

EPREUVE D'AUTOMATIQUE -  
INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

**Éléments de corrigé et  
commentaires**

## PARTIE A

### MODELISATION DE LA MISE EN POSITION DANS LE PLAN DE LA GRILLE

Cette première partie porte sur le déplacement longitudinal du bras dans le plan de la grille.

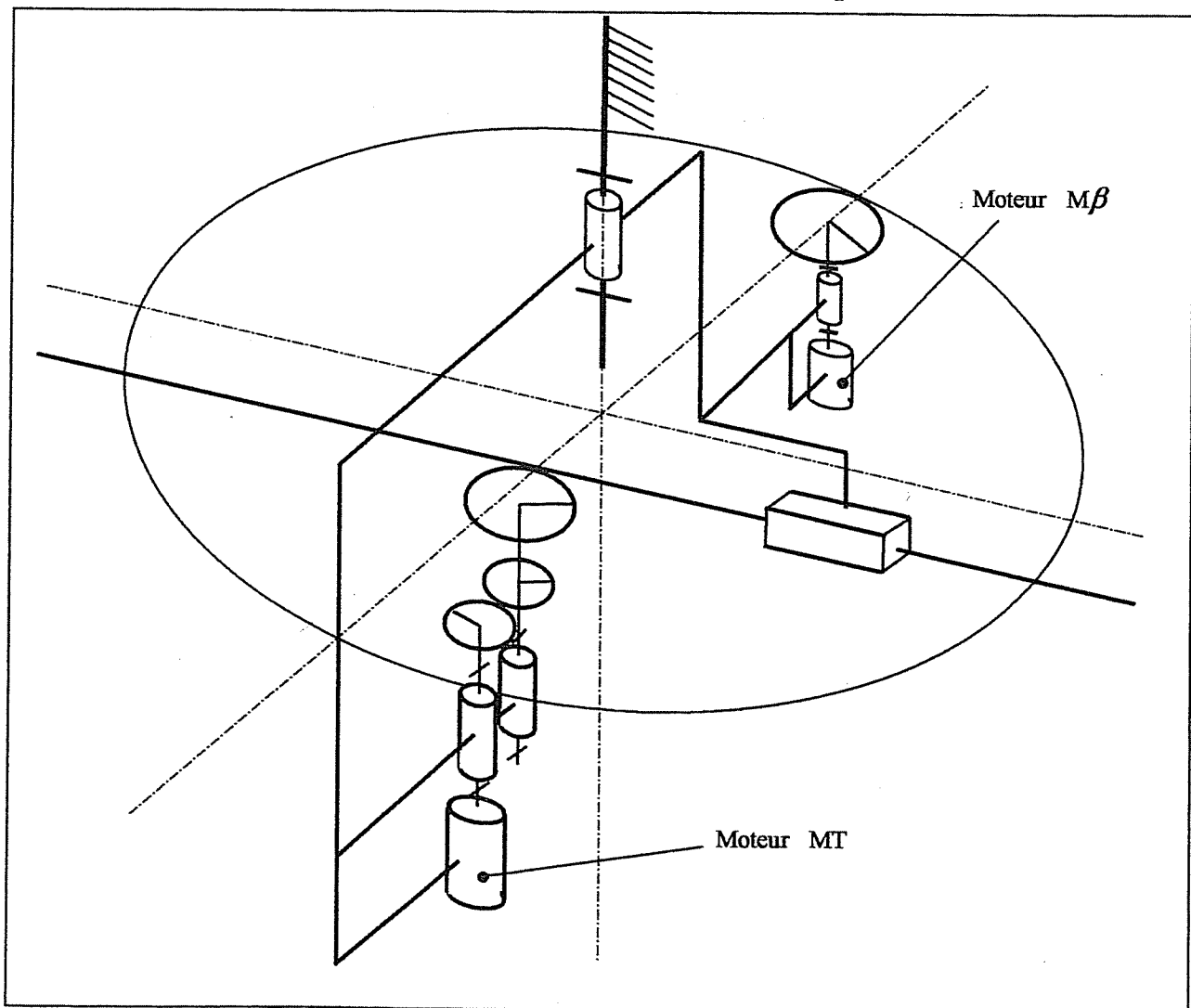
Ce qui est recherché dans cette étude c'est la modélisation et non la résolution des problèmes. La démarche attendue est de partir d'une analyse mécanique du problème posé pour aboutir à des modèles sous forme de schémas blocs avec des fonctions de transfert sous forme littérale.

#### A - 1 Etude cinématique globale du bras $\beta$

Cette première étude permet d'analyser les chaînes cinématiques liées au déplacement longitudinal entre la tour et le bras et au déplacement rotatif entre la couronne et la tour.

**Q 1 - Tracer un schéma cinématique en perspective montrant explicitement les deux possibilités de déplacements, dans la position où la couronne est encastrée dans la grille et les élévateurs sont rentrés (voir FIGURE 1 « différentes positions du bras par rapport à la grille »).** On retrouvera sur ce schéma la grille, la couronne, la tour, le bras et les deux moteurs  $MT$  et  $M\beta$  ainsi que les éléments constituant les chaînes cinématiques ; les élévateurs ne seront pas détaillés.

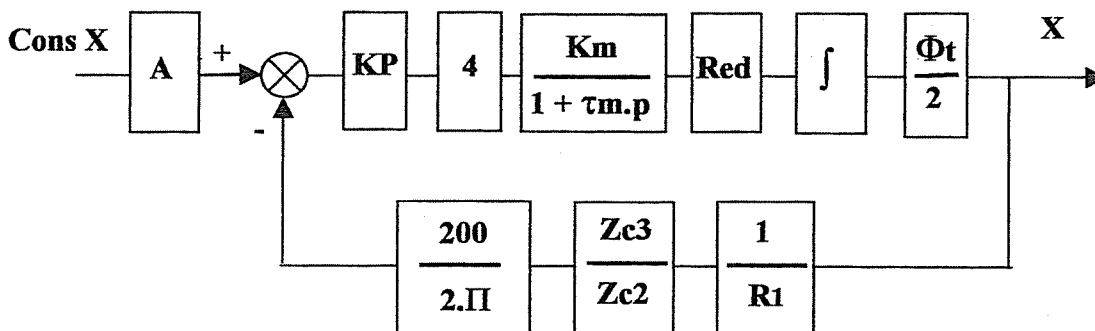
**Remarque :** cette configuration correspond à l'ensemble de la partie A.



