

# **COMPOSITION D'AUTOMATIQUE ET D'INFORMATIQUE INDUSTRIELLE : automatisation d'une maquette de magasin vertical**

Épreuve commune aux options A et B. - Durée 6 h - Coeff. 3

- Vous trouverez ci-après :
- un avertissement et des recommandations aux candidats ;
  - la présentation du sujet ;
  - le questionnaire proprement-dit.

Les documents techniques et les documents réponses font l'objet de fichiers séparés.  
Il en est de même des éléments de corrigé et des remarques du jury.

## **Avvertissement et recommandations aux candidats**

L'épreuve d'automatique et d'informatique industrielle, qui vous est proposée, s'appuie sur un objet technique qui se veut très proche de la réalité industrielle. Il est évident, que la nature "académique" de l'épreuve constitue un handicap par rapport à la phase d'appropriation de cet objet technique, notamment à cause du manque évident d'interactivité. Le candidat doit cependant être conscient que, même si la présentation technique ne saurait être exhaustive, les différents éléments nécessaires à l'élaboration des réponses aux questions posées sont, a priori<sup>1</sup>, disponibles au travers des différents documents fournis.

Les problèmes d'automatique et d'informatique industrielle ne conduisent que très rarement à une solution unique et l'évaluation des solutions proposées s'avère généralement assez difficile. Afin de guider le candidat et d'apprécier au plus juste sa prestation, il lui est proposé de répondre aux questions en complétant ou en renseignant les rubriques d'un document préétabli (**document réponse**). Cela peut paraître quelque peu contraignant, mais le candidat doit comprendre que la façon dont est élaboré ce document réponse lui donne des indications, souvent précieuses, sur ce qui est lui est demandé : degré de détail exigé en fonction de la place réservée à la réponse, type de présentation pour un document à compléter... Si toutefois, le candidat éprouvait des difficultés à rester dans le cadre strict du document réponse ; il lui est toujours possible de compléter ou de reprendre sa réponse au verso des feuilles du document réponse, voir à la limite, d'utiliser des feuillets supplémentaires. Il devra, dans ce dernier cas, l'indiquer sur le document réponse et préciser clairement dans les feuillets d'extension le numéro de la question traitée.

Le document réponse n'est pas une feuille de calcul. L'espace proposé pour la réponse oblige parfois à ne donner que les points essentiels d'un calcul ou d'une démonstration. Le candidat devra estimer le degré de détail attendu.

Des figures sont parfois utilisées dans le document réponse. Lorsqu'elles sont la réduction de documents donnés en annexe, il conviendra de se reporter à l'annexe correspondante pour la lisibilité du document.

Si un candidat veut faire référence à une figure, il peut la désigner par le numéro de la question où elle est intégrée.

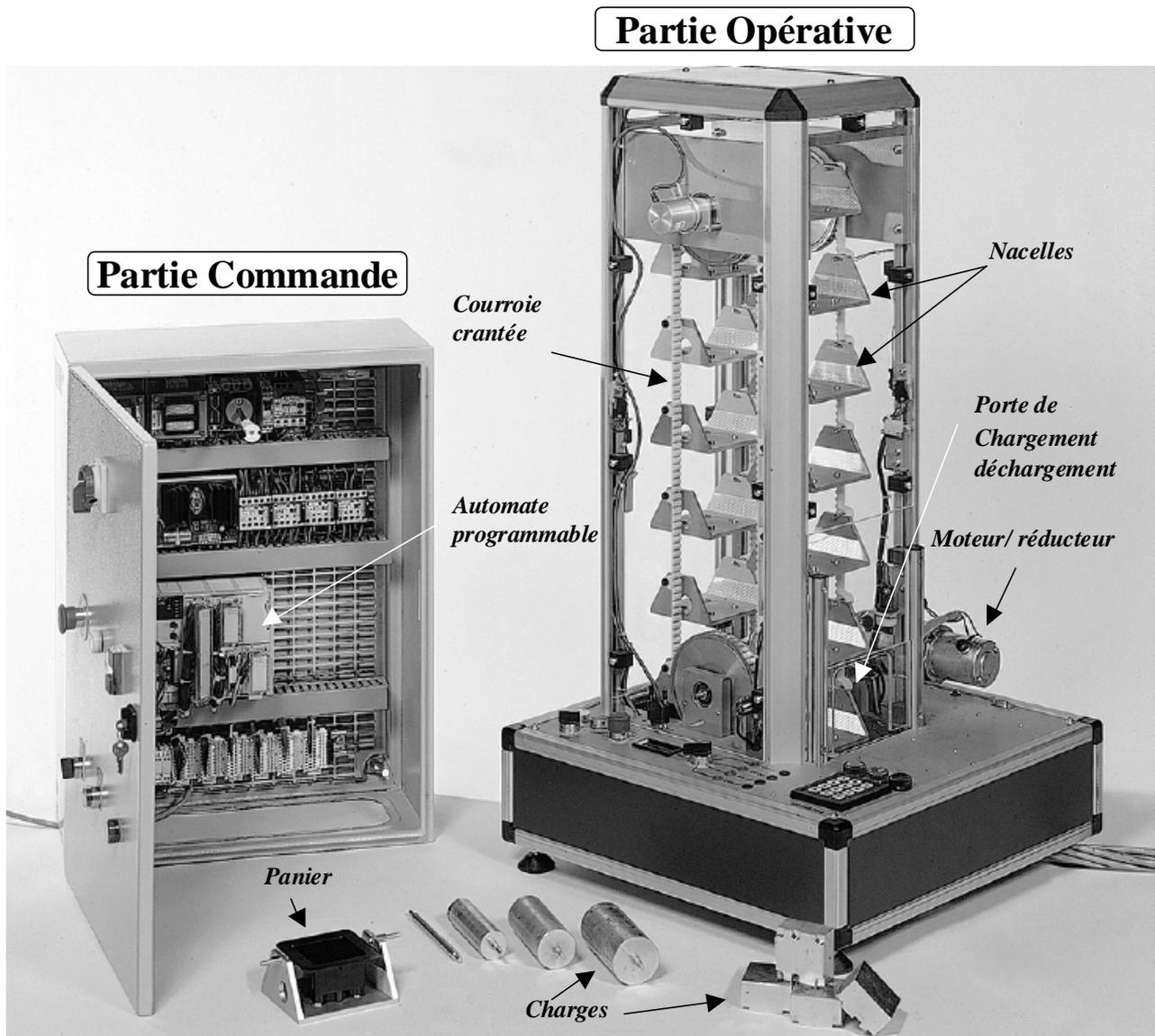
En ce qui concerne la partie traitant de l'automatique linéaire, des notations abrégées seront admises lorsqu'aucune ambiguïté n'est possible. Il sera toléré, par exemple, de représenter  $G_i(p)$  par  $G_i$  ou  $u(t)$  par  $u$ . Cette entorse à la rigueur a pour objectif d'alléger les calculs et la présentation.

Enfin, l'agrégation se veut un concours de haut niveau. Les candidats doivent donc prouver leurs connaissances techniques et scientifiques. Mais, cela ne les dispense pas de faire preuve de pragmatisme et de bon sens. Ainsi, certaines précisions, remarques ou exigences ne seront pas forcément explicitées dans le texte lorsqu'elles relèvent des évidences, des standards ou de raisonnements simples (indiquer les unités, mettre en évidence les résultats,...).

<sup>1</sup> Si le candidat était amené à considérer qu'il ne dispose pas des éléments nécessaires ou s'il croit déceler des incohérences ou des contradictions, il lui appartient de le noter sur sa copie, de prendre des options et de poursuivre son travail. Les correcteurs apprécieront bien sûr, le bien fondé de la démarche.

# Présentation générale du dispositif technologique support de l'épreuve

L'épreuve d'automatique et d'informatique industrielle qui vous est proposée s'appuie sur une maquette d'installation industrielle dont les éléments constitutifs sont représentés ci-après :



*Aperçu global du dispositif support*

Comme tout système de type "automatismes", elle peut se décomposer en deux sous-systèmes communicants :

## □ Une partie opérative :

La partie opérative est constituée d'un ensemble de 15 nacelles oscillantes suspendues sur deux courroies crantées en boucle et entraînées par un moteur à courant continu doté d'un réducteur.

Il est possible d'intervenir sur les nacelles (chargement/déchargement) au travers d'une porte coulissante à action manuelle, équipée d'interrupteurs de fin de course et d'un verrou électromagnétique.

Un capteur inductif détecte la présence de chaque nacelle devant la porte. Un deuxième capteur inductif permet de repérer une nacelle particulière dite "n° 1".

### **Caractéristiques techniques générales**

- ✓ Moteur : 24 Vcc -1500 tr/ mn – 2,4 A – 0,3 Nm
- ✓ Résistance d'induit  $R_a = 2 \Omega$
- ✓ Inductance d'induit d'induit  $L_a = 0,8 \text{ mH}$
- ✓ Variateur : 4 quadrants à transistors
- ✓ Dynamo tachymétrique : 10V à 1000 tr/mn
- ✓ Réducteur : 1/20 réversible
- ✓ Poulies : 48 dents – pas de 10 mm -  $\Phi$  160 mm – épaisseur 21 mm – Aluminium de masse volumique  $2700 \text{ Kg/m}^3$
- ✓ Courroies : en boucle – 180 dents – pas de 10 mm – 15 points équidistants de fixation des nacelles
- ✓ Charge : Maxi 1kg par nacelle
- ✓ Frein : 24 Vcc à manque de courant
- ✓ Sécurité parois : 4 interrupteurs
- ✓ Sécurité porte : 2 interrupteurs fin de course
- ✓ Détection nacelle : 2 détecteurs inductifs
- ✓ Détection charges : 1 cellule photoélectrique
- ✓ Clavier (portier) : 12 touches ( 10 chiffres + A + B )
- ✓ Voyants : 3 ( Rouge, jaune, vert )
- ✓ Commande manuelle : 2 boutons poussoirs

#### **□ Une partie commande :**

La partie commande est constituée d'un coffret électrique industriel comportant les alimentations, les protections électriques, un certain nombre de dispositifs de sélection ainsi qu'un automate programmable industriel.

### **Caractéristiques techniques générales**

- ✓ Automate programmable industriel TSX 37-21 équipé de 32 entrées et 12 sorties TOR (Tout Ou Rien), module de comptage, entrées et sorties analogiques
- ✓ Commandes sur porte : Marche/Arrêt, Arrêt d'urgence, acquittement défaut, sélecteur Manuel/Auto

## **Questionnaire**

Partie A : Analyse de quelques éléments du dispositif

Partie B : Automatisation de commande

Partie C : Étude de la partie continue

Partie D : Logique de sécurité

### **Partie A : Analyse de quelques éléments du dispositif**

*Nous nous proposons, dans cette première partie, d'étudier un certain nombre de sous-ensembles qui constituent le dispositif objet de l'étude. Cette analyse, bien qu'indépendante des autres parties du problème, constitue une bonne approche pour la compréhension globale du système et donc pour le positionnement dans leur contexte technologique des différentes questions posées par la suite.*

*L'objectif essentiel de cette partie est d'apprécier le spectre de connaissances scientifiques des candidats, leur "culture" technologique et leur capacité à analyser des documents techniques (présentation générale du dispositif technologique support de l'épreuve, annexes techniques).*

#### **A. 1. Capteurs et actionneurs**

- ✓ À partir des différents schémas, photos et documentations constructeurs donnés en annexe, compléter le document réponse de façon à donner pour chacune des fonctions capteurs, actionneurs et DHM (Dialogue Homme Machine), les dénominations, les références et les repères des constituants qui les réalisent.

