

SESSION 2012

**CAPET
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP**

**Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR
Option : INFORMATION ET NUMÉRIQUE**

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ
OU D'UNE ORGANISATION**

Durée : 5 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

Tapis de course DOMYOS



Photo 1 : tapis de course Domyos

Ce dossier comprend :

- le sujet ;
- le dossier Figures (Figure 1 à Figure 13) ;
- le dossier Document Ressource (Document Ressource 1 à Document Ressource 5) ;
- le dossier Document Réponse (Document Réponse 1 à Document Réponse 6).

Présentation de la société

La société Domyos, implantée dans le Nord de la France (périphérie de Lille – Nord 59) est spécialisée dans le matériel de sport de remise en forme (Fitness, Gymnastique...).

Elle fonctionne comme un laboratoire, où est immergé au quotidien l'ensemble des collaborateurs de la marque, au plus près de leurs clients et utilisateurs. Cette proximité sur le même site, permet aux ingénieurs, designers et chefs de produits, d'imaginer et de concevoir les produits les mieux adaptés aux besoins des utilisateurs les plus exigeants.

Une de ses missions principales est d'étudier les mouvements du corps humain pour trouver des solutions qui vont améliorer le confort, la sécurité ou encore l'ergonomie des équipements lors de la pratique du sport.

Présentation de l'objet technique à étudier

Créé par cette entreprise, ce tapis de course permet de marcher, courir sur place et à son rythme, tout en gardant les mêmes sensations que lors d'une activité pratiquée en extérieur sans les contraintes météorologiques, de jour comme de nuit, et sur une durée choisie.

Cet appareil permet d'améliorer le système cardio-respiratoire.

Il est conçu pour la pratique régulière du cardio-training, permettant à son utilisateur de courir jusqu'à 18 km/h et sur une pente pouvant atteindre 10 %.

Ce tapis propose 9 programmes automatiques pré-réglés (4 programmes vitesse P1 à P4, quatre programmes inclinaison P5 à P8 et un programme P9 sur 5 km), ainsi qu'un programme lié à la fréquence cardiaque et 1 programme personnel.

À l'exception des programmes personnel et cardiaque, il y a possibilité de sélectionner trois différents niveaux de difficulté par programme. Cette possibilité ne sera pas traitée dans le sujet, l'intégralité des calculs sera réalisée pour une même sélection de niveau.

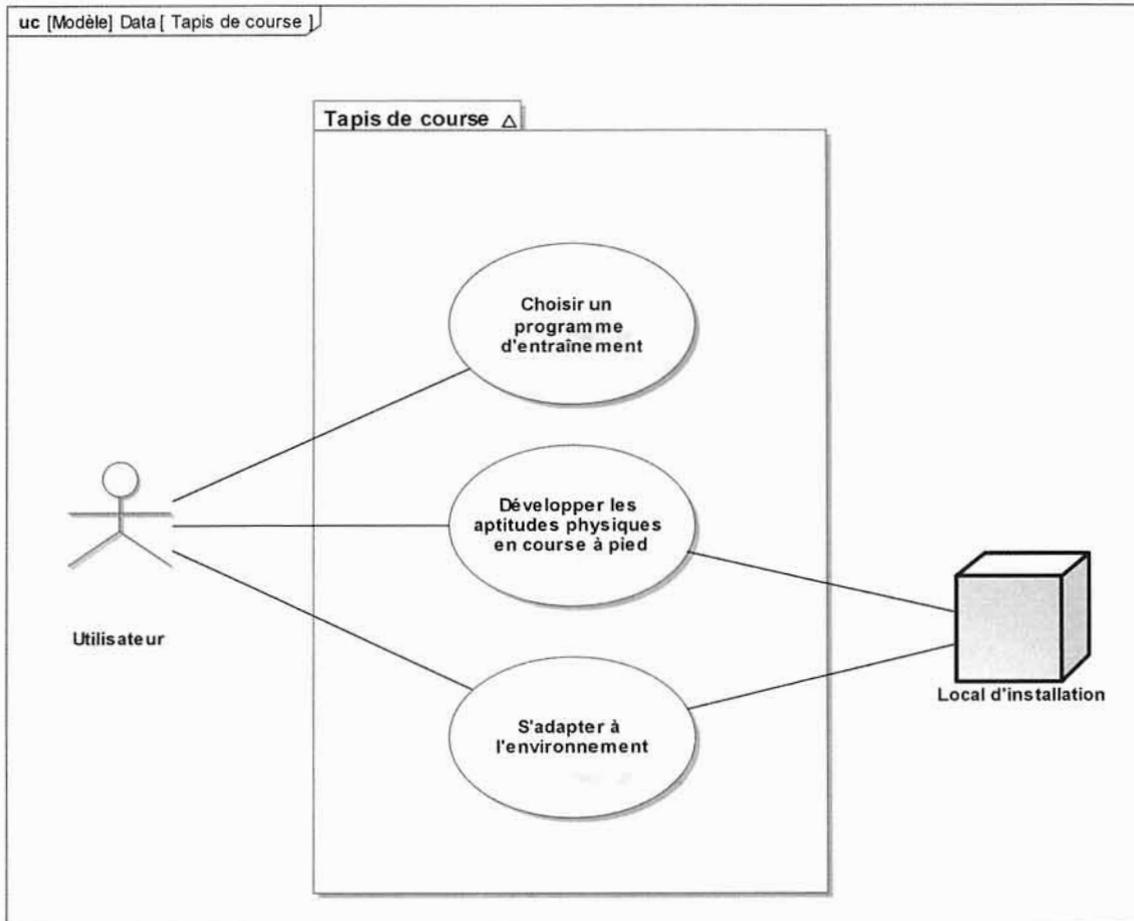
Il y a possibilité également d'accéder à la vitesse et/ou à l'inclinaison prédéfinies en appuyant sur les boutons notés « speed » et « incline ».