## A - 2 Modélisation de la chaîne de positionnement longitudinal

Q 2 - Dans le cas où seul le moteur MT fonctionne, tracer le schéma bloc de la commande de position  $x$  à partir de la carte de commande définie ci-dessus et du dossier de définition de la structure mécanique. Dans un premier temps tracer un schéma avec les fonctions de transfert exprimées littéralement à partir d'hypothèses et de modèles à définir puis faire les applications numériques qui permettraient la détermination du correcteur  $C_x(p)$  qui restera la seule inconnue du schéma.

Le candidat portera une attention particulière à la justification du modèle retenu pour le moteur MT.



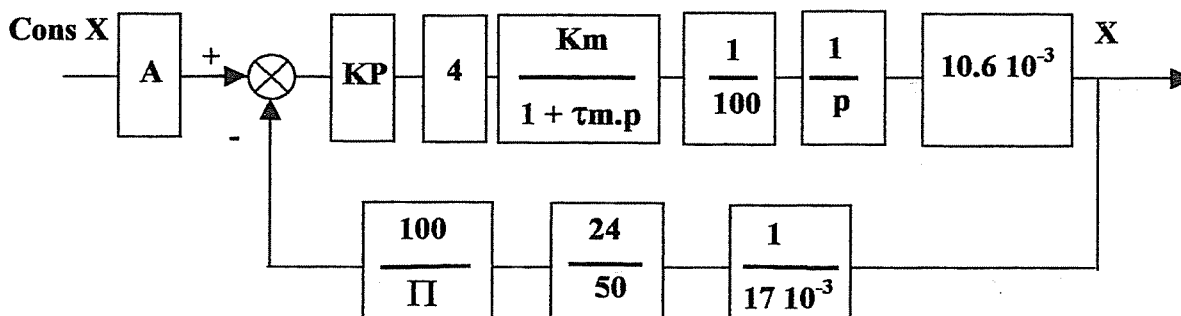
Pour un moteur à courant continu sans couple résistant, on retient une modélisation du premier ordre avec une constante de temps  $\tau_m$  qui prend en compte les inerties de l'ensemble en mouvement.

La carte de commande produit une sortie en +/-10 V donc la carte de puissance introduit un coefficient 4.

Le réducteur Harmonic drive donne  $Red = 1/100$ .

La chaîne de mesure est définie sur la figure 3.

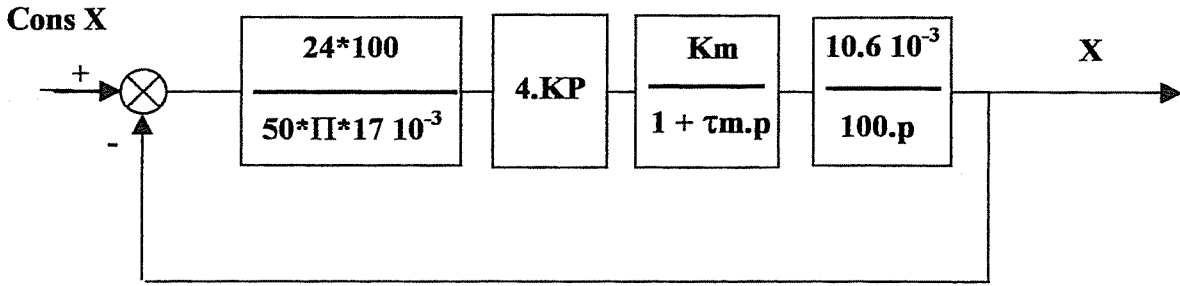
D'où le schéma bloc suivant en tenant compte des applications numériques et en passant en transformée de Laplace.



On reconnaît un système de classe 1 dont seule la fonction de transfert du moteur reste à déterminer. A s'obtient en considérant le système à retour unitaire équivalent dont la partie hors boucle de la fonction de transfert globale doit être égale à l'unité :

$$A = (24 \cdot 100) / (50 \cdot 17 \cdot 10^{-3} \cdot \Pi) = 898 \text{ si } x \text{ en m et } 0.898 \text{ si } x \text{ en mm.}$$

D'où le schéma bloc suivant

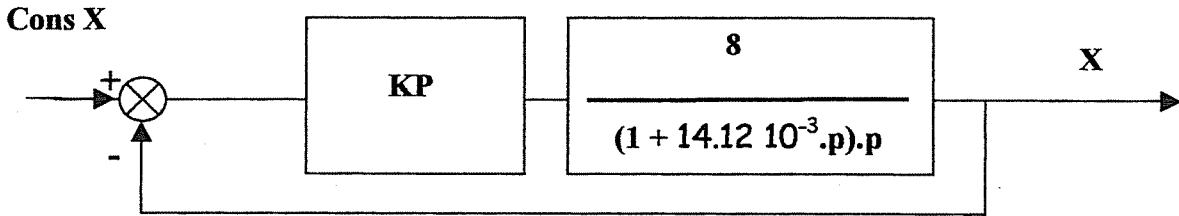


Le calcul des paramètres moteur donne :

- $K_m = 20.94 \text{ rd/s/V}$  (à partir de  $K_e$ )
- $\tau_m$  en charge s'obtient à partir de la constante de temps mécanique à vide donnée par le constructeur et en tenant compte de la charge

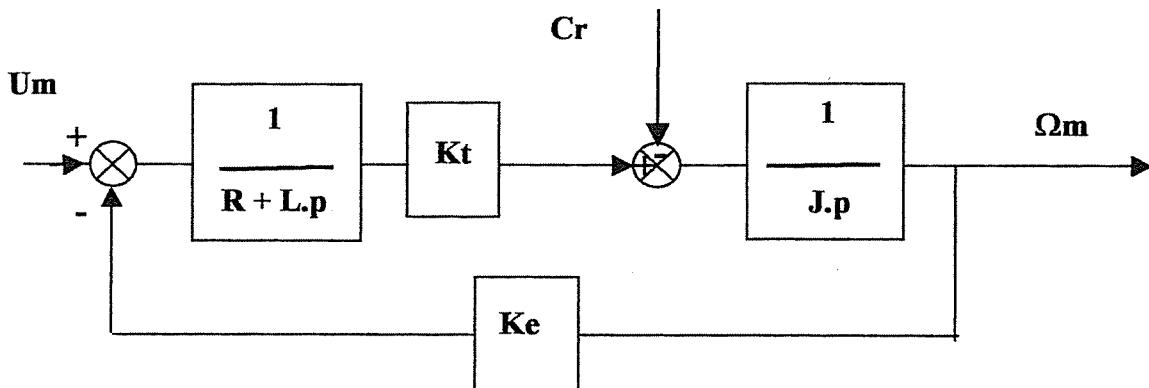
$$\tau_{m \text{ en charge}} = \tau_{m \text{ à vide}} \frac{J_m + J_r}{J_m}$$

Ce qui donne ici  $\tau_m \text{ en charge} = 14.12 \text{ ms}$



**Q 3 - Rappeler succinctement les hypothèses qui permettent de décrire la fonction de transfert d'un moteur à courant continu en charge par un modèle du premier et/ou du second ordre.**

Le modèle général d'un moteur à courant continu commandé par l'induit (en négligeant les frottements visqueux sur l'arbre moteur) est le suivant :



Avec  $C_r$  : couple résistant ramené sur l'arbre moteur et  $J$  : inertie totale sur l'arbre moteur.