## A. 2. Caractérisation de l'ensemble mécanique

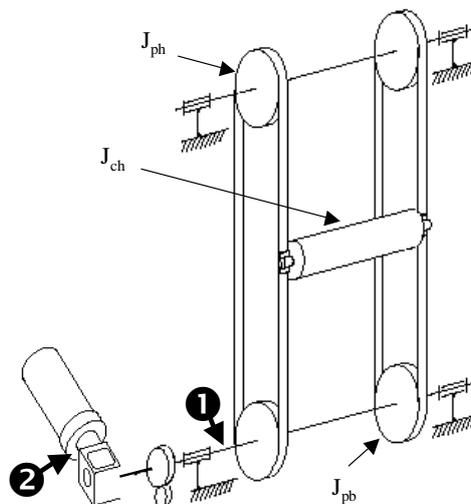
- ✓ Les applications numériques seront faites pour l'ensemble des réponses de cette partie A.2.

### A. 2. 1 Vitesses et couples

- ✓ Pour une vitesse de rotation nominale du moteur ( $N_n$ ), calculer la vitesse de déplacement linéaire des nacelles ( $V$ ).
- ✓ Quelle est la tension délivrée par la génératrice tachymétrique pour la vitesse de rotation nominale du moteur ( $N_n$ ) ? Donner le coefficient de proportionnalité de la génératrice tachymétrique ( $k_{tach}$ ).
- ✓ Calculer le couple moteur nécessaire pour déplacer une nacelle chargée d'une masse de 1 kg (la masse propre de la nacelle sera négligée).

### A. 2. 2 Inerties

En considérant que la partie mécanique peut être représentée par le schéma simplifié ci-après et que le système est chargé par un cylindre plein de masse 3 kg ( $ch$ ) :



- ✓ Calculer, en négligeant l'inertie des courroies mais pas celle des poulies, l'inertie de charge aval ( $J_{ch}$ ) ramenée à l'axe ①
- ✓ Sachant que l'inertie du moteur est de  $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ Kg.m}^2$  donner la valeur de l'inertie totale  $J_m$  ramenée sur l'arbre du moteur ②.

## A. 3. Étude de la partie électrique

La mise sous tension du dispositif s'effectue à partir du coffret de commande. Elle met en œuvre un certain nombre de procédures à la fois de traitement de l'énergie ( adaptation de tension, de fréquence, régulation...) ainsi que des logiques de contrôle.

### A. 3. 1 Différentes alimentations

- ✓ À partir notamment de l'examen du dossier électrique du coffret automate du magasin vertical (partie commande) donné en annexe (folio 3 et nomenclature), indiquer la constitution et la distribution des différentes alimentations nécessaires au fonctionnement de l'ensemble. A cet effet, compléter le document réponse.

### A. 3. 2 Logique de commande de KM1

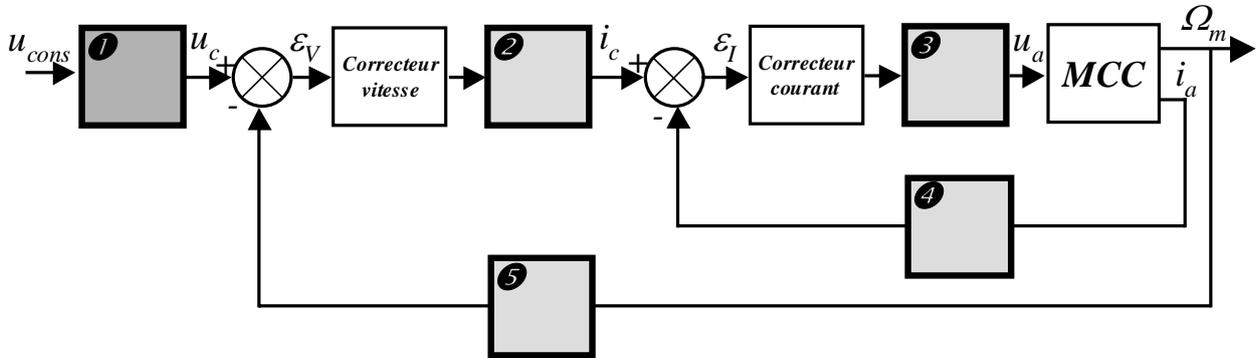
KM1 est un élément de commande électrique dont l'agencement est essentiellement précisé sur le folio 4 du dossier électrique de la partie commande (documents techniques).

- ✓ Indiquer les fonctions et caractéristiques principales de l'élément KM1.
- ✓ Expliciter la procédure de mise sous tension du dispositif.

- ✓ À partir du schéma électrique reproduit dans le document réponse, préciser l'équation logique déterminant l'état de KM1. Visualiser les différents termes de cette équation et préciser succinctement leur rôle.

## A. 4. Système moteur - variateur

Comme indiqué dans les documents constructeur, le moteur est alimenté par un variateur de vitesse mono-axe de type INFRANOR MS. On se propose de dresser un schéma fonctionnel de cet ensemble suivant le modèle ci-après :



$u_{cons}(t)$  désigne la tension image de la vitesse de consigne  $\Omega_c$ ,  $u_c(t)$  la tension de consigne de la boucle de vitesse,  $\varepsilon_V(t)$  l'erreur de vitesse,  $i_c(t)$  le courant de consigne de la boucle de courant et  $\varepsilon_I(t)$  l'erreur de courant.

### A. 4. 1 Précisions fonctionnelles

- ✓ À l'instar de ce qui est proposé, sur le document réponse, pour l'étage n°1, décrire brièvement, les fonctions, les éléments constitutifs et les modèles simplifiés élémentaires des étages 2, 3, 4 et 5.

### A. 4. 2 Correcteurs

- ✓ Représenter les fonctions de transfert des correcteurs de vitesse et de courant mis en œuvre. On désignera respectivement ces correcteurs par  $C_V(p)$  et  $C_I(p)$  et on précisera les valeurs numériques ou les plages de valeurs numériques accordées aux différents paramètres.

### 4. 3 Verrouillage

- ✓ Justifier la présence des dispositifs de verrouillage des condensateurs utilisés dans la réalisation analogique de ces correcteurs. De même, indiquer pourquoi le gain du correcteur de courant est fixé a priori.

## Partie B : Automatisation de commande

La deuxième partie de l'étude est consacrée à la détermination d'un automatisme de commande implanté sur l'automate programmable industriel.

### B. 1. Procédure de prise d'origine machine

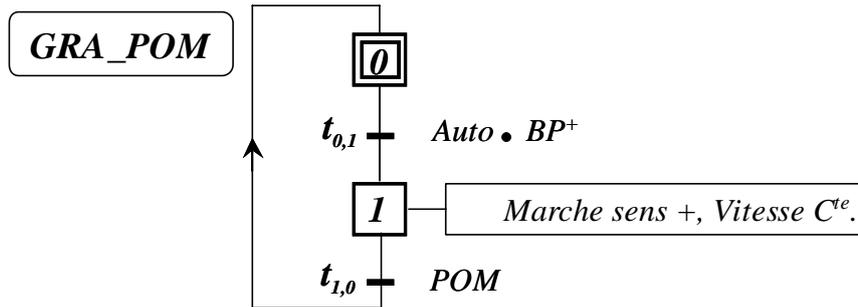
Le sélecteur de mode de fonctionnement étant sur "Auto", lorsque l'on appuie sur le bouton poussoir "BP" le moteur doit être mis en marche à vitesse constante, dans le sens considéré comme positif (sens horaire). Lorsque le détecteur inductif "S1" (POM) signale le passage du panier n°1, l'alimentation du moteur est coupée et le dispositif est considéré dans sa position initiale. Les différents problèmes de logique de mise sous tension et de sécurité seront considérés traités par ailleurs et ne seront donc pas pris en compte dans la présente procédure.

#### B. 1. 1 Entrées/sortie

- ✓ Compléter le schéma du document réponse de façon à préciser les entrées et la sortie mises en jeu par le cahier des charges ci-avant. Ces variables seront repérées sous leur aspect fonctionnel (niveau I de description) et par rapport à leur implantation normalisée (Niveau II). Montrer que le moteur peut être totalement contrôlé à partir de la consigne de vitesse appliquée au variateur.

### B. 1. 2 Formalisation fonctionnelle

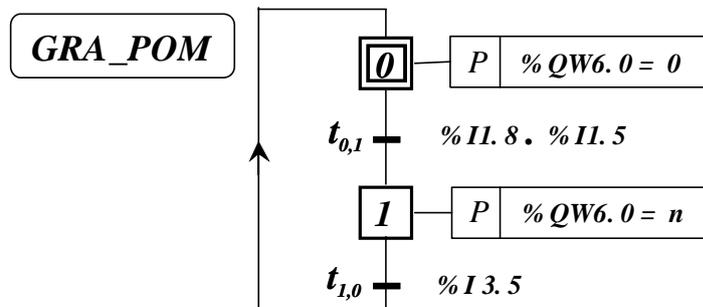
Le GRAFCET fonctionnel ci-après (GRA\_POM) est sensé formaliser le cahier des charges précédent :



- ✓ Indiquer sur le document réponse les différents éléments graphiques qui composent un GRAFCET en prenant exemple sur la notion d'étape initiale.
- ✓ La flèche montante dans la boucle de retour est-elle nécessaire? Pourquoi?

### B. 1. 3 Formalisation logique

La prise en compte des spécifications technologiques peut conduire au GRAFCET suivant :



- ✓ Compléter les chronogrammes du document réponse pour indiquer l'évolution des variables de situation et de la sortie en fonction de la séquence d'entrée appliquée.

### B. 1. 4 Problèmes

À partir du GRAFCET précédent, on suppose que le bouton poussoir BP+ est maintenu appuyé alors que le capteur d'origine POM est atteint :

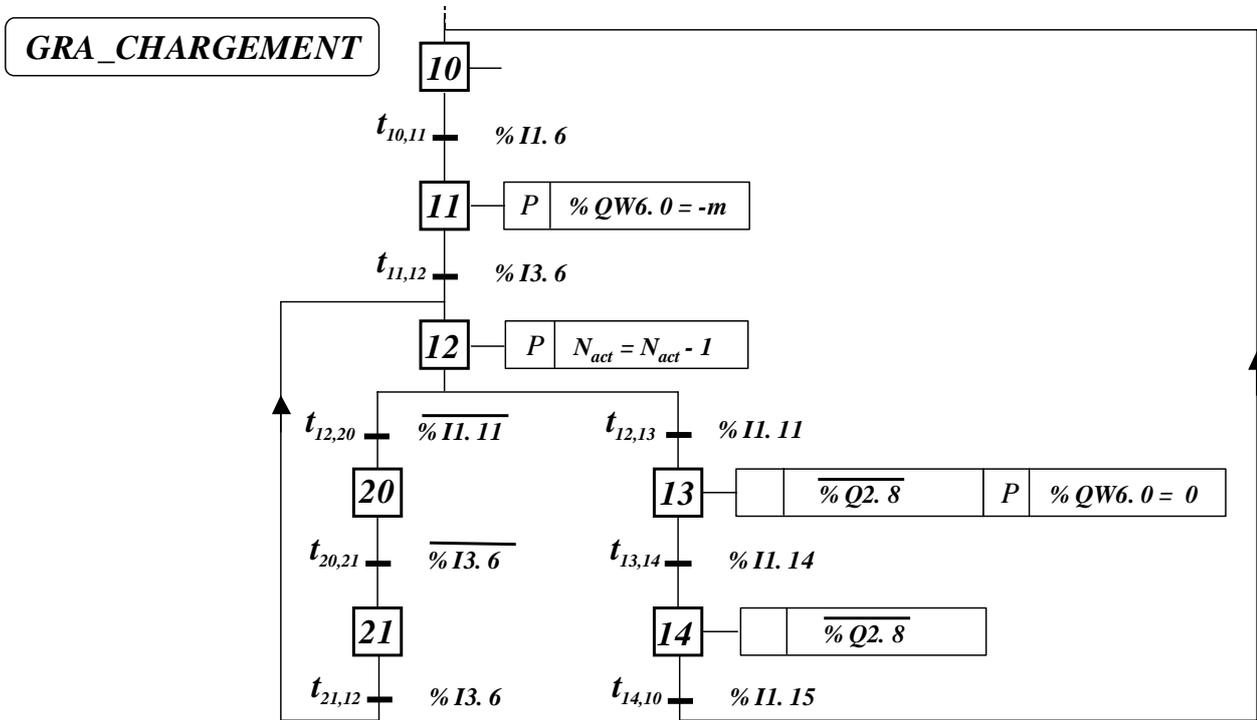
- ✓ Quels sont les problèmes qui peuvent apparaître et quelles sont les questions que l'on doit se poser par rapport aux options d'interprétation du GRAFCET ?
- ✓ Proposer une solution.

