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 2024

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.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 25 pages numérotées de 1/25 à 25/25.

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.
Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

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

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR5 (pages 16 à 20) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur

Dérailleur électronique de vélo de course



Constitution du sujet

- Sujet ..... pages 3 à 15
- Documents réponses ..... pages 16 à 20

Les documents réponses DR1 à DR5 (pages 16 à 20) sont à rendre avec la copie.

Dérailleur électronique de vélo de course

Le dérailleur électronique Shimano Dura Ace Di2 permet d'effectuer automatiquement les changements de vitesses. Il s'adresse à des cyclistes amateurs ou professionnels utilisant un vélo de course.

Par rapport à un dérailleur mécanique classique, ce dérailleur permet de changer de rapport de transmission avec une très faible énergie, dans un temps réduit, avec peu de risques de saut de chaîne et plus facilement dans des conditions climatiques extrêmes (quand le cycliste a les doigts ankylosés par le froid par exemple).

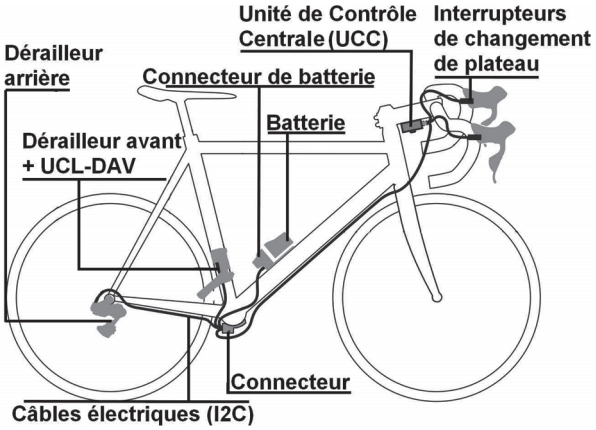


Figure 1 : implantation des éléments du dérailleur sur un vélo de course

Ce système pluri-technologique (figure 1) se compose de :

- deux commandes de guidon pour les changements de vitesses avant et arrière ;
- d'une unité de contrôle centrale (UCC) ;
- d'une batterie ;
- d'un dérailleur avant de deux plateaux et d'une unité de contrôle locale (UCL-DAV) ;
- d'un dérailleur arrière de dix pignons et d'une unité de contrôle locale (UCL-DAR).

Les unités de contrôle donnent à l'ensemble une certaine « intelligence » afin d'éviter des phénomènes de frottements trop importants dans certaines associations plateau/pignon.

L'étude porte sur le dérailleur avant (DAV) dont les principaux éléments sont mis en situation sur la figure 2 et dont les exigences principales sont présentées sur la figure 3.

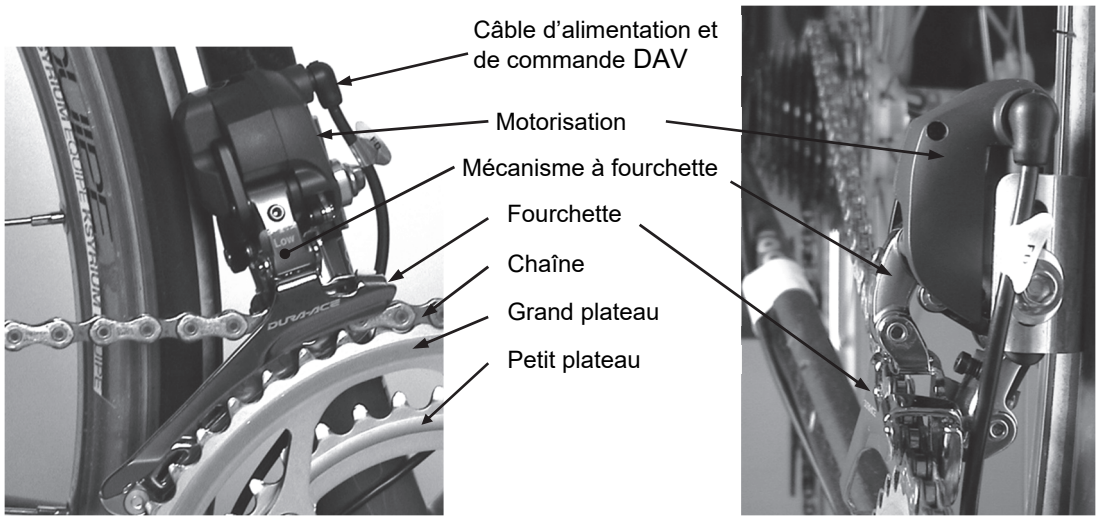


Figure 2 : principaux éléments du dérailleur avant (DAV)

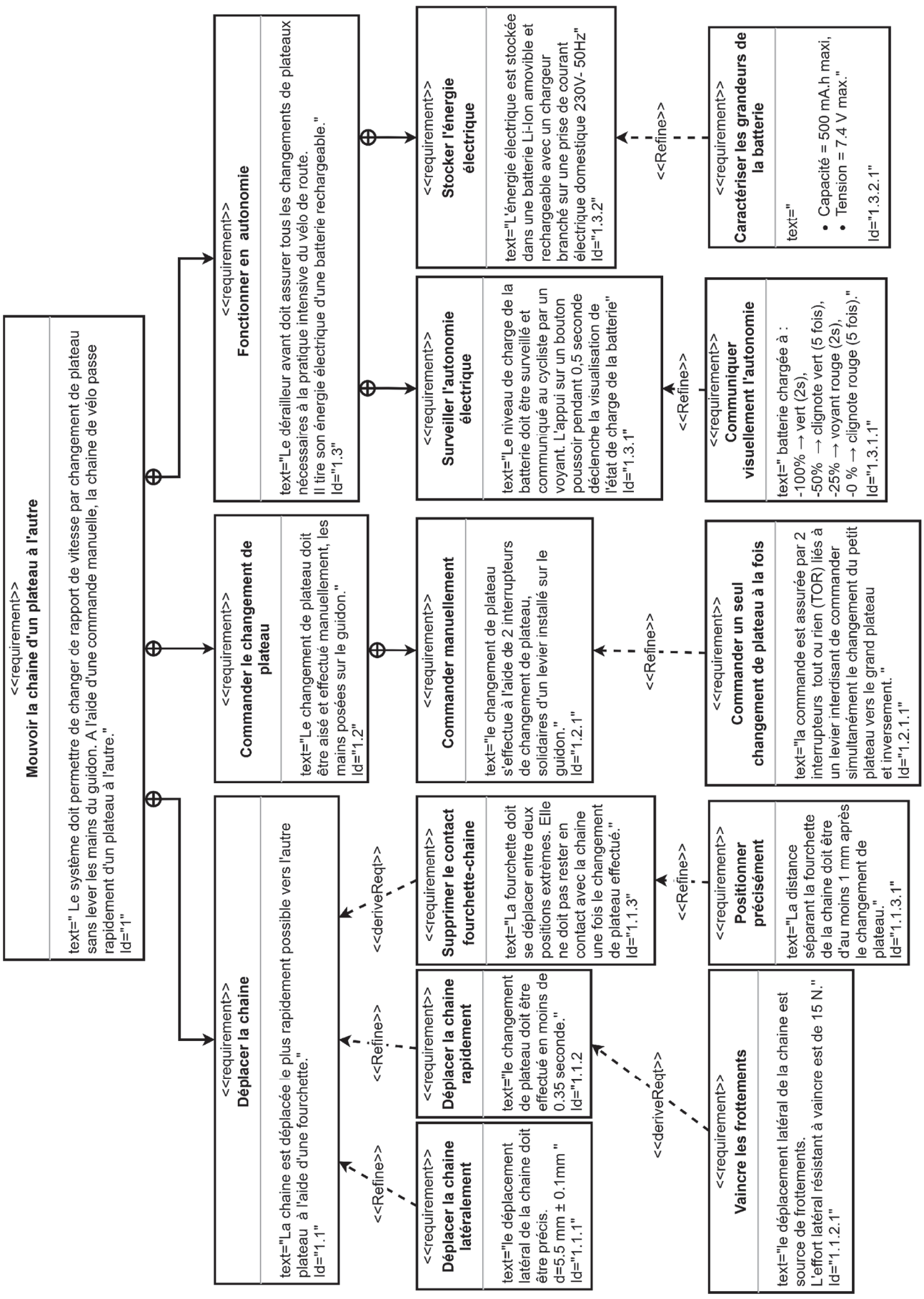


Figure 3 : diagramme des exigences partiel du sous-système dérailleur avant

Sous-partie 1

Permettre le déplacement de la chaîne entre deux plateaux

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que la chaîne de puissance composée d'un motoréducteur et d'un mécanisme à fourchette est capable de déplacer la chaîne rapidement durant un changement de plateau.

Le dérailleur électronique avant doit permettre le déplacement de la chaîne du petit au grand plateau et inversement. Pour obtenir ce déplacement d représenté sur la figure 4, la fourchette du dérailleur doit exercer un effort $\vec{F}$ sur la chaîne perpendiculaire à celle-ci.

