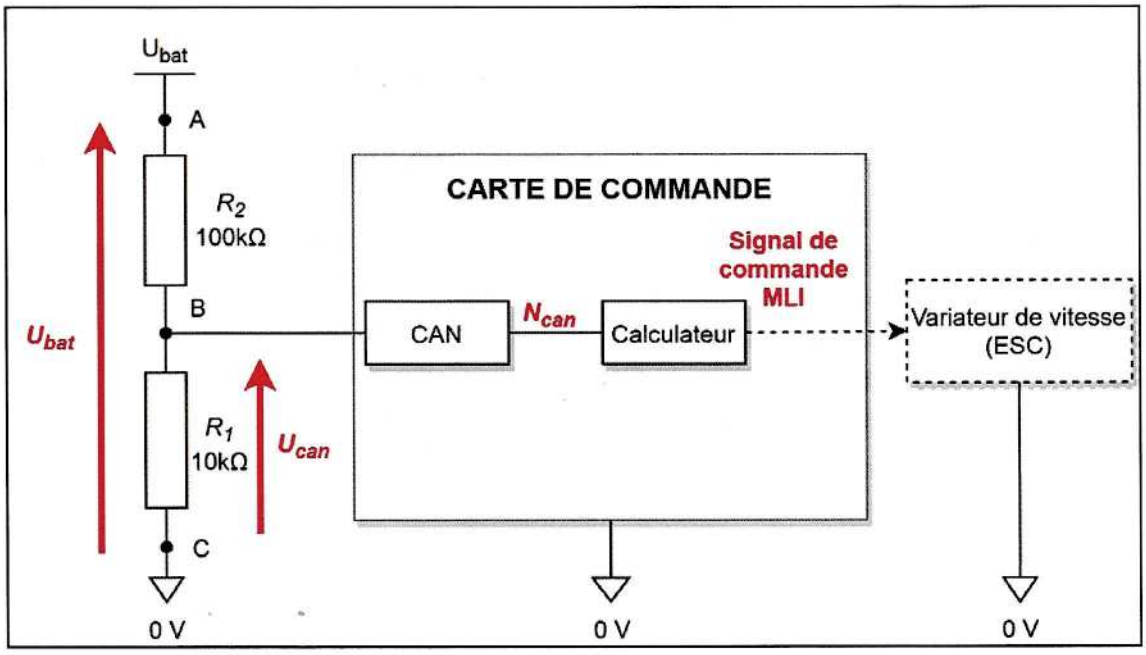


figure 16 - Extrait du schéma électronique de la carte de commande

Pour rendre la tension U_{bat} compatible avec les entrées analogiques (de 0 à 5 V) de la carte de commande, elle est abaissée (tension U_{can}) par un pont diviseur de tension constitué des résistances R_1 = 10 kΩ et R_2 = 100 kΩ. Le CAN (convertisseur analogique numérique), intégré dans la carte de commande, convertit la tension U_{can} en une grandeur numérique notée N_{can}. Cette grandeur numérique intervient dans la condition d'activation du mode dégradé (voir algorigramme simplifié du programme principal figure 15).

On néglige le courant d'entrée du CAN devant les courants dans les résistances R_1 et R_2.

Question 15 figure 16	***Déterminer*** *la valeur de la tension U_{can} lorsque $U_{bat} = U_s$.* ***Vérifier*** *que celle-ci est compatible avec les entrées analogiques de la carte de commande.*

Quel que soit le résultat obtenu à la question 14, la valeur U_{can} est considérée égale à 4 V lors du passage en mode dégradé. La tension U_{can} est numérisée par convertisseur analogique - numérique de résolution 8 bits avec une tension pleine échelle U_{pe} = 5 V.

