

# SUJET

## 2020-2021

### SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

### Spécialité Première

### ÉVALUATIONS COMMUNES





## PRÉSENTATION DU PRODUIT

Le déplacement individuel des personnes est un secteur très porteur dans notre société ces 5 dernières années.

Que cela soit dans un but de loisirs, de sport ou de solutions alternatives à un autre mode de déplacement, il existe à ce jour de très nombreux produits proposés à la vente, certains électriques, d'autres non (trottinette, skateboard, vélo ...)

Le support d'étude de cette épreuve est un skateboard électrique permettant à son utilisateur, grâce à une télécommande, de se déplacer dans un milieu urbain.

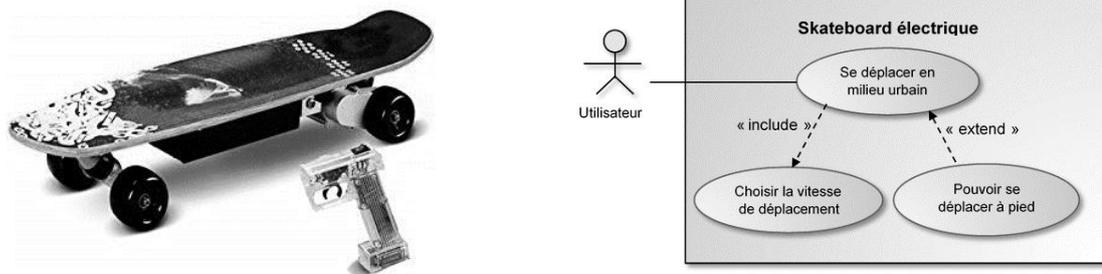


Figure 1 : Diagramme de cas d'utilisation du skateboard

## ÉTUDE D'UNE PERFORMANCE DU PRODUIT

Sous l'effet d'une pression brutale sur la gâchette de la télécommande, le skateboard risque de démarrer trop brusquement et de provoquer la chute de son utilisateur.

**Problématique** : dans le cas d'une accélération maximale du skateboard, la roue avant de celui-ci se soulève-t-elle, entraînant ainsi la chute de son utilisateur?

La figure 2 issue du modèle multiphysique du skateboard présente l'architecture matérielle du skateboard.

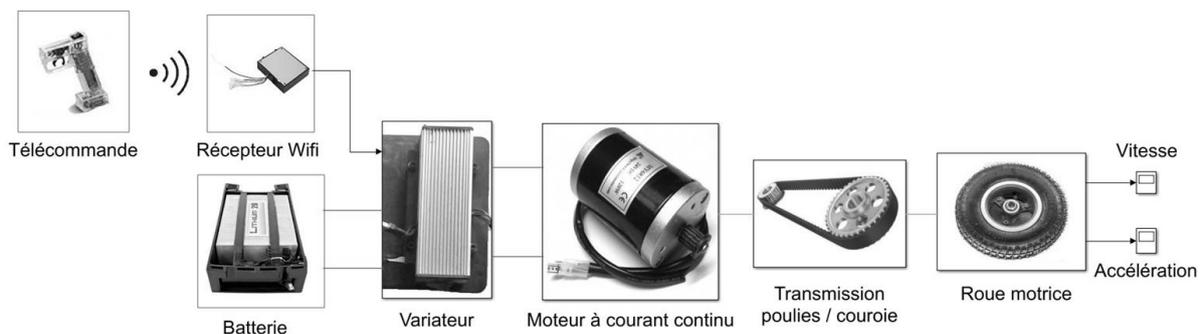


Figure 2 : Architecture matérielle du skateboard

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 :  /  /



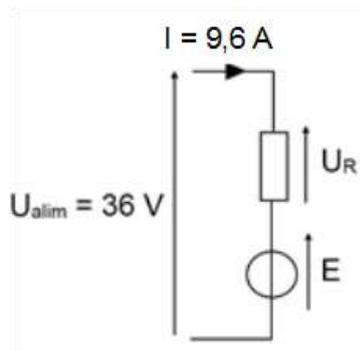
1.1

Question I.1 **Compléter** sur le document réponse DR1 le diagramme des blocs internes du skateboard en y indiquant les constituants manquants et les fonctions qu'ils remplissent.

Le modèle multiphysique présenté précédemment va permettre de déterminer la valeur de l'accélération maximale du skateboard. Afin de consolider le modèle une campagne de mesures est menée sur le skateboard pour déterminer les valeurs des paramètres à renseigner.