Photo 2 : console du tapis de course



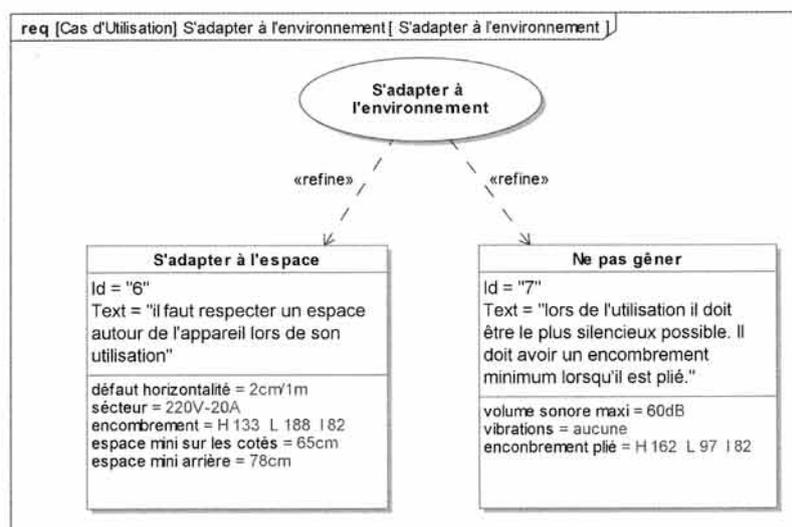
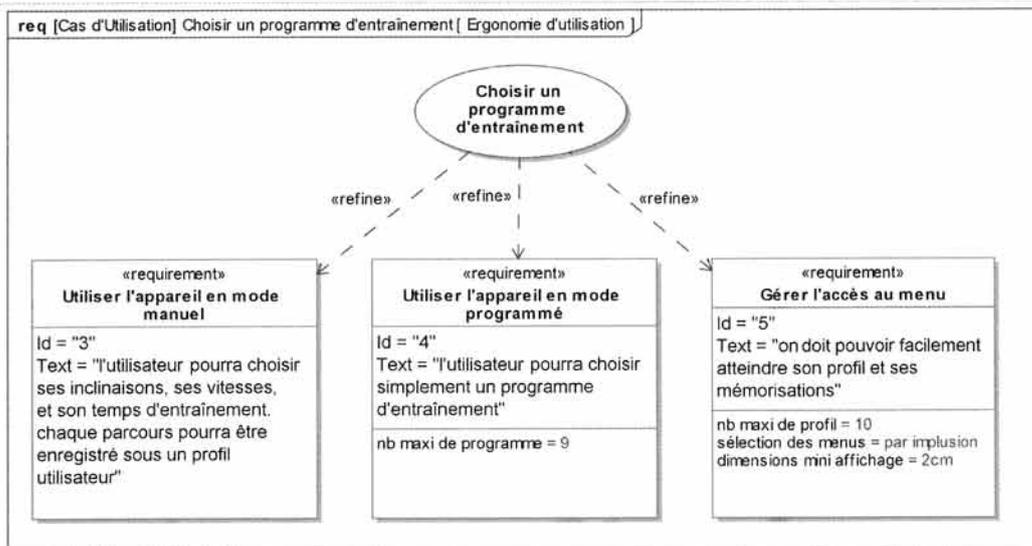
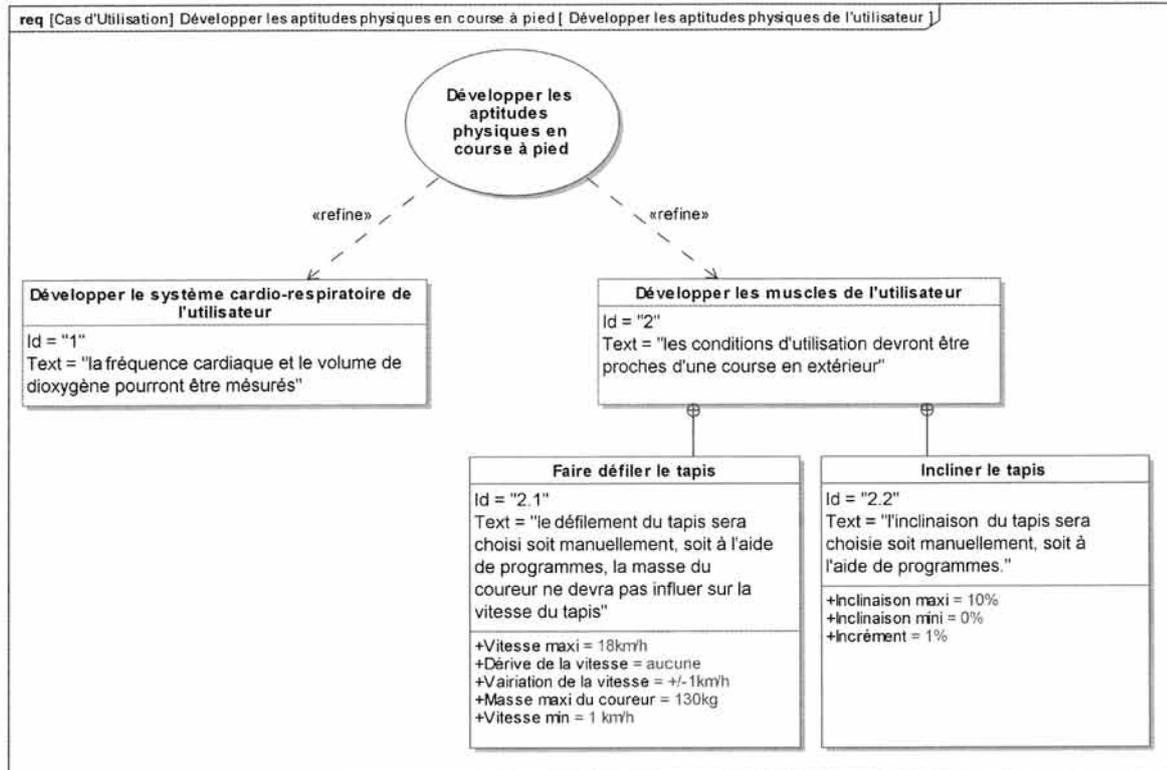
Description, cahier des charges partiel du tapis de course

Le besoin exprimé par l'utilisateur éventuel de ce tapis de course peut être représenté graphiquement à l'aide du diagramme des cas d'utilisation de la modélisation SysML suivant :

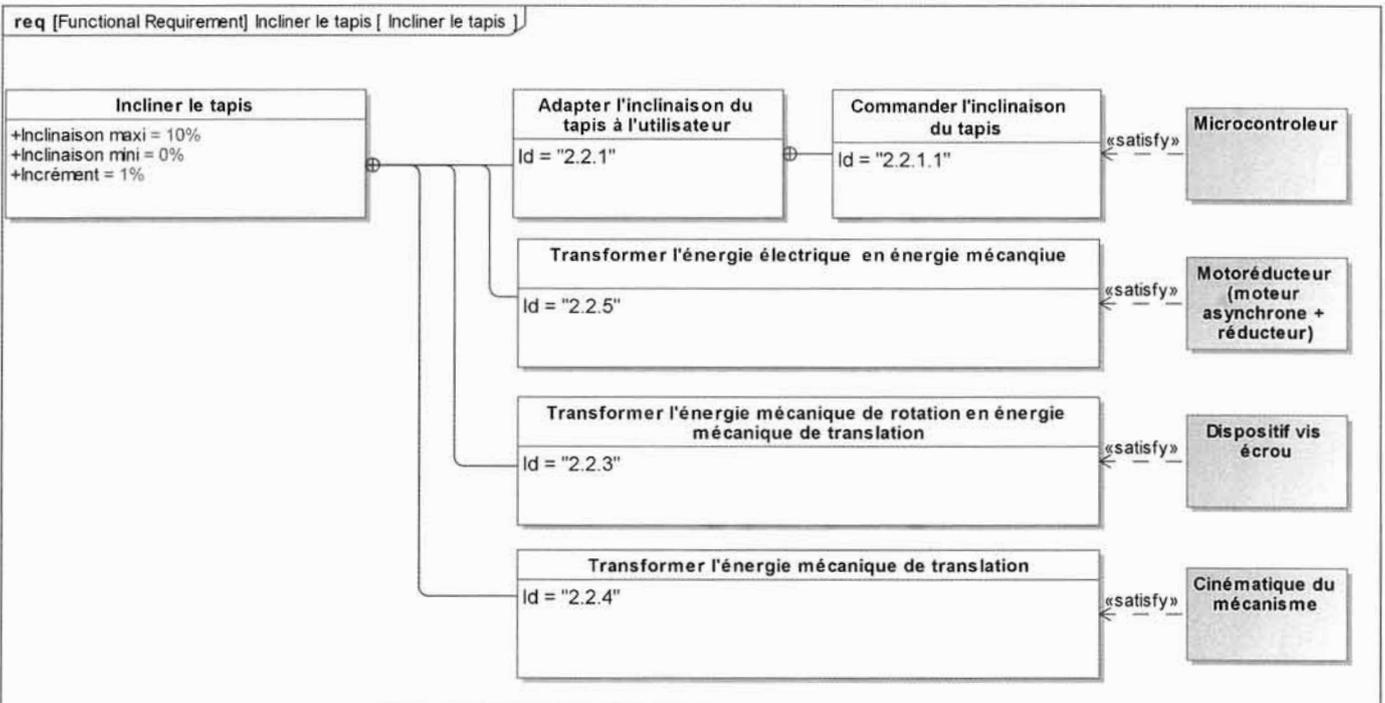
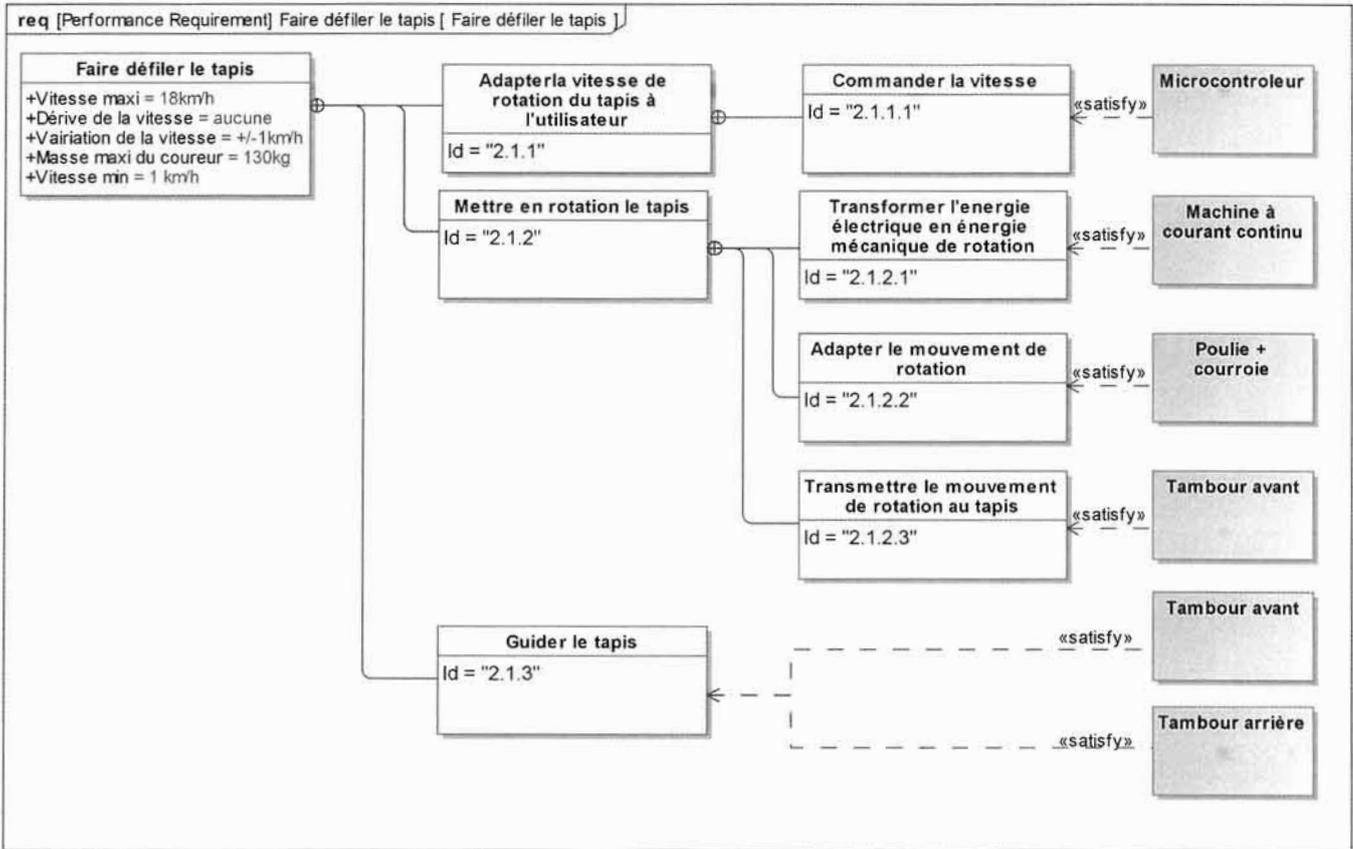


