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 2025

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 2

Durée de l'épreuve : **3 h 30**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **2 h 30** - 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 24 pages numérotées de 1/24 à 24/24.

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 18 à 19) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Rééducation robotisée LOKOMAT

Constitution du sujet

- Sujet ..... pages 3 à 17
- Documents réponses..... pages 18 à 19

Le sujet comporte trois sous-parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre différent.

Les documents réponses DR1 à DR2 (pages 18 à 19) sont à rendre avec la copie.

Mise en situation



Le Lokomat est un système complexe, utilisé en milieu hospitalier, permettant aux patients qui ont subi des troubles neurologiques d'inciter les articulations et les parties de la jambe à reprendre les sensations de la marche, sans l'assistance d'un personnel médical et avec un effort variable de la part du patient lui-même.

Pour améliorer ces techniques et réduire la charge physique contraignante des thérapeutes, il a été développé une « orthèse de marche forcée » (appareil orthopédique) à la fin des années 1990, au centre paraplégique universitaire hospitalier de Zürich. Ce dispositif est maintenant connu sous le nom de Lokomat.

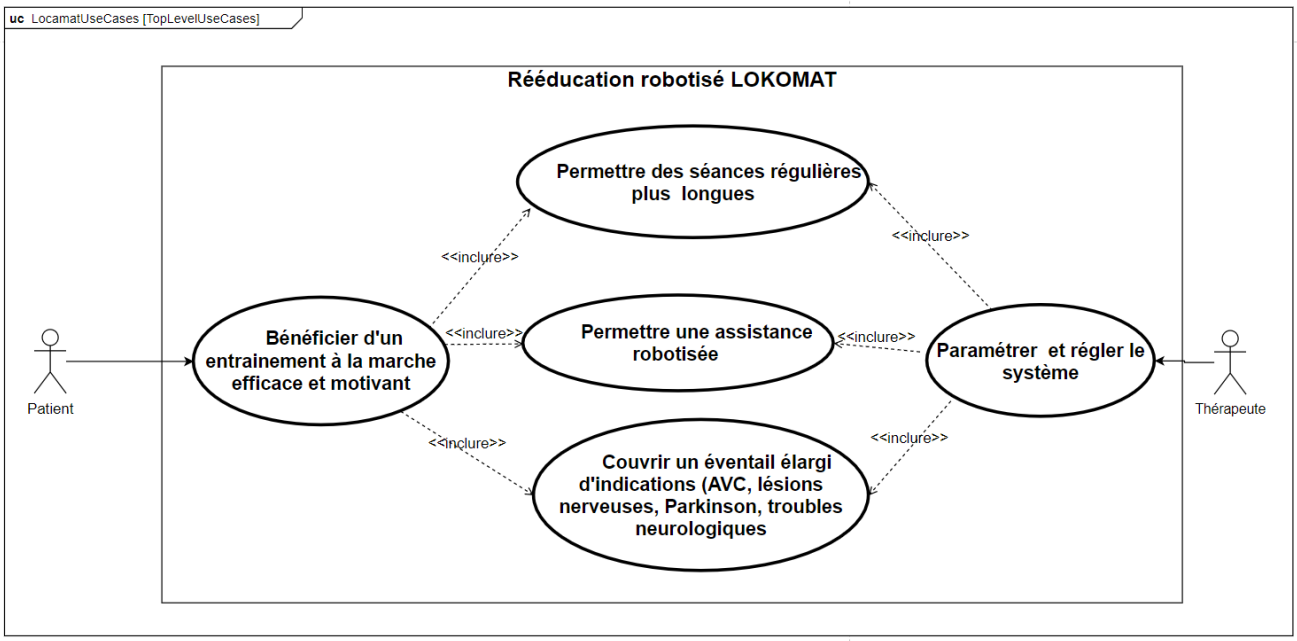


Figure 1 : Diagramme des cas d'utilisation

Le Lokomat est constitué d'une orthèse de marche robotisée et motorisée qui guide les jambes du patient sur un tapis roulant. Il est accompagné d'un système de compensation du poids du corps du patient et d'un écran de contrôle qui permet de mesurer l'activité du patient et d'ajuster le niveau d'assistance à la marche pour chaque jambe.

La description technique du Lokomat et les performances attendues sont décrites par les figures 2 et 3.

La problématique générale abordée dans ce sujet est la suivante :
En quoi cet appareil de rééducation robotisée améliore-t-il les techniques de rééducation traditionnelle ?