### Paramétrage du moteur à courant continu

La figure 3 représente le modèle électrique retenu pour le moteur à courant continu à aimants permanents du skateboard.

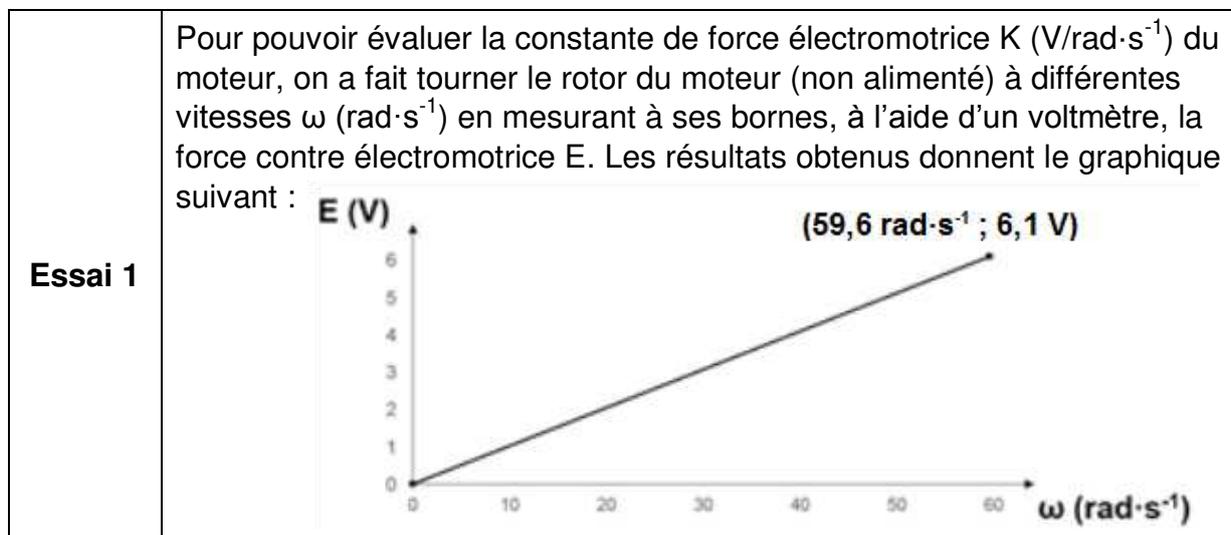


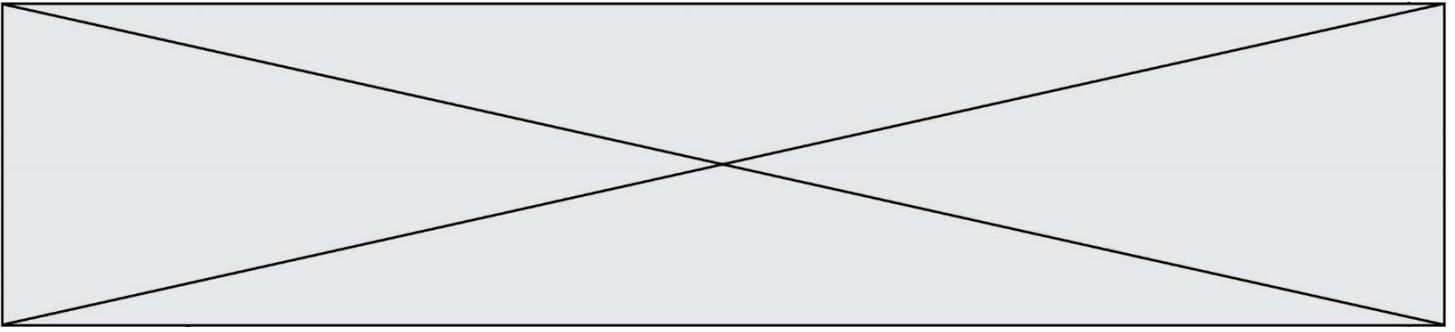
La mesure ayant été faite en régime stabilisé, on néglige l'influence de l'inductance  $L$  du moteur.

La valeur de la force contre électromotrice  $E$  est liée à la vitesse de rotation en sortie du moteur.

