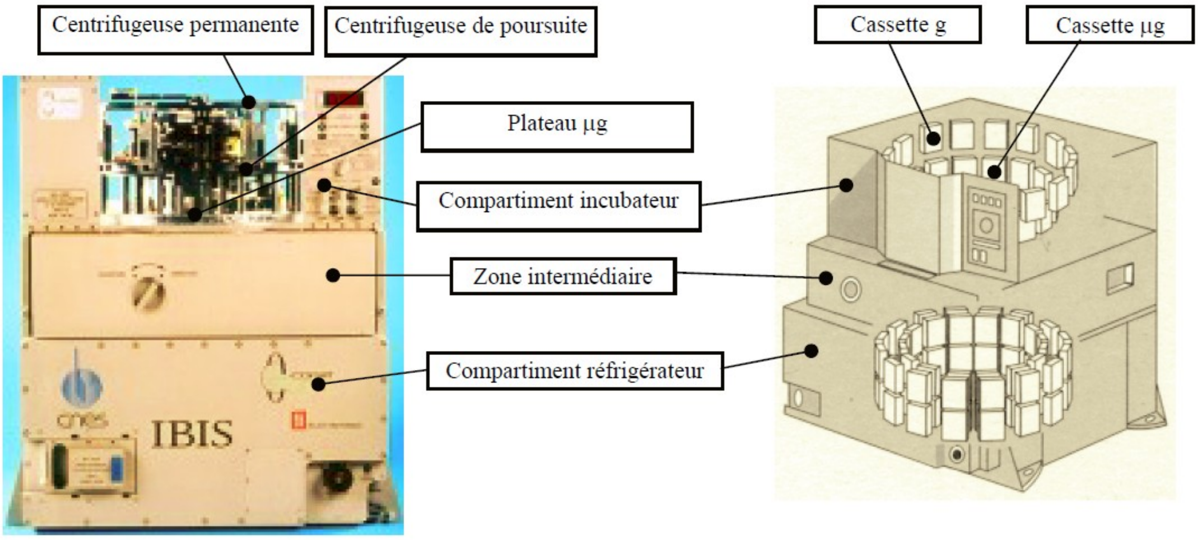
DS 2- Caractérisation des systèmes asservis

Devoir 1 - Instrument IBIS- (extrait)
Extrait du sujet des petites Mines 1999 *Corrigé page 7*

Présentation

IBIS est un instrument destiné à réaliser de façon entièrement automatique des expériences de biologie cellulaire, à bord d'un véhicule spatial récupérable.

L'objectif de ces expériences est de déterminer le rôle joué par la pesanteur sur le développement des cellules de l'embryon ; l'absence de pesanteur pouvant conduire à la modification de certains organes. Ces changements éventuels sont étudiés sur des larves d'oursins ou de crustacés.



Les échantillons biologiques, préparés en laboratoire, sont introduits dans l'instrument par l'intermédiaire de cassettes.

Il y a 4 chambres de culture par cassette ; il est possible d'injecter à tout instant dans chaque chambre de culture et selon le programme scientifique établi, des additifs liquides différents contenus dans des ampoules ou des capsules et permettant d'activer ou de stopper les processus biologiques.

L'intérêt principal d'IBIS réside dans le fait que chaque cassette est doublée d'une cassette jumelle. Tout au long du vol, ces deux cassettes subissent exactement les mêmes conditions de température et sont traitées simultanément. Au cours de leur séjour dans l'incubateur de l'instrument, une des deux cassettes se retrouve en condition de micropesanteur tandis que l'autre est installée sur une centrifugeuse qui simule la gravité terrestre. C'est le seul paramètre qui les distingue.

L'instrument IBIS comprend trois chambres thermostatées indépendantes :

1. un compartiment réfrigérateur destiné au stockage des échantillons biologiques avant et après la phase active des expériences,
2. un compartiment incubateur comprenant une centrifugeuse fonctionnant en permanence qui permet de recréer artificiellement en orbite un champ gravitationnel comparable à celui existant sur Terre. Cette centrifugeuse est utilisée pour effectuer l'expérience témoin : des échantillons biologiques identiques et soumis aux mêmes conditions d'environnement sont parallèlement placés dans l'incubateur, en condition de micro-pesanteur (cassette µg) et sur la centrifugeuse en «conditions normales terrestres» (cassette g),
3. une zone intermédiaire permettant le chargement de l'instrument et le transfert automatique des échantillons biologiques du réfrigérateur vers l'incubateur et réciproquement.