Question 16 figure 16	***Calculer*** *le quantum du convertisseur analogique - numérique puis* ***déterminer*** *la valeur décimale N_s correspondant à la tension U_{can} lorsque $U_{bat} = U_s$.* ***Traduire*** *la condition de la question 14 avec ce résultat.*

Fonctionnement du mode dégradé

Lorsque le niveau de charge de la batterie devient insuffisant, le mode dégradé est activé. La carte de commande acquiert la position de la gâchette de la télécommande et associe à cette position le paramètre NG qui correspond à la vitesse de rotation désirée en sortie de l'arbre moteur.

Par exemple pour une vitesse de 4 500 tr·min^{-1}, la valeur NG est égale à 4 500. Lors du passage en mode dégradé, la vitesse de rotation de l'arbre moteur est progressivement limitée à 1500 tr·min^{-1} afin de réduire la consommation énergétique et d'assurer le retour du pratiquant sur le rivage.

Pour des raisons de sécurité, il est nécessaire de vérifier que la décélération angulaire de l'arbre moteur ne soit pas trop abrupte pour ne pas perturber l'équilibre du pratiquant. La valeur théorique de la décélération angulaire critique de l'arbre moteur pour maintenir l'équilibre du pratiquant est supposée égale 270 rad·s^{-2}, ce qui représente en arrondissant une perte de 2 600 tr·min^{-1} par seconde.

```
1  def mode_degrade():     #activation du mode dégradé
2      import Time
3      NG = Efoil.get_position_gachette()     #acquisition de la vitesse
4      NR = NG     #variable pour la gestion de la rampe
5      """ Tant que la vitesse est supérieure à 1500 tr/min
6      on génère une rampe de décélération progressive """
7      while NR > 1500:
8          NR = NR - 26
9          Time.sleep(10)     #temporisation de 10 ms
10         NG =  Efoil.get_position_gachette()
11         if NR < NG :
12             MLI = NR     #adapter la vitesse à la rampe de décélération
13         else:
14             MLI = NG     #adapter la vitesse à la demande du pratiquant
15         Efoil.send_signal(MLI)     #transmission du signal de commande MLI
16     """ On bloque la vitesse maximale à 1500 tr/min """
17     while NR <= 1500:
18         NG = Efoil.get_position_gachette()
19         if NG > 1500:
20             MLI = 1500
21         else:
22             MLI = NG
23         Efoil.send_signal(MLI) #transmission du signal de commande MLI
```

figure 17 - Sous-programme « activation du mode dégradé » en langage Python

Le sous-programme (figure 17) gère le passage d'une vitesse de rotation de l'arbre moteur élevée à une vitesse de rotation réduite en mode dégradé au moyen d'une rampe de décélération progressive. La variable NR correspond à la valeur de la vitesse de rotation de l'arbre moteur lors de la décélération progressive pilotée par la rampe. Le programme permet d'affecter à la variable MLI un nombre proportionnel à la largeur d'impulsions désirée correspondant à la vitesse de rotation de l'arbre moteur souhaitée.

Le temps d'exécution des instructions du programme est négligé devant la valeur de la temporisation.