Dans les cas où on ne tient pas compte du couple résistant on peut simplifier et retenir un modèle du premier ordre comme dans la question Q2 avec  $\tau_m$  pour constante de temps mécanique.

**Q 4 -** *Quelle est l'influence de la mise en mouvement de  $M\beta$  sur l'asservissement de position suivant « x » ?*

*2 A partir du schéma cinématique de la question Q1 montrer que les actions mécaniques entre le pignon et la crémaillère de la chaîne de mise en mouvement suivant « x » ne peuvent être nulles. En déduire la forme de la perturbation de la commande de position suivant « x ». Tracer alors le schéma bloc global (avec la perturbation) de la commande de position suivant « x ». On considère que  $\beta$  et  $\ddot{\beta}$  sont connus puisqu'ils sont déterminés par la carte de commande de rotation, le candidat présentera les autres hypothèses qu'il jugera utiles.*

*3 Justifier alors l'intérêt d'un modèle du second ordre pour le moteur.*

1 - Lorsque la consigne suivant X est fixe et que le bras se déplace en rotation ( $\beta$  varie) la présence du cordon ombilical crée une action suivant x du bras sur le pignon entraîné par le moteur MT.

Ce qui peut être pris en compte comme une perturbation (de type couple résistant) sur le schéma bloc de la question précédente.

2 - En considérant le problème plan (x,y) on peut calculer assez aisément l'action suivant x du bras sur le pignon qui est de la forme :  $X_{b \rightarrow t} = M_{oe} \beta^2$

3 - La présence de ce couple résistant impose donc un modèle du moteur sous la forme d'un second ordre comme on l'a vu à la question Q3.

**Q 5 -** *Que se passe-t-il si les deux moteurs fonctionnent simultanément ? Peut-on dans le cadre de l'étude classique menée depuis la question Q2 prévoir (calculer) le comportement de l'ensemble en mouvements simultanés ?*

*Ce fonctionnement simultané est-il effectif dans le cadre des fonctions remplies par le bras  $\beta$  lors du contrôle des tubes d'un générateur de vapeur ?*

Lorsque les deux moteurs fonctionnent simultanément, il y a alors superposition de l'effet de suivi de la variation de la consigne et de l'effet régulateur qui s'oppose aux perturbations. La prévision du comportement est impossible avec les méthodes linéaires envisagées jusqu'ici puisque les perturbations sont en  $M_{oe} \beta^2$ . Cependant on peut simuler ce comportement en couplant les deux asservissements sur un logiciel comme SIMULINK par exemple.

Dans l'application de contrôle des tubes du générateur de vapeur ce fonctionnement simultané est évité soigneusement afin de s'assurer d'une bonne position finale pour la prise des élévateurs dans les tubes visés.

**Q 6 -** *Comment agir sur la commande MT pour limiter l'influence de  $M\beta$  ? (seule une réponse qualitative est attendue)*

Par contre le mouvement de rotation avec consigne de x constante est fréquent (à chaque rotation !!) pour limiter l'effet de perturbation, il faut s'assurer de la réjection de la perturbation et donc ne pas se satisfaire de la classe 1 de cet asservissement mais de placer un intégrateur en amont de la perturbation. Cette solution va sûrement conduire à une analyse fine de la stabilité afin de conserver des marges suffisantes.

## PARTIE B

### ETUDE DE LA COMMANDE SEQUENTIELLE DU ROBOT

#### B - 1 Analyse du schéma pneumatique

**Q 7 - Justifier la présence sur ce schéma d'un accumulateur et d'un surpresseur.**

Accumulateur : en cas de coupure d'énergie il faut une réserve de pression afin d'assurer le maintien du serrage des doigts dans les tubes et donc le maintien au plafond du bras.

Surpresseur : il permet de fournir deux pressions de service,

P1 : pour les vérins élévateurs d'extrémités

P2 : pour les doigts de maintien (et aussi pour l'accumulateur)

**Q 8 - Après avoir affecté chaque distributeur (A [A1, A2] ; B [B1, B2] ; C [C1, C2]) au(x) vérin(s) qu'il alimente justifier la présence de trois distributeurs pour alimenter 10 vérins.**