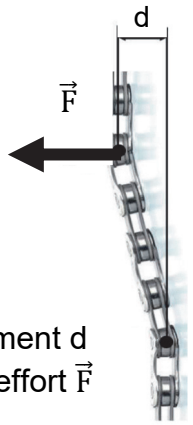


Figure 4 : déplacement d de la chaîne lié à l'effort $\vec{F}$

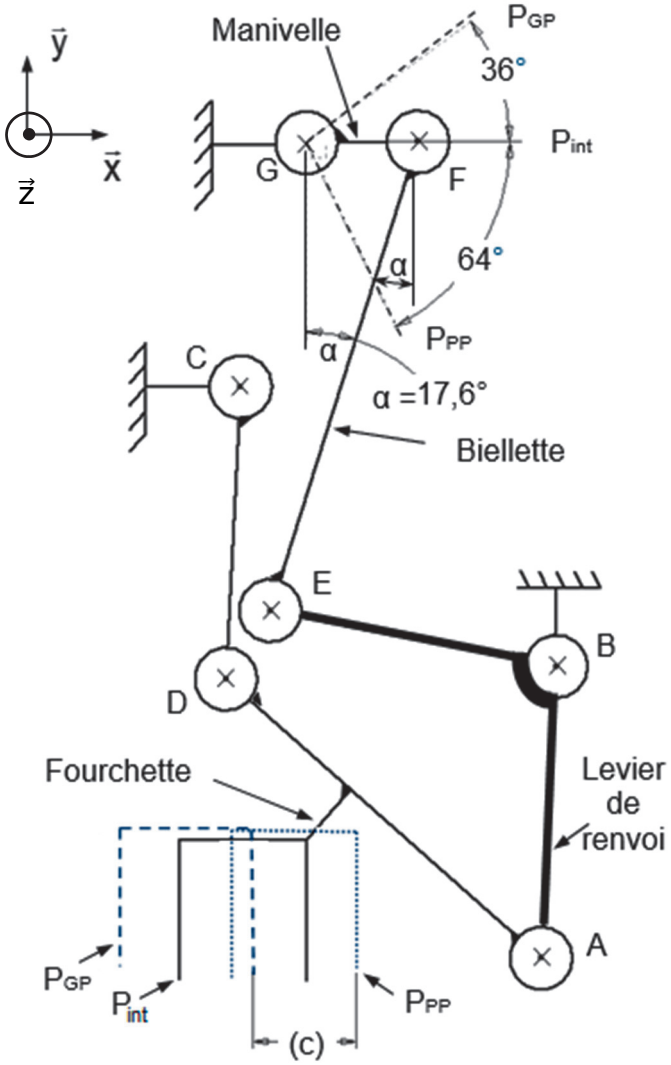


Figure 5 : schéma cinématique du mécanisme à fourchette en position intermédiaire

Le schéma cinématique du mécanisme à fourchette est donné figure 5 en position intermédiaire. Les liaisons en A, B, C, D, E, F et G sont des pivots d'axe de direction $\vec{z}$.

Ce mécanisme fonctionne sur le principe d'un parallélogramme (ABCD) déformable qui permet d'obtenir le déplacement attendu de la fourchette.

Le mécanisme est actionné via le levier de renvoi [EBA], une biellette [EF] et une manivelle [GF].

La manivelle [GF] est liée complètement à l'arbre de sortie, d'axe (G,$\vec{z}$), du motoréducteur (non représenté).

Pour la manœuvre de la fourchette, le couple est maximal dans la position intermédiaire P_{int} lors du déplacement de P_{PP} à P_{GP}.

..... : position petit plateau P_{PP}
_____ : position intermédiaire P_{int}
_ _ _ _ _ _ : position grand plateau P_{GP}

Les positions de la fourchette ne sont pas à la même hauteur du fait de son mouvement de translation circulaire par rapport au bâti.

Une photo du dérailleur avant ainsi que deux schémas cinématiques plans incomplets sont représentés sur le document DR1, en position petit plateau et en position grand plateau.

Question 1.1 DR1 — Sur la photo du DR1, **repérer** les points A, C, E, F et G des centres des liaisons pivots dans les carrés prévus à cet effet. Sur les deux schémas cinématiques, **dessiner** la biellette par un segment de droite [EF].

Les formes existantes imposées du mécanisme à fourchette et les contraintes d'encombrement très restrictives entraînent un risque de collision de la biellette [EF] avec les formes du guidage en rotation d'axe (C,$\vec{z}$) du levier [CD] au niveau du carter (figure 6). Cette forme est représentée par un cercle de diamètre 12 mm sur les deux schémas cinématiques du DR1.

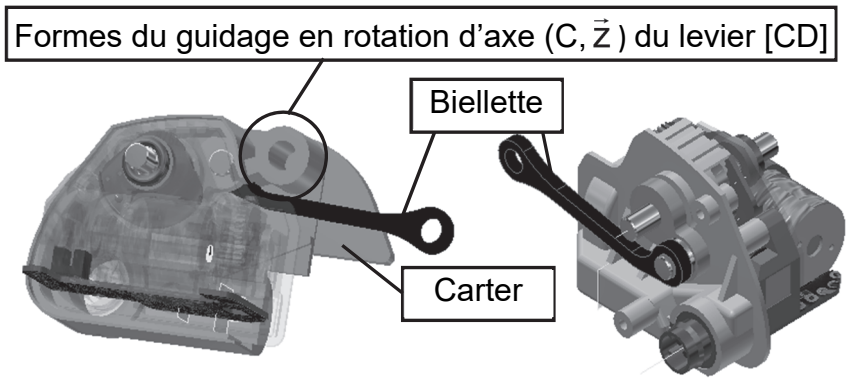


Figure 6 : risque de collision entre la biellette [EF] et le corps du mécanisme

Question 1.2 — **Indiquer** si le risque de collision du segment de droite [EF] avec les formes du guidage en rotation d'axe (C,$\vec{z}$) du levier [CD] existe. En analysant la photo du DR1, **expliquer** comment le concepteur du dérailleur a résolu ce risque de collision.

Question 1.3 DR1 — **Compléter** le schéma cinématique 2 - position grand plateau en plaçant précisément les points A et D (les dimensions des pièces nécessaires aux constructions graphiques seront relevées sur le schéma cinématique 1 - position petit plateau).
Tracer, sur le document réponse DR1, la course horizontale c de la fourchette (représentée figure 5) et **donner** sa valeur.

Pour la suite, on considère une course de la fourchette c de 11 mm entre les positions grand et petit plateaux.

La largeur de la partie intérieure de la fourchette est de 11 mm. L'épaisseur de la chaîne de 5,5 mm est représentée figure 8. Dans cette position la chaîne est en contact avec la fourchette.

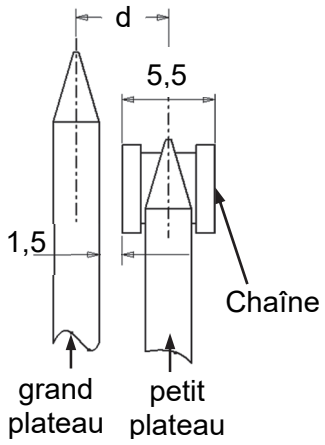


Figure 7 : détail de la chaîne et des plateaux

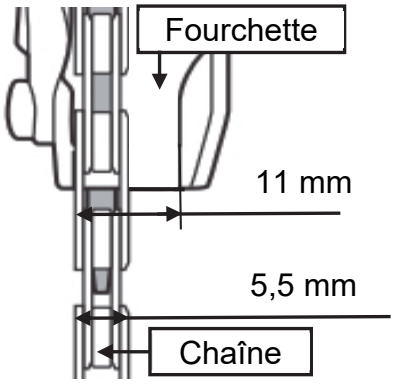


Figure 8 : dimension intérieure de la fourchette en position petit plateau

Question 1.4 **Calculer** le déplacement d de la chaîne, obtenu durant la course c de la fourchette, de la position petit plateau vers la position grand plateau (figures 7 et 8). **Justifier** que l'exigence de déplacement latéral de la chaîne (figure 3) est satisfaite.

La fourchette doit appliquer un effort supposé constant de 15 N sur la chaîne afin d'obtenir le déplacement de celle-ci lors d'un changement de plateau (exigence 1.1.2.1). Dans la position représentée sur la figure 5, les résultats expérimentaux ont permis de déterminer l'effort nécessaire à exercer par la biellette sur la manivelle au point F. Cet effort est modélisé par un glisseur tel que $\left\| \vec{F}_{biellette \rightarrow manivelle} \right\|$ = 27 N.

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

- les liaisons mécaniques sont supposées parfaites ;
- le poids des pièces est négligeable devant les autres actions mécaniques ;
- les effets dynamiques étant négligés, la résolution statique est retenue ;
- la longueur de la manivelle [GF] est de 7,1 mm.

Question 1.5 **Montrer** que la droite (EF) est le support de la force exercée par la biellette sur la manivelle au point F. **Vérifier** par calcul que le couple maximal nécessaire Cs en sortie du réducteur (point G) doit être de 183 N·mm pour satisfaire l'exigence 1.1.2.1.

La puissance du moteur du dérailleur avant est transmise à l'arbre d'entrée du mécanisme de fourchette (point G) au moyen d'un réducteur composé de trois étages de réduction (un engrenage parallèle entre l'arbre moteur 0 et l'arbre 1, un second entre l'arbre 1 et l'arbre 2, et enfin, un engrenage roue et vis sans fin entre l'arbre 2 et l'arbre de sortie 3), comme indiqué figure 9.

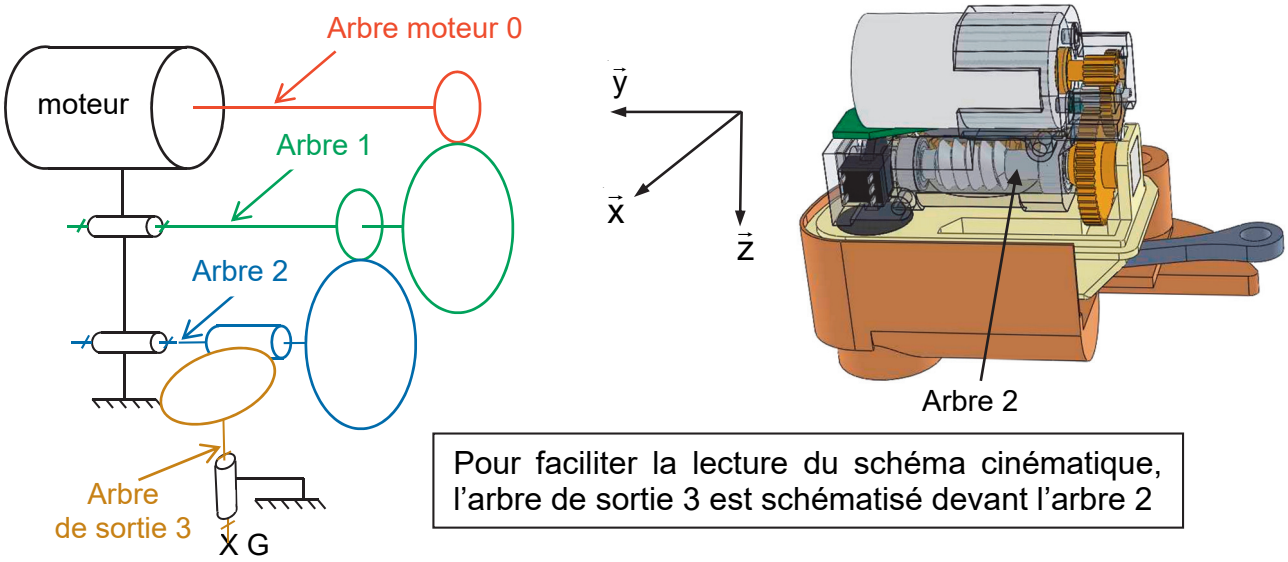


Figure 9 : réducteur de vitesse du moteur du DAV

Les caractéristiques principales du motoréducteur sont données sur la figure 10.