## B. 2. Procédure de recherche de nacelle vide

Une variable  $N_{act}$  désigne le numéro de la nacelle présente devant la porte de chargement/déchargement.

### B. 2. 1 Cahier des charges

Le GRAFCET ci-après modélise la procédure de demande d'une nacelle vide pour y stocker un panier :



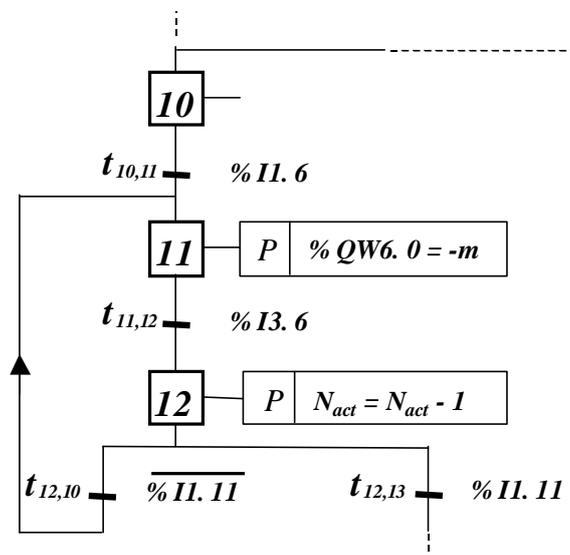
- ✓ Expliciter le cahier des charges de cette procédure sous forme littérale.

### B. 2. 2 Analyses complémentaires

Le GRAFCET précédent ne tient pas compte de la numérotation de 1 à 15 des nacelles.

- ✓ Modifier ce GRAFCET pour tenir compte de cette numérotation (modulo 15).

La procédure de poursuite de recherche lorsque la nacelle détectée n'est pas vide semble pouvoir être simplifiée de la façon suivante :



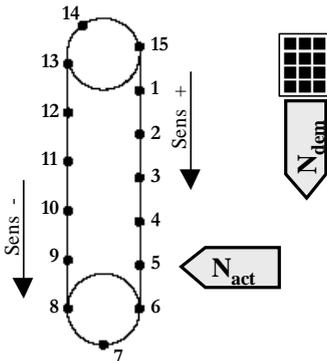
- ✓ Montrer que cette simplification n'est pas correcte.

## B. 2. 3 Verrouillage/déverrouillage

Le verrouillage de la porte de chargement/déchargement est assuré par une ventouse électromagnétique Y2 contrôlée par la sortie d'automate % Q2. 8. Cette variable apparaît explicitement dans les actions de type continu associées aux étapes 13 et 14 du GRAFCET donné en B. 2. 1.

- ✓ Compléter les chronogrammes du document réponse précisant l'évolution dans le temps de cette variable % Q2. 8.
- ✓ En considérant que les actions sont programmées au moyen d'un langage de type LD (Ladder Diagram), compléter le schéma d'implantation en remarquant que la variable % Q2. 8 est affectée sous sa forme vraie.

## B. 2. 4 Optimisation de trajet



On désire, à présent, amener une nacelle donnée devant la porte de chargement/déchargement en tapant son numéro sur le clavier codé.  $N_{act}$  désigne toujours le numéro de la nacelle présente devant la porte de chargement/déchargement et  $N_{dem}$  désigne le numéro de la nacelle demandée.

- ✓ Établir un programme en langage littéral structuré (ST [Structured Text] de la norme CEI 1131-3) permettant de choisir le sens de rotation du moteur qui minimise le trajet pour amener la nacelle demandée devant la porte de chargement/déchargement. On pourra utilement noter que le langage de programmation ST du TSX propose en plus des structures traditionnelles de type IF, WHILE et autres REPEAT, la fonction REM définie par :

$$r := A \text{ REM } B \Rightarrow r \text{ est le reste de la division de } A \text{ par } B$$

## Partie C : Étude de la partie continue

Cette partie est consacrée à l'étude du dispositif de motorisation sous son aspect contrôle/commande

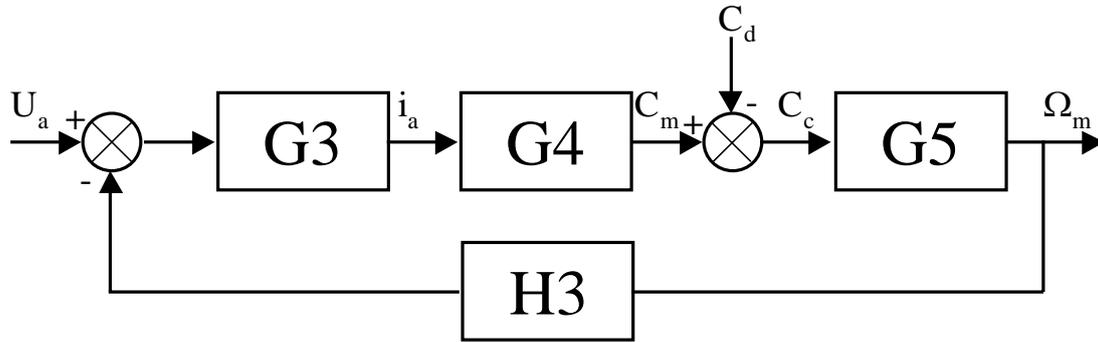
### C. 1. Modélisation générale

Le moteur est une machine à courant continu fonctionnant à flux constant et à commande d'induit. Les hypothèses simplificatrices classiques seront admises : hystérésis et chutes de tension négligées, non saturation magnétique, comportement linéaire... Le moteur pourra alors être décrit par un modèle stationnaire du 2<sup>ème</sup> ordre à partir des paramètres suivants :

- $J_m$  : moment d'inertie total des masses tournantes
- $f$  : coefficient de frottements visqueux
- $k_m$  : coefficient de couple du moteur
- $k_e$  : coefficient de force contre-électromotrice du moteur
- $R_a, L_a$  : résistance et inductance de l'induit

#### C. 1. 1 Schéma-bloc moteur

Le moteur est représenté sur le schéma-bloc ci-après où  $u_a(t)$ ,  $i_a(t)$ , et  $\Omega_m(t)$  désignent respectivement la tension d'induit, le courant d'induit et la vitesse de l'arbre du moteur à l'instant  $t$ .



En complétant le document réponse :

- ✓ Caractériser les couples  $C_m(t)$ ,  $C_d(t)$  et  $C_c(t)$ .
- ✓ Donner les expressions des fonctions de transfert  $G_3(p)$ ,  $G_4(p)$ ,  $G_5(p)$  et  $H_3(p)$  à partir des coefficients prédéfinis.

### C. 1. 2 Fonction de transfert $\Omega_m(p) / u_a(p)$ .

- ✓ Déterminer, en l'absence de signal perturbateur  $C_d(t)$ , la fonction de transfert entrée – sortie de ce système :

$$G(p) = \Omega_m(p) / u_a(p).$$

On l'exprimera tout d'abord, à partir des fonctions de transfert  $G_3(p)$ ,  $G_4(p)$ ,  $G_5(p)$  et  $H_3(p)$ . Il est rappelé que pour des questions de concision de rédaction il est admis de remplacer  $F_i(p)$  par  $F_i$ .

On donnera ensuite l'expression de  $G(p)$  en fonction des différents paramètres électromécaniques du système et des constantes de temps électrique ( $T_e$ ) et mécanique ( $T_m$ ) du système en boucle ouverte. Caractériser ces constantes de temps.

- ✓ Déterminer le gain statique de  $G(p)$ , que l'on désignera par  $k_{em}$ .

### C. 1. 3 Détermination des paramètres

On se propose d'estimer les paramètres du modèle établi à la question C. 1. 2 à partir des différentes données précisées dans la présentation générale du dispositif technologique. On considère en outre que  $J_m = 3 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$  et que les constantes  $k_m$  en Nm/A et  $k_e$  en Vs/rad ont la même valeur numérique que l'on prendra égale à 0,125 compte tenu des approximations des données constructeur.

- ✓ Calculer les différents paramètres impliqués dans l'expression de  $G(p)$ .
- ✓ Mettre le résultat sous la forme :  $G(p) = \frac{k_{em}}{(1 + T_1 p)(1 + T_2 p)}$  avec  $T_1 < T_2$ . Calculer numériquement  $T_1$  et  $T_2$ .

### C. 1. 4 Simplification

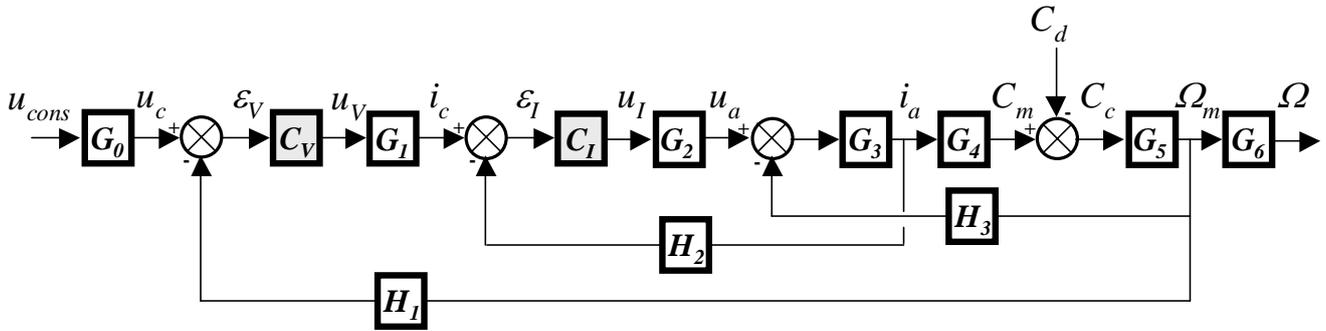
On admet que la réponse du circuit électrique est infiniment plus rapide que celle de la partie mécanique. En d'autres termes, on considère que l'établissement du courant est instantané.

- ✓ Montrer que la fonction de transfert  $G(p) = \Omega_m(p) / u_a(p)$  peut se simplifier sous la forme :

$$G(p) = \frac{\Omega_m(p)}{u_a(p)} = \frac{k_{em}}{1 + T_{em} \cdot p}$$

- ✓ Donner les valeurs numériques de  $k_{em}$  et de  $T_{em}$ .

On propose pour la suite de représenter l'ensemble du système moteur-variateur analysé en A. 4, à partir d'une modélisation simplifiée des différents étages par fonction de transfert selon le schéma-bloc ci-après :



## C. 2. Réglage du courant d'induit

On considère le problème de poursuite – régulation associé au maintien du courant moteur  $i_a(t)$  proche du courant de consigne  $i_c(t)$  en dépit des perturbations non déterministes du couple  $C_d(t)$ .