Les diagrammes d'exigences présentés ci-après permettent de décrire, avec deux niveaux de détail supérieurs, les attentes fonctionnelles reposant sur ce système. Ils contiennent entre autres des informations numériques utiles pour les études menées dans ce sujet.

Parmi les différentes phases de vie que traverse le tapis de course (de conception, d'expédition, de stockage, de fabrication, de distribution, de maintenance, de recyclage...), c'est la phase de vie d'utilisation qui supportera dans le présent sujet l'étude et la validation d'une partie de ses performances.



Puis au niveau supérieur :



Notations et définitions

Grandeurs cinématiques

$\omega_{\text{rotor/stator}}$ fréquence de rotation du rotor de la machine CC par rapport à son stator (et au châssis), autour de \vec{Z}_0 ;

$\omega_{\text{tambour/châssis}}$ fréquence de rotation des tambours par rapport au châssis, autour de \vec{Z}_0 ;

v_y vitesse suivant \vec{Y}_1 du centre de gravité du coureur ;

a_y accélération suivant \vec{Y}_1 du centre de gravité du coureur.

Actions mécaniques

C_m moment de l'action mécanique du stator sur le rotor de la machine CC suivant \vec{Z}_0 ;

C_p moment de l'action mécanique de la courroie sur la poulie m suivant \vec{Z}_0 ;

C_f moment de l'action mécanique tel que $\vec{C}_f = -C_f \cdot \vec{Z}_0$ sur le tambour avant, résultant de toute la résistance passive des éléments en mouvement, hormis ceux créés par la présence du coureur sur le tambour. Constant quelle que soit la situation d'utilisation du banc.

C_c moment de l'action mécanique sur le tambour avant, résultant de la présence du coureur sur le tambour avant tel que $\vec{C}_c = -C_c \cdot \vec{Z}_0$ (action transmise par le tapis);

Dimensions

R_{tambour} rayon commun des tambours avant et arrière;

$R_{\text{poulie m}}$ rayon de la poulie m ;

$R_{\text{poulie t}}$ rayon de la poulie t.

Grandeurs inertielles

J_{rotor} moment d'inertie du rotor du moteur et de la poulie m autour de leur axe de révolution ;

J_{tambour} moment d'inertie des tambours autour de leurs axes de révolution. On supposera le moment d'inertie de la poulie t négligeable devant J_{tambour} .

Autres grandeurs

f coefficient de frottement entre le tapis et le pont ;

$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ accélération de la pesanteur.

Caractéristiques de la machine CC

U_n tension nominale ;

I_n courant nominal ;

P_n puissance nominale ;

r résistance de l'induit ;

L inductance ;

N_n fréquence de rotation nominale.

K_e constante de f.é.m.l

K_T constante de couple.

La problématique du sujet est centrée sur la capacité du banc à simuler un entraînement sportif de course habituellement pratiqué en extérieur (le terme « course » est ici utilisé dans le sens « action de courir »). Cette capacité sera abordée et validée sous deux aspects, différenciés par le choix du type d'exercice que souhaite le coureur. Aussi, la première partie du sujet **validera la capacité du banc à simuler une course sur plat avec une consigne de vitesse** formulée par le coureur, alors que la deuxième **validera cette capacité à simuler un entraînement dans lequel le coureur souhaite réaliser son effort à une fréquence cardiaque précise, sur plat ou en pente** (Figure 2 : tapis horizontal et Figure 1 : tapis incliné).

Le candidat utilisera les notations proposées par le sujet, recensées dans la fiche « Notations et définitions » pages 6 et 7.

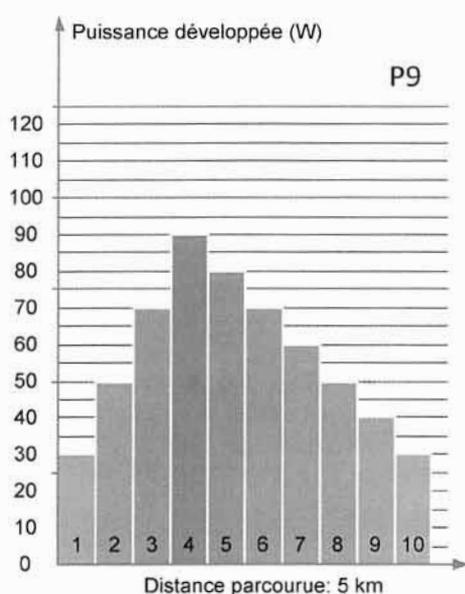
Tout au long du sujet, il sera considéré que le coureur ne se déplace pas dans la direction $\overline{X_1}$; il a donc la « même vitesse » que le tapis (Figure 1 : tapis incliné).

Étude préliminaire : Les programmes préréglés

Le banc d'entraînement propose plusieurs cycles préprogrammés. Ils permettent au coureur amateur de choisir le type d'effort qu'il souhaite réaliser. Ces cycles sont décrits graphiquement par les histogrammes visibles sur la Photo 2 et Figure 3 : cycles préprogrammés.

Parmi eux, le programme P9 est calibré pour permettre au coureur de réaliser un parcours fictif de 5 km suivant une courbe d'intensité d'effort déterminée.

Schéma 1



Description du cycle P9

Cycle d'entraînement classique d'un coureur amateur

Distance totale parcourue: 5 km.

10 plages de puissance de durées identiques.

Plages 1, 2 et 3 : échauffement physiologique en 3 étapes de dépense énergétique progressive.