Le rapport de transmission du $i^{ème}$ étage de réduction est noté r_i et son rendement est noté η_i.

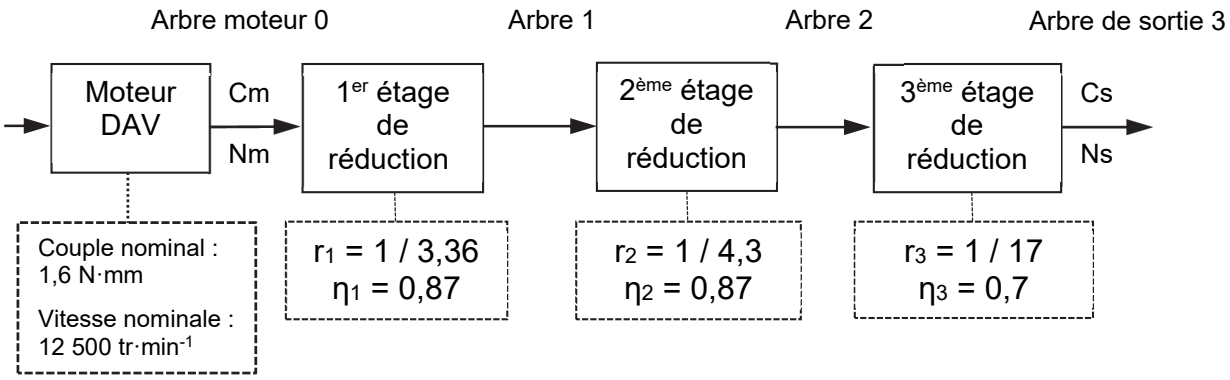


Figure 10 : caractéristiques principales du motoréducteur

Le couple maximal Cs à exercer en sortie du motoréducteur (point G) est de 183 N·mm.

Question 1.6	**Calculer**, dans ces conditions, le couple Cm nécessaire à fournir par le moteur. **Conclure** sur la capacité du moteur à délivrer un couple suffisant pour assurer le changement de plateau.

Le mouvement de rotation au point G de la manivelle par rapport au boîtier est supposé être réalisé à vitesse uniforme. L'angle de rotation de la manivelle, à la sortie du réducteur, pour passer du petit plateau au grand plateau est indiqué sur la figure 5.

Question 1.7	**Montrer** que la vitesse de rotation à la sortie du moteur doit être de 11 700 tr·min^{-1} afin de respecter l'exigence Id 1.1.2 de la figure 3. **Conclure** sur la capacité du motoréducteur à permettre le déplacement de la chaîne entre deux plateaux.

Sous-partie 2

Contrôler le déplacement précis de la fourchette

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier la capacité de la chaîne d'acquisition et de traitement à contrôler le déplacement précis de la fourchette à la suite d'une action sur le levier de changement de plateau.

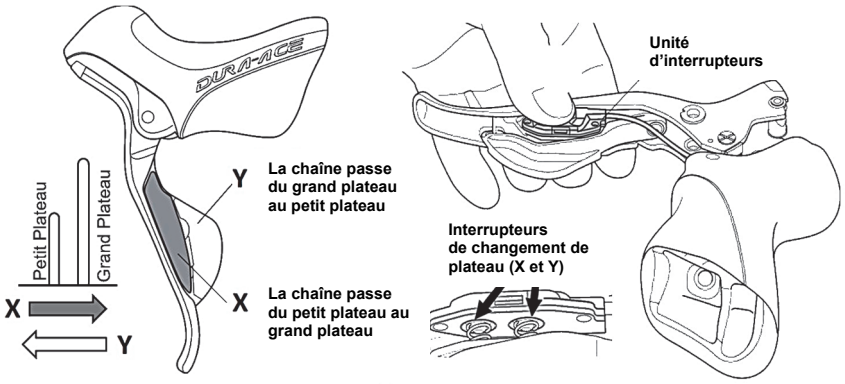


Figure 11 : fonctionnement des interrupteurs de changement de plateau

Le dérailleur effectue le passage de la chaîne du petit plateau vers le grand plateau et inversement à l'aide de deux leviers situés sur le guidon et solidaires de la poignée de frein avant gauche. La figure 11 indique comment l'action mécanique des doigts sur les leviers X ou Y agit sur la chaîne.

L'unité de contrôle locale du dérailleur avant (UCL DAV) reçoit une image de la position atteinte par la fourchette au moyen d'un capteur angulaire solidaire de l'arbre de sortie du réducteur comme indiqué sur la figure 12.

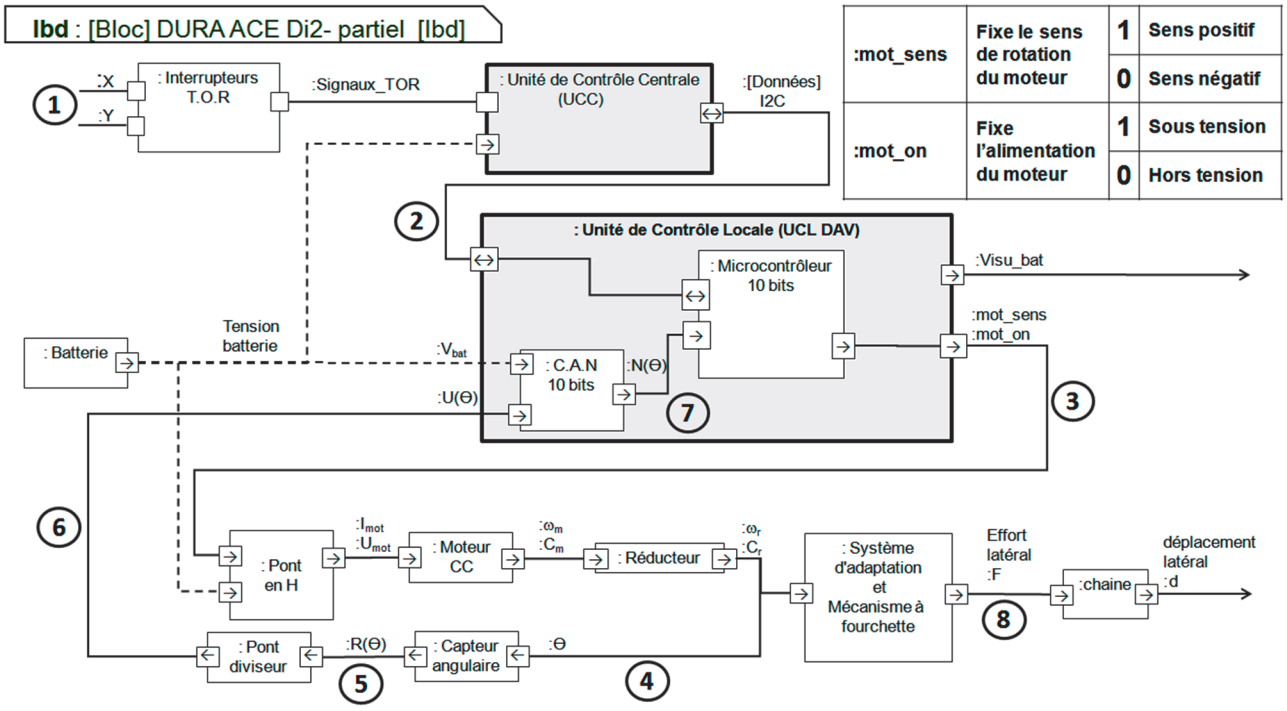


Figure 12 : diagramme de blocs internes du dérailleur avant

Question 1.8 DR2	**Compléter** le tableau du document réponse DR2 pour les repères 3, 4, 6, 7 en donnant la nature des flux d'information (analogique, numérique, logique) et leur unité.

Le capteur angulaire est constitué d'une piste résistive sur laquelle se déplace un curseur, solidaire de l'arbre de sortie du réducteur G. Ce capteur se comporte comme une résistance variable notée R(θ) dont la valeur évolue linéairement avec la position angulaire θ du curseur. La figure 13 illustre, pour les deux positions extrêmes de la fourchette, les positions correspondantes du curseur.

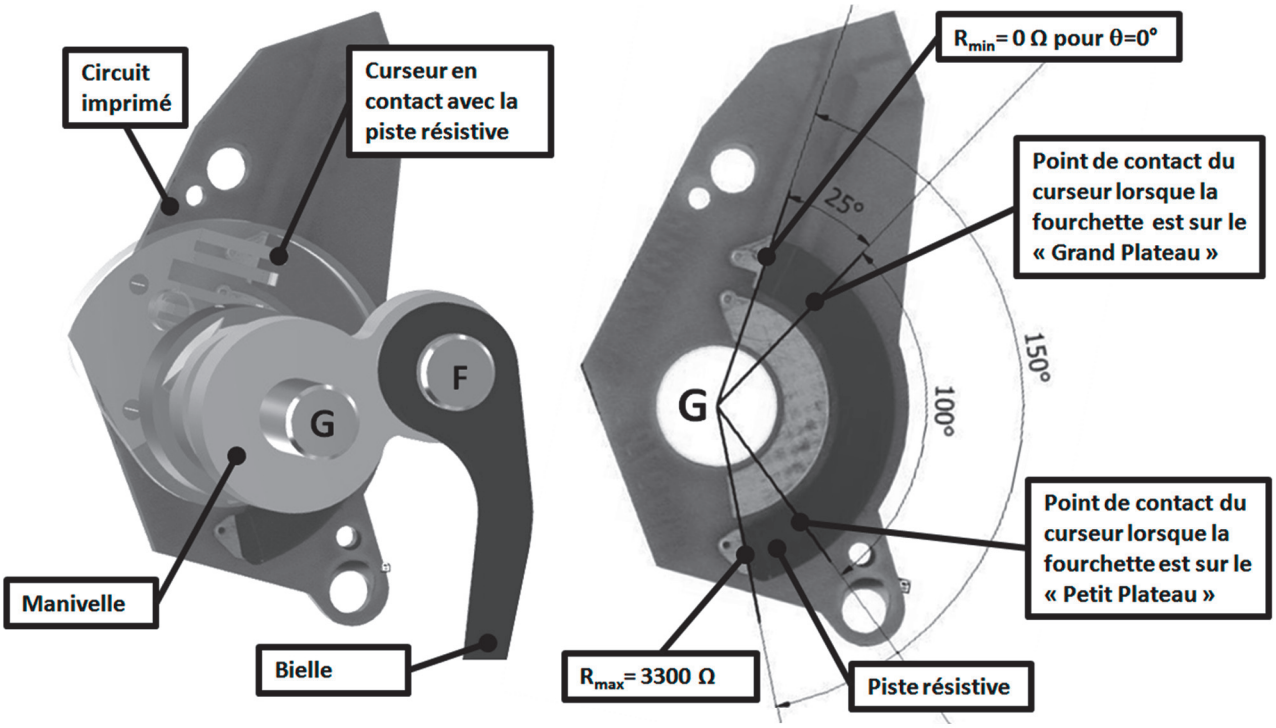


Figure 13 : Vue partielle du capteur angulaire

Question 1.9	**Montrer** que la résistance fournie par le capteur peut se mettre sous la forme : R(θ) = 22·θ, où l'angle θ est exprimé en degré.