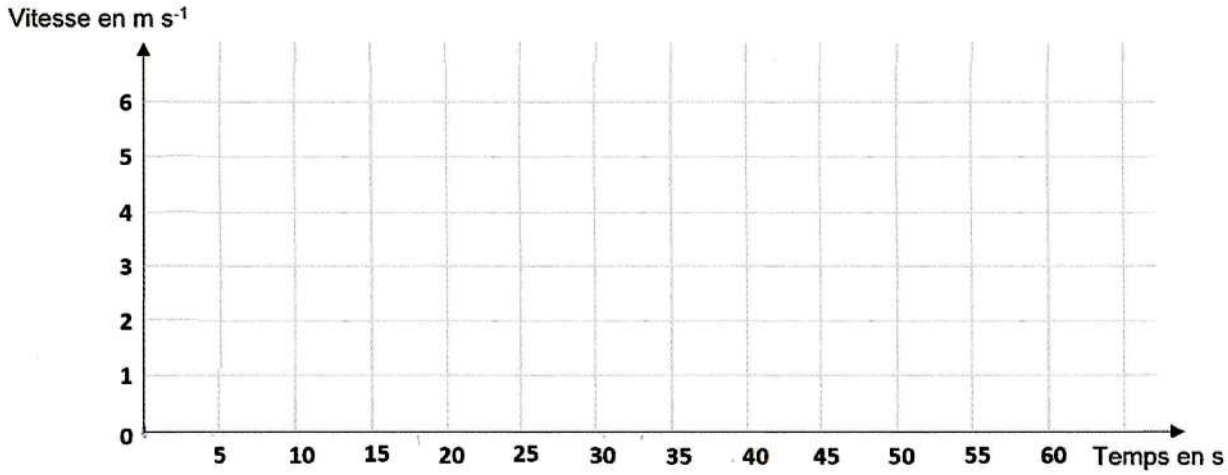
Question 17 figure 17	***Justifier*** *la valeur de décrémentation située à la ligne 8 du programme, compte tenu de la temporisation de 10 ms et de la décélération angulaire critique.*

Une série d'essais, effectuée pour mesurer la valeur réelle de la décélération critique, a permis de constater un écart. La valeur mesurée de la décélération angulaire critique de l'arbre moteur pour maintenir l'équilibre du pratiquant est de 2 400 $tr \cdot min^{-1}$ par seconde. Le sous-programme permet de s'adapter au comportement réel du système pour tenir compte de cet écart.

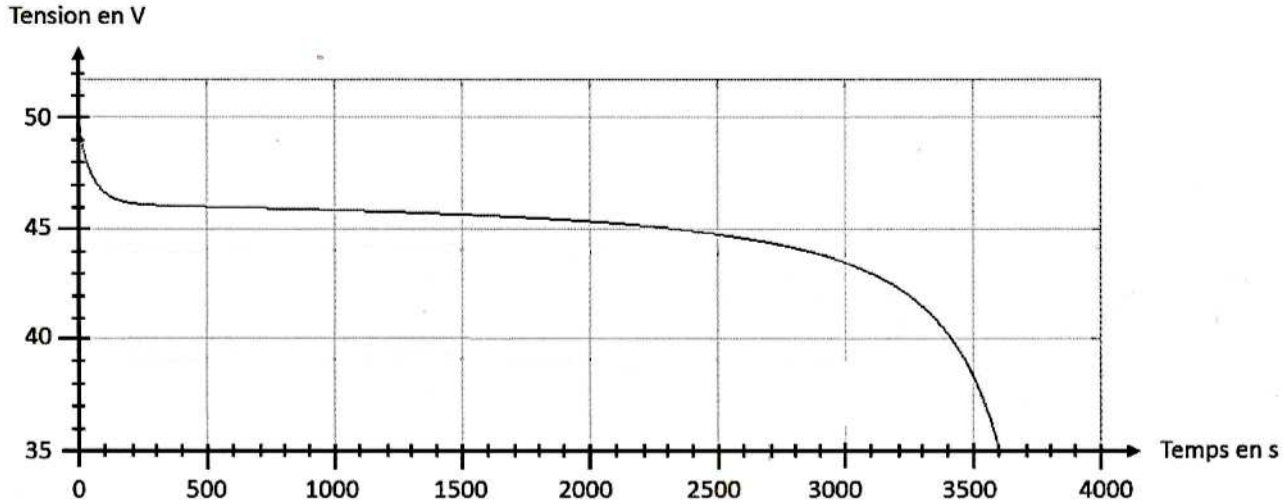
Question 18 figure 17	***Proposer*** *une alternative en langage Python du sous-programme figure 17 en recopiant uniquement la ou les lignes nécessaires aux modifications.*
Question 19	***Conclure*** *en expliquant de quelles façons le système de commande gère la sécurité du pratiquant.*