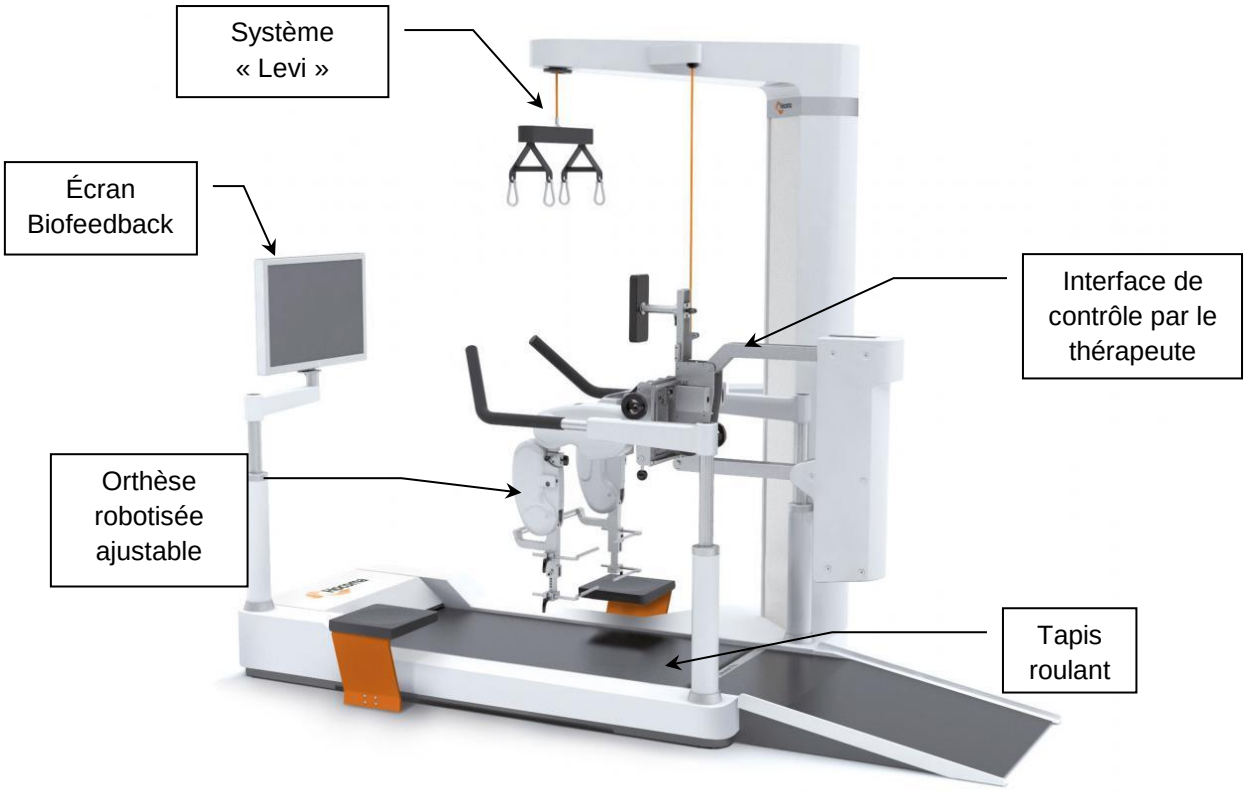


Figure 2 : Système de rééducation Lokomat

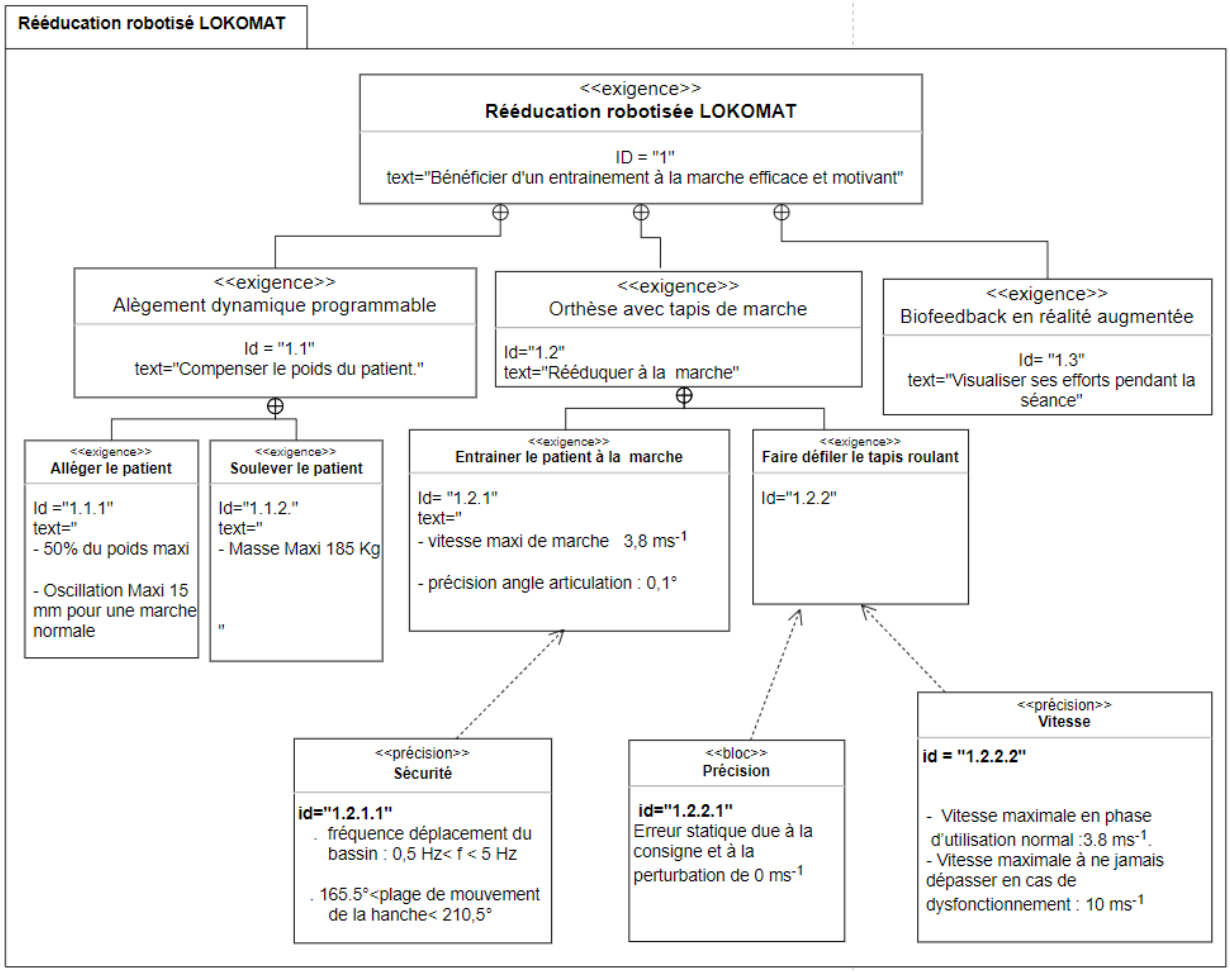


Figure 3 : Diagramme partiel des exigences

Sous-partie 1 : Étude du confort du patient durant l'activité physique de marche

L'objectif de cette sous-partie est d'analyser les solutions mises en œuvre pour assurer la compensation dynamique du poids du patient et sa stabilité optimale.

Étude statique du système Levi du Lokomat à l'arrêt :

Afin de faciliter la rééducation du patient, le Lokomat a la capacité de le soulager en le déchargeant d'une partie de son poids propre grâce au système de suspension « Levi » (figure 4).

Une fois le patient installé dans l'orthèse grâce à un vérin électrique, le praticien a la possibilité de régler le délestage à l'aide d'une télécommande. Ce délestage consiste à utiliser un ressort précontraint qui permet de compenser une partie du poids du patient. En fonction de l'importance de ce délestage, le patient ne ressent plus qu'une partie de son poids propre pendant l'exercice. Ainsi, le praticien peut prévoir des entrainements réguliers pendant plusieurs semaines durant lesquels le système « Levi » est de moins en moins sollicité (poids de délestage de plus en plus faible), jusqu'à ce que le patient retrouve toute sa mobilité en supportant son propre poids.

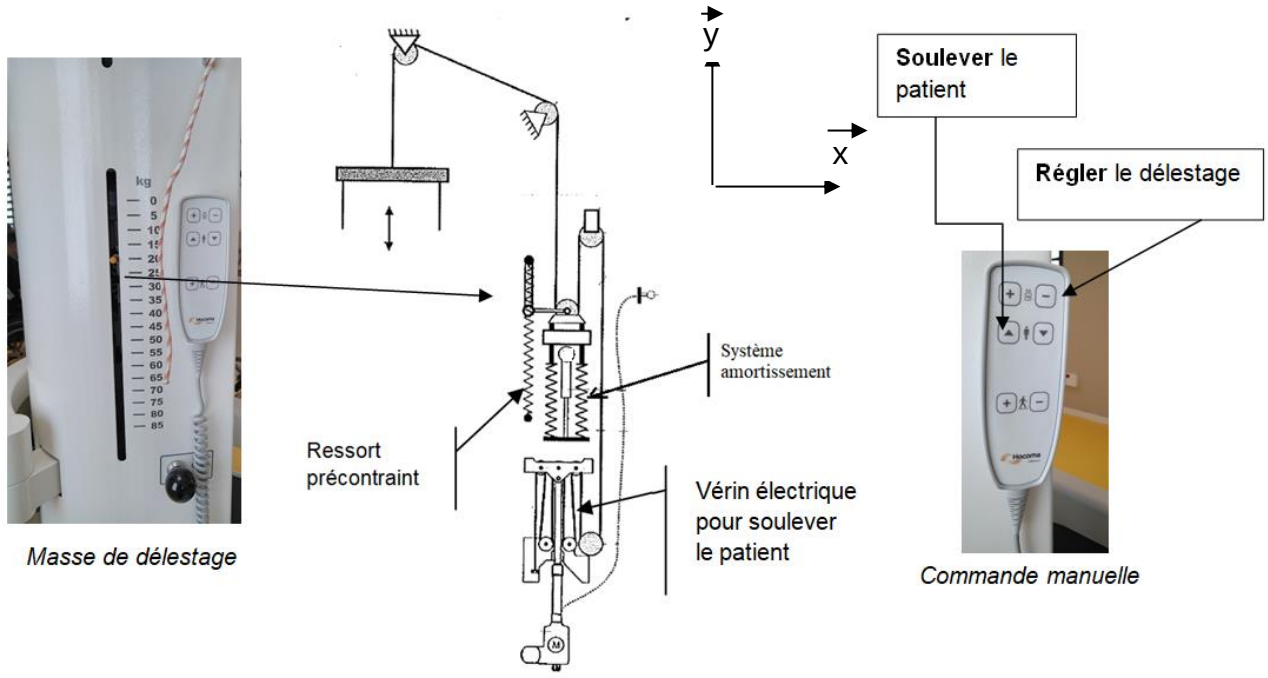


Figure 4 : Le système « Levi »

Pour la suite du sujet, on notera :

- P_d le poids de délestage ;
- P le poids propre du patient ;
- P_a le poids apparent du patient (ressenti après délestage).

La relation entre ces trois grandeurs est la suivante :

$$\overrightarrow{P_a} = \|\vec{P}\|.\vec{y} - \|\overrightarrow{P_d}\|.\vec{y} = (\|\vec{P}\| - \|\overrightarrow{P_d}\|).\vec{y}$$

L'accélération de la pesanteur est égale à 9,81 m·s^{-2}.

Question 1 Figure 3	À l'aide du diagramme des exigences figure 3, **calculer** le poids maximal P_{d_max} que le système peut délester. **Déduire** la plage de valeurs que peut prendre le poids apparent Pa selon les valeurs maximale et minimale de délestage du patient le plus lourd (P_{amin} et P_{amax} sont notés comme les deux poids *extremums*).

Le schéma de la figure 5 est une première modélisation très simplifiée du système de compensation. Le système est réduit à un ensemble (ressort – masse ponctuelle). On négligera dans un premier temps l'amortissement du système « Levi ».

- La situation (a) correspond au système « Levi » non chargé, c'est-à-dire sans patient.
- La situation (b) correspond au système « Levi » à l'arrêt, supportant un patient avec la compensation réalisée grâce au ressort précontraint. Pour cette configuration, la masse ponctuelle est soumise à l'action du câble et du ressort, une fois le délestage réglé. Le tout est en équilibre.
- La situation (c) correspond à la modélisation dynamique du patient en activité autour de la position d'équilibre y_0.

On a d'autre part l'action du ressort qui s'exprime comme suit en fonction du paramétrage proposé : $\vec{F}_{rappel} = -k \cdot (y_0 - l_0) \cdot \vec{y}$ (avec k la raideur du ressort).