Le capteur angulaire est associé à une résistance fixe dans un montage alimenté sous V_{alim} = 3,3 V. Il permet de délivrer une tension image de l'angle θ traduisant la position angulaire de la manivelle. Le montage correspondant est représenté figure 14.

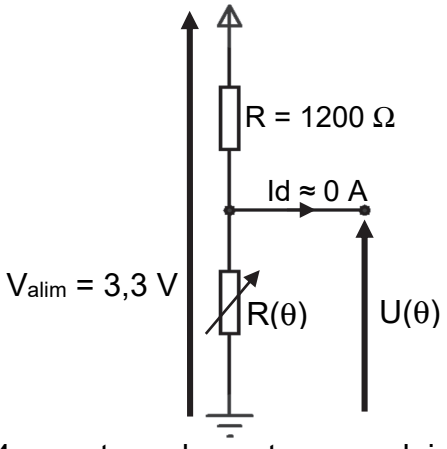


Figure 14 : montage du capteur angulaire dans un pont diviseur de tension

Question 1.10 **Montrer** que l'expression littérale de $U(\theta)$ peut se mettre sous la forme :

$$U(\theta) = \frac{72{,}6 \cdot \theta}{22 \cdot \theta + 1\,200}$$

Calculer $U(\theta)$ pour les deux positions extrêmes de la fourchette, notées U_{PP} et U_{GP} (valeurs arrondies à 10^{-3} V près).

La tension $U(\theta)$ est portée sur l'une des entrées du convertisseur analogique numérique (CAN) de l'UCL-DAV (figure 12). Ce convertisseur a pour tension de référence $V_{ref} = 3{,}3$ V.

Question 1.11 **Montrer** que le quantum q de ce convertisseur est de 3,223 mV.
En **déduire** la valeur numérique convertie $N(\theta)_{10}$, pour les deux positions extrêmes de la fourchette, notées N_{PP} et N_{GP}.

On considère que le déplacement de la fourchette est proportionnel à l'angle θ. Le déplacement de 11 mm pour une rotation de 100° représente pour le CAN 391 incréments.

Question 1.12 **Déterminer** en µm la précision p de déplacement de la fourchette pour une variation d'un incrément du convertisseur. **Expliquer** en quoi le convertisseur analogique numérique permet de satisfaire l'exigence de précision du déplacement de la fourchette.

Un programme traite les informations provenant du levier de changement de plateau et du capteur angulaire afin de piloter le moteur déplaçant la fourchette. L'algorigramme de commande du moteur réalisant le passage de la position petit plateau vers la position grand plateau est donné sur le document DR3.

Question 1.13 DR3 **Compléter** l'algorigramme correspondant à la commande de passage de la position grand plateau vers la position petit plateau.

Des essais ont révélé que le programme associé à l'algorithme précédent laisse la fourchette en contact avec la chaîne lors du passage de la position petit plateau vers la position grand plateau et inversement. Pour remédier à ce problème, la fourchette doit se déplacer dans le sens inverse de 2,5 mm après un changement de plateau, soit de 89 incréments du convertisseur analogique numérique dans un sens ou dans l'autre. Le programme incomplet de la commande de passage du petit plateau vers le grand plateau est donné sur le DR4.

Question 1.14 DR4 **Compléter** le programme écrit en Python permettant d'assurer un positionnement automatique de la fourchette à 2,5 mm de la chaîne lors d'un changement de plateau.
Expliquer sur votre copie en quoi le programme associé aux composants de la chaîne d'information et de puissance permet de répondre à l'exigence de contrôle du déplacement de la fourchette à la suite d'une action sur le levier de changement de plateau.

Sous-partie 3

Assurer l'autonomie du dérailleur

L'objectif de cette sous-partie est d'estimer la consommation énergétique d'un changement de plateau et de déterminer l'autonomie du dérailleur afin de valider le choix de la batterie aux vues des exigences attendues.

Afin d'obtenir la courbe prévisionnelle de l'intensité du courant consommé par le moteur du dérailleur avant, un modèle multi-physique a été créé au moyen d'un logiciel de simulation (figure 15).

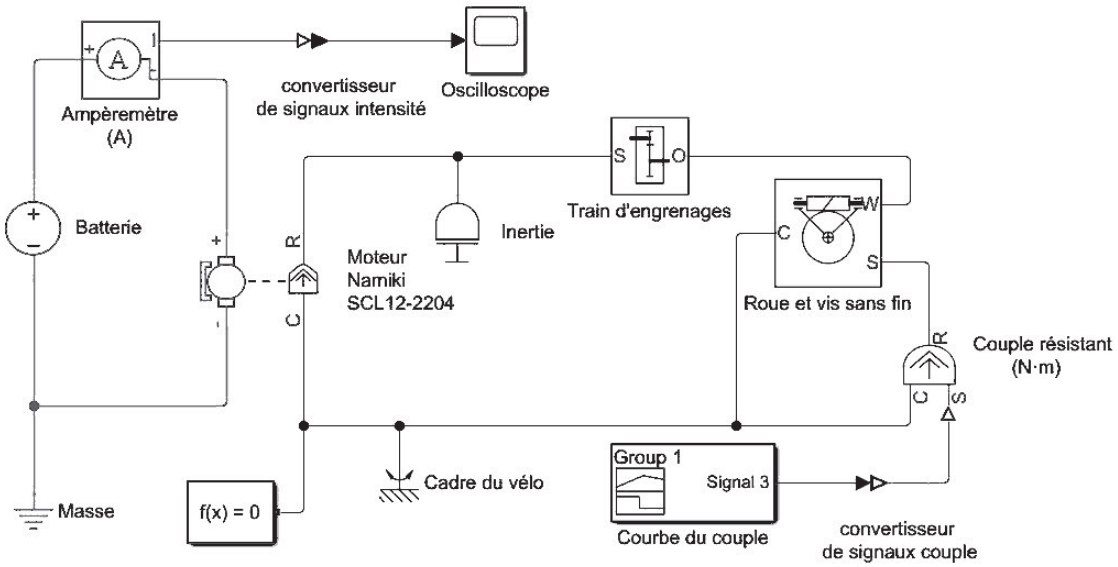


Figure 15 : modèle multi-physique du dérailleur avant

Pour la première simulation qui dure 0,35 s, le couple résistant est considéré constant. Il correspond aux frottements internes et à l'effort engendré par le mécanisme à fourchette sur la chaîne lors d'un déplacement de celle-ci. Les résultats de la simulation sont donnés figure 16.

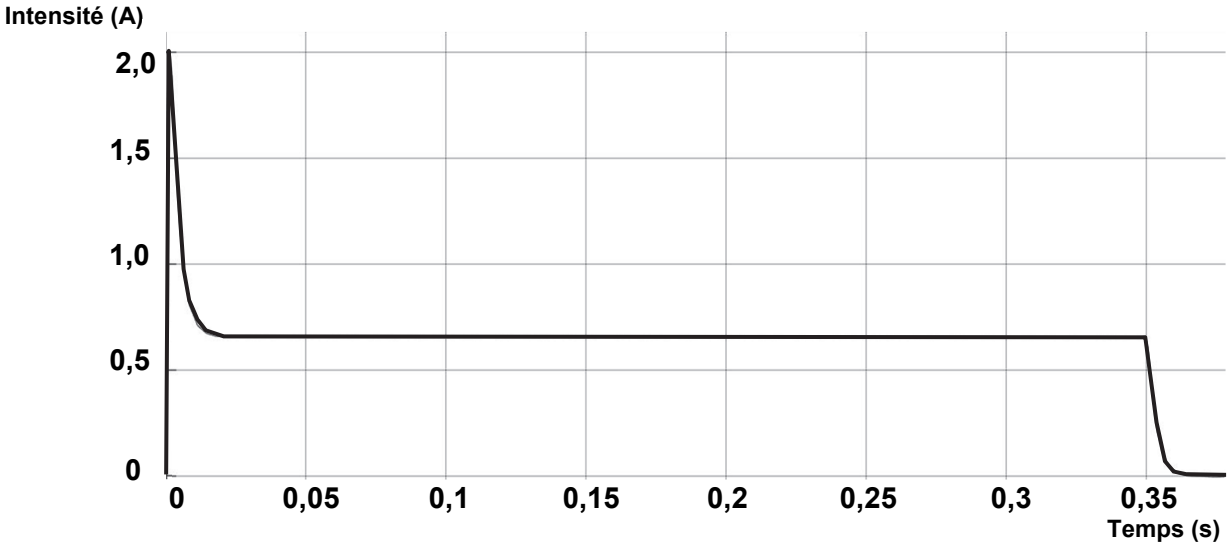


Figure 16 : intensité absorbée par le moteur, obtenue à partir de la simulation multiphysique lors du changement de plateau du dérailleur avant

La courbe figure 16, issue du modèle, s'écarte trop de la réalité. En effet, dans cette première simulation la fourchette est supposée entrainer la chaîne tout au long de son déplacement, alors que dans la réalité, il y a une première phase au cours de laquelle le mécanisme rattrape le jeu existant initialement entre la fourchette et la chaîne.