**Figure 3 : Modèle électrique simplifié du moteur à courant continu**

Afin de déterminer les valeurs des paramètres du modèle du moteur les deux essais suivants ont été réalisés :





<b>Essai 2</b>	<p>Après avoir alimenté le moteur à vide sous une tension <math>U = 36 \text{ V}</math>, on a mesuré à l'aide d'un ampèremètre le courant <math>I</math> consommé par le moteur ainsi que sa vitesse de rotation <math>\omega</math> (<math>\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}</math>) à l'aide d'un tachymètre.</p> <p>Les mesures effectuées donnent <math>I = 0,5 \text{ A}</math> et <math>\omega = 334 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}</math>.</p>
----------------	---

Question I.2 À l'aide de l'essai 1, **calculer** la valeur de la constante de force électromotrice  $K$  en  $\text{V}\cdot\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$  du moteur du skateboard. À l'aide de l'essai 2, **calculer** la valeur de la résistance du modèle du moteur.

### **Paramétrage du système poulies / courroie**

La figure 4 présente les caractéristiques du système poulies / courroie présent dans le skateboard.



**Figure 4 : Caractéristiques du système poulies / courroie**

Question I.3 **Calculer** la valeur du rapport de transmission  $r_{p/c}$  du système poulies / courroie. **Proposer** une modélisation de ce constituant pour le modèle multiphysique.

Une fois le modèle multiphysique paramétré la simulation donne une accélération maximale au démarrage du skateboard de  $\gamma_{\text{modèle}} = 3,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Pour déterminer si le skateboard provoque le basculement de l'utilisateur au démarrage, il faut calculer l'accélération théorique minimale provoquant le soulèvement de la roue avant. La figure 5 présente le schéma du skateboard avec les points d'application des différentes actions mécaniques et la numérotation associée.

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

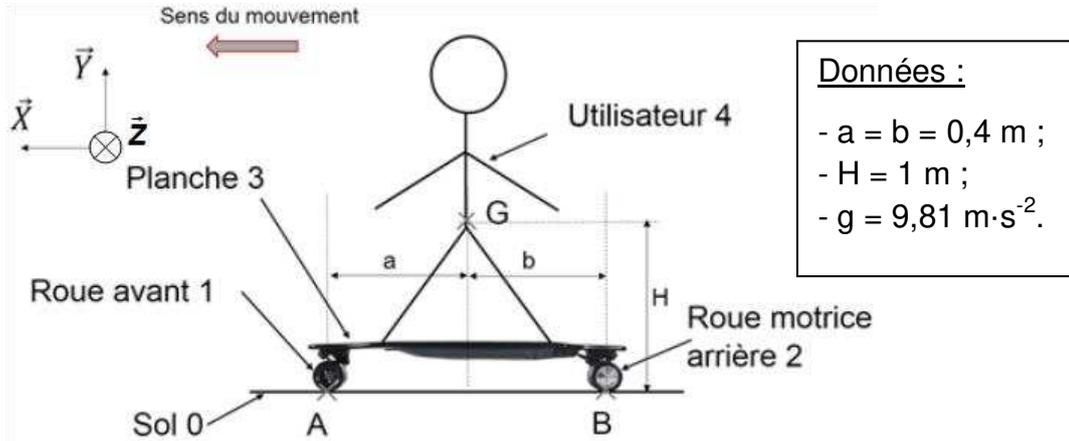


Figure 5 : Schéma du skateboard

Pour la suite de l'étude le système isolé est l'ensemble {1 ; 2 ; 3 ; 4} regroupant l'utilisateur, la planche ainsi que les deux roues. On notera  $m$  la masse de l'ensemble isolé et  $g$  l'accélération de la pesanteur. Dans la suite du sujet le repère  $(\vec{X} ; \vec{Y} ; \vec{Z})$  sera noté R.

### Hypothèses et données

Le problème est supposé plan dans le plan  $(\vec{X} ; \vec{Y})$ . L'action mécanique de pesanteur sur l'ensemble {1 ; 2 ; 3 ; 4} sera modélisée par le torseur :

$$\tau_g = \left\{ \begin{array}{c} \overrightarrow{P}_{\{1;2;3;4\}} = -(m \cdot g) \cdot \vec{Y} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{G,R}$$

La liaison en B entre le sol 0 et la roue arrière motrice 2 est une liaison ponctuelle avec prise en compte de l'adhérence, l'action mécanique transmissible sera modélisée par le torseur :

$$\tau_{R2} = \left\{ \begin{array}{c} \overrightarrow{B}_{0 \rightarrow 2} = X_{0 \rightarrow 2} \cdot \vec{X} + Y_{0 \rightarrow 2} \cdot \vec{Y} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{B,R}$$

La liaison en A entre le sol 0 et la roue avant 1 est une liaison ponctuelle de normale  $(A ; \vec{Y})$  supposée parfaite.