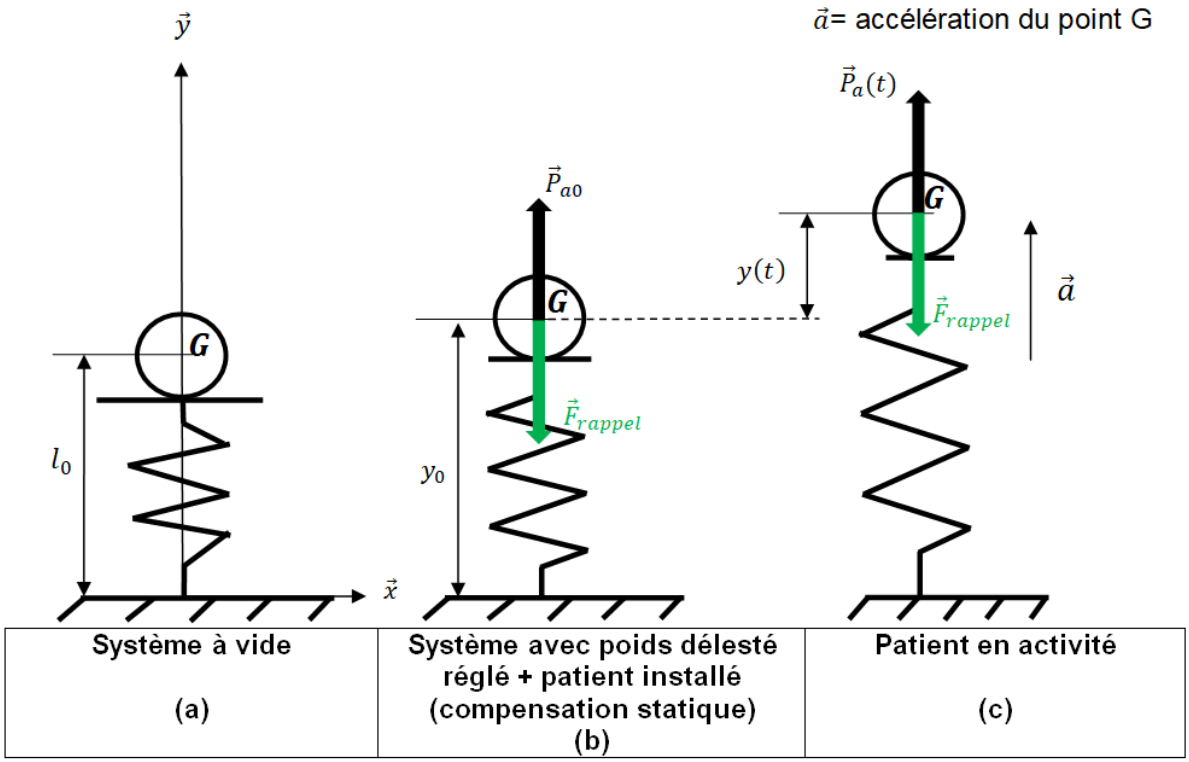


Figure 5 : Modèle masse-ressort équivalent à la dynamique de l'ensemble

Question 2 Figure 5	En isolant la masse ponctuelle dans la configuration (b), et en appliquant le théorème de la résultante du principe fondamental de la statique, **déterminer** l'allongement $\Delta y = y_0 - l_0$ du ressort en fonction de k, $\|\vec{P}\|$ et $\|\overrightarrow{P_d}\|$. **Calculer** la valeur numérique du plus grand allongement Δy_{max} que peut subir le ressort ($k = 348$ kN·m^{-1}).

Étude dynamique du système Levi du Lokomat lors d'un entrainement :

Lorsqu'un humain se déplace, les membres de son corps subissent des mouvements verticaux (bassin, hanche, cheville, …) durant la marche. Ces mouvements évoluent en amplitude en fonction de la vitesse de marche et de la morphologie du patient. L'enjeu du Lokomat est de limiter ces mouvements verticaux pour éviter des traumatismes.

Lors d'une étude expérimentale qui s'intéressait à la marche d'une personne quelconque dans la rue, les différentes positions verticales du bassin pour plusieurs vitesses de marche ont été relevées figure 6. La position initiale (origine dans le graphique) correspondait à la position du centre du bassin lorsque la personne était debout, immobile. La foulée moyenne était de 1,25 m.

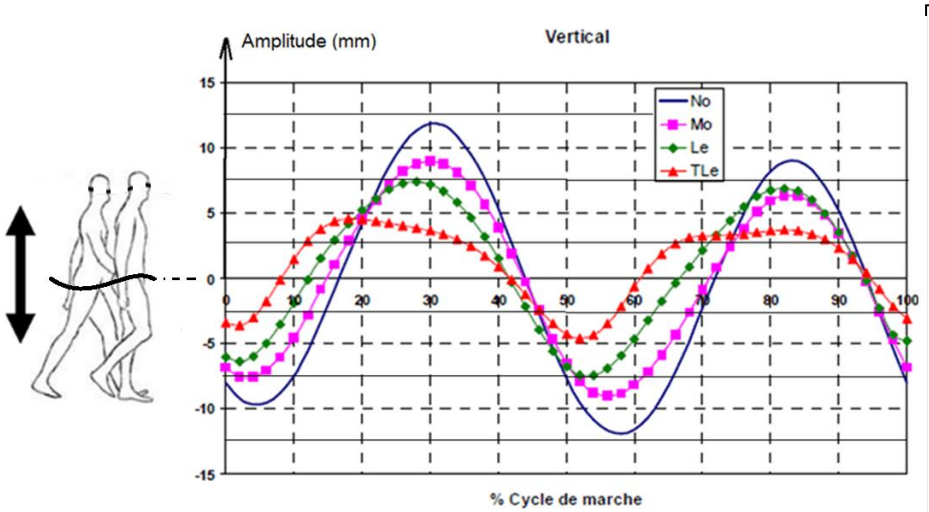


Figure 6 : Déplacement du bassin

No : marche normale 1,36 m·s^{-1}
Période déplacement du bassin T_{No} = 1,08 s

Mo : marche modérée 1,04 m·s^{-1}
Période déplacement du bassin T_{Mo} = 0,83 s

Le : marche lente 0,8 m·s^{-1}
Période déplacement du bassin T_{Le} = 0,64 s

TLe : marche très lente : 0,45 m·s^{-1}
Période déplacement du bassin T_{TLe} = 0,36 s

Un cycle de marche pour un membre est défini comme la durée du contact du membre, jusqu'à la prochaine apparition du même événement sur le même membre (contact du pied droit au prochain contact du même pied).

La relation suivante est donnée : pulsation (en rad·s^{-1}) $\omega = 2 \cdot \Pi \cdot f$ avec f la fréquence en hertz.

Question 3	**Calculer** pour chaque vitesse de marche No, Mo, Le, et TLe, la fréquence et la pulsation du déplacement du bassin.
Figure 6	

Afin de pouvoir corriger le déplacement vertical du patient sur le Lokomat, il est nécessaire de définir un modèle de simulation. L'étude se limitera à la marche normale No où l'oscillation est de type sinusoïdal. Dans une première approche, le modèle dynamique représenté par le schéma de la figure 5 situation (c) est considéré, auquel a été ajouté un bloc amortisseur. Le modèle conçu à l'aide d'un logiciel de simulation est détaillé figure 7. L'amortissement du système « Levi » étant faible, le coefficient d'amortissement sera faible.

La fonction $y(t)$ correspond à l'amplitude de déplacement vertical du bassin du patient en fonction du temps à partir de la position d'équilibre y_0.

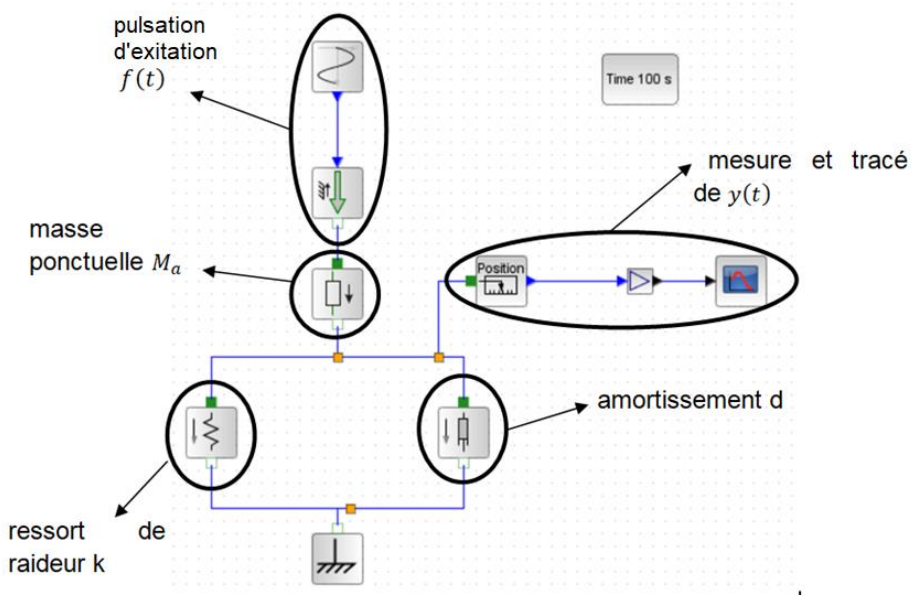


Figure 7 : Modèle de simulation

Une première simulation a été réalisée en utilisant une pulsation d'excitation de fréquence 1 Hz correspondant à la foulée de la marche No.
La raideur du ressort est toujours de $k = 348$ kN·m^{-1}. Le tracé de l'évolution du paramètre $y(t)$ en fonction du temps est donné figure 8.