A [A1, A2] : doigts élévateurs

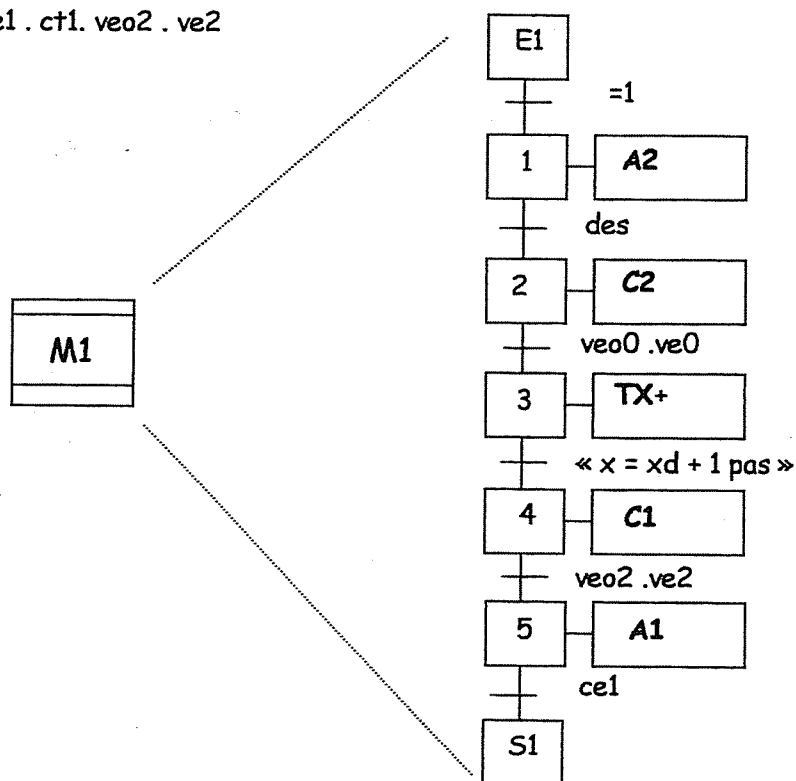
B [B1, B2] : doigts de couronne

C [C1, C2] : vérins de montée et de descente

#### B - 2 Description de la commande séquentielle

**Q 9 - Ecrire au niveau spécifié par le bloc fonctionnel BFD (en respectant les entrées et sorties définies) l'expansion de la macro étape M1 : « AVANCER D'UN PAS » (couronne encastrée ; le bras avance d'un pas). CI correspond à l'état des capteurs associés à la partie pneumatique lorsque le bras  $\beta$  est dans la position : couronne encastrée et élévateurs dans la grille (tous les doigts pris). Ecrire la proposition logique correspondant à CI (la macro étape M1 se termine dans une position qui correspond aussi à CI).**

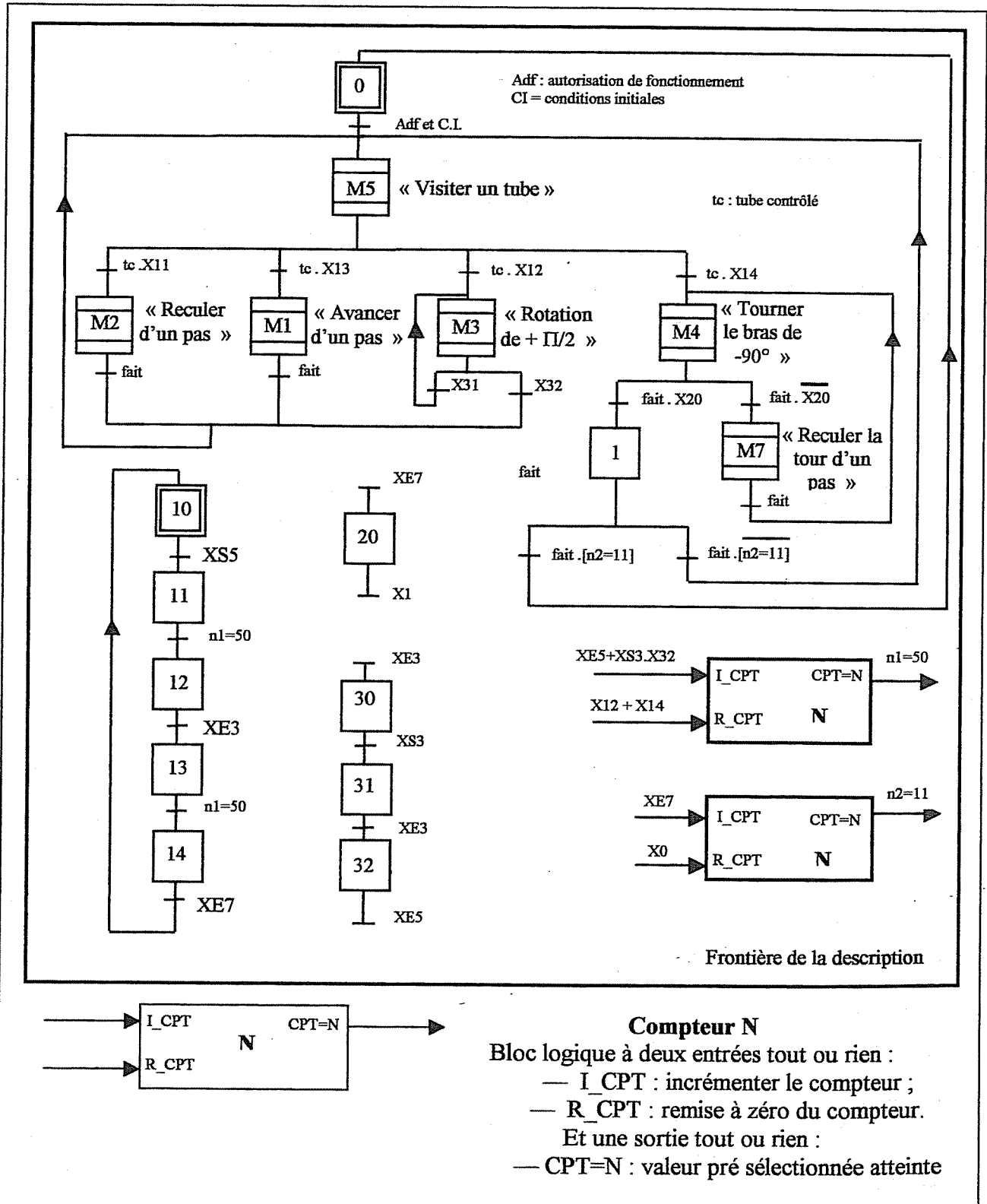
CI = cel . ct1 . veo2 . ve2



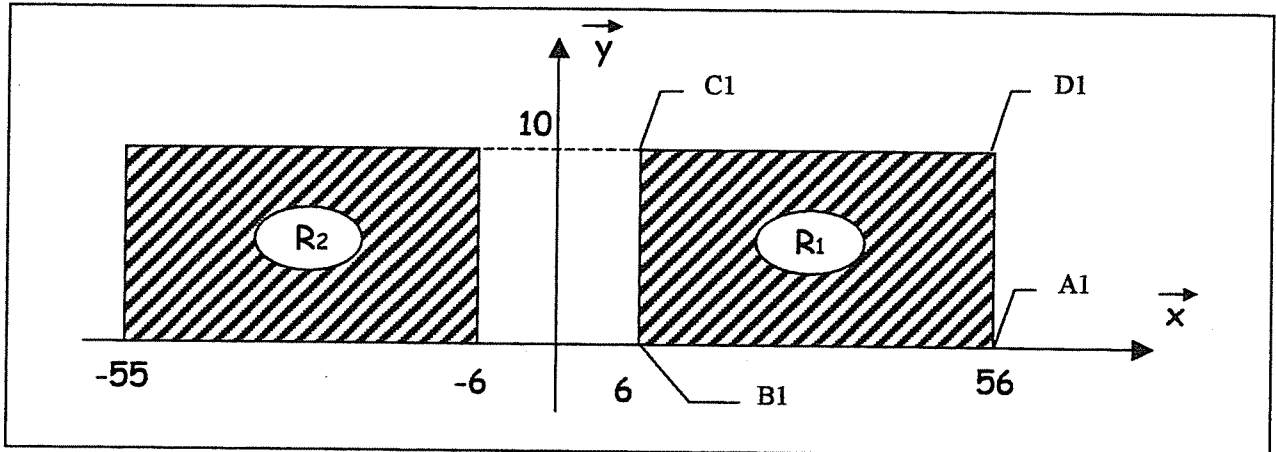
**Q 10 - Construire un grafcet (en utilisant les macro étapes M1 à M7 et un ou plusieurs compteurs)**

**Justifier les valeurs 6.i et 56.i retenues pour le rectangle R1. Quel est l'intérêt d'associer ces deux rectangles dans la même procédure ? Quel est le nombre de tubes visités ?**

Exemple de grafcet détaillé répondant à la question, d'autres solutions existent.