Question I.4 **Modéliser** l'action mécanique  $\overrightarrow{A}_{0 \rightarrow 1}$  du sol 0 sur la roue avant 1 en A en suivant le formalisme utilisé pour l'action mécanique  $\overrightarrow{B}_{0 \rightarrow 2}$ .

**Déterminer** l'expression du moment  $\overrightarrow{M}_G(\overrightarrow{A}_{0 \rightarrow 1})$  créé au point G par l'action mécanique  $\overrightarrow{A}_{0 \rightarrow 1}$ .



La poursuite de l'étude des actions mécaniques permet d'aboutir à l'équation suivante :

$$(a + b) \cdot Y_{0 \rightarrow 1} - b \cdot m \cdot g + H \cdot m \cdot \gamma = 0$$

où  $\gamma$  est l'accélération du skateboard au démarrage

Question I.5 **Indiquer** la valeur de  $Y_{0 \rightarrow 1}$  correspondant au soulèvement de la roue avant du sol. À l'aide de l'équation fournie **calculer** la valeur minimale de l'accélération  $\gamma$  provoquant le cabrage du skateboard.

Question I.6 **Comparer** la valeur de l'accélération fournie par le modèle multiphysique et le résultat obtenu précédemment. **Conclure** quant au soulèvement potentiel de la roue avant du skateboard.

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

## COMMANDE DU FONCTIONNEMENT DU PRODUIT OU MODIFICATION DE SON COMPORTEMENT

Le fabricant du skateboard électrique souhaite élargir son utilisation à un plus jeune public. Pour cela il souhaite s'assurer qu'il n'y a aucun risque de chute de l'utilisateur en cas d'utilisation à vitesse maximale ou de forte accélération lors du démarrage.

**Problématique** : Comment limiter la vitesse maximale et l'accélération du skateboard pour prévenir toute chute de l'utilisateur?

Le cahier des charges fixe la vitesse maximale souhaitée à  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , et l'accélération maximale désirée à  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Les figures 6 et 7 montrent respectivement les courbes d'accélération et de vitesse du skateboard lorsque l'utilisateur demande au démarrage la plus forte montée en vitesse.

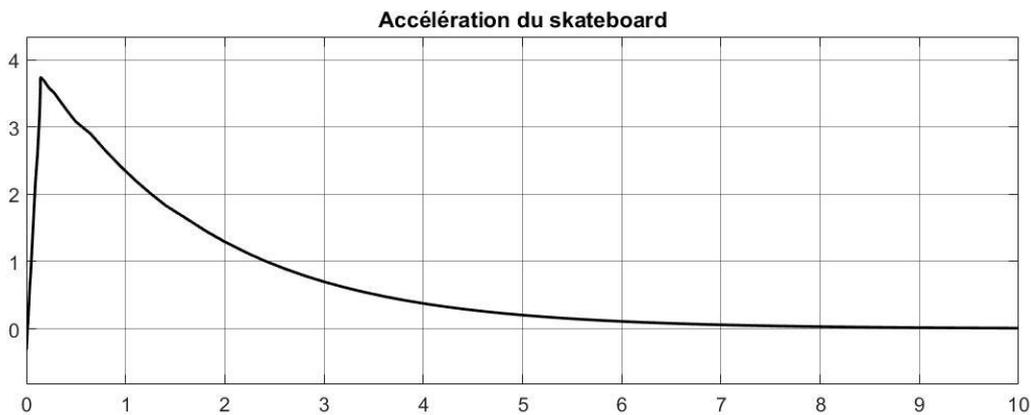


Figure 6 : Evolution de l'accélération du skateboard en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