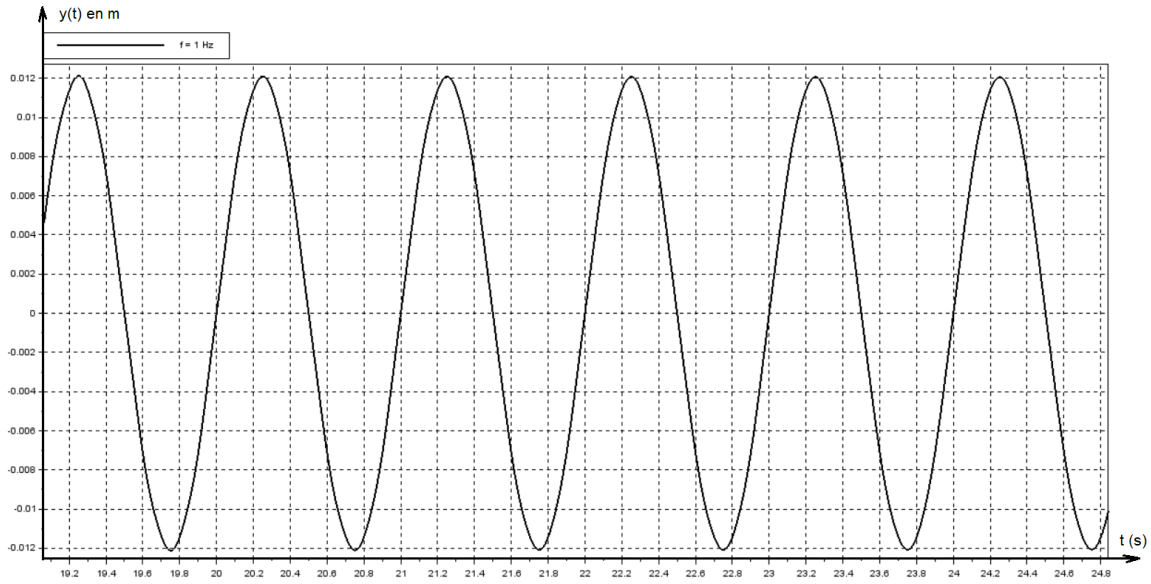


Figure 8 : Évolution de y(t)

Question 4	**Commenter** les écarts d'amplitude entre le relevé de simulation donné figure 8 et les relevés du déplacement du bassin donnés figure 6 centrés sur la marche normale No.
Figure 6 Figure 8	

Question 5	**Estimer** l'écart le plus important entre les deux relevés sur l'ensemble du cycle de marche. En **déduire** l'écart maximal relatif en pourcentage. Celui-ci doit être inférieur à 10 %. **Conclure** sur la validité du modèle.
Figure 6 Figure 8	

Sous-partie 2 : Synchronisation de l'orthèse et du tapis roulant

L'objectif de cette partie est d'étudier l'entrainement ciblé à différentes vitesses afin d'améliorer la rééducation fonctionnelle du patient.

Le Lokomat permet au patient une multitude d'exercices physiques en autonomie. Les courses des entrainements sont réglables par le personnel médical en fonction de la progression du patient. La synchronisation des mouvements entre le tapis roulant et l'orthèse doit être parfaite afin que le patient ne ressente pas deux rythmes différents au même moment.

L'une des contraintes de conception prépondérante concerne la capacité du tapis à respecter la consigne de vitesse imposée par le programme, indépendamment des perturbations qu'il peut subir : par exemple au moment du contact avec l'orthèse susceptible de freiner le tapis.

Cette sous-partie s'intéresse à la régulation que doit assurer le tapis.

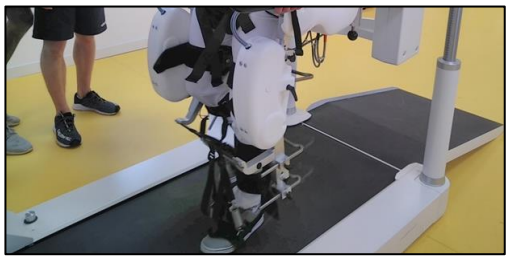


Figure 9 : Tapis roulant et orthèse

Asservissement du tapis roulant :

Le schéma bloc modélisant l'ensemble du tapis roulant est donné figure 10. Il s'agit d'un asservissement de vitesse. La vitesse linéaire du tapis est la grandeur physique de sortie régulée. La consigne d'entrée est une consigne de vitesse. La perturbation liée à l'action du patient caractérise le(s) contact(s) du (des) pied(s) avec le tapis lors d'une foulée.

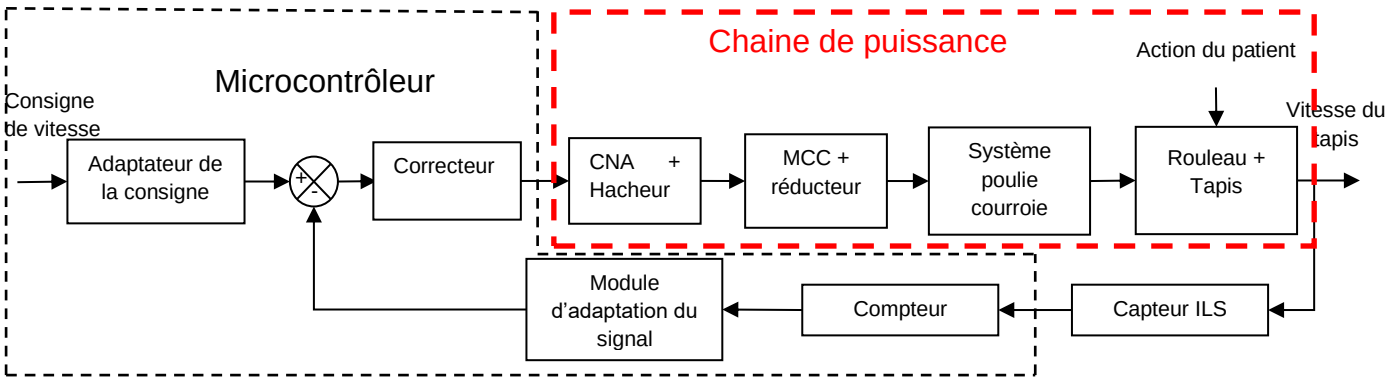


Figure 10 : Schéma bloc modélisant le tapis roulant

Question 6	**Compléter** la chaîne de puissance dans le document réponse DR1 en indiquant les grandeurs de flux et d'effort (nom de la grandeur et unité).
Figure 10 DR1	

La vitesse effective du tapis est notée v(t), la vitesse de consigne du tapis $v_c(t)$, et la différence entre la consigne de vitesse (grandeur d'entrée) et la vitesse effective du tapis (grandeur de sortie) est notée ε(t) :

$$\varepsilon(t) = v(t) - v_c(t)$$

Une simulation du tapis roulant a été réalisée grâce à un logiciel de simulation multi-physique à partir du schéma bloc précédent donné figure 10.

Dans un premier temps, aucune perturbation n'est prise en compte. La valeur de la vitesse de consigne Vc de 3,8 $m \cdot s^{-1}$, correspond à la vitesse maximale que peut délivrer le tapis.
Un correcteur de type proportionnel est utilisé. Trois valeurs de gain ont été considérées pour ce correcteur (K = 3, K = 5 et K = 7). Les réponses temporelles de ce modèle pour ces trois valeurs de gain du correcteur sont superposées dans le tracé figure 11.

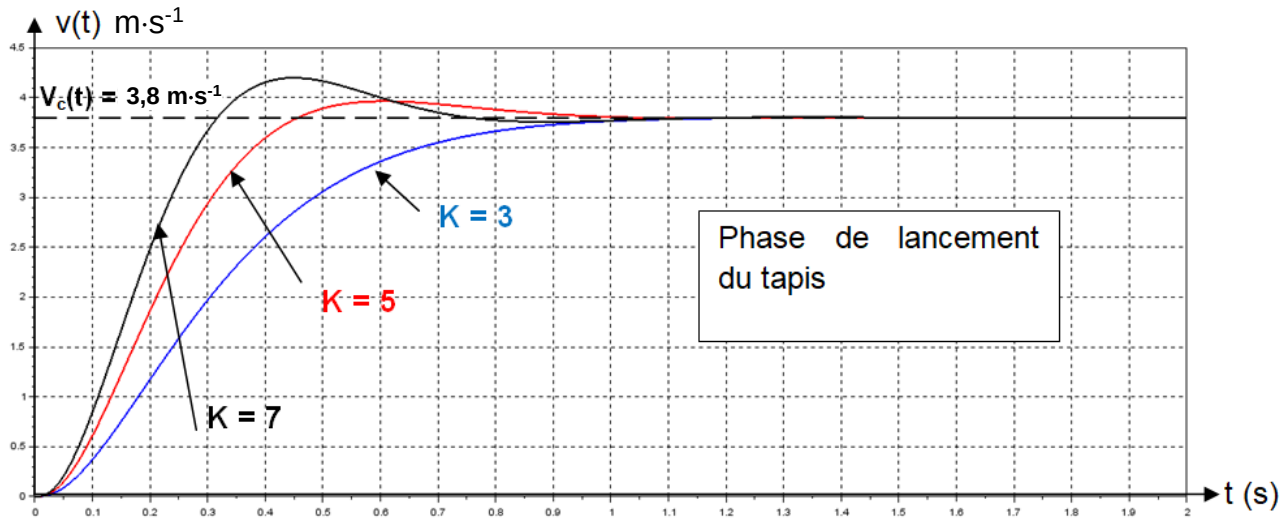


Figure 11 : Simulation avec le correcteur de type proportionnel

Question 7	En prenant appui sur les réponses temporelles obtenues en simulation, et pour les trois valeurs du gain du correcteur, **donner** la valeur de l'erreur statique notée ε_{lanc} dans la phase de lancement du tapis. L'exigence du cahier des charges Id 1.2.2.1 est-elle respectée ?
Figure 11	

Dans un second temps, la perturbation liée à l'action du patient est prise en compte.
Après 3 secondes, le premier contact avec le pied du patient commence et dure 3 secondes. Pendant cette durée de contact, la commande fait en sorte que la vitesse avant perturbation soit conservée, soit 3,8 $m \cdot s^{-1}$. Toute différence entre cette vitesse avant perturbation et la vitesse atteinte en régime permanent correspond à l'erreur statique due à la perturbation ; elle est notée $\varepsilon_{m.cont}$.