Documents réponses DR1

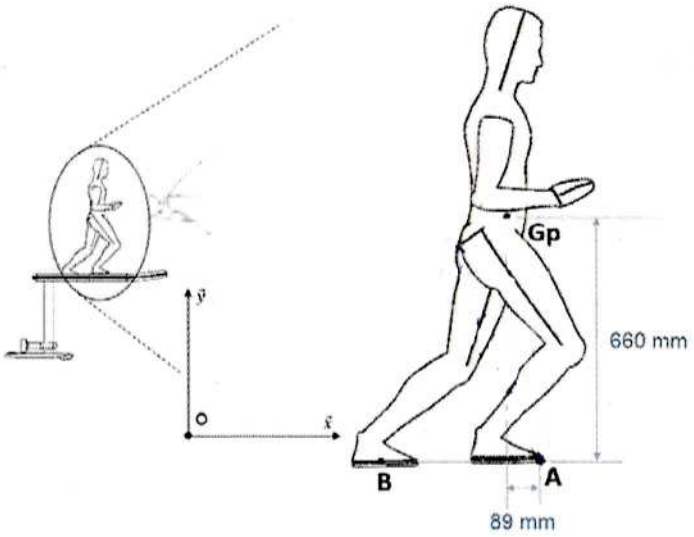
Question 3 – Obligatoire : justifications et calculs à faire sur la copie.