Le document réponse DR5 fournit un nouveau résultat de simulation de l'intensité absorbée par le moteur prenant en compte ce rattrapage de jeu.

Question 1.15 DR5	**Compléter** les quatre cases vides du DR5. **Indiquer** le paramètre modifié lors de la seconde simulation.

La courbe de l'intensité en fonction du temps est donnée figure 17. Dans le but de simplifier les calculs de la consommation d'électricité lors d'un changement de plateau, une approximation du courant consommé est tracée en traits forts.

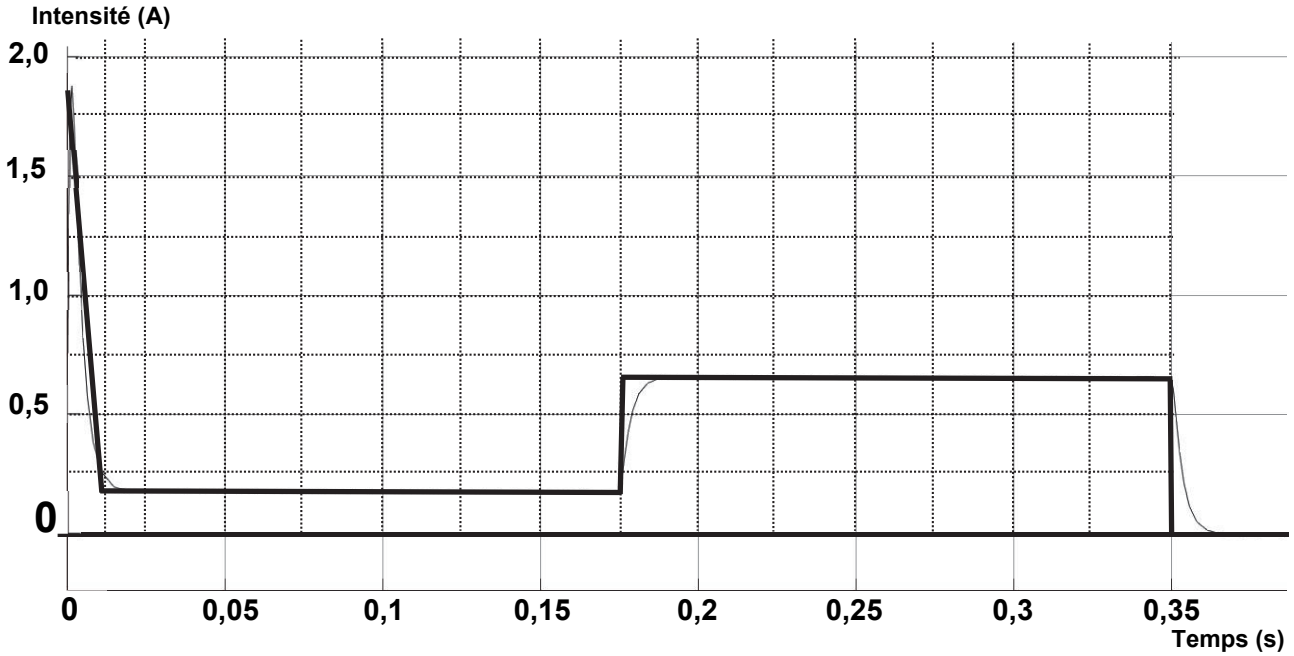


Figure 17 : approximation de la courbe de l'intensité durant un changement de plateau

La quantité d'électricité Q en mA·h consommée par le moteur est obtenue en calculant l'aire sous la courbe de l'intensité absorbée par le moteur.

Question 1.16	Sans développer les calculs, **indiquer** la démarche détaillée permettant de déterminer, à partir de la figure 17, la quantité d'électricité $Q_{simulée}$ en mA·h consommée par le moteur du dérailleur avant, lors d'un changement de plateau.

Une mesure de l'intensité du courant consommé par le moteur du dérailleur avant, lors d'un changement de plateau, est visible sur l'écran de l'oscilloscope, figure 18.

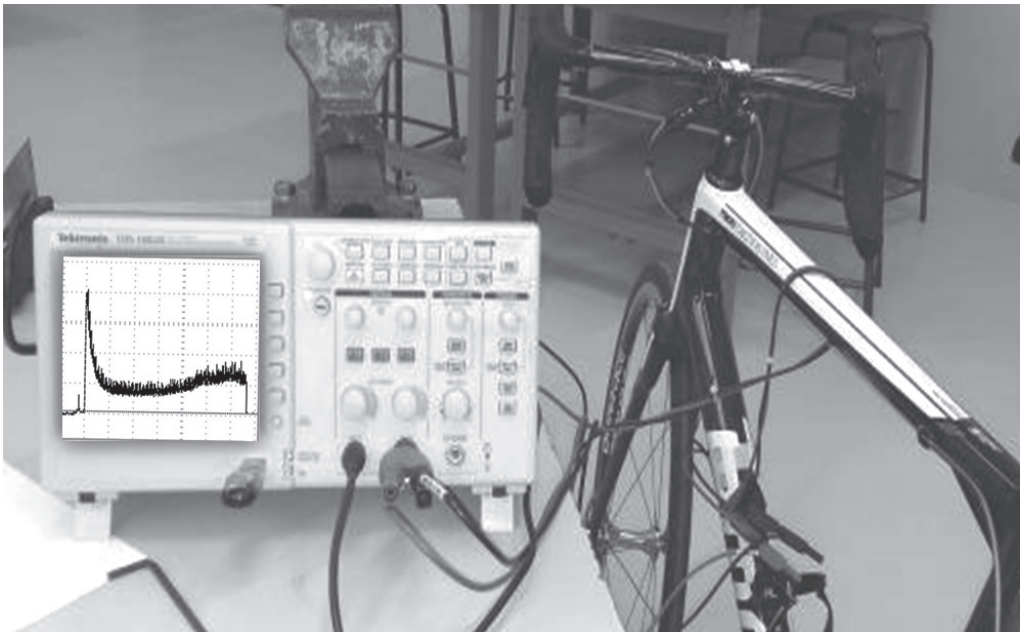


Figure 18 : mesure d'intensité lors d'un changement de plateau

Une approximation de la courbe de consommation réelle du courant en fonction du temps, lors d'un changement de plateau, est donnée à la figure 19.

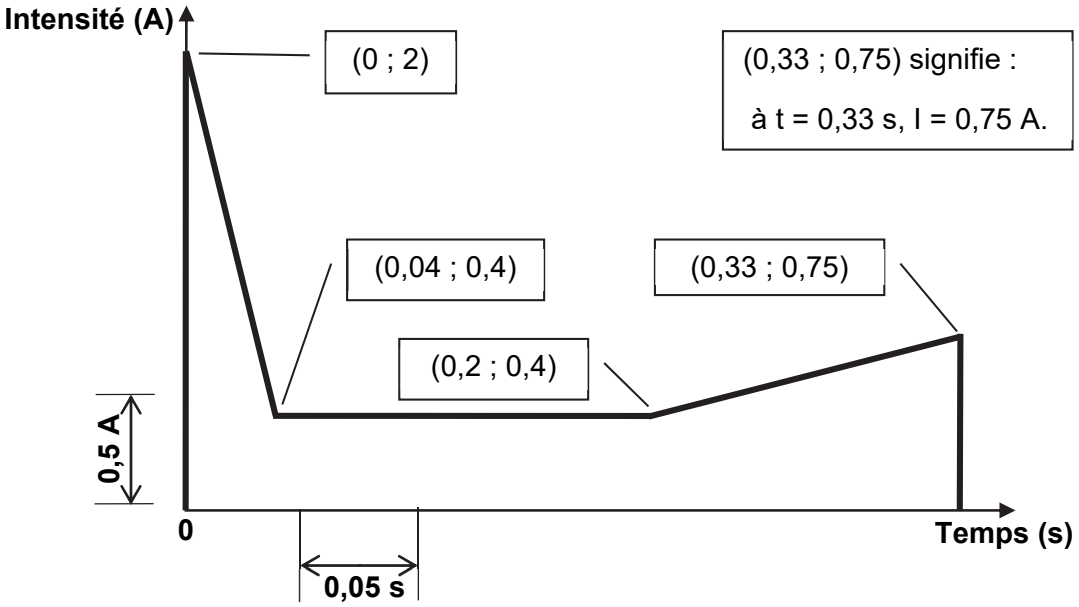


Figure 19 : approximation de la courbe de consommation réelle du courant fourni par la batterie, lors d'un changement de plateau

Question 1.17 À partir de la figure 19, **calculer** la quantité d'électricité $Q_{mesurée}$ en mA·h consommée par le moteur du dérailleur avant, lors d'un changement de plateau.

Après calcul, l'exploitation de la courbe de l'intensité tracée sur la figure 17, permet de déterminer $Q_{simulée}$ = 0,045 mA·h.

Question 1.18 **Calculer** l'écart relatif de quantité d'électricité consommée entre la simulation multi-physique et le système réel, lors d'un changement de plateau. **Conclure** sur la validité du modèle sachant que le bureau d'études valide le modèle multiphysique si l'écart relatif maximum est de 20 %.

Question 1.19 **Analyser** les écarts entre la courbe simulée approximée figure 17 et la courbe du relevé réel approximé figure 19, lors d'un changement de plateau. **Proposer** une modification qui pourrait être apportée sur le modèle pour le rapprocher du comportement réel.

Le cycliste souhaite réaliser, sans recharge intermédiaire, 150 km par jour durant une semaine. On envisage, pour une journée, 50 changements de plateau (retenir une consommation de 0,05 mA·h pour un changement de plateau) et 2 changements de pignons arrière par km. Le moteur du dérailleur arrière, pour un changement de pignon, consomme la même quantité d'électricité que le moteur du dérailleur avant.

La consommation des autres composants pendant une journée est estimée à 20 mA·h.