D'où le tracé de la zone de tubes visités



Pour le bloc R1 la limite inférieure [6] est liée à la distance minimale possible entre l'axe de la tourelle et le premier tube visitable mesurée suivant l'axe x ; la limite supérieure [56] est liée à la longueur utile du bras de travail.

L'association des deux zones permet d'éviter un retour à vide en position initiale du bras.

En fait cette solution conduit à la visite de 100 tubes par cycle du grafcet donné ci-dessus.

**Q 11 - Proposer un choix d'un ou plusieurs capteurs (type et performances), avec leur(s) implantation(s) définie(s) par un schéma, qui détectent une collision avec les limites de la boîte au cours des déplacements du bras  $\beta$ .**

Le fonctionnement préconisé ne prend pas en compte les coordonnées absolues des tubes visités, les limites de déplacement ne sont donc pas connues de la partie commande. Toutes les formes de chocs sont donc envisageables. Un capteur à galet mécanique en bout de bras est possible avec une zone de détection améliorée par une modification de la zone sensible. Mais la cohérence technologique avec les solutions présentées dans le sujet impose un capteur sans contact, par exemple un détecteur inductif.

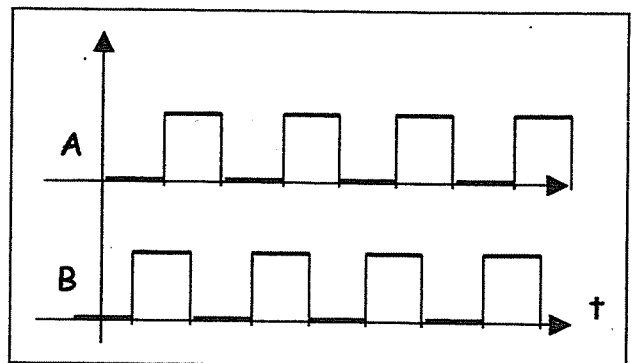
### B - 3 Etude de la fonction « calibrage » du bras $\beta$

**Q 12 - Après avoir rappelé succinctement la forme des signaux en sortie d'un codeur incrémental définir le fonctionnement du système de commande (seul le positionnement longitudinal est envisagé) après une coupure d'énergie. Préciser les constituants nécessaires à ce fonctionnement.**

Un codeur incrémental ou plus exactement un générateur d'impulsions incrémental est un capteur très classique de définition de la position et de la vitesse d'un solide mis en mouvement par un moteur électrique.

Les signaux sont au nombre de deux décalés de  $90^\circ$ .

Ce type de signaux nécessite un traitement par un compteur - décompteur afin de déterminer la position réelle recherchée. La position est donc relative à une prise d'origine unique définie à l'une des extrémités de la course possible et concrétisée par la présence d'un capteur.





En cas de coupure d'énergie, la position issue du comptage est perdue, un cycle de passage devant le capteur de zéro compteur est donc obligatoire.

**Q 13 - Déterminer l'amplitude de la mesure donnée par le potentiomètre. (La variation de position longitudinale est pour ce modèle de bras de [0, 800 mm]). Déterminer ensuite l'amplitude de position couverte par un tour du codeur incrémental.**

A partir des plans de détails de la position des capteurs on peut déterminer :

Soit  $x_b$  la position longitudinale du bras :  $x_b = \frac{\theta_i}{2} \cdot \Phi_i$  avec  $\frac{\theta_p}{\theta_i} = \frac{Z_{C2}}{Z_{C4}}$  et  $\theta_p = 10 \cdot 2 \cdot \pi$  ce qui

donne  $x_b = 854 > 800$  mm course du bras.

Le capteur couvre donc l'ensemble de la plage à mesurer grâce à ses dix tours.

De la même façon, un tour du codeur incrémental correspond à 51.2 mm.

**Q 14 - En utilisant un outil de description de votre choix, proposer une solution possible de procédure de reprise de fonctionnement ; justifier dans le cas du bras  $\beta$  de l'importance de ce dispositif ; évaluer l'amplitude du déplacement non contrôlé obtenu par la procédure proposée.**

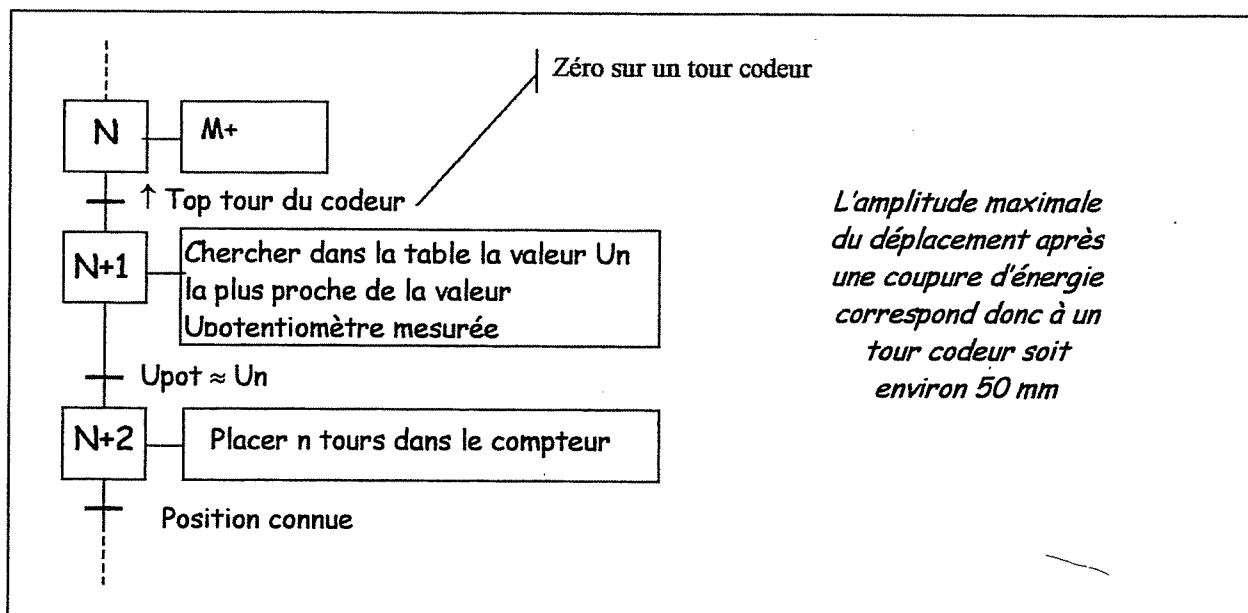
La solution classique industriellement consiste, pour éviter un retour intempestif de chaque mouvement, à choisir un « recalage » local sur une position de référence par tour (top tour) du codeur à partir d'une table de valeurs du potentiomètre.