Questions 5 et 6 - Obligatoire

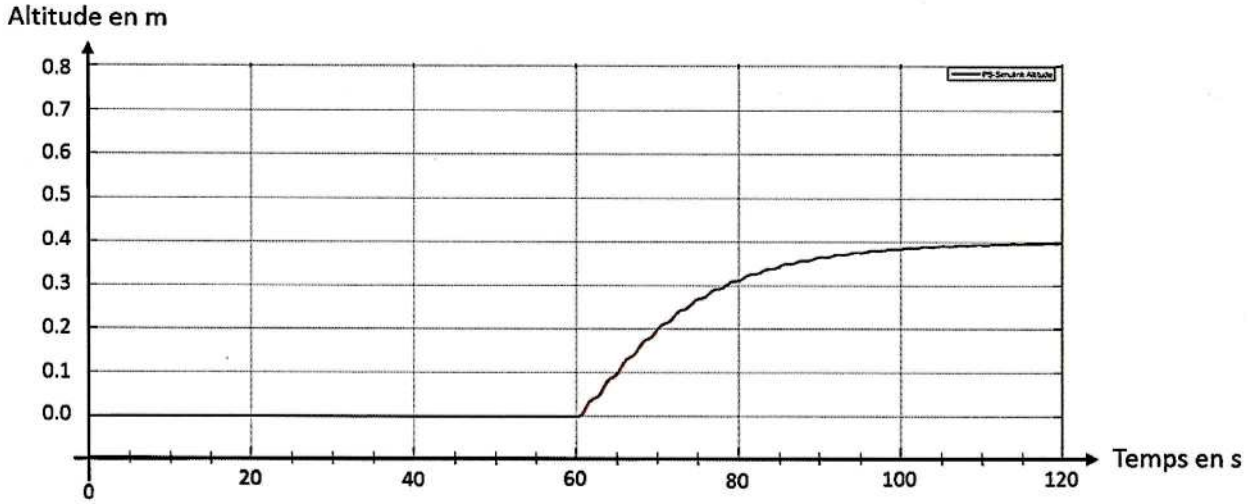


Question 8 - Obligatoire

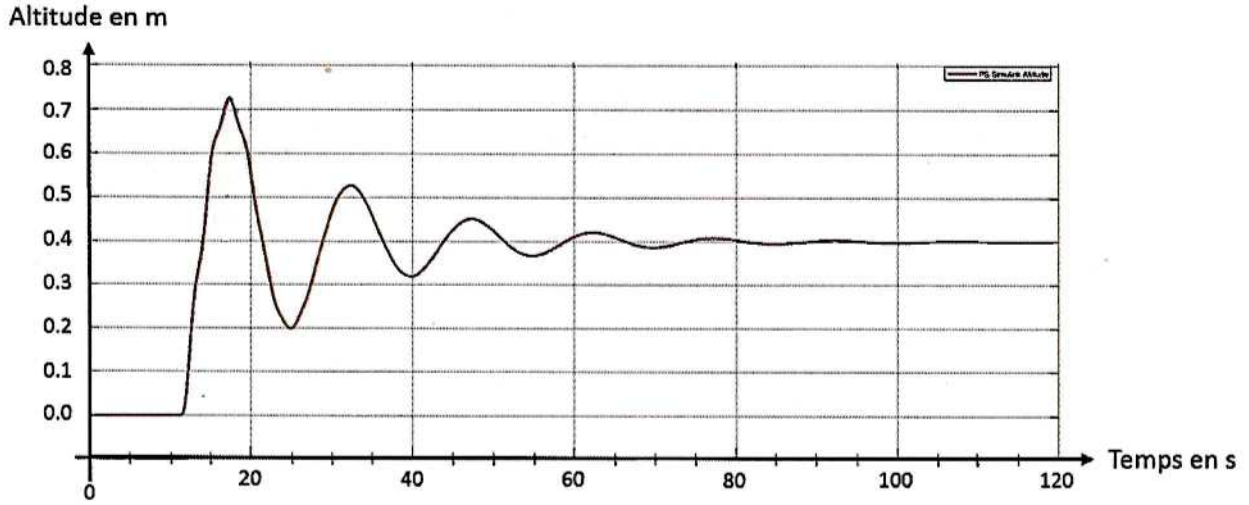


Documents réponses DR2

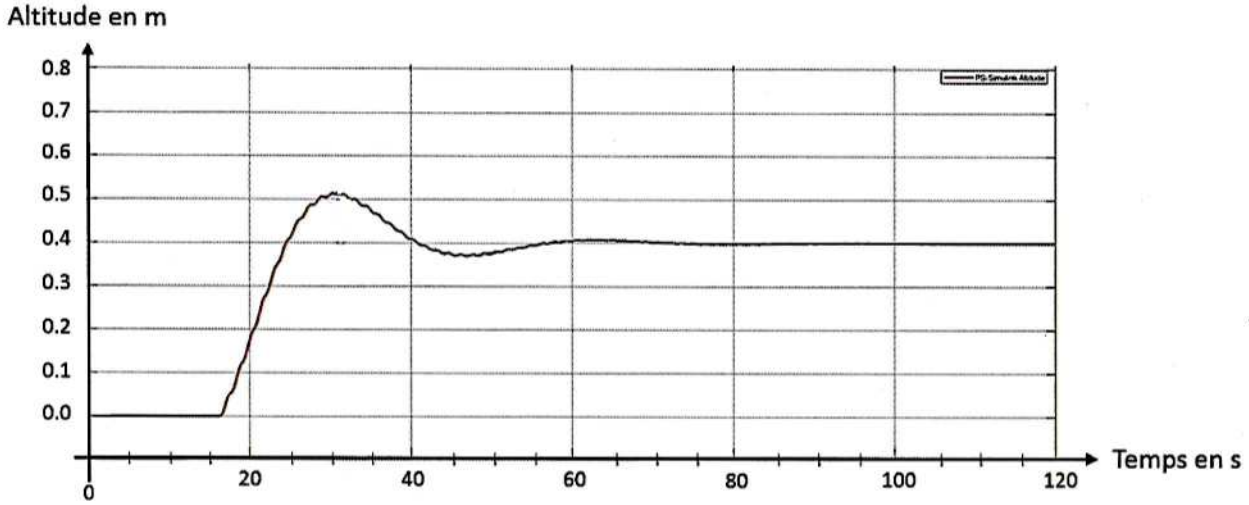
Question 11 – Choix 1



Réglage a



Réglage b



Réglage c