Il est possible de procéder à des injections d'additifs liquides dans une paire de cassettes soit dans le réfrigérateur soit dans l'incubateur. Dans ce cas, la cassette g continue à être centrifugée pendant l'injection.

— Le compartiment réfrigérateur (en bas) peut recevoir 32 paires de cassettes sur deux étages d'un plateau tournant, le carrousel. Pour chaque emplacement, la cassette g est disposée vers l'extérieur, la cassette μg vers l'intérieur.

— Le compartiment incubateur (en haut) est équipé :

  — d'un plateau μg ayant pour fonction de recevoir les cultures préparées pour l'expérience en micro-pesanteur (cassetteμg),

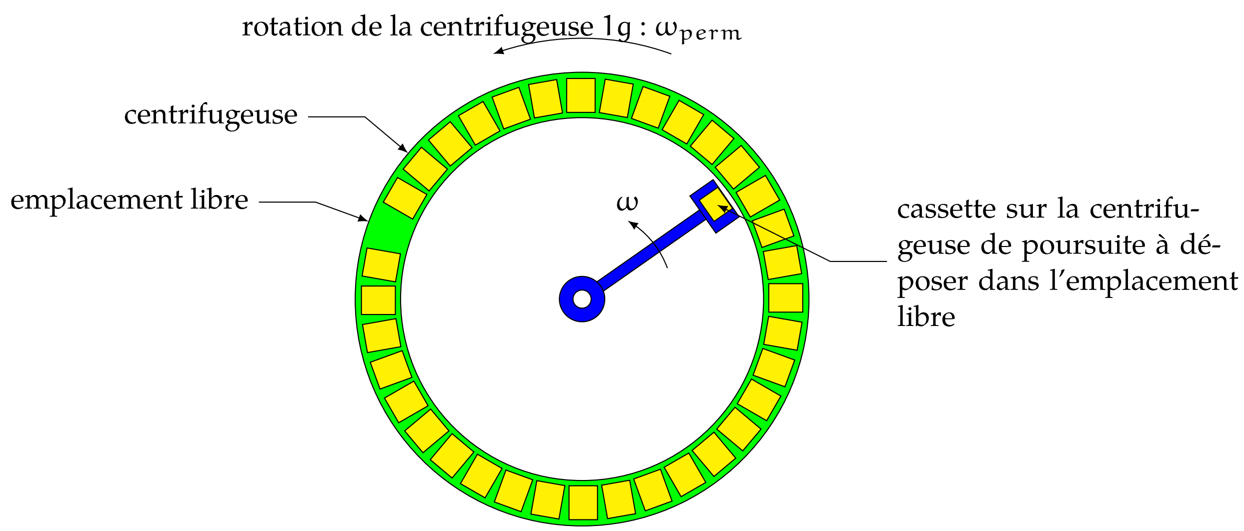
  — d'une centrifugeuse en rotation permanente, sur laquelle sont placés des échantillons « témoins » (cassette g). Cette centrifugeuse est asservie à une vitesse de rotation constante pour que l'accélération centrifuge soit en permanence égale à 1g,

  — d'une centrifugeuse dite « de poursuite » permettant de placer ou de retirer les échantillons témoins sur la centrifugeuse permanente, sans l'arrêter.

A. Étude de l'asservissement de la centrifugeuse de poursuite

La centrifugeuse de poursuite doit permettre de déposer sur le plateau de la centrifugeuse 1g les cassettes contenant les échantillons qui doivent-être soumis à la gravité.

Il s'agit donc de faire coïncider la position de la cassette g sur la centrifugeuse de poursuite avec un emplacement libre choisi à l'avance de la centrifugeuse permanente.



Dans un premier temps, la centrifugeuse de poursuite est asservie **en vitesse** : la consigne de vitesse (ω_c) est égale à la vitesse de rotation de la centrifugeuse permanente ($\omega_c = \omega_{perm}$), l'asservissement de vitesse permet d'atteindre 80% de la vitesse de rotation de la centrifugeuse permanente lors du régime établi ($\omega = 0{,}8 \cdot \omega_{perm}$).

Lorsque cette vitesse est atteinte, la centrifugeuse de poursuite se fait donc « rattraper » par la centrifugeuse permanente (à la vitesse de $0{,}2 \cdot \omega_{perm}$).