Plage 4 : plage de dépense énergétique maximale atteinte (90W).

Plages 5, 6, 7, 8, 9 et 10 : diminution lente et régulière de la dépense énergétique.

Dans cette première situation, la course simulée est sur sol plat. Nous supposerons que, dans cette situation (pente nulle), la puissance développée par le coureur est proportionnelle à sa vitesse de course (pour un coureur particulier, sans effet de fatigue).

Le coureur particulier est défini par sa masse $M = 80 \text{ kg}$.

Objectif : valider la capacité du banc à réaliser les cycles préprogrammés P1, P2, P3 et P4.

Pour le programme P9 :

Question 1 : exprimer la distance parcourue au cours de la plage 1 en fonction de la durée totale du parcours T_c et de la vitesse $V_{C_{\max}}$ atteinte au cours de ce programme (page 4).

Question 2 : en déduire la relation entre la vitesse maximale $V_{C_{\max}}$ du coureur et la durée T_c .

Question 3 : calculer la vitesse $V_{C_{\max}}$ atteinte si la durée totale du cycle T_c est égale à 40 minutes ($T_c = 40 \text{ min}$). Faire l'application numérique.

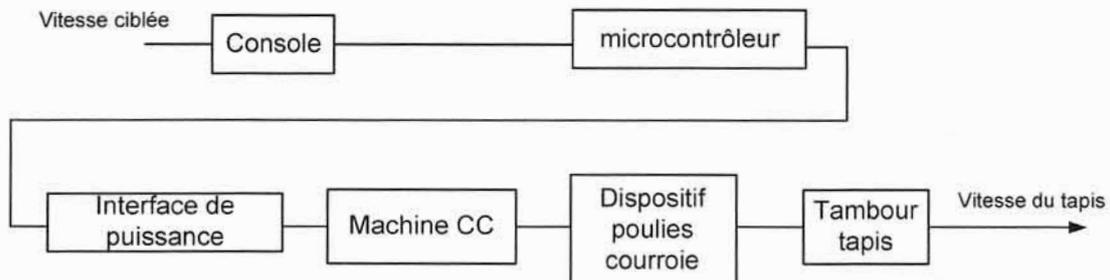
Question 4 : sur cette base de calcul, le tapis est-il en mesure de réaliser les cycles P1, P2, P3 et P4 sur plat ? Le candidat utilisera le descriptif des cycles présent *Figure 3 : cycles préprogrammés* et fondera sa conclusion sur la vitesse maximale annoncée par le constructeur.

Partie 1 : simulation de course sur plat

Objectif de la partie 1 : valider la capacité du banc à simuler une course sur plat avec une consigne de vitesse.

Dans cette situation, le tapis est horizontal (*Figure 2 : tapis horizontal*) et seule la possibilité de modifier la vitesse du tapis est considérée.

Le système, composé du tapis, de son dispositif de mise en mouvement et du coureur, peut alors être représenté par le graphe suivant :



La console génère un signal électrique en fonction de la vitesse ciblée, de manière à commander la machine à courant continu (machine CC) qui entraîne le tapis.

Étude de l'entraînement en translation du tapis

Objectif : définir les éléments nominaux permettant de valider les performances de la chaîne d'énergie utilisée.

Le stator de la machine CC est solidaire du châssis du banc d'entraînement et sur son rotor est fixée une poulie (poulie m) qui entraîne par l'intermédiaire d'une courroie une deuxième poulie (poulie t) solidaire du tambour avant qui entraîne le tapis.

Pour cette étude, on formulera les hypothèses suivantes :

- il n'y a aucun glissement entre la courroie et la poulie m ;
- il n'y a aucun glissement entre la courroie et la poulie t ;
- le rendement de la transmission poulies - courroie est égal à 1 ;
- il n'y a aucun glissement entre le tapis et les tambours avant et arrière ;
- l'épaisseur, la masse et l'inertie du tapis seront négligées.

La validation proposée est celle réalisée à l'optimum de consommation : devant les multiples possibilités d'utilisation de ce banc (niveau et gabarit de l'utilisateur, type d'effort, fréquence d'utilisation, etc.), le concepteur, non seulement dimensionne les utilisations extrêmes mais aussi dimensionne le système de manière à ce qu'il consomme le moins d'énergie dans le cas le plus probable d'utilisation. C'est dans cette situation d'utilisation – optimum énergétique – que le candidat validera les choix réalisés. Elle est caractérisée par :

- la vitesse de course : $V_c = 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- la masse du coureur : $M = 80 \text{ kg}$;

Dans cette situation, le concepteur cherche dans un premier temps à faire en sorte que la machine CC (Machine CC spéciale : 190 V – 1,6 kW à aimants permanents) fonctionne dans les conditions nominales d'utilisation définies par :

- $P_n = 1,03 \text{ kW}$; $N_n = 4000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$;
- $r = 1,6 \Omega$; $L = 0,4 \text{ mH}$;
- $K_T = 0,30 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$.

L'induit d'une machine CC alimenté se comporte comme une résistance r en série avec une inductance L et une force électromotrice e parcourus par un courant i .

Les tambours utilisés sont tels que $R_{\text{tambour}} = 30 \text{ mm}$.

Les notations utilisées seront celles du paragraphe ci-dessus ainsi que celles du chapitre Notations et définitions.

Question 5 : déterminer le rapport de réduction r_ω qui permet, dans les conditions de l'optimum énergétique, de faire fonctionner le moteur dans ses conditions nominales :

$$r_\omega = \frac{\omega_{\text{tambour/châssis}}}{\omega_{\text{rotor/stator}}}$$

Faire l'application numérique.

Le constructeur a choisi : $R_{\text{poulie m}} = 14 \text{ mm}$ et $R_{\text{poulie t}} = 45 \text{ mm}$.

Question 6 : donner l'expression de la force électromotrice e de la machine CC en fonction du flux du champ magnétique créé par l'inducteur, de la fréquence de rotation $\omega_{\text{rotor/stator}}$ et de la constante K_e (constante qui dépend des caractéristiques de la conception du moteur).

Mettre cette expression sous la forme $e = K_e \cdot \omega_{\text{rotor/stator}}$.

Question 7 : exprimer la tension d'alimentation u de la machine CC en fonction de e et du courant i qui la parcourt en régime transitoire.

Que devient cette relation en régime permanent ? Justifier la réponse.

Question 8 : démontrer qu'agir sur la tension u permet de faire varier la fréquence de rotation de la machine CC si la charge est constante.

Une mesure préalable, dans les conditions nominales $P_n = 1,4 \text{ ch}$ et $N_n = 4000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ et en l'absence de coureur, donne une tension aux bornes de la machine CC de $U_{\text{mes}} = 140 \text{ V}$. Ces conditions qualifieront pour la suite le point de fonctionnement dit « nominal ».

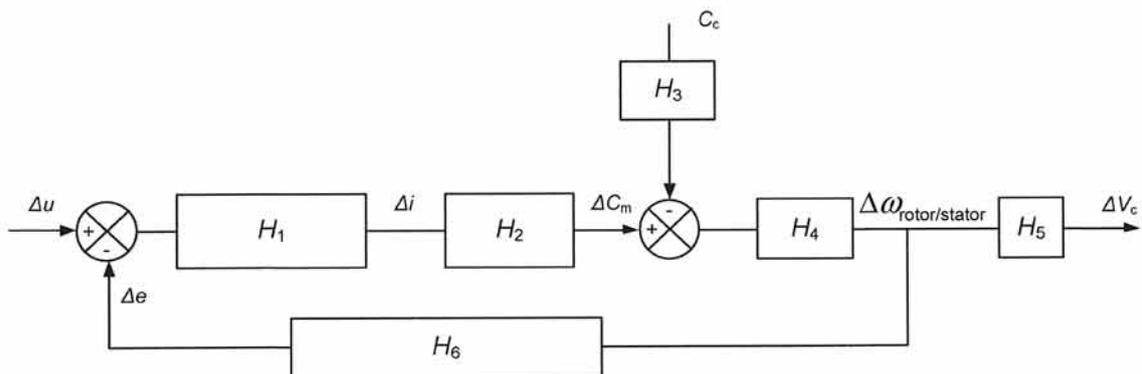
Maintenant on s'intéresse à un banc en service c'est-à-dire avec un coureur présent.