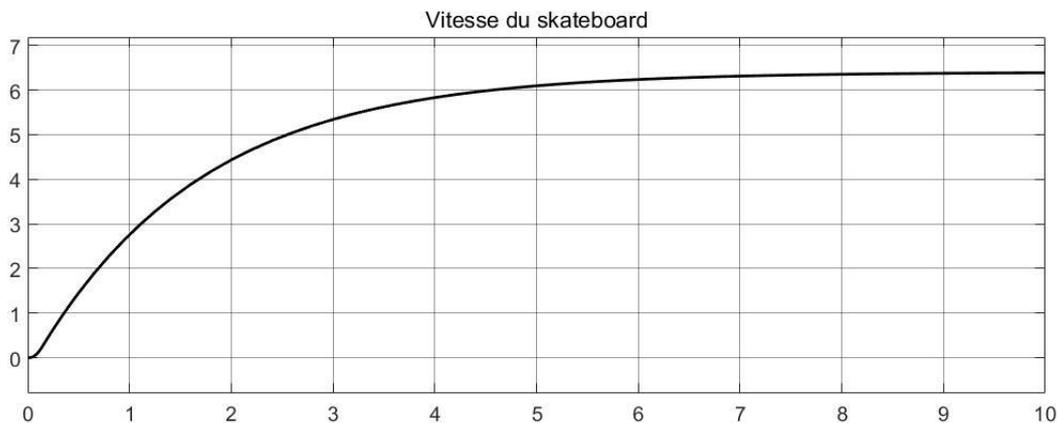
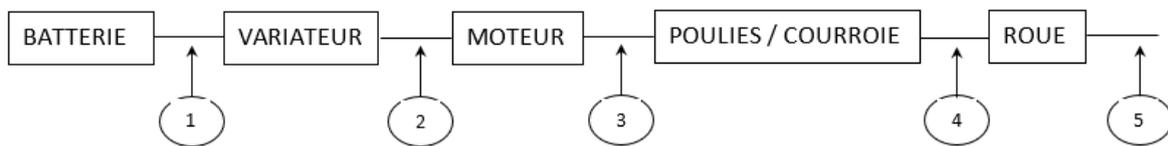


Figure 7 : Evolution de la vitesse du skateboard en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$



Question II.1 À partir des figures 6 et 7 **quantifier** les écarts entre la vitesse et l'accélération maximales du skateboard actuel et les performances souhaitées par le cahier des charges. **Conclure** quant à la nécessité de modifier le skateboard actuel.

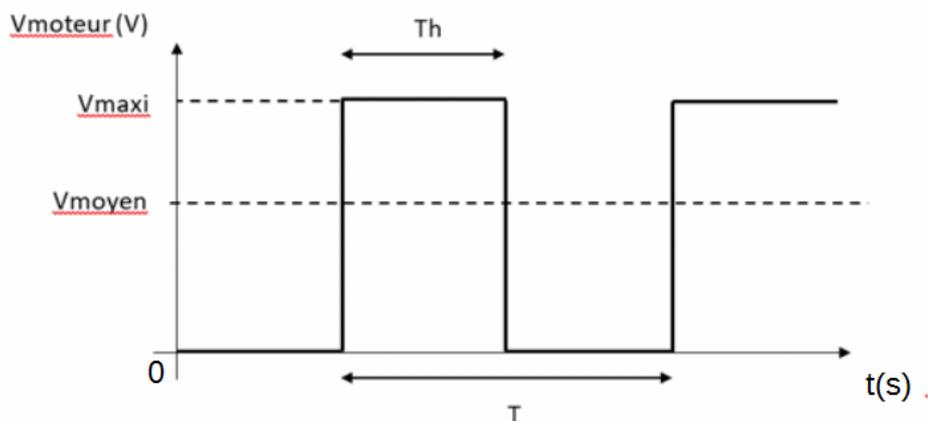
Une description schématique de la chaîne de puissance du skateboard est illustrée par la figure 8.



**Figure 8 : Chaîne de puissance du skateboard**

Question II.2 **Citer** les différents types d'énergies mobilisées le long de la chaîne de puissance pour tous les repères de 1 à 5. Pour chaque repère **préciser** les grandeurs de flux et d'efforts correspondantes.

La vitesse du skateboard évolue proportionnellement à la valeur moyenne de la tension de commande issue du variateur. On souhaite donc contrôler la tension  $V_{\text{moteur}}$  en sortie du variateur (repère 2 sur la figure 8). La figure 9 illustre l'allure temporelle de cette tension, il s'agit d'un signal rectangulaire dont le rapport cyclique est variable selon la commande de l'utilisateur.



**Figure 9 : Signal électrique de commande du moteur**

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 :  /  /

Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

1.1

Question II.3 À partir des éléments de la figure 9, **exprimer**  $V_{\text{moyen}}$  en fonction de  $V_{\text{maxi}}$ ,  $T_h$  et  $T$ .