### C. 2. 1. Modélisation

La relation existant entre les transformées de Laplace des trois signaux précédemment évoqués, peut être exprimée sous la forme :

$$i_a(p) = S_p(p) \cdot i_c(p) + S_r(p) \cdot C_d(p)$$

avec :

$$S_p(p) = \frac{C_I(p) \cdot G'(p)}{1 + C_I(p) \cdot G'(p) \cdot H_2(p)} \quad S_r(p) = \frac{G''(p)}{1 + C_I(p) \cdot G'(p) \cdot H_2(p)}$$

- ✓ Donner les expressions de  $G'(p)$  et de  $G''(p)$  en fonction des transmittances  $G_i(p)$  et  $H_j(p)$ .  
Il est rappelé que pour des questions de concision de rédaction il est admis de remplacer  $F_i(p)$  par  $H_i$

### C. 2. 2. Expression de $G'(p)$ et $G''(p)$

- ✓ Exprimer  $G'(p)$  et  $G''(p)$  en fonction de  $G(p)$  (définie au C. 1. 2) et de transmittances  $G_i(p)$  et  $H_j(p)$ .

### C. 2. 3. Performances statiques et dynamiques

- ✓ Caractériser les objectifs de la correction de la boucle de courant, en terme de comportement statique et dynamique des fonctions de transfert  $S_p(p)$  et  $S_r(p)$ .

## APPROCHE ALGÈBRE DU PROBLÈME DE RÉGULATION

On se propose de rechercher un modèle de correcteur  $C_I(p)$  visant à satisfaire la relation :

$$i_a(t) = K \cdot i_c(t)$$

dans laquelle  $K$  désigne un facteur de gain constant.

### C. 2. 4. Modèle de correcteur

- ✓ Déterminer algébriquement un modèle de correcteur  $C_I(p)$  visant à satisfaire cet objectif en l'absence de perturbation [ $C_d(t)=0$ ].
- ✓ Calculer  $C_I(p)$  dans le cas simplifié où la dynamique du circuit induit peut être négligée et où les fonctions  $G_2(p)$  et  $H_2(p)$  sont respectivement assimilées à de simples facteurs de gain  $k_{G2}$  et  $k_{H2}$ .  
On exprimera  $C_I(p)$  en fonction des paramètres  $k_{G2}$  et  $k_{H2}$ , du gain  $K$ , de la résistance d'induit  $R_a$  et des constantes de temps mécanique et électromécanique ( $T_m$  et  $T_{em}$ ).

### C. 2. 5 Relation entre $i_a(p)$ , $i_c(p)$ et $C_d(p)$

- ✓ En déduire, dans le cas simplifié, la relation existant entre  $i_a(p)$ ,  $i_c(p)$  et  $C_d(p)$ .

### C. 2. 6 Conclusion

- ✓ Quel est le type de correcteur obtenu ?
- ✓ Que peut-on conclure quant au correcteur envisagé ?
- ✓ Quelles sont les limitations de ce type de correcteur ?

## APPROCHE FRÉQUENTIELLE DU PROBLÈME DE RÉGULATION

### C. 2. 7 Étude de la dynamique de poursuite

On se propose d'analyser la dynamique de poursuite de la boucle de courant à partir de l'analyse de la réponse fréquentielle de la fonction de transfert en boucle ouverte  $G_{BOI}(p)$ , mise en évidence par la réécriture de  $S_p(p)$  sous la forme :

$$S_p(p) = \frac{G_{BOI}(p)}{1 + G_{BOI}(p)} \cdot \frac{1}{H_1(p)}$$

- ✓ Identifier les fonctions de transfert  $G_{BOI}(p)$  et  $H_1(p)$  à partir de  $C_1(p)$ ,  $H_2(p)$  et  $G'(p)$ .

On reprend le modèle simplifié de  $G(p)$  déterminé question C. 1. 4. On assimile toujours les fonctions de transfert  $G_2(p)$  et  $H_2(p)$  à de simples gains désignés respectivement par  $k_{G2}$  et  $k_{H2}$ .

- ✓ Exprimer les fonctions de transfert  $G(p)$ ,  $G'(p)$  et  $G''(p)$  à partir des différents paramètres électromécaniques, sous une forme explicitant les différentes constantes de temps mises en jeu.

### C. 2. 8 Analyse qualitative du correcteur installé

On se propose maintenant d'analyser le correcteur  $C_1(p)$  à gain ( $k_I$ ) et facteur d'intégration ( $T_I$ ) fixés, mis en place par le constructeur (voir question A. 4. 2) :

$$C_1(p) = \frac{k_I}{T_I \cdot p} \cdot (1 + T_I \cdot p)$$

- ✓ Indiquer de manière qualitative en quoi ce correcteur est adapté aux objectifs précédemment définis.
- ✓ Préciser aussi en quoi il est limité.

### C. 2. 9 Réponse fréquentielle de $G_{BOI}(p)$ . (cas simplifié)

On donne :  $k_{G2} = 1,5$  et  $k_{H2} = 10^{-5}$

- ✓ Donner, sur le document réponse, une représentation asymptotique de la réponse en amplitude et une esquisse de la réponse en phase, en indiquant clairement les pulsations de cassure concernées ainsi que leur évaluation numérique.

### C. 2. 10 Estimation de la bande passante

On considère la fonction de transfert :

$$\frac{G_{BOI}(p)}{1 + G_{BOI}(p)}$$

- ✓ Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme :

$$\frac{(1 + T_I \cdot p) (1 + T_m \cdot p)}{(1 + T_{I1} \cdot p) (1 + T_{21} \cdot p)}$$

à partir des constantes de temps  $T_I$  et  $T_m$  et des constantes de temps  $T_{I1}$  et  $T_{21}$  que l'on calculera. On choisira  $T_{I1} < T_{21}$ .

- ✓ Calculer la bande passante à  $-3\text{dB}$  de cette fonction de transfert. Vérifier que celle-ci est bien inférieure à la pulsation de cassure du circuit induit.

### C. 2. 11 Réponse fréquentielle de $G_{B01}(p)$ . (cas général)

*L'hypothèse simplificatrice, consistant à négliger la constante de temps électrique, peut se révéler hasardeuse et est souvent déconseillée à ce niveau. On désire évaluer les limites de la démarche adoptée ici:*

- ✓ Reprendre l'analyse de la réponse fréquentielle de  $G_{B01}(p)$  (question C. 2. 9) en considérant cette fois-ci le modèle initial du second ordre déterminé à la question C. 1. 3.

### C. 2. 12 Validité du réglage

- ✓ Dédire de cette analyse (C.2.11), une limite inférieure pour la constante d'intégration  $T_I$ , supposée ici non fixée, en dessous de laquelle la marge de stabilité du système peut se révéler insuffisante.
- ✓ Illustrer graphiquement par un tracé sommaire un cas de figure critique. On pourra, par exemple, exagérer en prenant  $T_I = 15 \mu\text{s}$ .

### C. 2. 13 Modélisation de l'étage de puissance

*On souhaite évaluer la robustesse de cette analyse vis-à-vis de la modélisation de l'étage de puissance. On introduit, pour cela, dans  $G_2(p)$  un opérateur de retard  $e^{-\tau_r p}$  défini à partir du concept de "retard statistique"*

- ✓ Quelle partie de l'étage de puissance se propose-t-on de modéliser ainsi ?

*On considère pour notre analyse l'approximation au premier ordre de Padé d'un tel opérateur. Cette approximation est définie de la manière suivante :*

$$e^{-\tau_r p} \approx \frac{1 - \frac{\tau_r}{2} p}{1 + \frac{\tau_r}{2} p}$$

*et conduit au modèle suivant de  $G_2(p)$  :*

$$G_2(p) = k_{G2} \frac{1 - \frac{\tau_r}{2} p}{1 + \frac{\tau_r}{2} p}$$

- ✓ Déterminer, à partir de la valeur affichée de la fréquence de découpage, un domaine fréquentiel de validité de cette approximation. On admettra l'approximation  $x \neq \text{tg } x$  pour  $x < \pi/6$ .
- ✓ Quelle est l'incidence de cette modélisation sur les analyses fréquentielles de  $G_{B01}(p)$  développées dans les questions C. 2. 9 et C. 2. 11 ?

## C. 3. Réglage de la boucle de vitesse

*On considère le problème de poursuite – régulation associé à l'asservissement de vitesse  $\Omega_m(t)$  du rotor à une valeur de consigne  $\Omega_c(t)$  en dépit des perturbations  $C_d(t)$ . La tension  $u_{cons}(t)$  représentée dans le schéma-bloc (page 10) est l'image de cette consigne de vitesse.*

### C. 3. 1. Modélisation

- ✓ Établir la relation existant entre les transformées de Laplace des différents signaux  $\Omega_m(t)$ ,  $u_{cs}(t)$  et  $C_d(t)$  sous la forme :  $\Omega_m(p) = T_p(p) \cdot u_c(p) + T_r(p) \cdot C_d(p)$  dans laquelle les fonctions de transfert  $T_p(p)$  et  $T_r(p)$  sont exprimées à partir des fonctions de transfert  $C_v(p)$ ,  $S_p(p)$ ,  $S_r(p)$ ,  $G_i(p)$  et  $H_j(p)$ .

### C. 3. 2. Performances statiques et dynamiques

- ✓ Caractériser, en terme de comportement statique et dynamique des fonctions de transfert  $T_p(p)$  et  $T_r(p)$ , les objectifs de la correction de la boucle de vitesse.
- ✓ Indiquer en quoi les objectifs sont satisfaits par le correcteur  $C_v(p)$  installé par le constructeur (voir question A. 4. 2).
- ✓ En quoi peuvent-ils être limités ?

### C. 3. 3. Étude de la dynamique de poursuite

- ✓ Exprimer  $T_p(p)$  sous une forme "boucle ouverte / boucle fermée" de type :

$$T_p(p) = \frac{G_{BOV}(p)}{1 + G_{BOV}(p)} \cdot \frac{1}{H_V(p)}$$

On considère à nouveau le modèle simplifié de  $G(p)$ ,  $G_2(p)$  et  $H_2(p)$ , de même que l'on assimile les fonctions de transfert  $G_1(p)$  et  $H_1(p)$  à des gains statiques, respectivement  $k_{G1}$  et  $k_{H1}$ .

- ✓ Exprimer  $G_{BOV}(p)$  sous une forme paramétrique explicitant les différentes constantes de temps mises en jeu.