Question 9 : déterminer l'expression de K_e en fonction des caractéristiques nominales. Faire l'application numérique.

Question 10 : en appliquant le Principe Fondamental de la Dynamique à l'ensemble {rotor de la machine CC + poulie m}, en moment autour de (C, \bar{Z}_0) , écrire l'équation liant C_m , C_p et les paramètres dimensionnels, cinématiques et d'inertie utiles.

Question 11 : en appliquant le Principe Fondamental de la Dynamique à l'ensemble {tambour avant + poulie t}, en moment autour de (B, \bar{Z}_0) , et grâce à l'équation précédente, écrire la relation entre C_m , C_c , C_f , r_ω et les paramètres dimensionnels, cinématiques et d'inertie utiles.

Question 12 : le schéma-bloc suivant décrit le comportement dynamique du banc aux environs du point de fonctionnement nominal. Réaliser une synthèse des questions précédentes. Pour ce faire, le candidat complètera ce schéma-bloc en donnant les relations temporelles qui définissent les blocs H_1 , H_2 , H_3 , H_4 , H_5 et H_6 (on négligera l'inductance L du moteur).



Remarque : toutes les variables ΔX définissent la différence entre l'état de la variable X à un instant t et l'état de cette variable dans les conditions définies comme nominales.

Exemple : la variable Δu est définie telle que $\Delta u = u - U_{mes}$.

Question 13 : déduire des questions précédentes les deux éléments nominaux C_f et I_n , couple et courant correspondant à la situation nominale. Faire l'application numérique.

Le couple C_c est susceptible de modifier la fréquence de rotation de la machine CC. Il est donc utile de le modéliser pour en déterminer l'influence. Les trois raisons de l'existence de C_c ont été identifiées (Figure 4 : description d'une foulée):

- la présence du frottement du pont sous le tapis ;
- la présence d'une action d'opposition qui suit l'impact du pied du coureur sur le tapis ;
- la présence d'une action de poussée du coureur sur le tapis.

Une simulation de l'association machine CC et tambour tapis, qui inclut la modélisation de C_c , permet d'obtenir, en régime permanent, la courbe donnée *Figure 5 : réponse 1 à la simulation (vitesse)*. Cette simulation est réalisée avec une consigne $\Delta u = 0$.

Question 14 : grâce à ce tracé, conclure sur les exigences qui valident la capacité de la chaîne d'énergie du banc à simuler une course d'entraînement dans les conditions dites « nominales ».

La *Figure 6 : réponse 2 à la simulation (vitesse)* et la *Figure 7 : réponse à la simulation (courant)* donnent quatre courbes de ΔV_c et ΔI pour deux masses du coureur ($M = 80 \text{ kg}$ et $M = 130 \text{ kg}$) et avec deux consignes Δu ($\Delta u = 0$ et $\Delta u = 50 \text{ V}$).

Question 15 : quels sont les critères du cahier des charges que ces courbes issues de la simulation permettent de valider ? Conclure sur la validité des ces critères.

Étude de la consigne de la machine CC

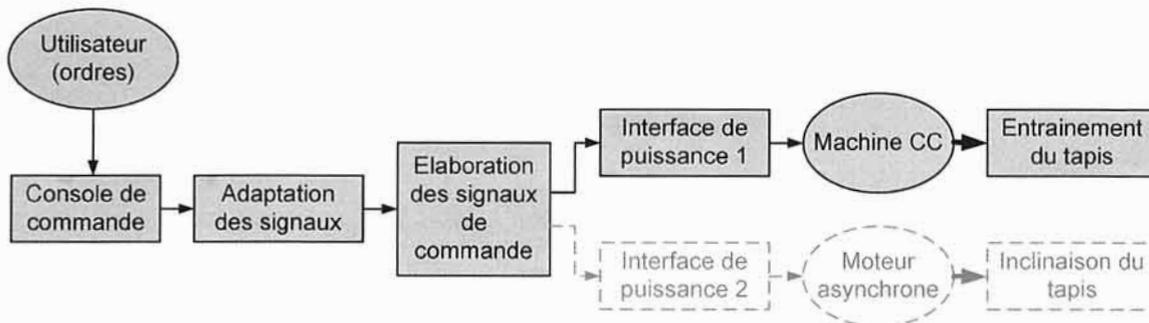


Schéma 2

Objectif : valider l'élaboration de la consigne qui commande la machine CC par l'intermédiaire de l'interface de puissance 1.

Les récentes évolutions dans la gamme des tapis de course proposée par la société Domyos (nombre de modèles différents, étendue de la gamme de la version premier prix à la version très haut de gamme) a conduit le concepteur à s'orienter vers une solution de réglage de la vitesse de course par génération d'un signal PWM grâce à un microcontrôleur.

Cette structure présente de nombreux avantages :

- solution commune à tous les modèles de la gamme ;
- solution très flexible (modification par programmation) ;
- un réglage précis de la fréquence de rotation de la machine CC ;
- une simplicité de câblage ;

- la commande de plusieurs paramètres (vitesse, affichage de la fréquence cardiaque, inclinaison du tapis de course...) en fonction de la configuration de ses registres.

Le fonctionnement du microcontrôleur PIC16F87X en mode PWM est donné sur le *Document Ressource 1 : microcontrôleur*. La période est obtenue par comparaison sur 8 bits du timer2 et du registre de période PR2, rapport cyclique par comparaison du timer2 avec le registre CCPRxL. La résolution sur le rapport cyclique peut être de 8 à 10 bits, car 2 bits supplémentaires du registre CCPxCON permettent de réaliser une comparaison sur 10 bits.

Ce mode PWM utilise le timer2 ainsi que les registres CCPRxL et CCPxCON ($x = 1$ ou 2 selon la sortie considérée).

Remarques : des registres CCPRxH sont utilisés (esclave de CCPRxL) mais ne sont pas accessibles par l'utilisateur.

Un signal PWM à 20 kHz d'un rapport cyclique proche de 73 % correspondant à une vitesse de course de $V_c = 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ est souhaité.

Question 16 : sachant que la fréquence du quartz est de 8 MHz et que nous souhaitons une pré-division d'horloge $K_H = 1$, donner l'expression de la période T_{osc} du signal d'horloge.

Réaliser l'application numérique.

À l'aide du *Document Ressource 1 : microcontrôleur*, répondre aux quatre questions ci-dessous sur le *Document Réponse 1 : codage des registres*

Question 17 : configurer le registre T2CON.

Exprimer sa valeur en hexadécimal.

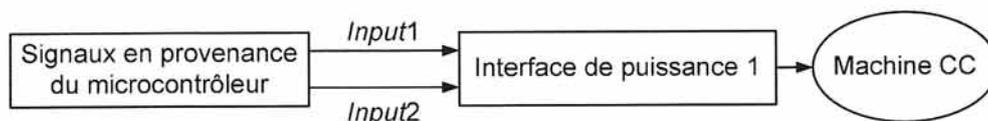
Question 18 : déterminer la valeur du registre PR2 en binaire.

En déduire une solution si la valeur trouvée ne tient pas dans un format 8 bits.

Question 19 : déterminer la valeur du registre de comparaison (obtenu par la concaténation de CCPR1L et de CCP1CON) en décimal puis en binaire sur 10 bits.

Question 20 : configurer les registres CCPR1L et CCP1CON.

Cependant, le microcontrôleur délivre des signaux qui ne sont pas capables de commander les moteurs, c'est pourquoi nous utilisons l'interface de puissance 1 qui réalise cette fonction.