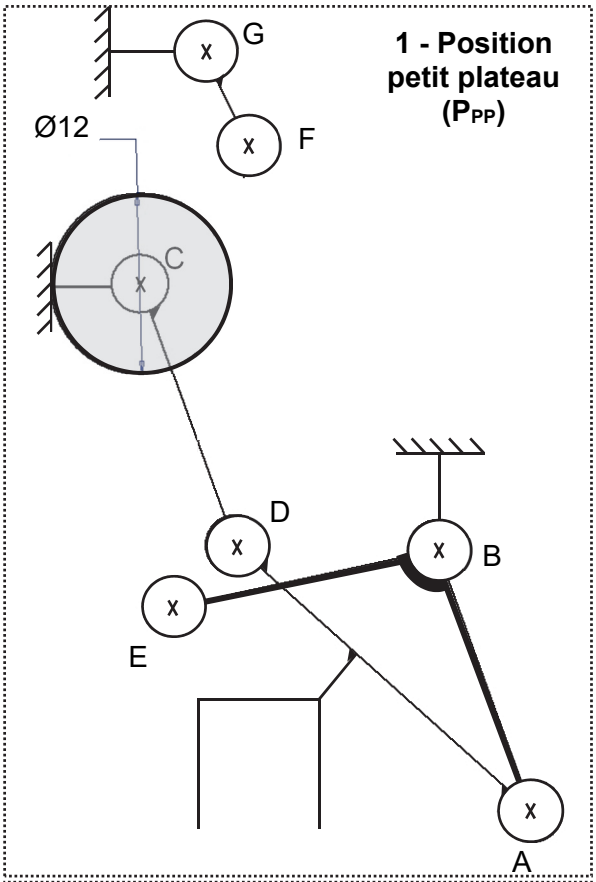
Question 1.20 **Calculer** la quantité d'électricité en mA·h consommée par le dérailleur durant la semaine d'utilisation et **vérifier** si la batterie satisfait la performance exigée (figure 3).

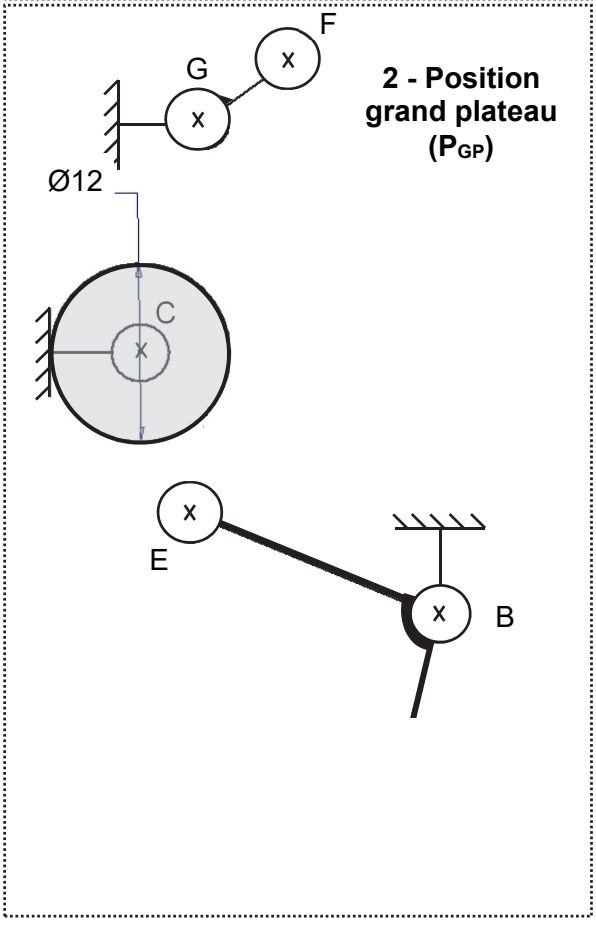
Page blanche laissée intentionnellement.

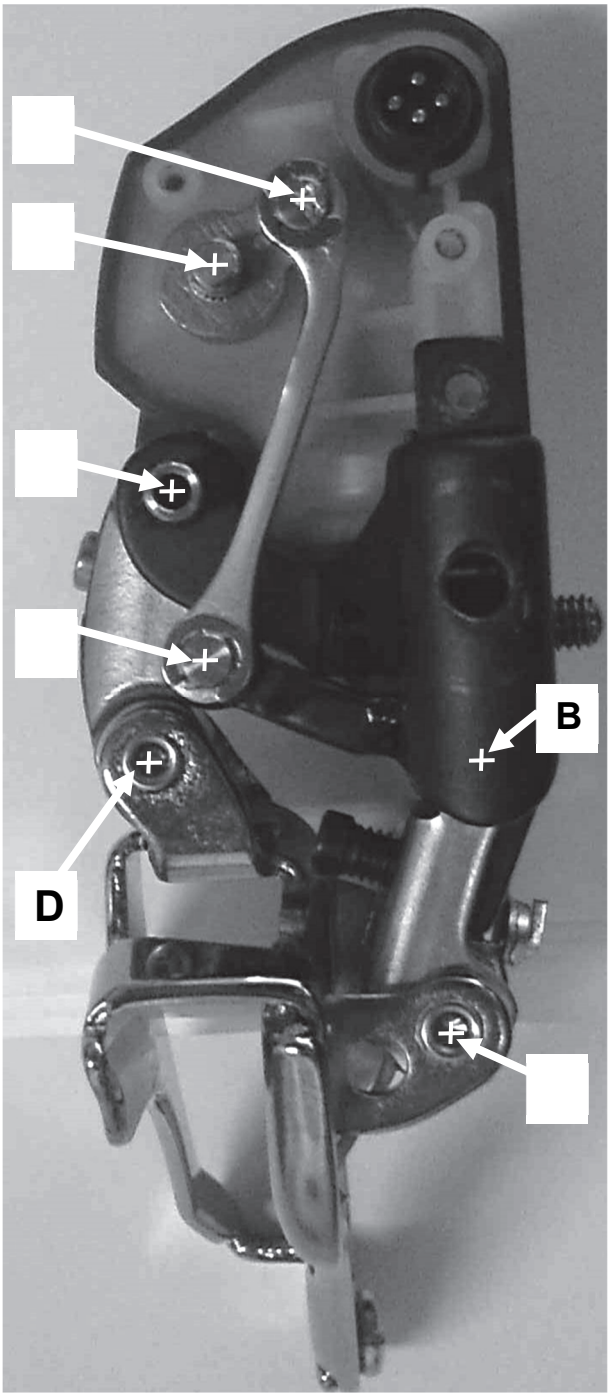
Ne rien inscrire dessus.

Document réponse DR1

Questions 1.1 et 1.3







Échelle 2:1 pour les schémas cinématiques et la photo

EF = 31,1 mm

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

Document réponse DR2

Question 1.8

Repère	Nom du Flux	Nature du flux	Unité
2	:Données I2C	Numérique	
3	:mot_sens		
	:mot_on		
4	:θ		
5	:R(θ)	Analogique	Ohm
6	:U(θ)		
7	:N(θ)		

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.)

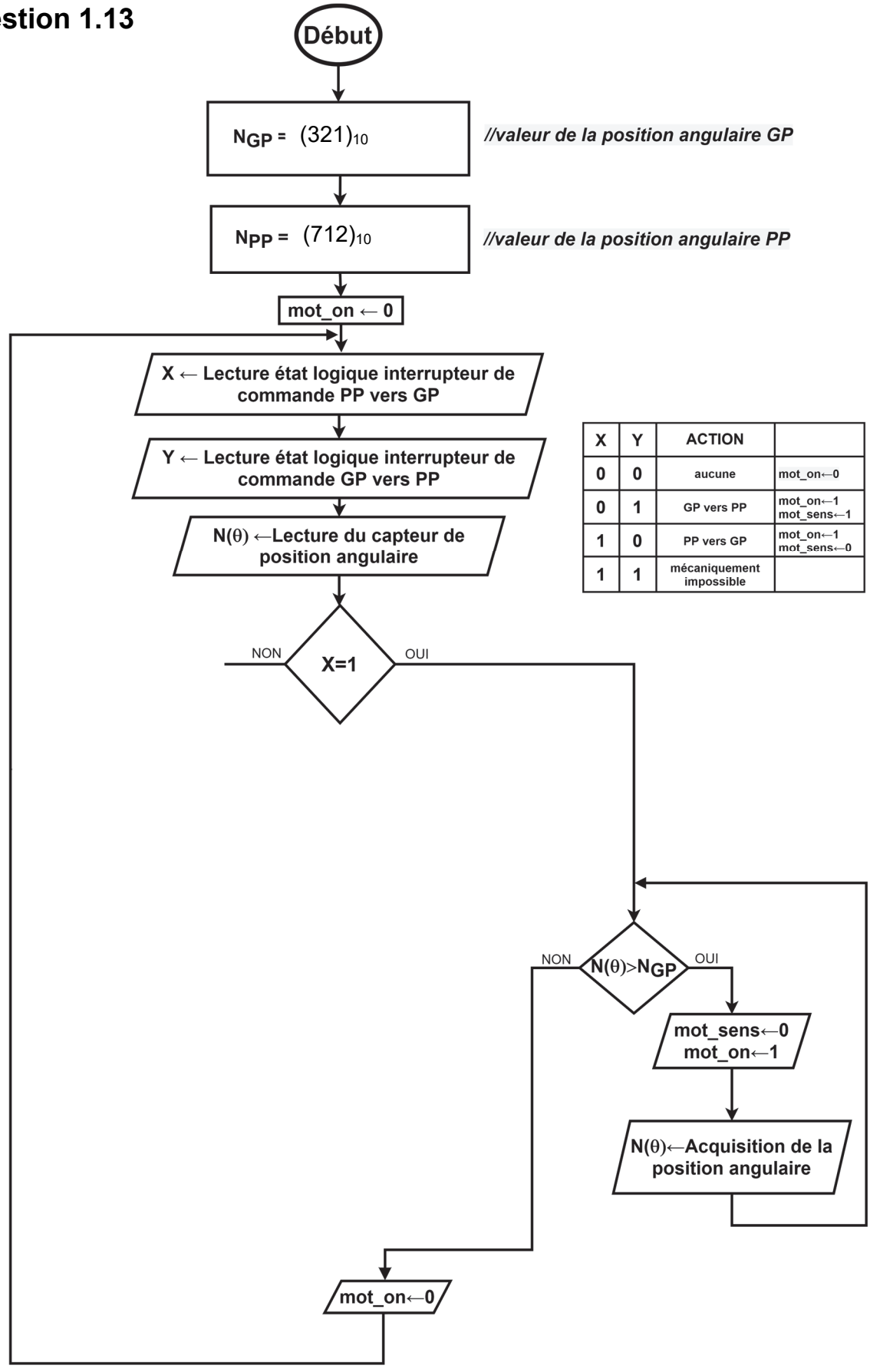
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