Lorsque la différence entre la position de la cassette g sur la centrifugeuse de poursuite $\theta_{cassette}$ et la position visée sur la centrifugeuse permanente θ_0 est inférieure à 10°, la centrifugeuse de poursuite est asservie **en position**. Dès que l'écart de position atteint 0,5°, la centrifugeuse de poursuite est verrouillée mécaniquement à la centrifugeuse 1g.

L'entraînement de la centrifugeuse de poursuite est réalisé par un moteur à courant continu associé à un réducteur. Le moteur est alimenté par un variateur. Une génératrice tachymétrique mesure la vitesse de rotation. le calculateur embarqué génère à partir de l'écart entre la mesure de la vitesse et la consigne de vitesse en tension, la tension de commande du variateur.

On se propose dans cette partie de caractériser l'asservissement de vitesse et de position de la centrifugeuse de poursuite.

Q1. Préciser les constituants des chaînes d'information et d'énergie de la centrifugeuse de poursuite.

— Convertir :	— Alimenter :	— Acquérir :
— Transmettre :	— Moduler :	— Traiter :

A.1. Caractérisation du moteur

On se propose dans un premier temps, d'étudier le moteur.

Les équations différentielles caractérisant le comportement du moteur de la centrifugeuse de poursuite sont :

$$u(t) = R \cdot i(t) + e(t) \qquad e(t) = K_e \cdot \omega_m(t)$$

$$c_m(t) = J \cdot \frac{d\,\omega_m(t)}{dt} \qquad c_m(t) = K_t \cdot i(t)$$

Tous les frottements mécaniques sont négligés et toutes les conditions initiales sont nulles.

Notations :

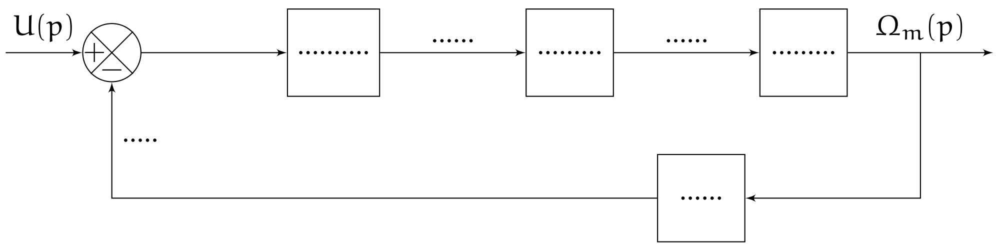
- $\omega_m(t)$: vitesse de rotation du moteur ;
- J moment d'inertie total de l'équipage mobile par rapport à l'axe moteur ($J = 85\,\mathrm{kgmm^2}$;
- R résistance de l'induit du moteur (l'inductance L de l'induit est ici négligée) ;
- K_e et K_t les constante du moteur ($K_e = 1{,}12\,\mathrm{V/1000tr/min}$), $K_t = K_e$;
- $c_m(t)$ couple moteur exercé par le moteur ;
- $u(t)$ la tension de commande du moteur ;
- $i(t)$ le courant ;
- $e(t)$ force contre-électromotrice du moteur.

On appelle $\dfrac{R}{K_e \cdot K_t} = 15\,000\,\mathrm{N \cdot m \cdot s^{-1}}$ le facteur de régulation du moteur .

On note p la variable de Laplace et on pose $\Omega_m(p)$, $E(p)$, $C_m(p)$ $U(p)$ et $I(p)$ les transformées de Laplace $\omega_m(t)$, $e(t)$, $c_m(t)$, $u(t)$ et $i(t)$.

Q2. Écrire les équations du moteur dans le domaine de Laplace.

Q3. Reproduire sur votre feuille et compléter le schéma bloc décrivant le comportement du moteur.



Q4. Montrer que la fonction de transfert du moteur $\dfrac{\Omega_m(p)}{U(p)}$ peut-être décrite par une fonction de transfert du premier ordre de gain $K_m = \dfrac{1}{K_e}$ et de constante de temps $T_m = \dfrac{R \cdot J}{K_e \cdot K_t}$. Faire l'application numérique dans le système d'unité S.I.