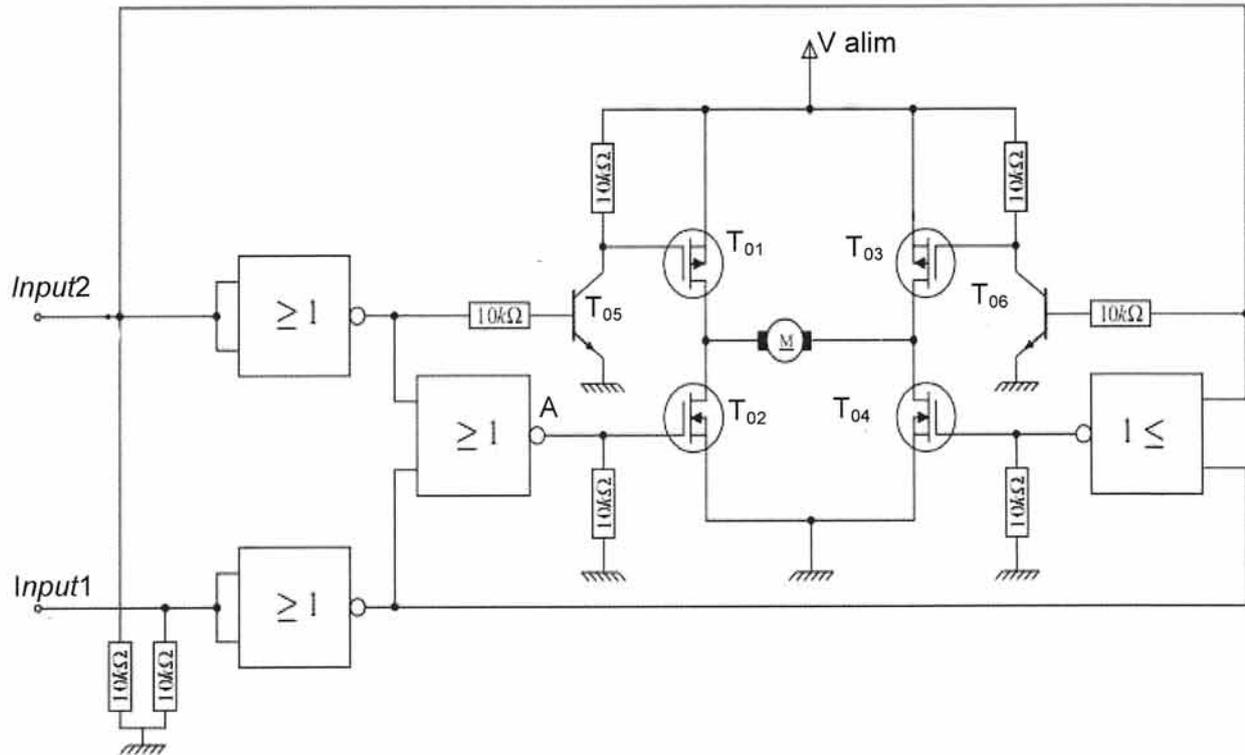


La machine CC est alimentée par un pont en H commandé par deux signaux en provenance du microcontrôleur.

Les transistors MOSFET de puissance sont pilotés par les transistors bipolaires T_{05} et T_{06} qui fonctionnent en régime de commutation.

La structure électronique de cette interface de puissance 1 est donnée Schéma 3.

Schéma 3



Question 21 : compléter le tableau de fonctionnement du pont en H sur le *Document Réponse 2 : tableau de fonctionnement du pont en H.*

Déduire du tableau les fonctions de *Input1* et *Input2* qui commandent l'interface de puissance 1.

Ainsi l'interface de puissance 1 entre la partie commande et la partie opérative est commandée en entrée par une tension faible et commute en sortie une tension élevée adaptée au fonctionnement de la machine CC.

Partie 2 : simulation de course avec fréquence cardiaque cible

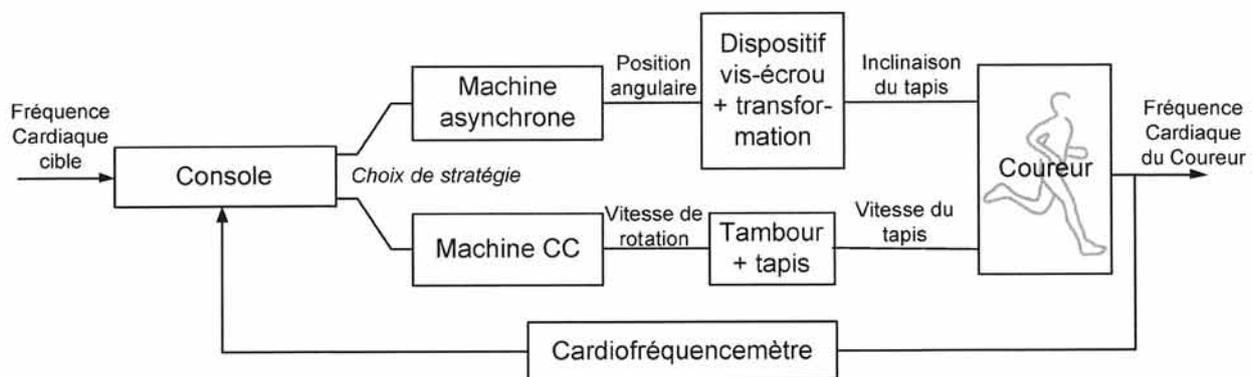
Objectif de la partie 2 : valider la capacité du banc à proposer un entraînement simulant une course en montée, avec une consigne de fréquence cardiaque.

Les coureurs amateurs, plutôt que de courir à vitesse constante, préfèrent courir à un niveau d'effort choisi, caractérisé par la fréquence cardiaque. Cette fréquence cardiaque cible est calculée par pourcentage d'une fréquence cardiaque maximale que chaque coureur est capable de déterminer en pratiquant des essais soumis à un protocole précis.

Ainsi, dans le mode cardio training, ce n'est pas le coureur qui choisit la vitesse du tapis par l'intermédiaire de la console (consigne de vitesse), mais c'est la console elle-même qui élabore une consigne en fonction de la fréquence cardiaque choisie par le coureur.

Le banc d'entraînement dispose de deux moyens d'action pour faire varier la fréquence cardiaque du coureur : modifier la vitesse de son tapis ou modifier son inclinaison (*Figure 1 : tapis incliné*). Le banc réalise un choix, en fonction des préférences du coureur exprimées (course sur plat, pentes, parcours préenregistré, etc.)

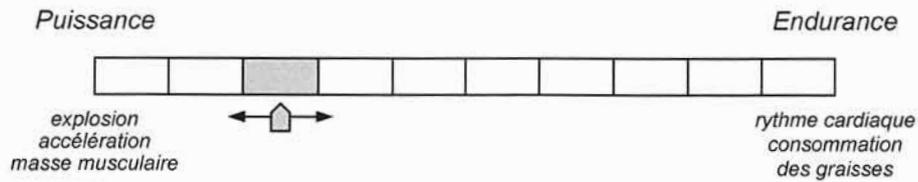
Le système comprenant le banc et le coureur peut alors être représenté de la manière suivante :



L'utilisateur indique à la console une fréquence cardiaque (cible) à laquelle il souhaite réaliser son entraînement. Le banc mesure la fréquence cardiaque du coureur et ajuste sa vitesse et son inclinaison pour atteindre la consigne formulée par le coureur.

Puisque le banc dispose de deux moyens pour modifier la fréquence cardiaque du coureur (vitesse et pente), la console élabore son choix d'action à partir d'un indicateur, renseigné par le coureur, de manière à privilégier la pente ou la vitesse. Comme ces choix dépendent de la volonté et du comportement de chaque utilisateur, la console permet de créer et de mémoriser des profils.

Choix de stratégie



Une fois le profil défini, le coureur choisit pour chaque séance d'entraînement la fréquence cardiaque à laquelle il souhaite évoluer.

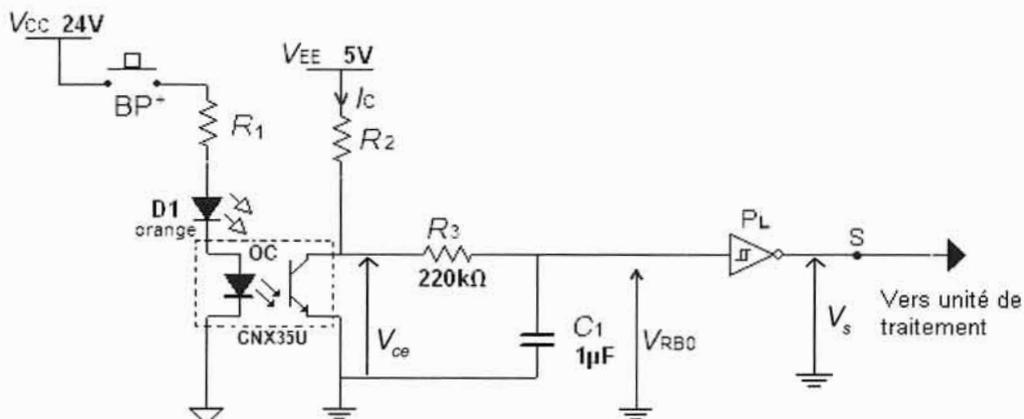
Traitement de la valeur de fréquence cardiaque cible

Objectif : valider la capacité du banc à transformer la consigne de l'utilisateur en une information exploitable par l'unité de traitement.