Document réponse DR3

Question 1.13



X	Y	ACTION	
0	0	aucune	mot_on←0
0	1	GP vers PP	mot_on←1 mot_sens←1
1	0	PP vers GP	mot_on←1 mot_sens←0
1	1	mécaniquement impossible	

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

Document réponse DR4

Question 1.14

Les zones à compléter sont identifiées par des pointillés (……)

```
#Programme de contrôle et de commande de déplacement de la fourchette
from machine import ADC, Pin      #importation des modules ADC, Pin du module machine

# Affectation des broches du microcontrôleur
inter_X = Pin(25, Pin.IN)         #Objet inter_X relié à la broche 25 - entrée logique.
inter_Y = Pin(26, Pin.IN)         #Objet inter_Y relié à la broche 26 - entrée logique.
mot_on = Pin(16, Pin.OUT)         #Objet mot_on relié à la broche 16 - sortie logique.
mot_sens = Pin(17, Pin.OUT)       #Crée un objet mot_sens relié à la broche 17 - sortie
                                  #logique.
can = ADC(Pin(34))                #Crée un objet ADC (CAN) sur la broche 34 - entrée
                                  #analogique.
can.atten(ADC.ATTN_11DB)          #Règle la pleine échelle du CAN à 3.3V.
ADC.width(ADC.WIDTH_10BIT)        #Change la résolution du convertisseur à 10 bits.
# Initialisation des constantes et variables

N_GP = 321                        #Fixe la valeur de la position angulaire du grand
                                  #plateau.
N_PP = 712                        #Fixe la valeur de la position angulaire du petit
                                  #plateau.
mot_on = 0                        #Mise  hors tension du moteur.

# Boucle principale infinie, tant que le dérailleur est sous tension
while True:
    X=inter_X.value()             #Lecture de l'état logique de l'interrupteur X.
    Y=inter_Y.value()             #Lecture de l'état logique de l'interrupteur Y.
    N(θ)= can.read()              #Acquisition de la position angulaire et conversion
                                  #analogique-numérique.

    if X==1:                      #Test de l'action mécanique des doigts sur le levier X.
      while N(θ) > N_GP:          #Contrôle de la position angulaire de la manivelle.
        mot_sens.value(0)         #Fixe le sens de rotation du moteur pour un déplacement
                                  #du petit plateau vers le grand plateau.
        mot_on.value(1)           #Mise sous tension du moteur.
        N(θ)=can.read()

      while N(θ) ……:              #Fixe le sens de rotation du moteur pour un déplacement
        mot_sens.value(……)        #de la fourchette de 2,5 mm, de la position grand
                                  #plateau vers la position petit plateau.
        mot_on.value(1)
        N(θ)=can.read()
    elif Y==1:                    #Test de l'action mécanique des doigts sur le levier Y.
      while N(θ) < N_PP:
        mot_sens.value(1)
        mot_on.value(1)
        N(θ)=can.read()
      while N(θ) ……:              #Fixe le sens de rotation du moteur pour un déplacement
        mot_sens.value(……)        #de la fourchette de 2,5 mm, de la position petit
                                  #plateau vers la position grand plateau.
        mot_on.value(1)
        N(θ)=can.read()
    else :
        mot_on.value(0)
```

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

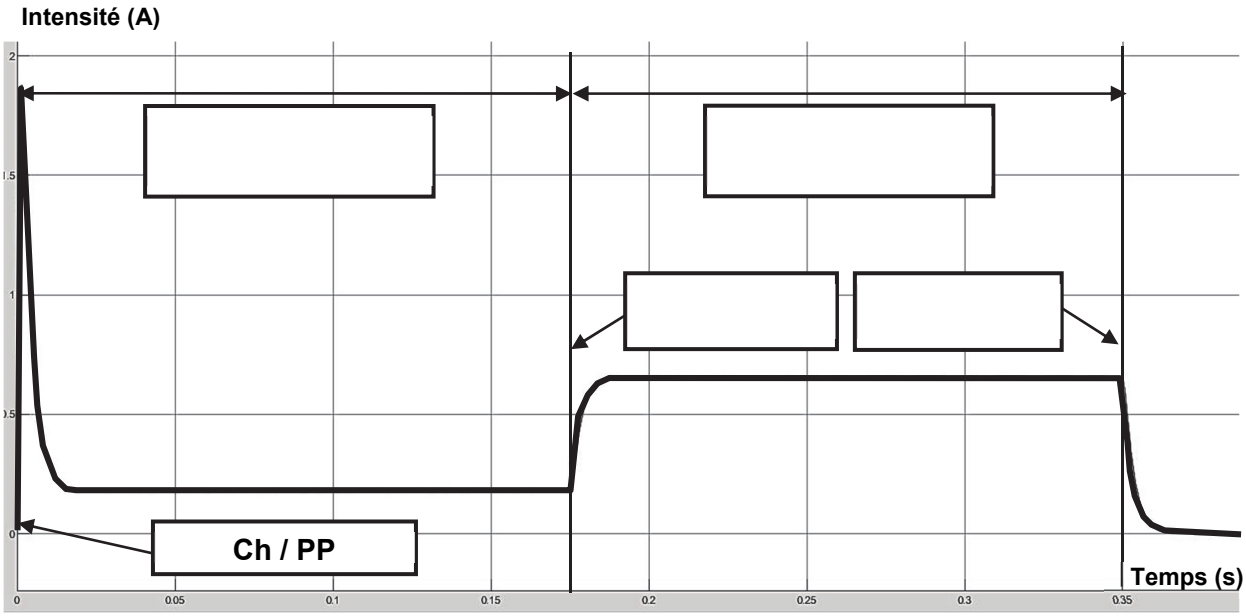
Document réponse DR5

Question 1.15

Instants et phases	Codes à utiliser
Chaîne sur petit plateau	Ch / PP
Chaîne sur grand plateau	Ch / GP
Déplacement de la fourchette et de la chaîne	(F + Ch) →
Contact de la fourchette avec la chaîne	F • Ch
Déplacement de la fourchette seule	F →

Tableau des instants et phases lors d'un changement de plateau

Compléter les cases vides avec les codes donnés dans le tableau.



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

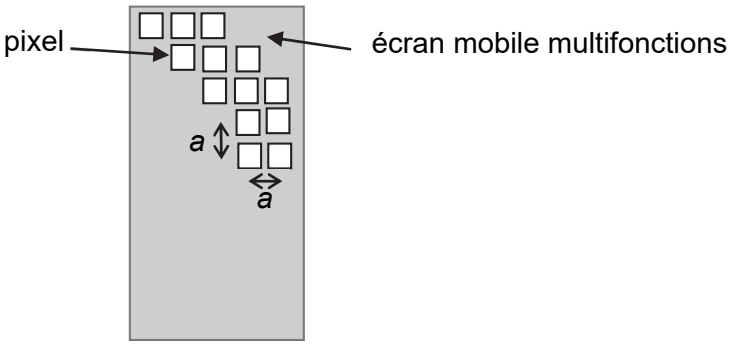
Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Résolution d'un écran de smartphone (10 points)

Plusieurs constructeurs se partagent le marché des téléphones mobiles multifonctions (smartphones). Les écrans constituent un argument important dans le choix d'un appareil. Lors d'une séance expérimentale au lycée, on souhaite comparer la qualité de l'écran de deux modèles (type S et type I) en s'intéressant à leurs résolutions.

Données :

- les écrans de ces téléphones mobiles sont constitués de pixels carrés dont les centres sont distants d'une longueur *a*.



- la résolution est le nombre de pixels par pouce (ou ppp) ;
- un pouce est égal à 2,54 centimètres ;
- résolutions des téléphones mobiles étudiés : type S : 438 ppp et type I : 326 ppp ;
- longueur d'onde du laser : $\lambda = 650$ nm.

L'objectif de cet exercice est d'étudier expérimentalement la résolution d'un téléphone mobile de type S et de la comparer avec celle d'un autre téléphone mobile de type I.

Lorsque les pixels sont éclairés par un faisceau laser, ils se comportent, par réflexion, comme des sources ponctuelles cohérentes. Le dispositif expérimental ci-dessous (figure 1) permet d'observer les figures d'interférences à sources multiples obtenues sur un écran d'observation (figure 2) lorsqu'on envoie un faisceau laser sur l'écran du mobile.

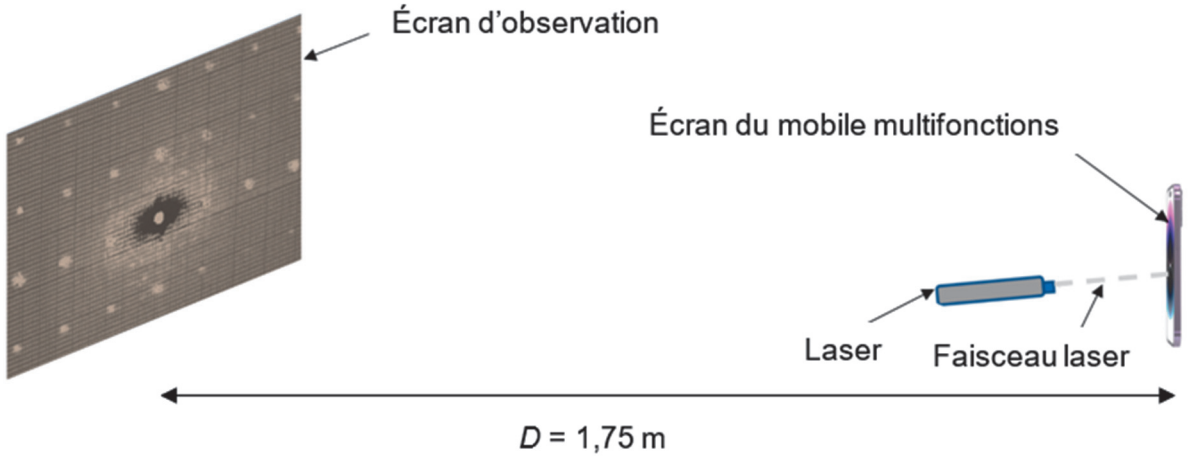


Figure 1. Schéma du dispositif expérimental

Mobile de type S **Mobile de type I**

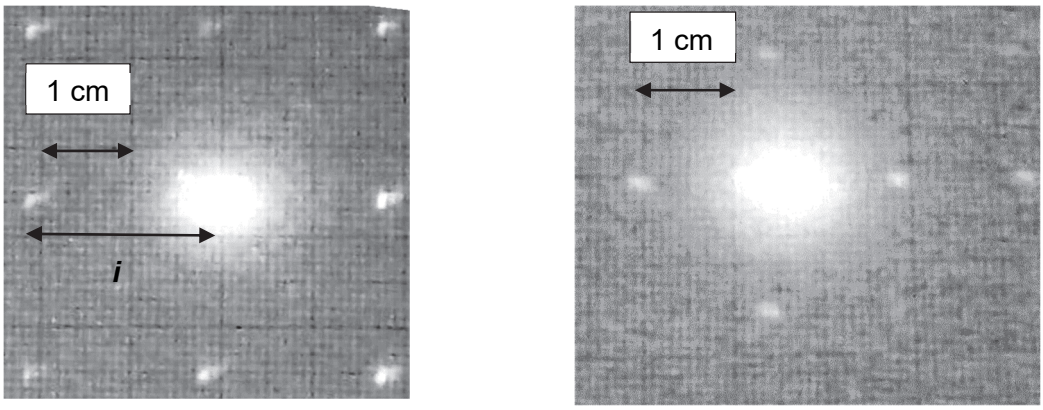


Figure 2. Figure d'interférences obtenue pour chacun des téléphones mobiles multifonctions

Q1. Préciser le caractère de la lumière mis en évidence par de telles figures.