### C. 3. 4. Modélisation de $H_1(p)$

On admet le modèle simplifié suivant de la chaîne de retour de la boucle de vitesse :

$$H_1(p) = k_{H1} = k_{tach} \cdot k_D \cdot k_S$$

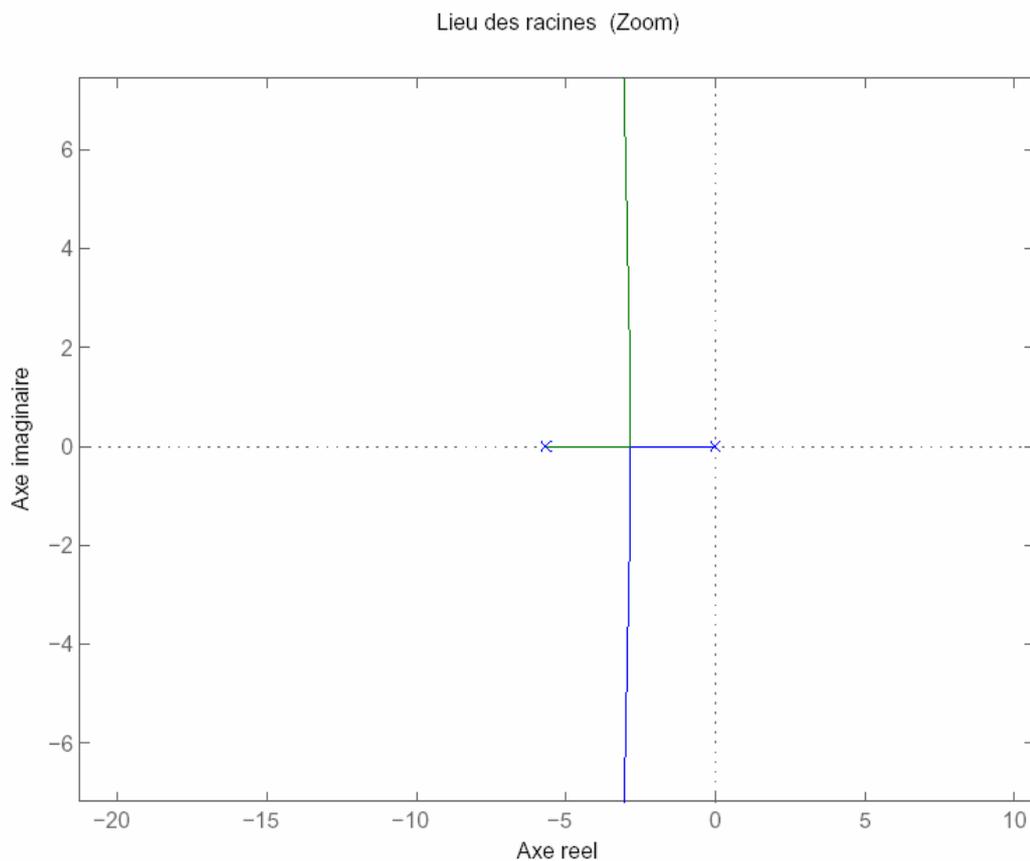
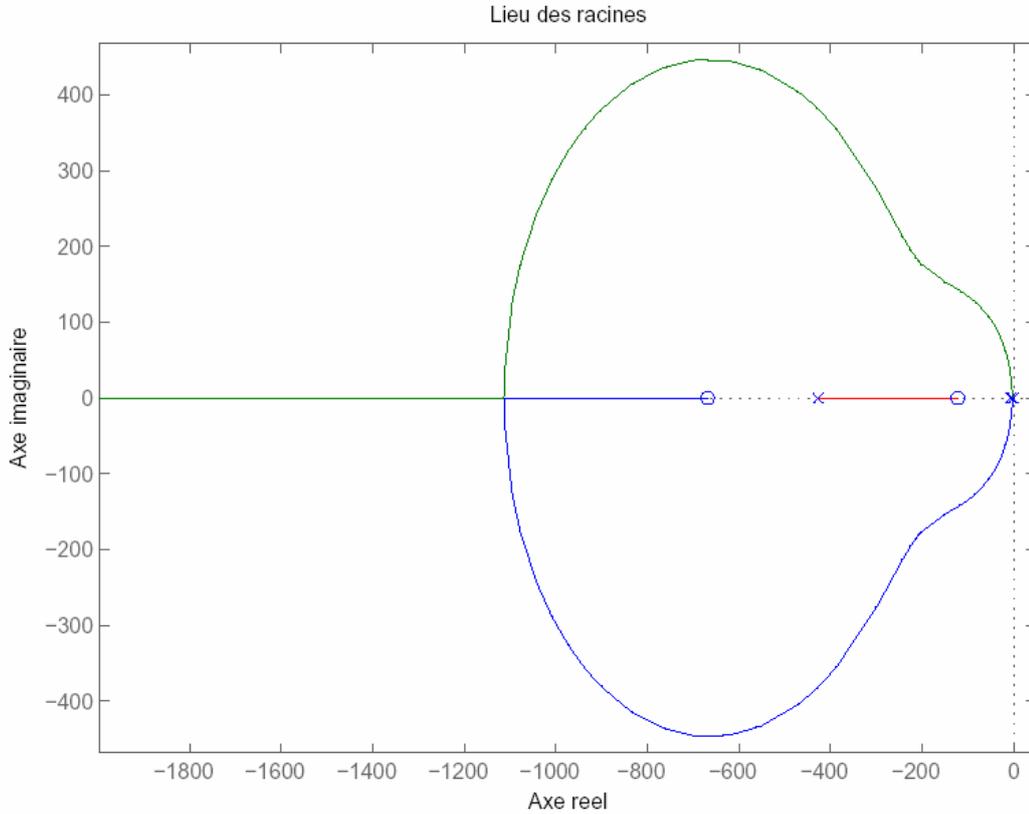
où  $k_{tach}$  désigne le gain de la génératrice tachimétrique,  $k_D$  le gain d'un amplificateur différentiel non détaillé ici et  $k_S$  le gain potentiométrique de mise à l'échelle du signal de sortie.

- ✓ Justifier cette mise à l'échelle et identifier sur le schéma de fonctionnement joint en annexe technique le potentiomètre utilisé à cette fin.
- ✓ Déterminer, en fonction des données communiquées et de  $k_D$  la valeur du gain  $k_S$ . On admettra la modélisation simplifiée de l'amplificateur différentiel d'entrée :  $G_0(p) = k_{G0} = 0,5$ . Calculer  $k_{H1}$ .

## ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE VITESSE

La correction de vitesse mise en place par le constructeur implique un correcteur de type PI (Proportionnel-Intégral) à facteur d'intégration  $T_v$  fixé et à gain variable  $k_v$ .

On se propose d'analyser la dynamique d'asservissement en vitesse à partir de l'enregistrement du lieu des racines de l'équation caractéristique  $1 + G_{BOV}(p) = 0$ , représenté ci-après lorsque le gain  $k_v$  du correcteur  $C_v(p)$  varie de 0 à l'infini. Rappelons que les points de départ ( $k_v = 0$ ) y sont représentés de manière conventionnelle par des x tandis que les points d'arrivée à distance finie ( $k_v \rightarrow \infty$ ) sont eux représentés par des o.



### C. 3. 5. Analyse du lieu

- ✓ Retrouver sur ce lieu, les valeurs approchées des différentes constantes de temps  $T_V$ ,  $T_I$ ,  $T_{II}$  et  $T_{2I}$  déterminées précédemment.

### C. 3. 6. Pôles de la boucle de vitesse

- ✓ Positionner sur ce lieu les pôles de l'équation caractéristique de la dynamique d'asservissement en vitesse correspondant à un amortissement de la dynamique propre oscillatoire  $\xi = \sqrt{2} / 2$ . Évaluer ces pôles.

### C. 3. 7. Évaluation graphique du gain

- ✓ Proposer une méthode graphique d'évaluation du gain  $k_v$  sur le lieu des racines.

### C. 3. 8. Application numérique

- ✓ Appliquer cette méthode à la détermination du gain  $k_v$  assurant le positionnement des pôles déterminés à la question C. 3. 6. On considèrera l'approximation  $G_1(p) = k_{G1} = 10^{-5} \Omega^{-1}$ .

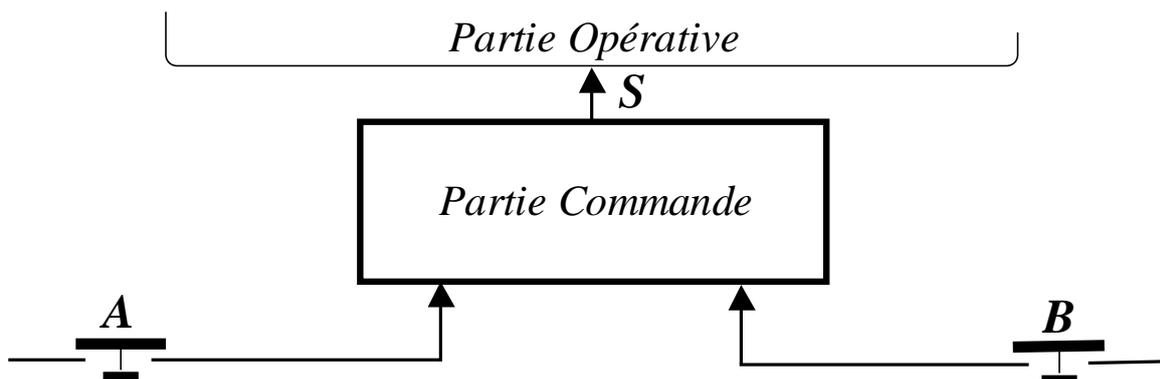
### C. 3. 9. Correction algébrique

- ✓ Exprimer l'équation caractéristique  $1 + G_{BOV}(p) = 0$  associée à la correction en courant déterminée à la question C. 2. 4.
- ✓ Déterminer en fonction du facteur de gain  $K$ , le gain  $k_v$  du correcteur de vitesse installé impliquant une dynamique propre oscillatoire d'amortissement  $\xi = \sqrt{2} / 2$ . En déduire les racines de l'équation caractéristique associées. Commenter les résultats obtenus.

## Partie D : Logique de sécurité

Afin de sécuriser le fonctionnement de la partie opérative, on désire adjoindre aux dispositifs précédemment étudiés (logique de mise sous tension, programmes automate...) un système basé sur une séquence particulière de manipulation de deux interrupteurs A et B. L'objectif de cette partie sera de faire l'analyse du cahier des charges proposé, sa formalisation à partir des méthodes formelles de la logique séquentielle et d'en envisager sa mise en œuvre au moyen de différents circuits intégrés logiques.

Le schéma de principe du dispositif de contrôle est donné ci-après :

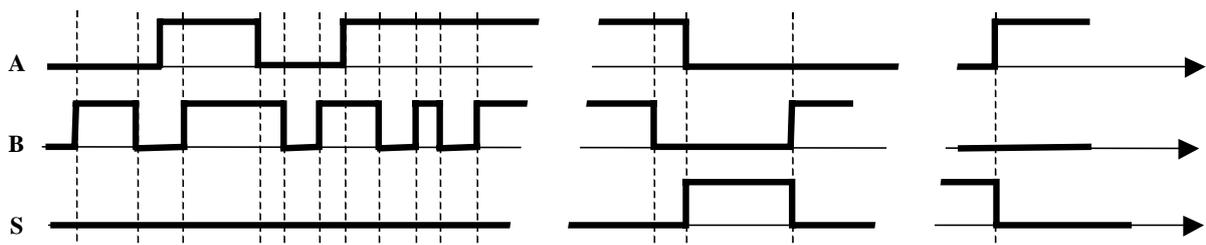


Le cahier des charges peut être décrit de la façon suivante :

Pour déverrouiller la partie opérative, il faut appuyer sur A puis relâcher A sachant que :

- L'évolution de l'entrée A de 0 à 1 n'est prise en compte que si l'entrée B est active ( $B=1$ ).
- L'évolution de l'entrée A de 1 à 0 n'est prise en compte que si l'entrée B est inactive ( $B=0$ ).
- Toute évolution de A, dans des conditions autres que celles décrites ci-dessus, entraîne l'arrêt d'une séquence de déverrouillage et l'obligation de repasser par l'état ( $A=0$ ,  $B=0$  et  $S=0$ ) avant la prise en compte d'une nouvelle séquence.
- La partie opérative étant déverrouillée ( $A=0$ ,  $B=0$ ,  $S=1$ ) ; l'action sur l'un quelconque des boutons A ou B entraîne son verrouillage.

Les chronogrammes de la figure ci-après représentent des séquences possibles d'évolution de la sortie S en fonction des évolutions des deux entrées A et B :



On se propose de synthétiser une machine logique séquentielle asynchrone répondant au cahier des charges établi ci-avant.

### D. 1. Établissement du graphe de fluence

Le cahier des charges d'une machine séquentielle asynchrone peut être représenté par un graphe visualisant les états séquentiels du système par des cercles et les séquences de passage d'un état à un autre par des arcs orientés.

- ✓ Compléter le graphe de fluence du document réponse en rajoutant les combinaisons d'entrées, les valeurs de sorties et les arcs d'évolution nécessaires.

### D. 2. Table des phases primitive

Les mêmes informations peuvent être représentées sous forme tabulaire.

- ✓ Compléter sur le document réponse la table des phases primitive en visualisant les états stables.
- ✓ Donner une condition suffisante prouvant que le système est séquentiel.