Les réponses temporelles du tapis pour les trois valeurs précédentes de gain du correcteur sont tracées sur le document DR1.

Question 8	Sur le document réponse DR1, **tracer** par une flèche à double sens l'erreur statique due à la perturbation pour chacun des trois gains du correcteur. Sur le tableau joint, **donner** la valeur de chacune de ces trois erreurs statiques.
DR1	

Question 9	**Commenter** l'évolution de cette erreur statique due à la perturbation en fonction du gain du correcteur. **Préciser** si l'exigence id 1.2.2.1 du diagramme des exigences situé figure 3 est respectée avec ces trois valeurs.
Figure 3	

On utilise cette fois-ci un correcteur proportionnel intégral, nommé par la suite PI. Pour les mêmes valeurs de gain, les réponses temporelles sont données sur la figure 12 :

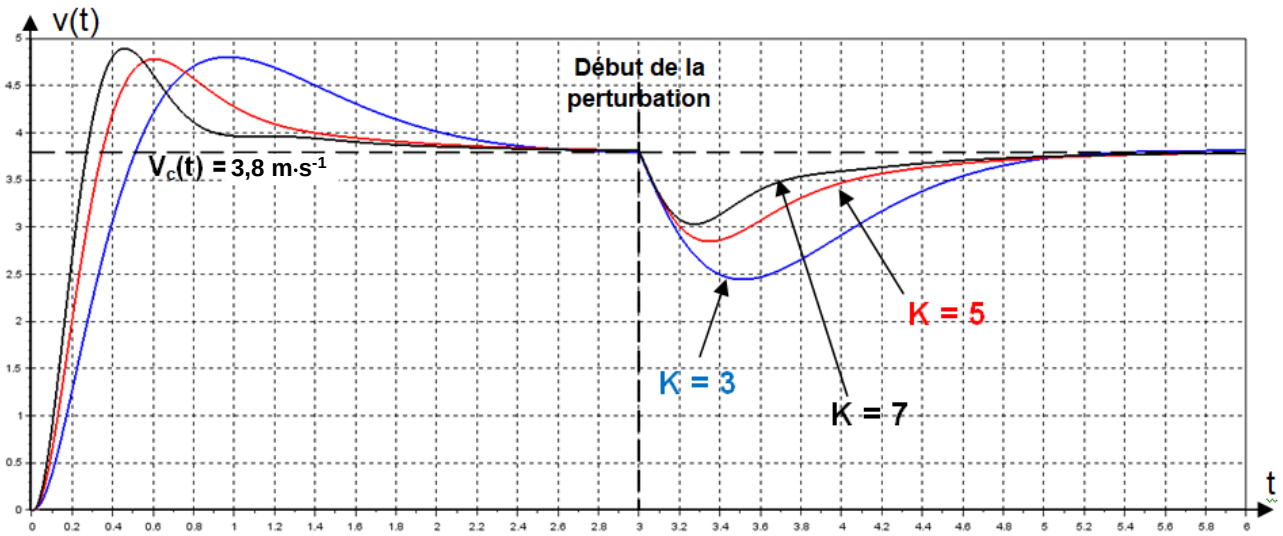


Figure 12 : Comportement du tapis avec un correcteur PI

Question 10	**Donner** les nouvelles valeurs de l'erreur statique due à la perturbation. **Préciser** si les exigences de précision avec ce type de correcteur sont respectées.
Figure 12	

Sous-partie 3 : Étude des réglages de l'exosquelette en fonction de la mobilité du patient

L'objectif de cette partie est de vérifier que le Lokomat est capable de s'adapter à la mobilité du patient en respectant les amplitudes de ses mouvements.

Avant le début de la thérapie, le kinésithérapeute évalue l'amplitude des mouvements du patient à l'aide d'un instrument appelé goniomètre. Celui-ci mesure l'amplitude maximale d'une articulation.



Figure 13 : Photo d'illustration d'une mesure de mobilité

Le praticien initialise ensuite le Lokomat en enregistrant les deux *extremums* (amplitude maximale et amplitude minimale). Ces *extremums* seront appelés « butées logicielles » dans la suite du sujet, et seront utilisés pour la programmation des mouvements de l'orthèse.

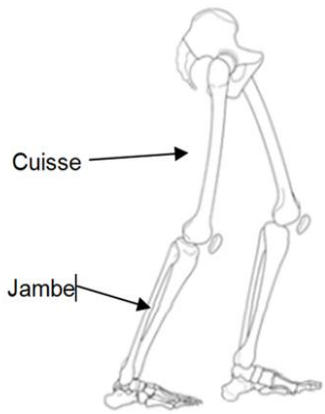


Figure 14 : Squelette humain

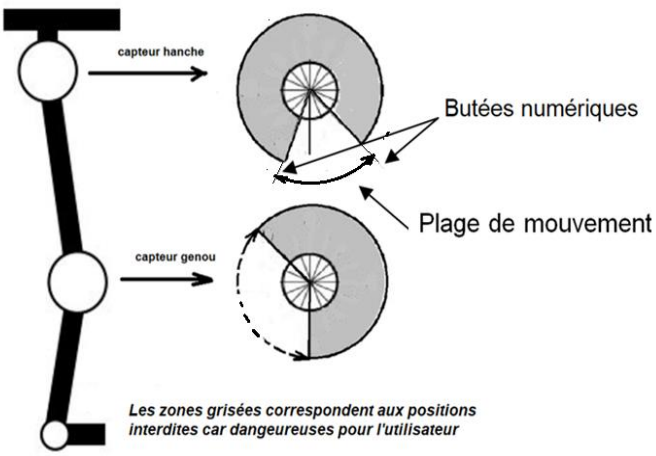


Figure 15 : Schéma simplifié de l'orthèse

Afin de contrôler les amplitudes de mouvement du patient, chaque articulation de l'orthèse est équipée d'un capteur angulaire analogique résistif.



Figure 16 : Orthèse

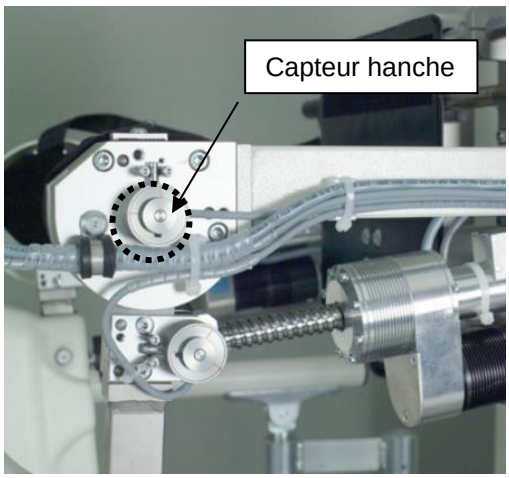


Figure 17 : Capteur angulaire

On considère par la suite que l'amplitude de mouvement de la hanche mesurée par le praticien est de **44°** et que la butée logicielle minimale mesurée par le capteur est de **166°**.
Les capteurs utilisés ici ne peuvent pas réaliser des mesures sur un tour complet. Les limites physiques du capteur sont représentées sur la figure 18, la plage d'angle mesurable est comprise entre 0° et 354°.

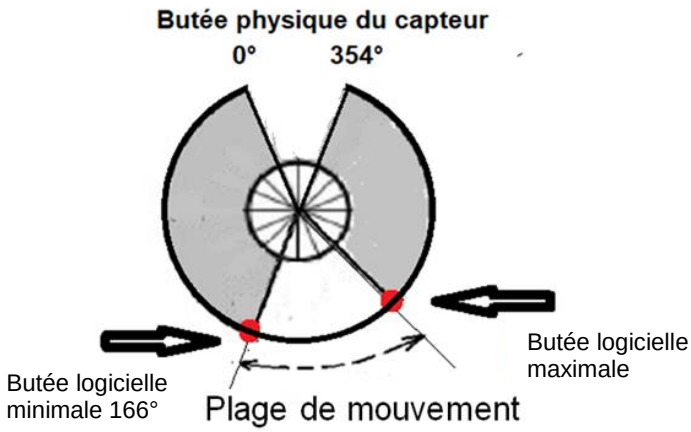


Figure 18 : Articulation de la hanche

Le capteur d'angle analogique est de type résistif et peut être modélisé par une résistance Rca dont la valeur varie en fonction de l'angle mesuré.