Q2. Qualifier le type d'interférences correspondant aux points lumineux.

Q3. La distance *i* entre deux points lumineux voisins sur l'écran d'observation (figure 2) correspond à l'interfrange. Par analyse des unités, éliminer deux relations parmi les quatre ci-dessous :

a) $i = a \cdot \lambda \cdot D$ b) $i = \frac{\lambda \cdot D}{a}$ c) $i = \frac{a \cdot D}{\lambda}$ d) $i = \frac{a}{\lambda \cdot D}$

Q4. Parmi les deux relations restantes de la question Q3, on cherche à identifier la relation correcte. En utilisant la figure 2, décrire l'évolution de la distance *a* entre deux pixels lorsque la résolution augmente. Sans calcul, montrer alors que la relation à retenir est : $i = \frac{\lambda \cdot D}{a}$

Q5. Mesurer le plus précisément possible, à partir de la figure 2, la valeur de la distance *i* entre deux points lumineux consécutifs pour le mobile de type S.

Q6. En déduire la valeur de la distance *a*. Évaluer la résolution du téléphone mobile de type S en nombre de pixels par pouce (ppp). Commenter.

De manière plus générale, il existe deux catégories d'écran :

- Retina lorsque les pixels ne sont pas visibles à distance usuelle d'utilisation fixée à $d = 30$ cm ;

- non-Retina lorsque, dans les mêmes conditions, les pixels sont visibles (figure 3).

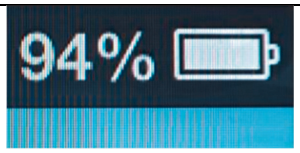
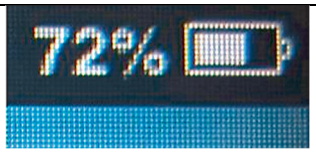
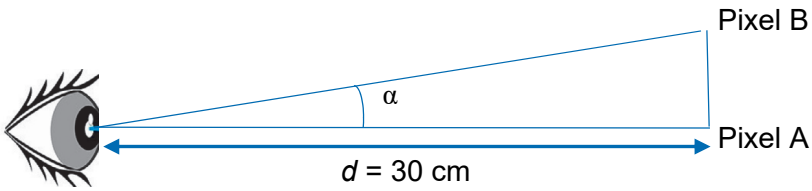
	
Partie d'un écran Retina.	Partie d'un écran non-Retina.

Figure 3. Les deux catégories d'écran du téléphone

Le pouvoir séparateur de l'œil correspond au plus petit angle α, noté α_{min}, permettant de distinguer des pixels A et B très proches. On admet usuellement que $\alpha_{min} = 3{,}0 \times 10^{-4}$ rad.



On se place dans l'approximation des petits angles : tan α ≈ α, α s'exprimant en radians.

Q7. En utilisant la résolution donnée pour le mobile de type I, déterminer la catégorie d'écran de ce téléphone mobile. Commenter.

EXERCICE B – La Tour de la Terreur (10 points)



Figure 1. Tour de la Terreur

Surplombant un célèbre parc d'attraction du haut de ses treize étages, *La Tour de la Terreur* entraîne une cabine avec ses passagers dans une chute vertigineuse de plusieurs dizaines de mètres.

L'objet de cette étude est de d'étudier certaines caractéristiques du fonctionnement de l'attraction.

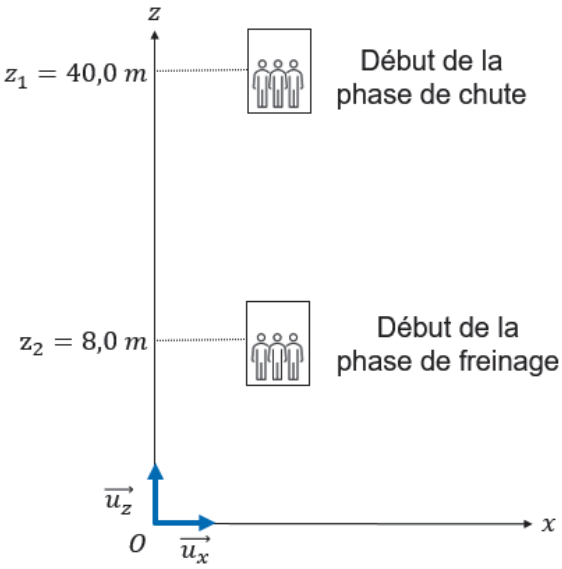


Figure 2. Schéma de la situation

Le système étudié est l'ensemble {cabine + passagers}, de masse *m ;* le centre de masse M du système, d'altitude *z*, est situé à près de 1 m au-dessus du bas de la cabine.

Figure 2 : après une phase ascendante durant laquelle le centre de masse de la cabine monte jusqu'à 40,0 m au-dessus du sol, le mouvement de la cabine se décompose en deux phases :

- une première phase qu'on modélise par une chute libre de 40,0 m à 8,0 m, d'une durée d'environ deux secondes ;
- une deuxième phase de freinage pour stopper la cabine, d'une durée d'environ une seconde.

Données :

- la vitesse *v* de la cabine est nulle au début de la première phase ;
- vitesse maximale mesurée de la cabine : $v_{max} = 63\ km \cdot h^{-1}$;
- masse de la cabine avec une vingtaine de passagers : $m = 8{,}5 \times 10^3\ kg$;
- intensité de la pesanteur $g = 9{,}8\ m \cdot s^{-2}$;
- dangerosité de l'accélération sur le corps humain (figure 3).

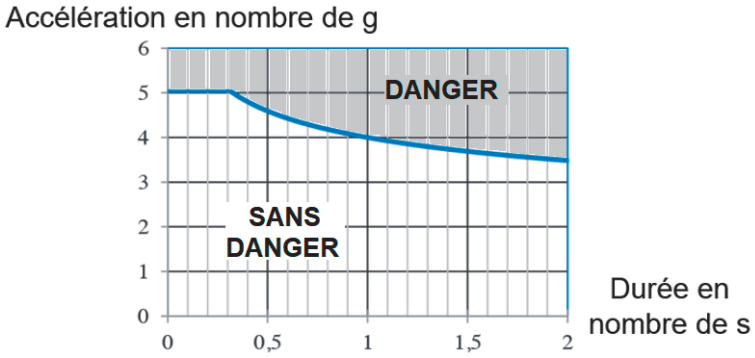


Figure 3. Modèle représentant l'accélération (en nombre de *g*) pouvant être supportée sans danger par un être humain pour une durée donnée

Le nombre de g représente une valeur d'accélération multiple de g. Par exemple, une accélération de 4 g vaut $4 \times 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2} = 39\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. On peut lire sur la figure 3 qu'elle est dangereuse lorsqu'elle est subie pendant une durée supérieure à 1 s.

Q1. Rappeler l'hypothèse principale du modèle de la chute libre.

Q2. Rappeler, pour le système étudié, les expressions de l'énergie cinétique E_c, de l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp}, supposée nulle en z = 0, et de l'énergie mécanique E_m.

Q3. Par une approche énergétique, montrer que dans ce modèle de la chute libre, à la fin de la première phase, la cabine devrait avoir une vitesse de 25 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Q4. Compte-tenu de la valeur de la vitesse maximale mesurée de la cabine, interroger la pertinence du modèle de la chute libre pour l'étude de la première phase du mouvement de la cabine.

Dans les questions suivantes on s'intéresse à la deuxième phase du mouvement : le freinage de la cabine. Durant cette phase, un système constitué de six freins à tambour exerce sur la cabine, par l'intermédiaire d'un câble, une force de freinage $\vec{F}$ que l'on suppose constante, de valeur $F = 2{,}7 \times 10^5\ \text{N}$. Les forces de frottements de l'air sont supposées négligeables ici devant cette force de freinage.

Q5. Représenter sur un schéma les deux forces qui s'exercent sur la cabine lors de la phase de freinage. Si une des deux forces a une norme plus grande que l'autre, la représenter par une flèche de longueur plus grande, sans pour autant respecter d'échelle.

Q6. Déterminer l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ de la cabine sur les directions (Ox) et (Oz) en fonction de F, g et m et des vecteurs unitaires $\vec{u}_x$ et $\vec{u}_z$ définis sur la figure 2.

La valeur de l'accélération subie par la cabine et ses passagers durant la phase de freinage est environ $a = 22\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, soit $a = 2{,}2\ g$.

Q7. Discuter de la dangerosité de cette attraction sur le corps humain étant donné l'accélération subie et la durée approximative de la phase de freinage.

Lors de la deuxième phase, la position du centre de masse de la cabine vérifie la loi horaire suivante :

$$z(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 - v_{max} \cdot t + z_2$$

avec $a = 22\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, $v_{max} = 18\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $z_2 = 8{,}0$ m. L'origine des temps est prise au début de la deuxième phase.

Q8. Montrer que la cabine s'arrête au bout de 0,8 s environ.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

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.