L'utilisateur indique la fréquence cardiaque souhaitée sur la console de commande par l'intermédiaire de boutons poussoirs qui fournissent typiquement une tension de 24 V. Les incréments positive ou négative sont signalées par une diode électroluminescente orange (*Document Ressource 2 : diode électroluminescente orange*).

Cependant, l'unité de traitement travaille avec une tension de 5 V, nécessaire pour alimenter les circuits intégrés logiques. Afin de la protéger contre une éventuelle liaison directe avec une tension relativement dangereuse pour elle, une isolation galvanique est nécessaire comme l'indique le montage du Schéma 4.

Schéma 4



Le composant P_L admet comme tensions de seuil, $V_L = 1,5 V$ et $V_H = 2,9 V$.

Question 22 : le courant I_d dans la diode émettrice de l'optocoupleur est fixé à $I_d = 20 \text{ mA}$ (température de 25°C). Les valeurs typiques seront relevées dans les documents constructeurs (*Document Ressource 3 : optocoupleur*).

Calculer la valeur de la résistance R_1 pour obtenir ces valeurs puis choisir la valeur de la résistance R_1 dans la série normalisée E24 (*Document Ressource 4 : résistances*).

Question 23 : le coefficient de sursaturation K_{sat} est fixé à $K_{sat} = 2$.

Justifier l'état de fonctionnement de l'optocoupleur avec un tel coefficient. En déduire la valeur du courant collecteur $I_{c,sat}$.

Déterminer la valeur de R_2 et la choisir dans la série E24 (*Document Ressource 4 : résistances*).

Question 24 : compléter les chronogrammes du *Document Réponse 3 : incrémentation de la fréquence cardiaque*.

Question 25 : indiquer le fonctionnement du composant OC (*Schéma 4*) et le rôle de l'agencement structurel des composants R_3 , C_1 et P_L et conclure sur l'obtention d'un signal exploitable par l'unité de traitement.

Étude de la chaîne d'action et de la solution constructive relatives à l'inclinaison du tapis, proposition d'évolution

Objectif : valider la capacité du banc à incliner le tapis, au niveau de sa chaîne d'action et de sa structure

La fonction de l'unité de traitement (*Schéma 4*) est de traduire le signal en sortie de P_L (correspondant aux incrémentations ou décrémentations de 1 % d'inclinaison imposés par l'utilisateur) en une consigne angulaire (nombre de tours) par l'intermédiaire de l'interface de puissance 2 (*Schéma 2*). Cette interface commandera la machine asynchrone de manière à modifier l'angle d'inclinaison du tapis (*Figure 8 : dispositif d'inclinaison du tapis*). Le motoréducteur (machine asynchrone + réducteur) entraîne en rotation la vis du dispositif vis-écrou, modifiant ainsi la distance entre les articulations E et H , et donc l'inclinaison du tapis.

Le concepteur a choisi pour le dispositif vis-écrou :

- un angle d'hélice i de 5° (vis à un seul filet) ;
- un rayon r_{primitif} de 10 mm.

Le motoréducteur utilisé (machine asynchrone + réducteur) pour réaliser une modification d'inclinaison du tapis présente les caractéristiques mécaniques suivantes :

- couple maximal disponible en sortie du motoréducteur : $3 \text{ N}\cdot\text{m}$;
- incrément angulaire minimal de la machine asynchrone : 10° ;
- rapport de réduction du réducteur : $1/25$.

La situation de cette validation (validation de la chaîne d'action relative à l'inclinaison du tapis) est celle de l'entraînement d'un coureur de masse 130 kg.

Question 26 : en utilisant les courbes de la *Figure 9 : rendement du dispositif vis-écrou*, décrire le compromis qui a contraint le concepteur à choisir $i=5^\circ$ comme angle d'hélice.

Question 27 : à l'aide de la courbe de la *Figure 12 : distance EH en fonction de la pente du tapis*, formuler les hypothèses qui permettent de définir un rapport constant entre l'information présente en sortie de P_L et le nombre de tours à commander à la machine asynchrone. Définir ce rapport.

Question 28 : quelle solution pourrait choisir le concepteur pour s'affranchir des hypothèses énoncées ?

Les actions mécaniques permettent de commenter les choix du concepteur du cadre et du pont et de proposer une évolution. Leur étude et celle des déformées du cadre et du pont seront réalisées sur les modèles présentés *Figure 10 : modèles poutre du cadre et du pont*. Le critère mis en avant dans cette démarche est la minimisation des émissions de CO_2 .

L'assemblage du pont sur le cadre est réalisé par quatre couples de cylindres, modélisés par les quatre ressorts (Ressort1, Ressort2, Ressort3 et Ressort4) dont le comportement est considéré comme élastique, de raideur k .

Les modules d'élasticité (E_{Pont} , E_{Cadre}) et les moments quadratiques (I_{Pont} , I_{Cadre}) du pont et du profilé des longerons du cadre permettent de mener l'étude du pont de manière indépendante à celle du cadre (les déplacements de la ligne moyenne du pont sont d'amplitude bien supérieure à ceux de la ligne moyenne des longerons du cadre).

Question 29 : à quel(s) type(s) de sollicitation(s) sont soumis le cadre et le pont ?

Question 30 : expliquer les différentes étapes et les outils utilisés permettant d'obtenir les normes des actions $\|\overline{F_{R1}}\|$, $\|\overline{F_{R2}}\|$, $\|\overline{F_{R3}}\|$ et $\|\overline{F_{R4}}\|$. Il n'est pas demandé de calculer ces normes.

Le pont est constitué d'une planche de bois (que l'on supposera en première approximation homogène et isotrope), reposant sur les 4 couples de cylindres. Le tracé de la déformée de sa ligne moyenne, déduite du calcul précédent est présenté sur la *Figure 11 : déformées du pont et du cadre*.

Question 31 : à partir d'observations sur ces tracés, commenter le comportement des cylindres.

Question 32 : renseigner le tableau du *Document Réponse 4 : influences sur le comportement du pont* afin de préciser l'influence d'une augmentation de la valeur des paramètres sélectionnés sur le comportement du Pont (entourer le symbole choisi).

Question 33 : pour chaque ligne du tableau (influence sur la déformation et influence sur la résistance), indiquer la grandeur la plus influente.

Question 34 : donner trois raisons pour lesquelles le choix d'une planche en bois pour constituer le pont a été préféré à une plaque en aluminium.

Question 35 : commenter les hypothèses qui permettent de modéliser le pont par une poutre.

Question 36 : l'hypothèse formulée précédemment (« les déplacements de la ligne moyenne du pont sont d'amplitude bien supérieure à ceux de la ligne moyenne des longerons du cadre ») est-elle validée ?

Objectif : définir une évolution de la solution choisie pour le cadre en le dimensionnant selon un critère de développement durable.

Afin de permettre une évolution dans la conception du cadre et dans l'objectif de l'optimisation des quantités de CO₂ émises lors des phases de fabrication et de recyclage du cadre, il est choisi de se fixer comme contraintes :

- contrainte 1, la rigidité du cadre doit être au minimum égale à celle du cadre existant (grandeur de comparaison : $y_{\max} = \max(|y|)$ valeur maximale de la déformée) ;
- contrainte 2, les deux longerons qui constituent le cadre seront choisis parmi des profilés pleins, rectangulaires. Leur hauteur (h dans la direction \overline{Y}_1) et la longueur (L_0 dans la direction \overline{X}_1) seront imposées.