Pour cela on exécute un calibrage à la première utilisation du bras (et aussi régulièrement pour tenir compte des usures) en relevant lors d'une mise en mouvement sur l'ensemble de la plage accessible les valeurs du potentiomètre correspondant à chaque tour du codeur.

Tour codeur	0	1	2	..
Tension potentiomètre	$U_0$	$U_1$	$U_2$	.....

Puis cette table de valeurs est mise en mémoire.

A chaque perte d'énergie, lors de reprise de fonctionnement de la partie commande, le cycle suivant est lancé pour chaque axe :

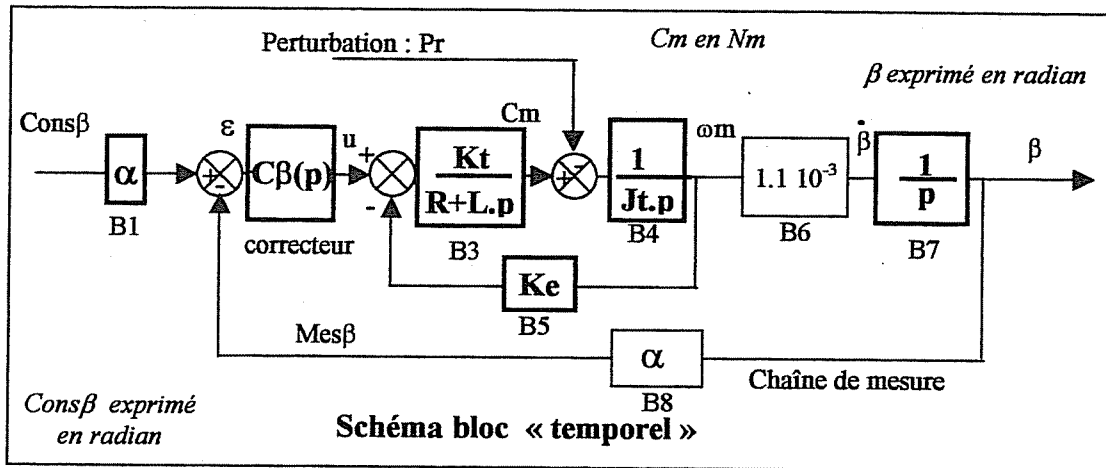


## PARTIE C

### REGLAGE DE LA COMMANDE DE POSITION ANGULAIRE DU BRAS

#### C - 1 Modélisation de la chaîne de positionnement angulaire

**Q 15** - En précisant vos hypothèses définir littéralement les blocs  $B_i$  « vides » du schéma précédent. Justifier votre réponse.



$B_1 = \alpha$  si  $\beta$  est en radian ( $\beta = \alpha \cdot 360 / (2 \cdot \pi)$ ) si  $\beta$  considéré en degrés).

**Q 16** - Quelles sont les perturbations auxquelles est soumise cette chaîne de commande de position angulaire au cours du fonctionnement normal (déplacement et visite des tubes) ? Traiter en particulier les effets dus au mouvement longitudinal simultané ou non.

Parmi celles-ci quelle(s) est (sont) celle(s) qui peut (peuvent) être prise(s) en compte par l'entrée perturbation  $Pr$  du schéma ?

Deux cas sont à envisager :

- Couronne fixe, rotation du bras pour différentes positions relatives du bras par rapport à la couronne
  - $J_t$  est variable en fonction de cette position, ce qui ne peut être pris en compte dans ce modèle linéaire
- Couronne fixe, translation du bras :
  - Couple perturbateur dû à la variation d'orientation de l'ombilical, pris en compte dans ce modèle ;
- Mouvements simultanés, s'ils sont mis en place dans un mode de marche particulier (différents du fonctionnement normal) les interférences d'un mouvement sur l'autre prendraient la forme de couples perturbateurs, pris en compte comme perturbation mais non modélisables car non linéaires.

**Q 17** - A partir de la documentation du moteur et des données suivantes, donner les valeurs numériques des blocs du schéma :

- $J_t = 5 \cdot J_m$  avec  $J_t$  : inertie totale ramenée sur l'arbre moteur  $\beta$  (y compris celle du moteur)
- $B_6 = 1.1 \cdot 10^{-3}$
- $\alpha = 2.8 \cdot 10^{-2} \text{ V/}^\circ$

En déduire l'expression de la fonction de transfert :

$$\beta(p) = H1(p) \cdot \text{Cons}\beta(p) + H2(p) \cdot \text{Pr}(p)$$

En fonction des blocs définis il vient :

$$H1(p) = \frac{B1 \cdot B2 \cdot B3 \cdot B4 \cdot B6 \cdot B7}{1 + B3 \cdot B4 \cdot B5 + B2 \cdot B3 \cdot B4 \cdot B6 \cdot B7 \cdot B8} \quad \text{et} \quad H2(p) = - \frac{B4 \cdot B6 \cdot B7}{1 + B3 \cdot B4 \cdot B5 + B2 \cdot B3 \cdot B4 \cdot B6 \cdot B7 \cdot B8}$$

après application numérique il vient :

$$H1(p) = \frac{1}{1 + \frac{ke}{1.1 \cdot 10^{-3} \alpha \cdot C\beta(p)} \cdot p + \frac{R \cdot Jt}{1.1 \cdot 10^{-3} Kt \cdot \alpha \cdot C\beta(p)} \cdot p^2 + \frac{L \cdot Jt}{1.1 \cdot 10^{-3} \alpha \cdot Kt \cdot C\beta(p)} \cdot p^3}$$

$$H1(p) = \frac{1}{1 + \frac{32.31}{C\beta(p)} \cdot p + \frac{0.85}{C\beta(p)} \cdot p^2 + \frac{5.43 \cdot 10^{-3}}{C\beta(p)} \cdot p^3}$$

et de la même façon

$$H2(p) = - \frac{7.22}{C\beta(p)} \cdot \frac{1 + 0.58 \cdot p}{1 + \frac{32.31}{C\beta(p)} \cdot p + \frac{0.85}{C\beta(p)} \cdot p^2 + \frac{5.43 \cdot 10^{-3}}{C\beta(p)} \cdot p^3}$$