Pour la suite on prendra pour la fonction de transfert du moteur :

$$\frac{\Omega_m(p)}{U(p)} = \frac{100}{1 + 1{,}3 \cdot p} = \frac{K_m}{1 + T_m \cdot p}$$

Q5. Montrer que si la commande en tension est un échelon $u(t) = U_0 \cdot \mathcal{H}(t)$ ($\mathcal{H}(t)$ fonction de heaviside), alors on peut mettre $\Omega_m(p)$ sous la forme :

$$\Omega_m(p) = \frac{A}{1 + T_m \cdot p} + \frac{B}{p}$$

Préciser A et B en fonction de K_m, T_M et U_0.

Q6. Tracer l'allure de $\omega_m(t)$ pour une consigne de vitesse de $u(t) = U_0 \cdot \mathcal{H}(t)$ avec $U_0 = 10\,V$.

Q6a. Quelle est la valeur finale de $\omega_\infty = \lim\limits_{t\to\infty} (\omega_m(t)$?

Q6b. Précisez te temps de réponse à 5%.

A.2. Asservissement de vitesse de la centrifugeuse

On s'intéresse L'asservissement en vitesse est réalisé par :

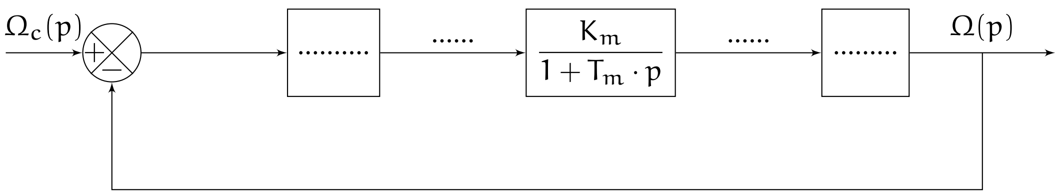
— Un amplificateur du signal d'écart entre la vitesse de consigne de la centrifugeuse ω_c et t la vitesse mesurée ω. Cet amplificateur de gain K_1 fournit la tension $u(t)$ de commande du moteur.

— Le moteur modélisé à la question précédente.

— Un réducteur de rapport de réduction $r = \dfrac{\omega}{\omega_m} = \dfrac{1}{20}$.

— Un capteur de vitesse. Pour simplifier le schéma-bloc, on choisit de modéliser le capteur de vitesse angulaire par un gain unitaire. On comparera ainsi directement la vitesse mesurée à la vitesse de consigne.

Q7. Reproduire sur votre feuille et compléter le schéma bloc



Q8. Montrer que la fonction de transfert $\dfrac{\Omega(p)}{\Omega_c(p)} = \dfrac{K_v}{1+T_v \cdot p}$ est du premier ordre. Donner ses paramètres caractéristiques en fonction de K_1, r, K_m et T_m.

La description du fonctionnement précise : Dans un premier temps, la centrifugeuse de poursuite est asservie **en vitesse** : la consigne de vitesse ($\omega_c = \omega_{perm}$) est égale à la vitesse de rotation de la centrifugeuse permanente ($\omega_c = \omega_{perm}$), l'asservissement de vitesse permet d'atteindre 80% de la vitesse de rotation de la centrifugeuse permanente lors du régime établi ($\omega = 0{,}8 \cdot \omega_{perm}$).

Q9. Déterminer la valeur finale de $\omega_m(t)$: $\omega_\infty = \lim\limits_{t\to\infty} (\omega_m(t))$ en fonction de K_1, r, K_m, T_m et ω_{perm} .

Q10. Déterminer la valeur de K_1 qui permette de respecter ce critère.

Pour la suite on prendra pour la fonction de transfert de l'asservissement de vitesse :

$$\frac{\Omega(p)}{\Omega_c(p)} = \frac{0.8}{1+0{,}3 \cdot p} = \frac{K_v}{1+T_v \cdot p}$$

Q11. Tracer l'allure de la réponse temporelle pour une consigne de vitesse constante $\omega_c(t) = \omega_c \cdot \mathcal{H}(t)$, précisez sur celle-ci les différents éléments caractéristique.

Exercice 2 - Borne motorisée rétractable
ATS-2010 *Corrigé page 8*

Le dispositif étudié est un système permettant de limiter ou d'interdire la circulation dans des zones à accès réservé. Ce dispositif comporte :

— un caisson intégrant la partie opérative, à savoir une borne motorisée rétractable dans le sol,

— un caisson intégrant la partie commande comportant :

  — une platine électronique de gestion,

  — une batterie d'alimentation électrique du système,

  — des cellules photovoltaïques assurant la charge de la batterie.