### D. 3. Réduction

La table des phases primitive comportant 8 états distincts, il semble indispensable de disposer de trois variables secondaires pour coder ces états. Toutefois, les variables d'entrée peuvent aussi servir à distinguer ces états. Ces remarques se traduisent par la mise en œuvre d'une procédure de réduction dont l'objectif est d'éliminer les états stables redondants et de fusionner des états qui peuvent être distingués à partir des valeurs des entrées.

#### D. 3. 1 Fusionnement : définitions et conditions

- ✓ Donner la définition de la compatibilité de deux états d'une machine séquentielle.
- ✓ Donner les conditions nécessaires et suffisantes de compatibilité de deux états.

#### D. 3. 2 Fusionnement : graphe

- ✓ Compléter le graphe de fusionnement du document réponse.

#### D. 3. 3 Fusionnement : Table

- ✓ Compléter la table de fusionnement du document réponse.
- ✓ Visualiser et expliquer la propagation des incompatibilités.

#### D. 3. 4 Table des phases réduite : Machine de Moore

Une machine séquentielle est dite de Moore si l'état des variables de sortie ne dépend que de l'état séquentiel de la machine.

- ✓ À partir des calculs de compatibilité précédents, compléter la table des phases réduite du document réponse.

## D. 4. Codage

On considère que la table des phases a été réduite à la machine de Mealy ci-après. Les sorties sont ici fonction de l'état total de la machine séquentielle (état séquentiel + vecteur d'entrée).

B \ A	0	1	0	1
0	1	7	3	2
1	5	4	3	8
0	5	7	6	8
1	1	7	6	8

La table précédente est censée être codée au moyen de deux variables secondaires comme indiqué ci-après :

B \ A	00	10	01	00
00	00	10	01	00
01	11	01	01	10
10	11	10	11	10
11	00	10	11	10

y x

### D. 4. 1 Analyse des transitoires

Partant de l'état total stable 3 on considère que l'entrée A passe à 0.

- ✓ Compléter les tables et les chronogrammes du document réponse afin de visualiser le comportement de la machine séquentielle.
- ✓ Préciser la nature du problème rencontré.

### D. 4. 2 Organisation

- ✓ Montrer en quoi la table des excitations secondaires ci-après résout le problème précédent

B \ A	00	10	01	00
00	00	10	01	00
01	11	01	01	11
10	11	10	11	10
11	00	10	11	10

y x

## **D. 5. Excitations secondaires**

- ✓ À partir des tables de Karnaugh relatives aux excitations secondaires  $x$  et  $y$  donner la (ou les) expressions minimales de ces deux fonctions en explicitant le raisonnement simple, mais rigoureux, qui conduit à la solution.

## **D. 6. Sortie**

- ✓ Établir la table de Karnaugh définissant la fonction de sortie et donner son expression minimale.
- ✓ Expliquer en détail la valeur à donner à la sortie dans l'état transitoire  $YXBA = 0100$  et dans l'état transitoire  $YXBA = 1110$ .

## **D. 7. Mise en oeuvre**

### **D. 7. 1 Réalisation à partir de portes élémentaires**

*On désire implanter la machine séquentielle définie précédemment au moyen de simples portes ET, OU à deux entrées. et de la fonction négation.*

- ✓ Compléter le schéma du document réponse.

### **D.7. 2 Réalisation à partir de portes NON ET (NAND) à 2 entrées**

- ✓ Donner les théorèmes de De Morgan et leur représentation graphique.
- ✓ Donner le principe de modification du schéma de la question précédente en supposant que l'on ne dispose que de portes NON ET (NAND) à 2 entrées.
- ✓ Donner le schéma de réalisation de la fonction  $x$  en NON ET (NAND) à 2 entrées.

### **D.7. 3 Mise en oeuvre au moyen de CI SN 74151**

*On considère que l'on ne dispose que :*

- de Circuits Intégrés SN 74151A dont les caractéristiques techniques( "datasheet") sont données dans les documents techniques joints,
  - des variables  $A$  et  $B$  sous leur forme normale (non complémentée),
  - des constantes logiques  $0$  et  $1$ .
- ✓ Donner le principe de réalisation des fonctions combinatoires nécessaires à l'implantation de la machine séquentielle. Expliquer pour cela la mise en oeuvre de la variable  $x$ .
  - ✓ Compléter le schéma de réalisation de la machine séquentielle.

# Document réponse

<b>Partie A : Analyse de quelques éléments du dispositif .....</b>	<b>p 3</b>
<b>Partie B : Automatismes de commande .....</b>	<b>p 9</b>
<b>Partie C : Etude de la partie continue .....</b>	<b>p 15</b>
<b>Partie D : Logique de sécurité.....</b>	<b>p 31</b>

- 
- ***Ce cahier ne doit, en aucun cas, être dégrafé***

*Pour des raisons de taille, les versos vierges des feuilles ne sont pas donnés ici. Ils étaient disponibles dans le document réponse fourni aux candidats*

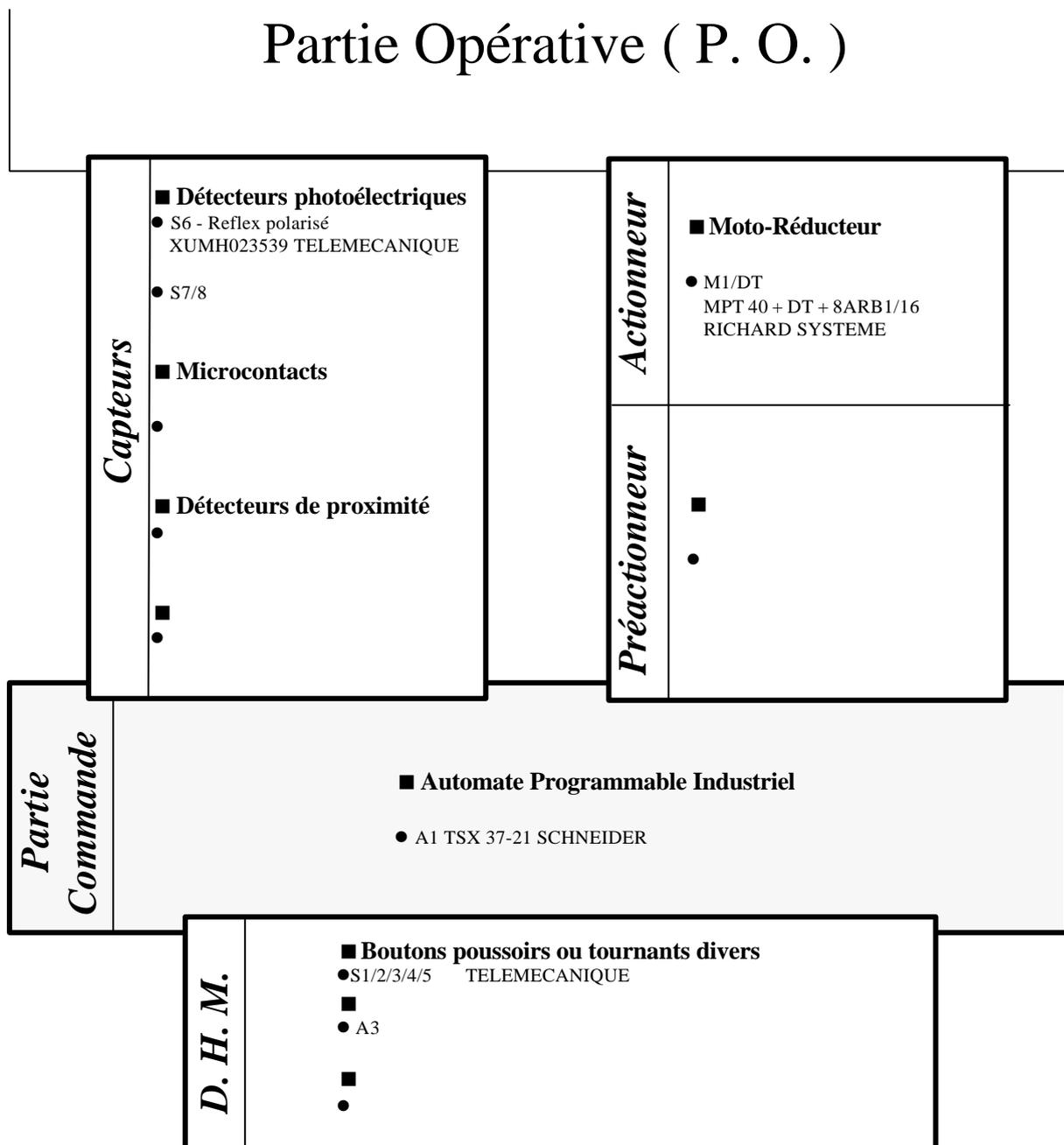


## Partie A:

### Etude de quelques éléments constitutifs

#### A.I. Capteurs et actionneurs

### Partie Opérative ( P. O. )



Pour répondre à cette question avez-vous utilisé



- le verso de la présente feuille  
- des feuilles supplémentaires

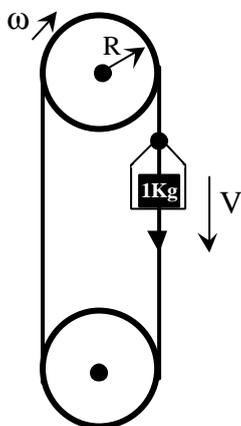
OUI   
OUI

NON   
NON

## A. 2. Caractérisation de l'ensemble mécanique

### A. 2. 1 Vitesses et couples

Vitesse linéaire  $V$



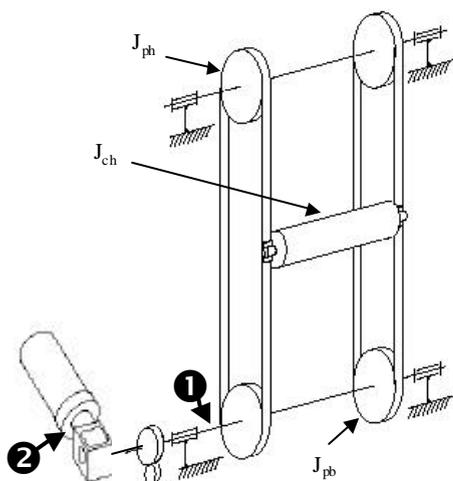
Coefficient de la génératrice tachimétrique  $k_{tach}$