Les paramètres à déterminer concernent le matériau à sélectionner parmi ceux proposés *Document Réponse 5 : tableau indicateurs environnementaux* et la largeur (I_a dans la direction \overline{Y}_1) du profilé rectangulaire.

Question 37 : exprimer la quantité de CO₂ émise pour fabriquer et recycler les longerons décrits, en fonction de leur géométrie et des caractéristiques du matériau.

Question 38 : montrer que, dans le cas général de l'étude de la déformée d'une poutre lors d'une sollicitation de flexion, la grandeur $C_d = E \cdot I_{Gz} \cdot y_{\max}$ est indépendante des caractéristiques géométriques et de matériau de la poutre étudiée.

Question 39 : donner l'expression de la largeur I_a qui satisfait aux contraintes 1 et 2 énoncées précédemment.

Question 40 : définir un indice de performance I_p du matériau, dans ce contexte, et dans l'objectif d'une minimisation des émissions de CO₂. Calculer numériquement la valeur de cet indice I_p et compléter le tableau du *Document Réponse 5 : tableau indicateurs environnementaux* pour chaque matériau proposé.

Question 41 : quel matériau présente le meilleur indice ? Au regard d'autres critères de sélection, commenter ce choix éventuel.

Les choix initiaux du constructeur, parmi lesquels $E_{Cadre} = 80 \cdot 10^3 \text{ MPa}$ et $I_{Cadre} = 60 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$ pour chacun des deux longerons, mènent aux courbes de la Figure 11 : déformées du pont et du cadre. La valeur $h = 60 \text{ mm}$ est retenue.

Question 42 : déterminer numériquement la largeur I_a d'une poutre répondant aux contraintes et à ce choix de matériau.

Question 43 : conclure sur cette possibilité d'évolution du cadre.

Affichage de la fréquence cardiaque

Objectif : proposer une solution pour permettre l'affichage de la fréquence cardiaque.

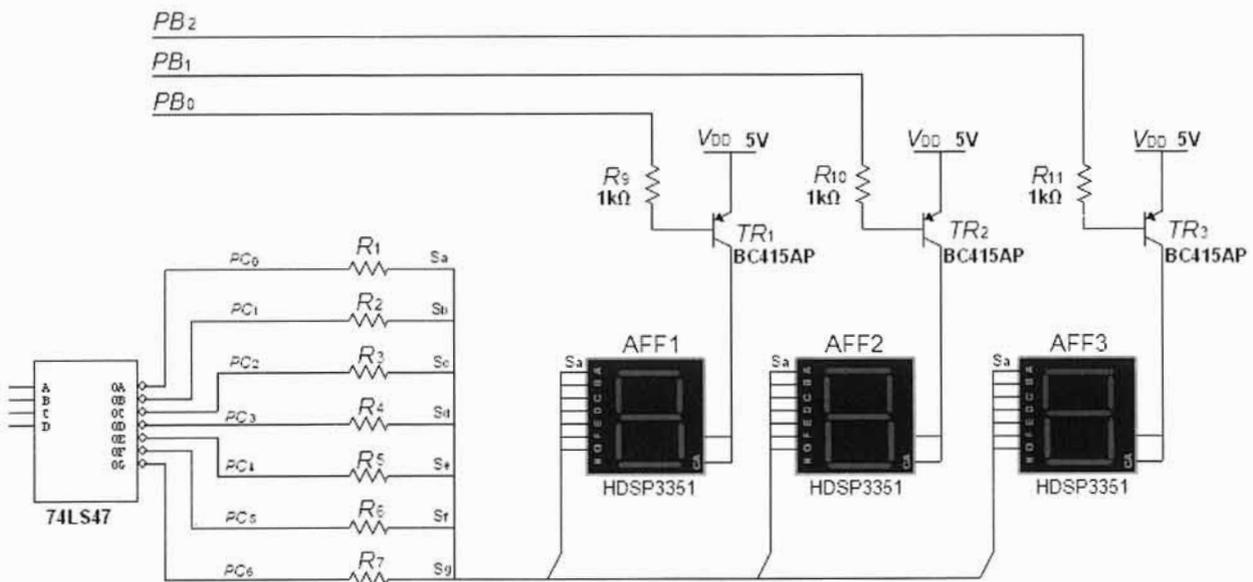
Afin de visualiser sa fréquence cardiaque, l'utilisateur souhaite disposer sur la console de commande du tapis d'un affichage à trois chiffres de sa fréquence cardiaque.

Le choix se porte sur un affichage composé de 3 digits 7 segments à anodes communes (Document Ressource 5 : afficheur).

Le circuit intégré 74LS47 génère les signaux de multiplexage des afficheurs 7 segments.

Le Schéma 5 représente l'ensemble de l'affichage.

Schéma 5



Question 44 : indiquer le principe du multiplexage et l'avantage qu'il procure sur le nombre de broches du microcontrôleur nécessaire à la commande de l'affichage.

Question 45 : à partir du tracé proposé de PB_0 et PB_1 , compléter les chronogrammes du Document Réponse 6 : affichage de la fréquence cardiaque afin d'obtenir l'affichage de la fréquence cardiaque 165 battements/minute.

Les études précédentes permettent de valider une partie des solutions technologiques en comparant leur niveau au cahier des charges ainsi qu'aux données commerciales.

Les questions qui suivent se penchent sur l'interprétation des graphes relatifs aux cycles Incline.

Étude des cycles Inclinaison (Incline) P5 à P8

Objectif : valider la flexibilité du banc dans sa fonction de permettre au sportif de s'entraîner sur une course extérieure « simulée », c'est-à-dire la plus proche possible d'une course sur route.

Plusieurs solutions du constructeur sont validées par la présente analyse structurelle partielle du banc qui, sur la majorité des critères, semble être en mesure de remplir le cahier des charges. Ces éléments vérifient la capacité du banc à imposer une vitesse et une inclinaison, choisies par l'utilisateur.

L'utilisateur choisit le moyen à privilégier (vitesse ou pente) par la console pour atteindre la Fréquence Cardiaque qu'il souhaite.

Les programmes préprogrammés P5 à P8 (voir *Figure 3 : cycles préprogrammés*), permettent, à une vitesse constante, de définir une succession de fréquences cardiaques à atteindre.

L'étude qui suit sera menée pour un profil particulier d'utilisateur. Le comportement de celui-ci est traduit par la *Figure 13 : réseau de courbes de fréquence cardiaque*.

Question 46 : quelle est la fréquence cardiaque du coureur étudié quand il court à 14 km/h sur un tapis à l'horizontal ? Quelle est la fréquence cardiaque maximale qu'il peut atteindre à cette vitesse ?

En comparant les cycles deux à deux (P1 avec P5, P2 avec P6, P3 avec P7 et P4 avec P8), nous constatons que les allures sont les mêmes.

Pour illustrer le raisonnement qui suit, il est choisi d'appuyer la comparaison sur les cycles P3 et P7. P7 décrit l'évolution de la pente imposée au tapis, à vitesse de déroulement du tapis constante.

L'hypothèse formulée en début du sujet « *Nous supposons que, dans cette situation (pente nulle), la puissance développée par le coureur est proportionnelle à sa vitesse de course (l'intensité d'effort physique pour un coureur particulier et pas d'effet de fatigue).* » reste vraie, à condition de ne pas modifier la pente.

Nous rappelons également que la durée de chaque plage du cycle est identique.

Pour la suite, les hypothèses suivantes sont retenues : la vitesse de déroulement du tapis constante choisie pour le calcul qui suit est de 12 km/h et le cycle P9, tel qu'il est décrit sur le *Schéma 1*, est parcouru en $T_c = 40$ min .

Question 47 : déterminer le temps nécessaire au cycle P7 pour que celui-ci consomme la même énergie que le cycle P3 alors parcouru en 40 minutes.

Question 48 : quelle est alors la distance parcourue ?

Les professionnels de l'entraînement sportif considèrent qu'une pente de 2 % permet de compenser la résistance de l'air, résistance qui est absente sur le tapis puisque le coureur ne se déplace pas.

Question 49 : quel temps faudrait-il courir sur route, avec cette même évolution de pente, pour consommer la même énergie ?

Question 50 : Conclure sur la pertinence de ce système à répondre au besoin tel qu'il est défini dans les diagrammes d'exigences présentés en début de sujet.