(a) Vue d'ensemble

(b) Moto-réducteur

FIGURE 1 – Borne rétractable

A. Modélisation du moteur

Le système est équipé d'un motoréducteur à courant continu. Celui-ci est l'association d'un moteur à aimants permanents de tension nominale 12V et d'un réducteur de rapport 1/60.

Les équations de fonctionnement du moteur peuvent s'écrire en utilisant le formalisme de Laplace :

— Équation électrique :
$U_m(p) = K_m \cdot W_m(p) + R_m \cdot I_m(p) + L_m \cdot p \cdot I_m(p)$

— Équation mécanique :
$J \cdot p \cdot W_m(p) = K_m \cdot Im(p) - F \cdot W_m(p) - C_R(p)$

avec

— $U_m(p)$: transformée de Laplace de $u_m(t)$ la tension de commande du moteur,

— $I_m(p)$: transformée de Laplace de $i_m(t)$ le courant circulant dans l'induit du moteur,

— $W_m(p)$: transformée de Laplace de $w_m(t)$ la vitesse de rotation du moteur,

— $C_R(p)$: transformée de Laplace du couple résistant $c_r(t)$ sur l'arbre moteur (charge et frottements secs),

— $F = 57 \times 10^{-6}\,N \cdot m \cdot rad^{-1} \cdot s$: coefficient de frottement visqueux,

— $J = 72{,}5 \times 10^{-6}\,kg \cdot m^2$: inertie totale ramenée sur l'arbre moteur,

— $R_m = 0{,}93\,\Omega$: résistance de l'induit,

— $L_m = 0{,}9\,mH$: inductance,

— $K_m = 0{,}046\,V \cdot rad^{-1} \cdot s$

Q1. On considère dans un premier temps que $C_r(p) = 0$.

Q1a. Déterminer la fonction de transfert $H_u(p) = \dfrac{W_m(p)}{U_m(p)}$ en fonction de différents paramètres.

Q1b. Faire l'application numérique.

Q1c. Mettre sous forme canonique, préciser les coefficients caractéristiques.

Q2. On considère maintenant que $U_m(p) = 0$:

Q2a. Déterminer la fonction de transfert $H_c(p) = \dfrac{W_m(p)}{C_r(p)}$.

Q2b. Faire l'application numérique.

quel que soit vos résultats, on considère que la fonction de transfert $H_u(p)$ s'écrit :

$$H_u(p) = \frac{21{,}20}{\left(1+\frac{p}{33{,}2}\right)\left(1+\frac{p}{1\,001}\right)}$$

La tension de commande du moteur est $u_m(t) = U_0 \cdot \mathcal{H}(t)$ avec $U_0 = 12\,\mathrm{V}$.

Q3. Déterminer $U_m(p)$ puis $W_m(p)$.

Q4. Montrer que $W_m(p)$ peut s'écrire $W_m(p) = \dfrac{A}{1+\frac{p}{33{,}2}} + \dfrac{B}{1+\frac{p}{1\,001}} + \dfrac{C}{p}$, déterminer A, B et C.

Q5. Déterminer alors, à partir du tableau des transformées inverse, $w_m(t)$. Tracer l'allure de la réponse temporelle. Préciser la valeur finale, initial, et la tangente à l'origine.

Annexe

$f(t) \cdot \mathcal{H}(t)$	$F(p)$
Dirac : $\delta(t)$	1
$\delta(t-\tau)$	$e^{-\tau \cdot p}$
Heaviside : $\mathcal{H}(t)$	$\dfrac{1}{p}$
$a \cdot \mathcal{H}(t)$	$\dfrac{a}{p}$
$a \cdot \mathcal{H}(t-\tau)$	$\dfrac{a}{p} \cdot e^{-\tau \cdot p}$
$a \cdot t \cdot \mathcal{H}(t)$	$\dfrac{a}{p^2}$
$t^n \cdot \mathcal{H}(t)$	$\dfrac{n!}{p^{n+1}}$
$e^{-a \cdot t} \cdot \mathcal{H}(t)$	$\dfrac{1}{p+a}$
$\dfrac{1-e^{-a \cdot t}}{a} \cdot \mathcal{H}(t)$	$\dfrac{1}{p \cdot (p+a)}$

TABLE 1 – Transformées de Laplace usuelles