Couple  $C_m$

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

### A. 2. 2 Inerties

Inertie charge aval  $J_{tch}$  en ①

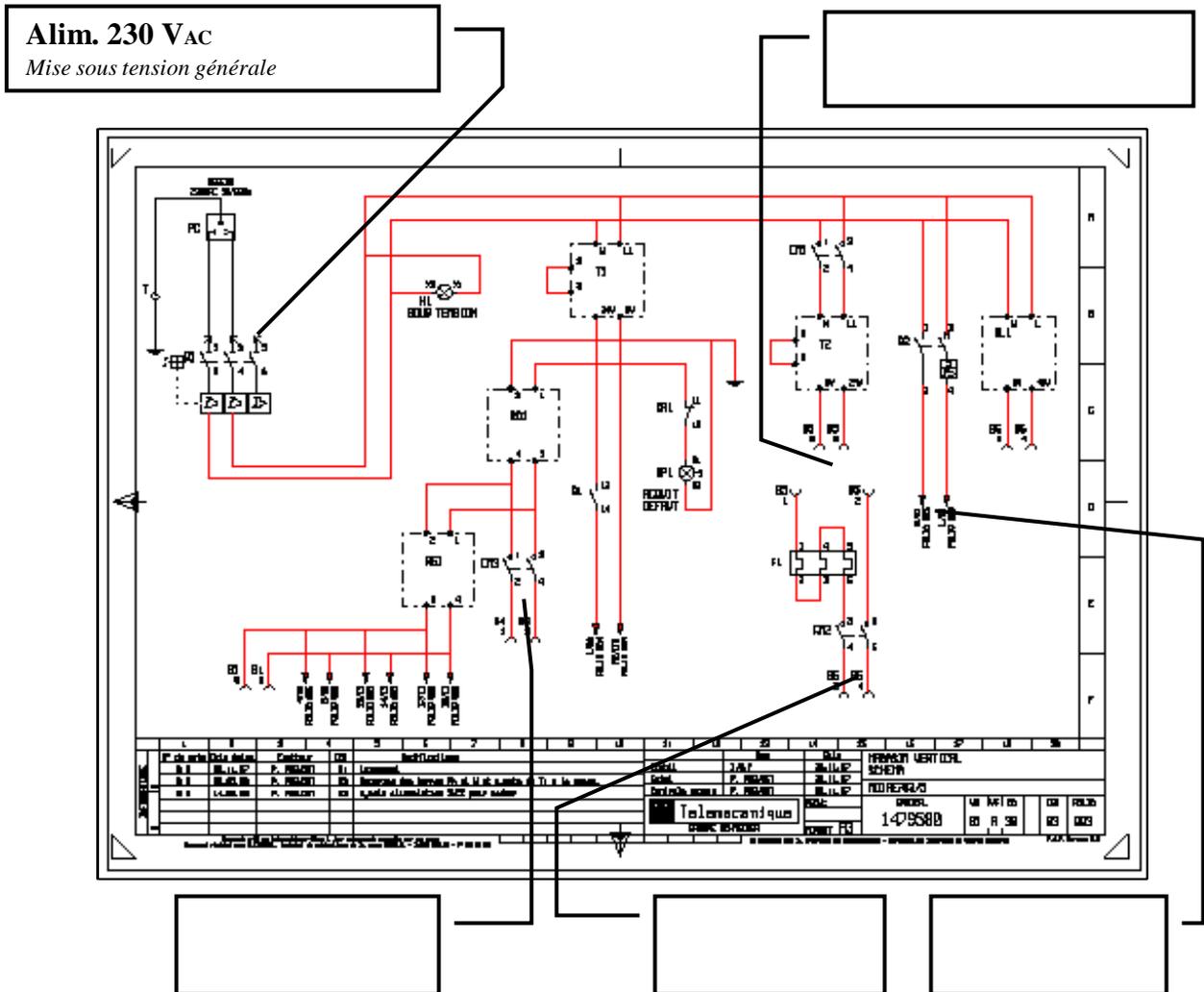


Inertie totale  $J_m$  en ②

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

## A.3. Etude de la partie électrique

### A. 3. 1 Différentes alimentations



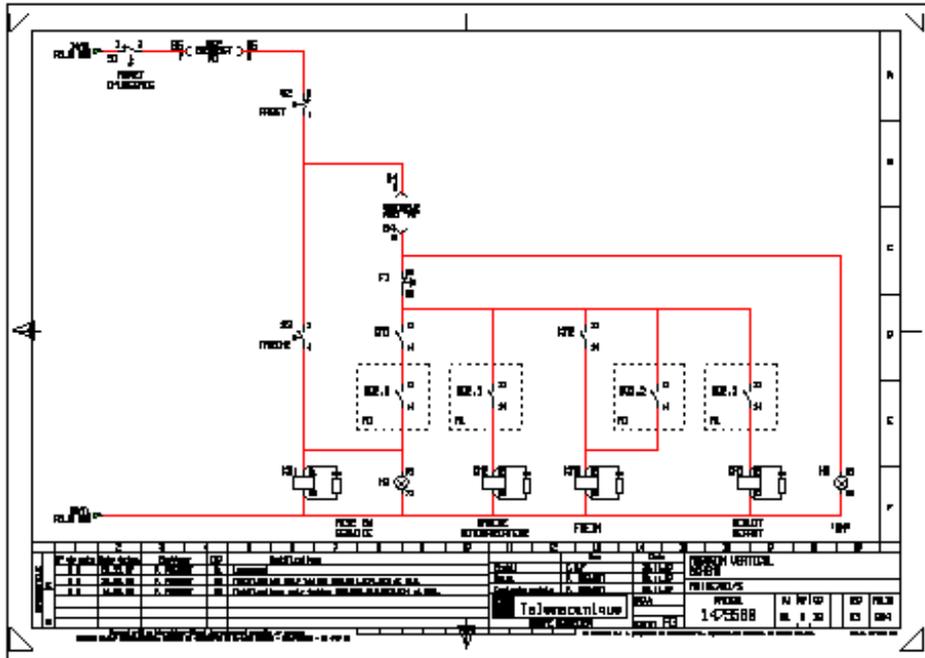
Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille - des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>
--	---	---	--	--

### A. 3. 2 Logique de commande de KM1

**KM1 et procédure de mise sous tension**

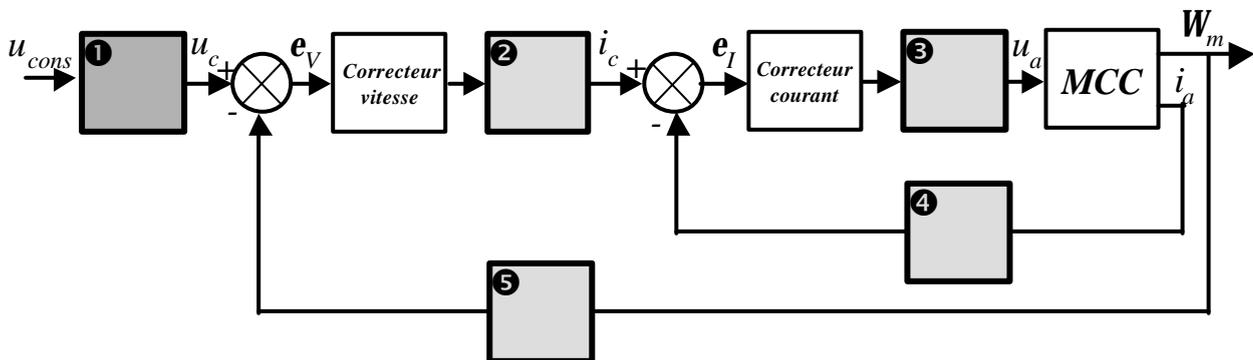
**Fonction KM1**

KM1 =



Pour répondre à cette question avez-vous utilisé { - le verso de la présente feuille OUI  NON   
 - des feuilles supplémentaires OUI  NON

**A. 4. Système moteur - variateur**



### A. 4. 1 Précisions fonctionnelles

❶ Etage d'entrée consigne : Amplificateur différentiateur. Gain + passe-bas

❷ Etage de limitation de courant :

❸

❹

❺

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

### A. 4. 2 Correcteurs

$C_v(p) =$  \_\_\_\_\_

$C_1(p) =$  \_\_\_\_\_

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

### A. 4. 3 Verrouillage

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>



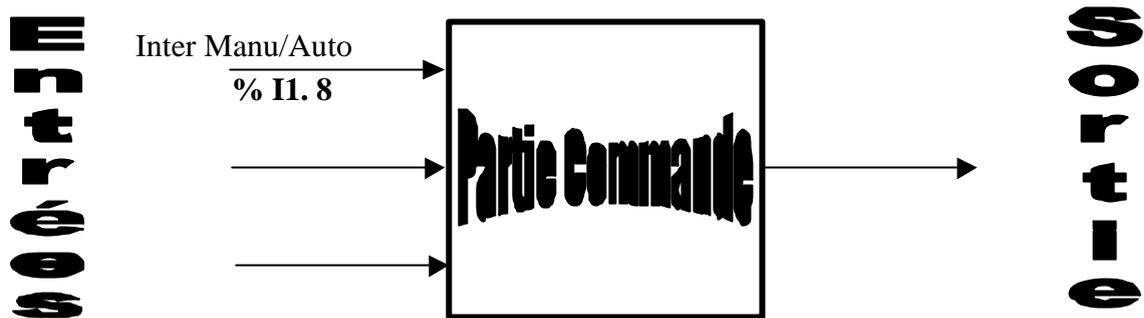
## Partie B :

### Automatisme de commande

#### B.I. Procédure de prise d'origine machine

##### B. 1. 1 Entrées/sortie

###### Liste des entrées/sortie



###### Contrôle moteur

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé

- le verso de la présente feuille

OUI

NON

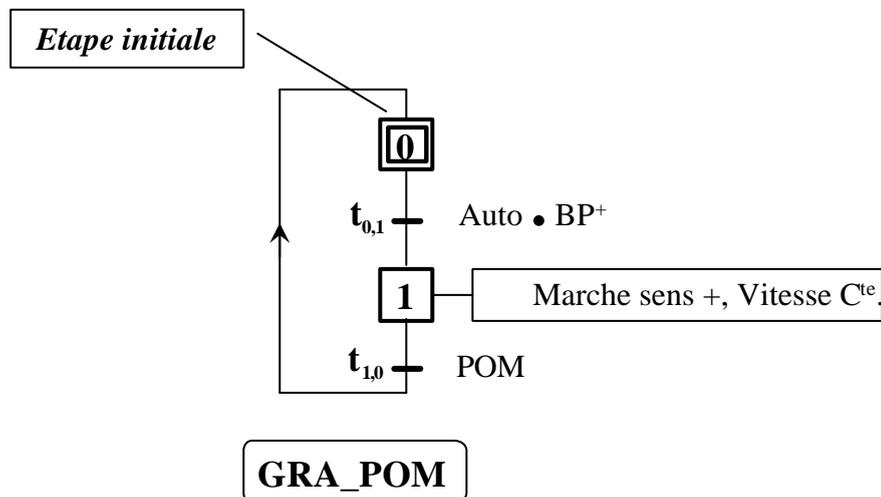
- des feuilles supplémentaires

OUI

NON

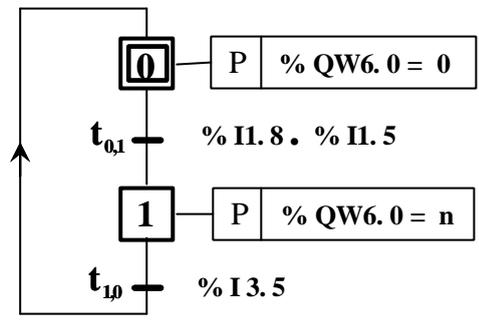
##### B. 1. 2 Formalisation fonctionnelle

###### Eléments du GRAFCET

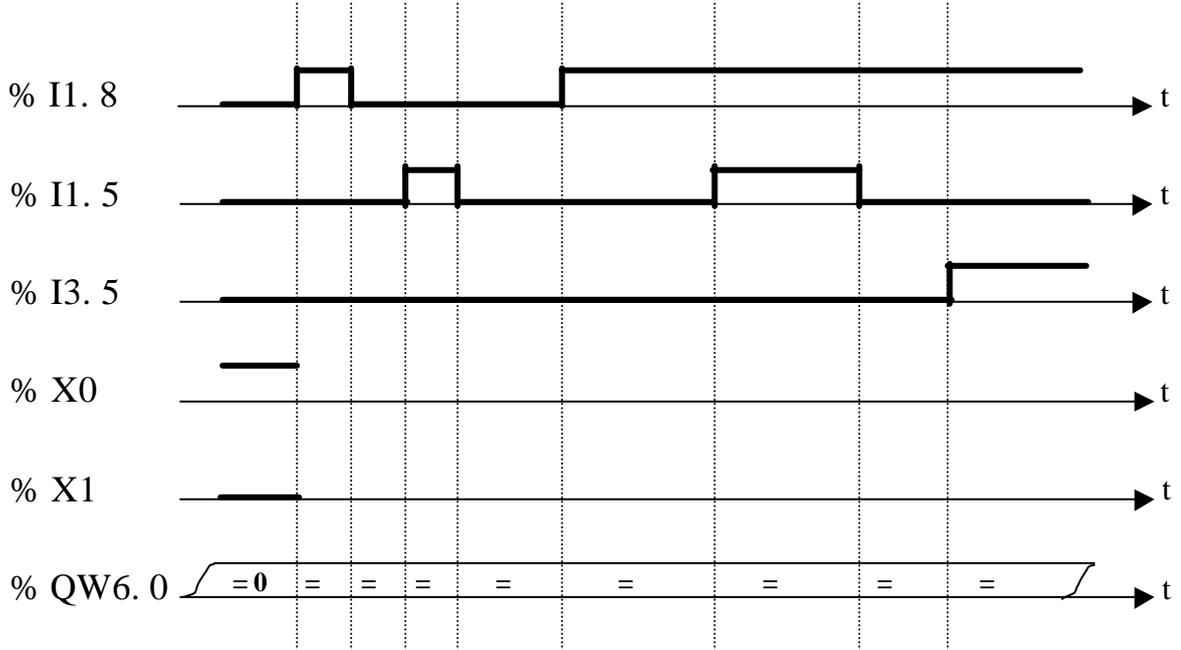


Pour répondre à cette question avez-vous utilisé { - le verso de la présente feuille OUI  NON   
 - des feuilles supplémentaires OUI  NON