De manière expérimentale, l'évolution de la tension de sortie en fonction de l'angle a été relevée sur la figure 19.

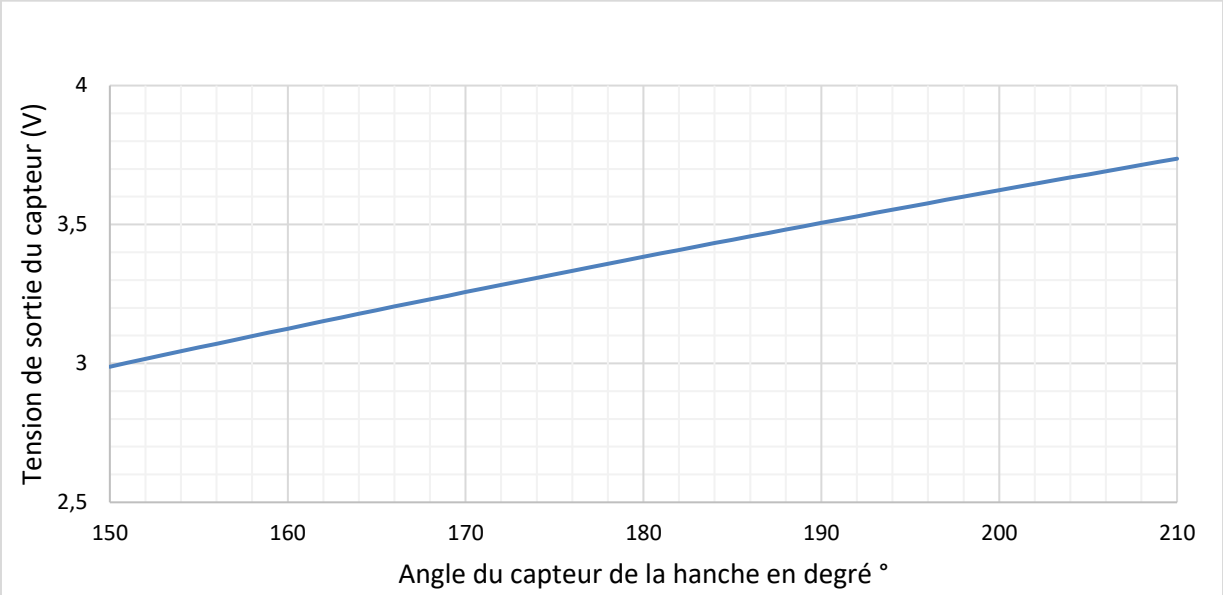


Figure 19 : Relevé expérimental de la tension de sortie capteur en fonction de l'angle

Question 11 Figure 19	**Calculer** la valeur de la butée logicielle maximale « butemax » qui permet de respecter la plage de mouvement du patient et en **déduire** à l'aide de la figure 19 les valeurs de la tension de sortie de la butée logicielle maximale et minimale.

Un convertisseur analogique numérique avec une tension de référence de 5 V permet de renvoyer à l'unité de commande l'image des valeurs d'angle de chaque articulation issue des capteurs.

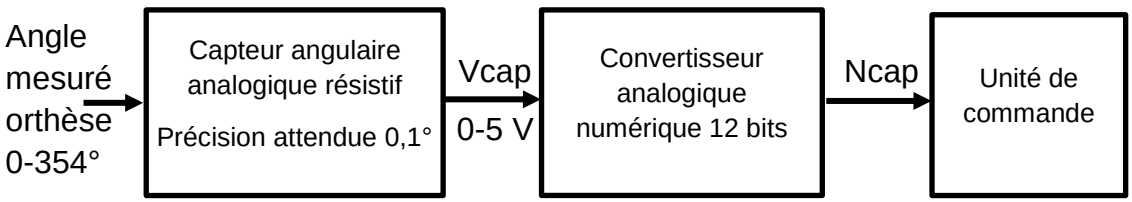


Figure 20 : Chaîne informationnelle de mesure de l'angle de l'orthèse

Question 12 Figure 3	**Vérifier** que la résolution du convertisseur analogique numérique (en nombre de bits) est appropriée pour obtenir la précision du capteur souhaitée (exigence id 1.2.1) dans le diagramme des exigences figure 3.

Question 13	**Calculer** les deux valeurs numériques des butées logicielles qui seront affectées dans le programme.

Surveillance du dépassement des butées numériques :

Lors de la séance de rééducation, l'orthèse motorisée assiste le patient. Un algorithme permet de surveiller que les butées logicielles ne sont pas dépassées afin d'éviter de blesser le patient. Pour cela, on définit un dépassement maximal admissible de 1° par rapport aux deux butées logicielles extrêmes. Si ces valeurs sont dépassées, le système se met en défaut et coupe l'alimentation de la motorisation de l'orthèse.

Quelles que soient les valeurs à la question 13, on prendra butemin = 2624 et butemax = 2964.

La valeur numérique de la marge de sécurité de 0,5° est : 11.

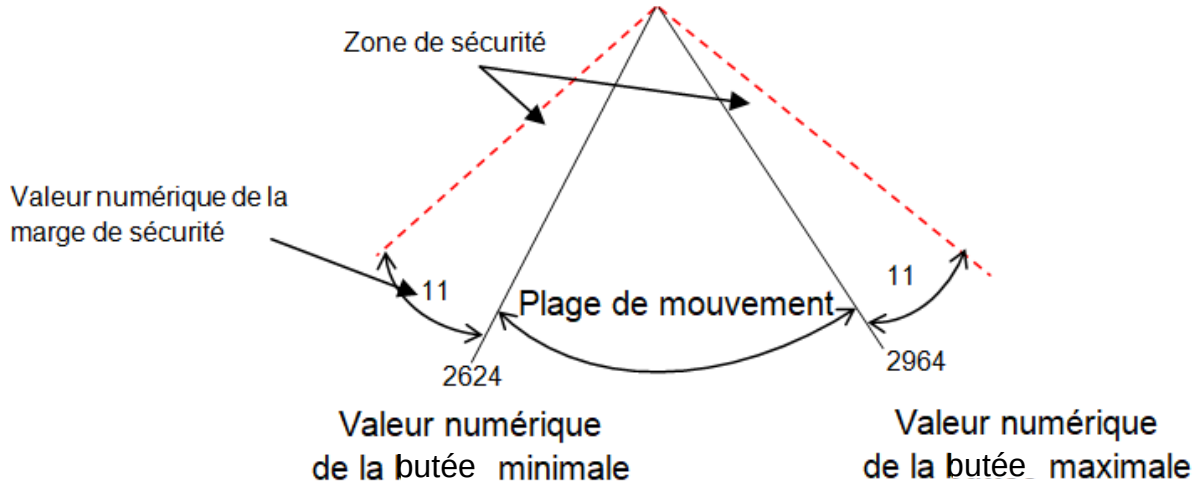


Figure 21 : Valeur numérique des butées de la hanche et des dépassements admissibles

Après l'enregistrement des butées logicielles par le praticien en début de séance, l'orthèse se met en mouvement en effectuant successivement des déplacements horaires et des déplacements antihoraires.

Le fonctionnement de l'orthèse en mode marche se fait grâce à un programme. Les variables et les fonctions déclarées dans ce programme sont les suivantes :

- Les variables **butemin** et **butemax** correspondent aux butées logicielles.
- Les fonctions **Mv_hd_hor()** et **Mv_hd_antihor()** permettent d'assurer le déplacement de la hanche droite.

- Les variables **C_mot_hor** ou **C_mot_antihor** commandent lorsqu'elles sont actives l'alimentation des moteurs respectivement dans le sens horaire et antihoraire.

- La variable **anglehd** renvoie la valeur lue par le capteur angulaire de la hanche droite en décimal.

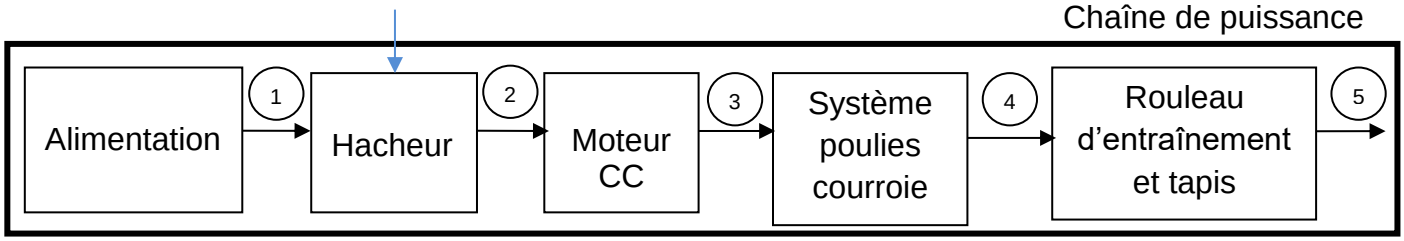
Les déclarations des variables listées sont faites en dehors de l'extrait du programme fourni.