## C - 2 Amélioration des performances

Q 18 - Avec les hypothèses suivantes :

- le correcteur  $C\beta(p)$  est un gain pur  $K\beta$  ;
- la perturbation  $Pr$  est considérée nulle ;
- l'inductance  $L$  de l'induit du moteur est négligée ;

déterminer numériquement  $K\beta$  tel que le système ne présente aucun dépassement et une erreur absolue nulle.

$H1(p)$  se réduit à :

$$H1(p) = \frac{1}{1 + \frac{32.31}{K\beta} \cdot p + \frac{1}{1.167 \cdot K\beta} \cdot p^2}$$

dont les grandeurs caractéristiques sont :

$$\omega_0 = \sqrt{1.167 \cdot K\beta} \quad \text{et} \quad \xi = \frac{37.71}{2 \cdot \sqrt{1.167 \cdot K\beta}}$$

Le critère de non dépassement donne donc :  $\xi \geq 1$  et donc  $K\beta \leq 305$

Q 19 - Montrer alors qu'avec un tel réglage et conditions suivantes de stabilité sont réunies :

marge de phase :  $M\phi \geq 45^\circ$  et marge de gain :  $MG \geq 2.3 \text{ dB}$ .

$$\text{FTBO}(\text{système}) = T1(p) = \frac{1.1167 \cdot K\beta}{p \cdot (1 + 37.71 \cdot p)}$$

Ce qui donne tous calculs faits pour  $\omega_c = 9.2 \text{ rd/s}$  une marge de phase  $M\phi = 76^\circ$ . La marge de gain est évidemment infinie dans ce cas.

*Q 20 - Quel est alors l'intérêt d'un correcteur de type PID pour la commande de ce mouvement ?*

La précision étant assurée naturellement, le choix de ce correcteur consiste à essayer d'améliorer la rapidité, sans modifier la stabilité. De plus le système est perturbé, et seules les intégrations en amont de la zone perturbée sont efficaces, d'où l'intérêt du PID.

*Q 21 - Déterminer pour une consigne en échelon à déterminer la valeur maximale de  $u(t)$  (sortie du correcteur) au cours du temps. Analyser le résultat et proposer éventuellement des modifications permettant de prendre en compte cette valeur maximale.*

La consigne varie de  $+II$  à  $-II$ ; la valeur effective de  $\beta$  varie aussi de  $+II$  à  $-II$ ; par conséquent la valeur maximale de l'écart à l'entrée du correcteur est  $e = 2.II.\alpha = 10.08 \text{ V}$ .

En utilisant la correction proportionnelle déterminée à la question Q18 :  $K\beta = 305$ , on obtient une valeur maximale possible de la tension d'alimentation du moteur de :

$$U_{\max} = 3074 \text{ V}$$

Ce qui est évidemment impossible, en réalité le système de commande est non linéaire et présente une saturation (généralement fixée à la tension maximum admissible par le moteur). Il fonctionne donc en boucle ouverte sur la majeure partie de la trajectoire et ne reprend son comportement asservi qu'à l'approche de l'arrêt demandé.

# COMMENTAIRES SUR LA TROISIEME EPREUVE

## Commentaires généraux

Le sujet, cette année, semble avoir quelque peu surpris les candidats si l'on en juge par la qualité des résultats, très hétérogènes surtout sur les première et troisième parties.

La présentation générale du sujet à partir d'extraits de plans a semblé dérouter les candidats. Dans un système automatique (conçu comme devant posséder un comportement automatique) l'activité de modélisation de la partie opérative ne peut être réalisée au stade de l'avant projet que par le concepteur de cette partie.

Mis à part cet aspect, le contenu du sujet s'est attaché à laisser une place encore plus importante à la réflexion technologique et constructive. La maîtrise scientifique est certes indispensable mais elle doit déboucher sur une phase d'analyse des résultats, afin de conclure sur la validité des solutions techniques envisagées.

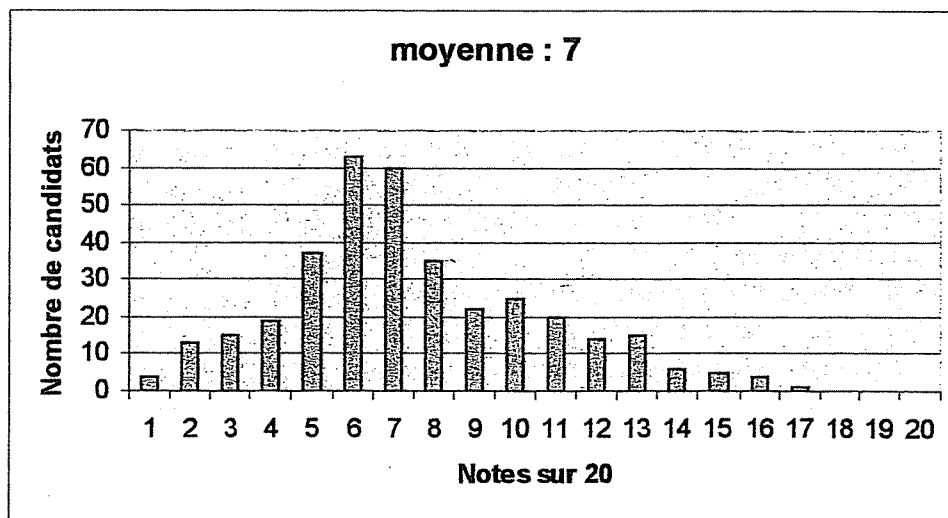
Le sujet comportait trois parties distinctes :

- Une partie modélisation sous forme de schéma bloc (exploitable sur la plupart des logiciels contemporains) ;
- Une partie analyse de la distribution d'énergie dans la partie opérative, suivie d'une définition du comportement séquentiel de la commande et enfin d'une étude fonctionnelle et opérationnelle d'un jeu de capteurs de position ;
- Une partie détermination des performances de la chaîne asservie à partir d'une modélisation fournie.