Afin de paramétrer la tension issue du variateur des essais sont effectués sur le skateboard. Ces essais montrent que le skateboard atteint une vitesse maximale de  $6,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  lorsque la tension  $V_{\text{moteur}}$  est une tension continue de  $13,8 \text{ V}$  (cas où  $T_h = T$ ) directement issue de la batterie. La période de la tension  $V_{\text{moteur}}$  est fixée à  $1 \text{ ms}$ .

Question II.4 Sachant que la vitesse du skateboard est directement proportionnelle à  $V_{\text{moyen}}$ , **calculer** la valeur de  $T_h$  permettant de limiter la vitesse de l'appareil à la valeur désirée.

Afin de réduire l'accélération à la valeur désirée on propose, au moment du démarrage, de faire évoluer progressivement la vitesse du skateboard jusqu'à sa valeur de croisière. C'est donc le variateur qui va imposer la limitation d'accélération en augmentant progressivement la valeur de  $V_{\text{moyen}}$  en 10 paliers identiques successifs. La figure 10 représente l'évolution temporelle souhaitée de  $V_{\text{moyen}}$ .

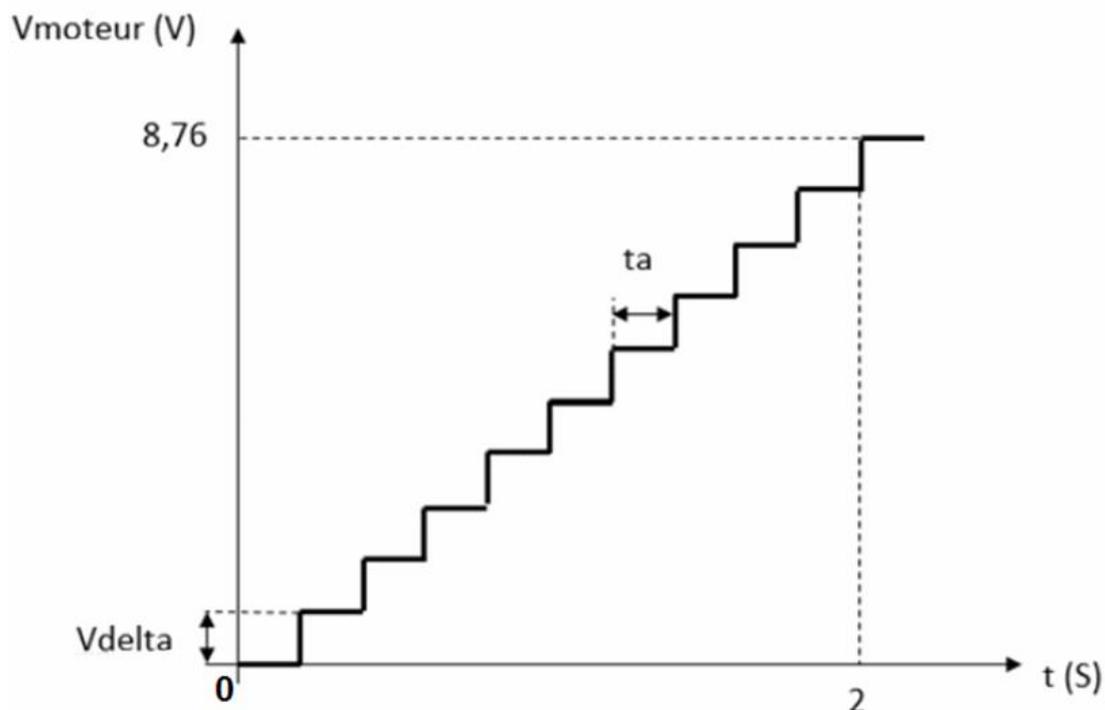


Figure 10 : Évolution progressive de la valeur moyenne de  $V_{\text{moteur}}$



On rappelle que la tension de la batterie est de 13,8 V.

Question II.5 **Justifier** la valeur de 8,76 V proposée comme valeur maximale de  $V_{\text{moyen}}$  puis **calculer**, à l'aide la figure 10, les valeurs de  $t_a$  et de  $V_{\text{delta}}$ .

Question II.6 À l'aide la figure 10, **déterminer** la valeur d'accélération imposée au skateboard. **Conclure** quant à la conformité de l'accélération obtenue vis-à-vis du cahier des charges.

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

## DOCUMENTS RÉPONSES

### DR1, Question I.1