Question 14 DR2	**Compléter** le programme python du DR2 afin de respecter la marge de sécurité de l'amplitude de mouvement.

Question 15 Figure 3	**Conclure** sur le respect de l'exigence id = 1.2.1.1 donnée dans le diagramme des exigences partiel figure 3.

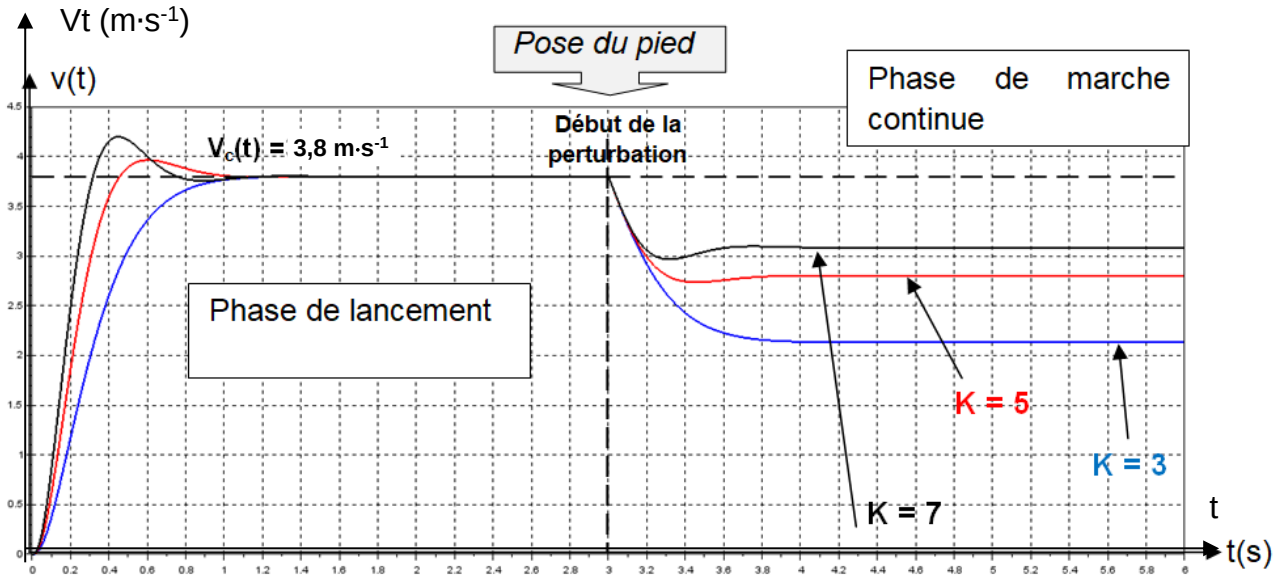
Documents réponses DR1

Question 6



N°	Grandeur de flux	Unité	Grandeur d'effort	Unité
1				
2				
3				
4				
5				

Question 8



Gain du correcteur K	Valeur de l'écart statique due à la perturbation $e_{m.cont}$.
K = 3	
K = 5	
K = 7	

Question 14

```
##Algorithme de surveillance des butées numériques

#Déclaration des valeurs numériques des butées
butemin=2624
butemax=2964
#La variable anglehd renvoie la valeur numérique du capteur angulaire
#de la hanche droite

# Marge de sécurité de 0,5°
Mg_secu=11

def Mv_hd_hor():
    #Déplacement orthèse sens horaire
    while anglehd>butemin:
        C_mot_hor=True

        #Surveillance du dépassement de la butée
        if anglehd.....:  #Condition à compléter
            C_mot_hor=False
            defaut=1
    C_mot_hor=False


def Mv_hd_antihor():
    #Déplacement orthèse sens anti-horaire
    while anglehd<butemax:
        C_mot_antihor=True

        #Surveillance du dépassement de la butée
        if anglehd..... :  #Condition à compléter
            C_mot_antihor=False
            defaut=1
    C_mot_antihor=False
```

Partie 2 : Sciences physiques

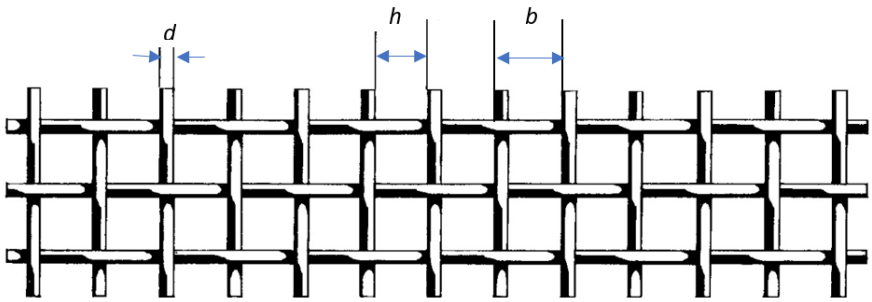
EXERCICE A : LA PHYSIQUE AU SERVICE DE L'AÉROGOMMAGE

L'aérogommage consiste à projeter, grâce à de l'air sous pression, une poudre abrasive pour éliminer la peinture ou les salissures présentes sur la surface d'un matériau.
Une fois l'opération terminée, la poudre utilisée est recyclée en la faisant passer à travers un tamis qui retient les déchets.



Figure 1 : Nettoyage d'une surface par aérogommage
Source : https://igcs.be/nettoyage-par-aerogommage/

Un tamis est un réseau plus ou moins serré de fils caractérisé par l'espace intermaille noté *h* (figure 2). Pour simplifier, on suppose que toutes les particules solides considérées dans cet exercice sont sphériques. Celles qui peuvent passer au travers de la maille ont donc un diamètre inférieur à *h*.



d : diamètre d'un fil
h : espace intermaille
b : distance entre deux fils parallèles b = d + h

Figure 2 : Schéma de la maille d'un tamis

L'objectif de cet exercice est de déterminer la valeur de l'espace intermaille *h* d'un tamis disponible au laboratoire pour savoir s'il peut être utilisé. On réalise pour cela le dispositif expérimental présenté dans la figure 3.

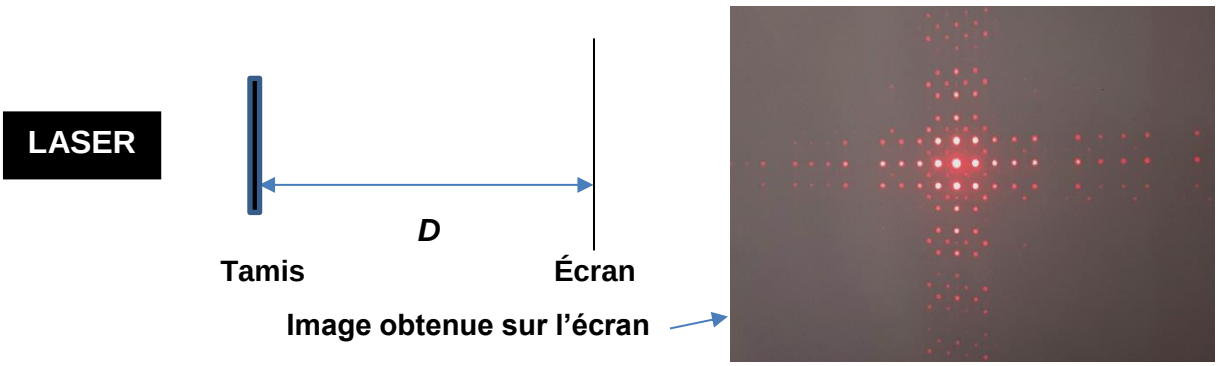


Figure 3 : Dispositif expérimental utilisé

Données :

- diode laser de longueur d'onde λ = 650 nm ;
- diamètre des fils du tamis testé : d = 0,20 mm ;
- l'expression de l'interfrange i (distance entre deux points brillants voisins) est donnée par la relation :

$$i = \frac{\lambda D}{b}$$

1. Nommer le phénomène mis en évidence sur l'écran (figure 3) et préciser à quoi correspondent les zones sombres et brillantes.

On réalise une première expérience avec le tamis du laboratoire en plaçant l'écran à une distance D = 35 cm du tamis. La figure obtenue est alors trop petite pour pouvoir mesurer l'interfrange i.

2. Proposer, en la justifiant, une modification du dispositif expérimental permettant d'obtenir une figure plus grande, sans changer le matériel utilisé.

On refait l'expérience pour une distance D = 2,10 m. Les résultats obtenus après analyse par un logiciel de traitement d'image sont donnés dans la figure 4.