L'histogramme ci-dessous montre des résultats d'ensemble (après renormalisation des notes, l'ensemble du sujet étant de fait très difficilement réalisable dans le temps imparti).

Le jury reste cependant préoccupé par le déficit de réussite dans les parties purement mécaniciennes.

358 candidats ont composé sur cette épreuve, la moyenne est de 7 pour un écart type de 3.2.



## Commentaires :

### Partie A

Cette partie un peu nouvelle portait essentiellement sur la modélisation mécanique du bras BETA en vue d'en choisir la commande et de régler les performances des chaînes fonctionnelles ainsi constituées.

**Question Q1 :** le schéma cinématique demandé permettait de vérifier la bonne compréhension de l'ensemble à étudier. Presque tous les candidats ont abordé cette question, les résultats sont très contrastés, outre les erreurs de compréhension le jury remarque une très grande inégalité de qualité de représentation (respect des normes, qualité graphique, représentation illisible, etc..) et surtout un niveau de détail insuffisant dans la représentation.

La majorité des candidats n'a traité que cette question dans cette partie.

**Question Q2 :** la première modélisation demandée consistait essentiellement à traduire la partie mécanique sous forme de schéma bloc. Cette opération est le point d'entrée des traitements informatiques classiques. Elle est grandement méconnue des candidats.

**Question Q3 :** le choix d'une modélisation par rapport à un objectif donné semble inconnu des candidats qui le plus souvent n'en connaissent qu'une, voire aucune. Les réponses restent trop imprécises et surtout on retrouve la démonstration inutile du résultat connu de la modélisation classique du second ordre.

**Question Q4 :** L'étude des perturbations dues au couplage des deux mouvements n'a quasiment jamais été abordée.

**Question Q5 :** L'étude de la linéarité des modèles obtenus semble inconnue des candidats, elle n'a donc quasiment pas été abordée.

**Question Q6 :** Enfin, comme chaque fois que l'on aborde les corrections possibles de comportement, les candidats se lancent dans une description très générale sur les mérites comparés des différents correcteurs, ce qui ne présente évidemment aucun intérêt. Le jury attend une réponse précise adaptée au cas envisagé. Les questions précédentes n'étant pas traitées, il est alors vain de vouloir corriger un système que l'on ne connaît pas.

### Partie B

Le jury a apprécié un niveau de maîtrise général du modèle GRAFCET en amélioration constante depuis trois ans. A contrario, les connaissances technologiques des composants d'automatisme sont toujours au plus bas. Leur étude, par une mise en œuvre effective permettant de caractériser les principes, grandeurs physiques, etc. caractéristiques de leur fonctionnement, est seule à même d'apporter les connaissances suffisantes pour traiter les problèmes techniques posés au niveau de l'agrégation.

**Question Q7 :** Cette question a été abordée par la quasi totalité des candidats et correctement traitée par 70% d'entre eux. Les erreurs les plus courantes sont liées à la confusion air - huile ; trois candidats ont même appliqué la loi des nœuds pour démontrer la nécessité du surpresseur.

**Question Q8 :** Aucun commentaire particulier n'est à apporter pour cette question.

**Question Q9 :** Les erreurs essentielles ont été commises dans l'écriture de la réceptivité associée à la transition des étapes quatre et cinq et dans l'ordonnancement des étapes. Cela montre que nombre de candidats n'ont pas compris cette phase de fonctionnement séquentielle du bras.

**Question Q10 :** Le jury n'attendait pas des candidats une solution aussi aboutie et ont été agréablement surpris de la qualité de certaines copies.

**Question Q11** : Cette question a été abordée par environ 50% des candidats, peu d'entre eux ont élaboré un choix en cohérence avec le contexte.

**Questions Q12,13,14** : Très peu de candidats ont composé sur ces trois questions qui ne présentaient pas de difficultés particulières.

### **Partie C**

Cette partie, très "classique" n'aurait pas dû présenter de difficultés majeures pour les candidats. Ce ne fut pas le cas. Si des réflexes de manipulation de modèles sont acquis, le lien entre un système réel particulier et le modèle théorique général semble difficile à faire pour les candidats.

**Question Q15** : Les hypothèses et le modèle associé au moteur à courant continu sont presque toujours bien traités. Par contre, 80% des candidats ne sont pas sensibles au fait que les grandeurs d'entrée d'un comparateur doivent être homogènes, ce qui relève pourtant du simple bon sens. Par conséquent,  $B1(p)$  a été souvent considéré égal à "1".

**Question Q16** : Le fil conducteur de l'analyse de ce point, suggéré dans la question (phases de fonctionnement / combinaison des mouvements ou pas), n'a pas été retenu par les candidats. Les analyses fournies étaient imprécises, incomplètes et qualitatives. Cependant, le fait que l'inertie ramenée à l'arbre moteur à prendre en compte dans le modèle de commande soit variable a été identifié par 50% des candidats qui ont abordé cette question.

**Question Q17** : Le calcul des valeurs numériques des blocs du schéma a été catastrophique. Seuls 3 candidats sont arrivés à exprimer correctement la valeur de l'ensemble des blocs en unités SI !!! Pourtant, la documentation décrivant les caractéristiques du moteur était simplement un document constructeur. Il ne s'agissait pas d'un "piège".

Le calcul de  $H1(p)$  et de  $H2(p)$  a donné lieu à un très grand nombre d'erreurs de calcul. Il a de plus révélé un manque de méthode : les candidats manipulent des expressions hétérogènes de type « forme littérale / valeur numérique ». Ces expressions évoluent partiellement et progressivement au cours des calculs, ce qui est une source d'erreur évidente. A ce niveau, le calcul littéral ne devrait pourtant pas poser de problèmes.

**Question 18** : 80% des candidats ayant traité cette question ont confondu le critère de non dépassement ( $\xi \geq 1$ ) avec le compromis stabilité / temps de réponse ( $\xi = 0,707$ ). Pour la commande d'un système mécanique, les conséquences de ce choix sont pourtant importantes.

**Question 19** : Le calcul de la marge de phase et de la marge de gain est correct, lorsque cette question est traitée.

**Question 20** : Les candidats, à quelques exceptions près, se sont bornés à rappeler le sens de P, de I et de D. Le lien entre ce type de correcteur et le système étudié n'a pas été fait.

**Question 21** : Cette question n'a été traitée que par 2 candidats.