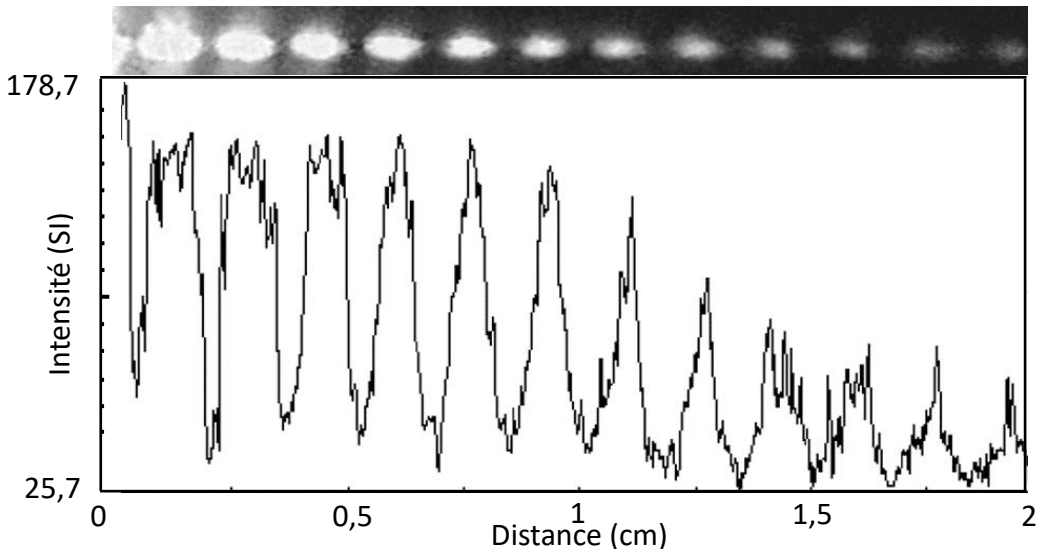


Figure 4 : Intensité lumineuse relative en fonction de la position sur l'écran

3. À l'aide de la figure 4, montrer que l'interfrange vaut environ i = 1,6 mm en détaillant la méthode employée.

4. Déduire la valeur de b, puis la valeur de h à l'aide des données et de la question 3.

Pour nettoyer une surface dure, on utilise une poudre formée de grains de diamètre 500 µm. On suppose que le diamètre des déchets est d'au moins 1 mm.

5. Indiquer si ce tamis peut être utilisé pour le recyclage de cette poudre.

EXERCICE B : UN BON LIQUIDE DE REFROIDISSEMENT

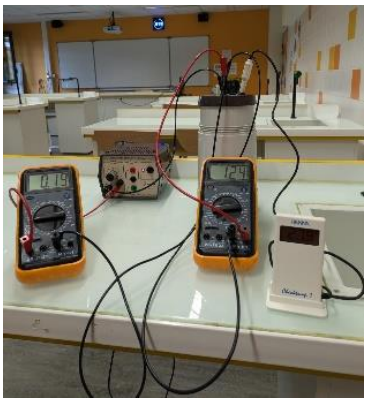
Pour refroidir un moteur de voiture thermique, on utilise un liquide de refroidissement composé d'un mélange d'eau et d'éthylène glycol (éthane-1,2-diol), ce dernier jouant le rôle d'antigel.

Dans cet exercice, on justifiera le choix d'un mélange commercial eau – éthylène glycol (respectivement 40 % - 60 % en volume) à l'aide de ses propriétés thermiques.

Dans un premier temps, il est nécessaire de valider un protocole de mesure de la capacité thermique massique d'un liquide.

1re partie : validation du protocole de mesure.

On met en œuvre le protocole du document 2 avec de l'eau afin de valider la méthode de mesure de la capacité thermique massique d'un liquide.



Document 1 : Montage

Protocole :

- placer une masse m de liquide dans un calorimètre ;
- introduire la résistance chauffante dans le liquide ;
- introduire un thermomètre dans le liquide et mesurer la température initiale T_i du système ;
- alimenter la résistance chauffante en déclenchant le chronomètre à l'instant t = 0 s ;
- relever la température T du liquide toutes les minutes tout en veillant à ce que l'intensité du courant I reste constante.

Document 2 : Protocole pour déterminer la capacité thermique massique d'un liquide

Données :

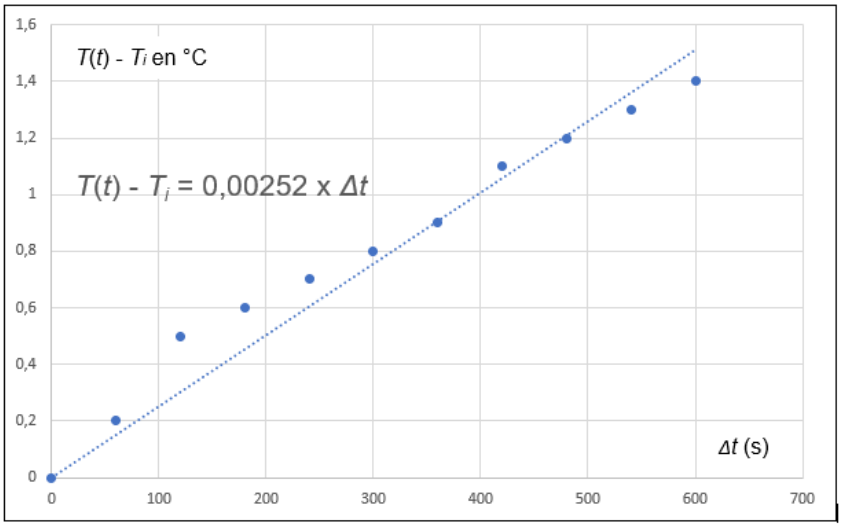
- L'énergie électrique $W_{élec}$(J) transférée par une résistance chauffante pendant la durée Δt(s) : $W_{élec} = EI\Delta t$, avec E la tension en Volt entre les bornes du récepteur et I l'intensité du courant en Ampère qui le traverse ;
- On rappelle l'expression de la variation de l'énergie interne U d'un système incompressible de masse m :

$$\Delta U = mc\Delta T \ ;$$

- m = (550 ± 1) g de liquide ;
- E = (5,73 ± 0,01) V ;
- I = (0,97 ± 0,01) A ;
- La valeur de référence pour la capacité thermique massique de l'eau est :

$$c_{ref} = 4\ 181\ \text{J}\cdot°\text{C}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}.$$

- Le graphique ci-dessous représente les résultats expérimentaux :



Document 3 : Variation de la température en fonction du temps pour un liquide constitué d'eau pure

Hypothèses :

- La capacité thermique du calorimètre est négligée devant la capacité thermique des liquides introduits.
- On néglige tout phénomène de rayonnement.
- Les échanges thermiques n'ont lieu qu'entre le liquide et la résistance chauffante.
- La résistance convertit intégralement l'énergie électrique $W_{élec}$ qu'elle reçoit en transfert thermique Q, tel que $W_{élec} = Q$.
- Le liquide est un fluide incompressible.

1. Nommer les deux modes de transfert thermiques intervenant dans le calorimètre.

2. Déduire du premier principe de la thermodynamique appliqué à ce liquide la relation :

$$mc_{eau}(T(t) - T_i) = EI\Delta t$$

3. Montrer que la courbe du document 3 est en accord approximatif avec l'expression :

$$T(t) - T_i = k_{eau}\Delta t$$

4. Exprimer k_{eau} en fonction de m, c_{eau}, E et I à l'aide des questions précédentes.

Données :

- La modélisation indiquée sur la courbe du document 3 fournit la valeur de la constante k_{eau}. Son incertitude-type associée est : u(k_{eau}) = 1,8 x 10^{-4} SI.

- L'incertitude sur la capacité thermique massique c_{eau} se calcule avec :

$$u(c_{eau}) = c_{eau}\sqrt{\left(\frac{u(k_{eau})}{k_{eau}}\right)^2 + \left(\frac{u(E)}{E}\right)^2 + \left(\frac{u(I)}{I}\right)^2}$$

- Pour comparer le résultat d'une mesure m_{mes} à une valeur de référence m_{ref} on utilise le quotient $\frac{|m_{mes} - m_{ref}|}{u(m)}$, avec $u(m)$ incertitude-type associée au résultat. Une mesure est validée quand ce quotient est inférieur à 2.

5. Calculer la valeur expérimentale de c_{eau} et son incertitude-type associée. Conclure quant à la validité du protocole de mesure.

2e partie : justification du choix du liquide de refroidissement.

Le liquide de refroidissement doit demeurer liquide aux températures extérieures d'utilisation. Il doit également absorber l'énergie thermique du moteur et la transférer au radiateur pour être évacuée vers l'extérieur. Il est ainsi d'autant plus efficace que sa capacité à stocker de l'énergie thermique lors d'une certaine variation de température est importante.

En utilisant le protocole précédent, on a déterminé la capacité thermique massique du mélange. Le résultat est présenté dans le tableau ci-dessous ainsi que les données relatives à l'eau et à l'éthylène glycol.

	Éthylène glycol pur	Mélange eau 40 % - éthylène glycol 60 %	Eau pure
Capacité thermique massique ($J \cdot °C^{-1} \cdot kg^{-1}$)	2400	3100	4180
Température de solidification (°C)	-13	-37	0

6. Discuter l'intérêt d'utiliser le mélange eau-éthylène glycol par rapport aux deux liquides purs pour refroidir un moteur.

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.