**B. 1. 3 Formalisation logique**



**GRA\_POM**



Pour répondre à cette question avez-vous utilisé { - le verso de la présente feuille OUI  NON   
 - des feuilles supplémentaires OUI  NON

## **B. 1. 4 Problèmes**

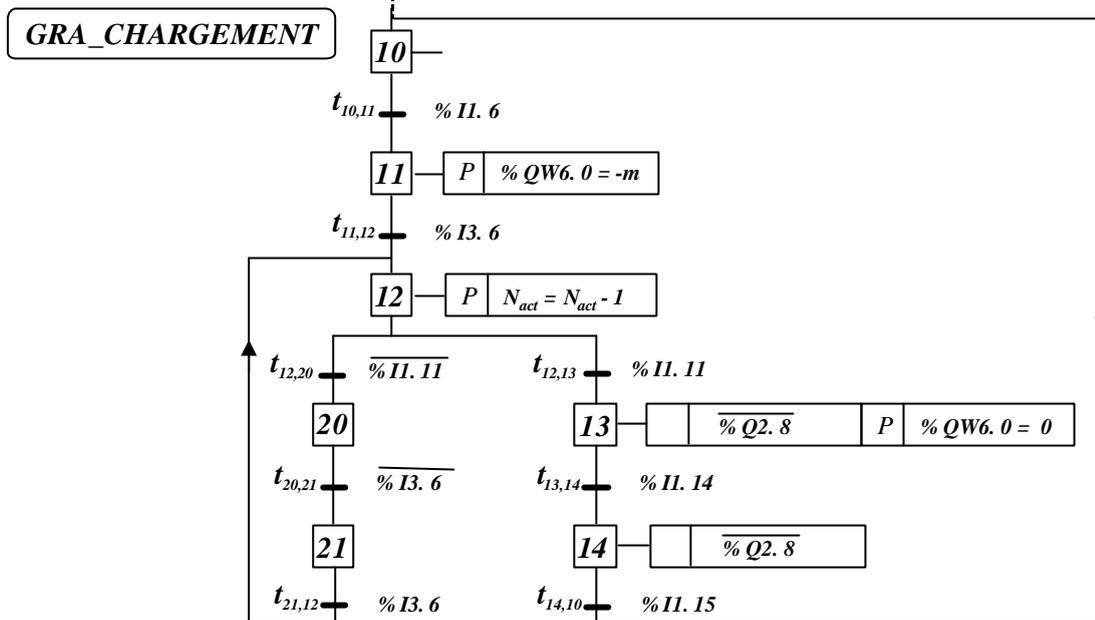
**Explication**

**Solution**

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

## B.2. Procédure de recherche de nacelle vide

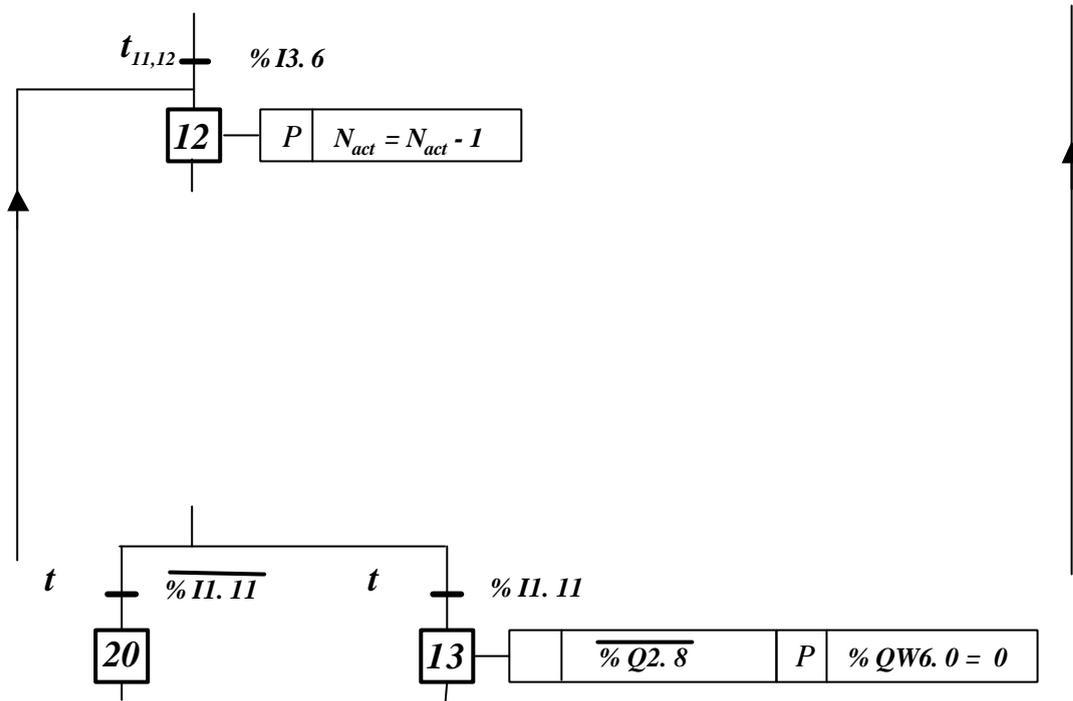
### B. 2. 1 Cahier des charges



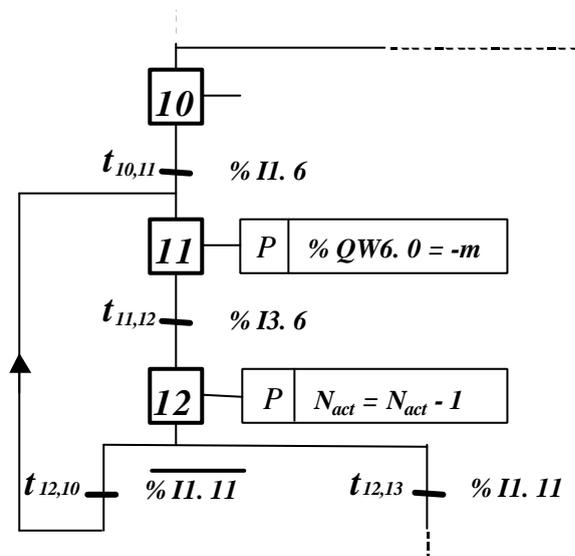
Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	}	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

## B. 2. 2 Analyses complémentaires

Modulo 15



Simplification

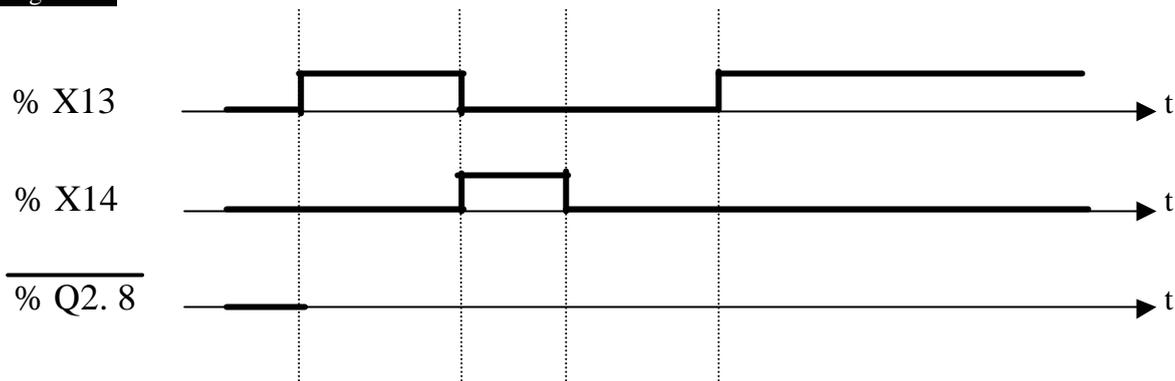


Pour répondre à cette question avez-vous utilisé

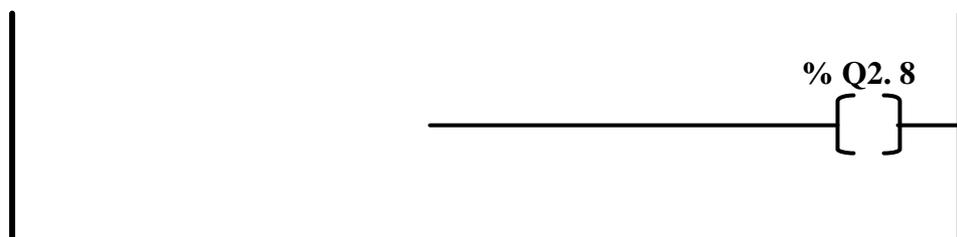
- |   |                                   |     |                          |     |                          |
|---|-----------------------------------|-----|--------------------------|-----|--------------------------|
| { | - le verso de la présente feuille | OUI | <input type="checkbox"/> | NON | <input type="checkbox"/> |
|   | - des feuilles supplémentaires    | OUI | <input type="checkbox"/> | NON | <input type="checkbox"/> |

### B. 2. 3 Verrouillage / déverrouillage

#### Chronogramme

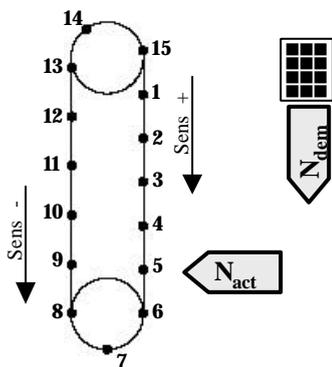


#### Programmation LD



Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

### B. 2. 3 Optimisation du trajet

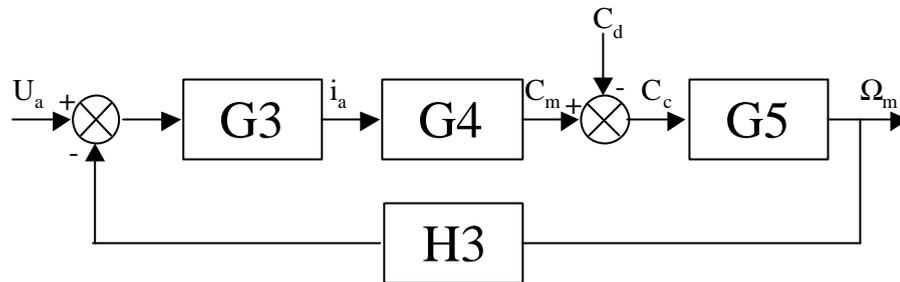


Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

## Partie C :

### Etude de la partie continue

#### C. 1. 1 Schéma-bloc moteur



#### Caractérisation des couples

$C_m(t)$  = Couple moteur

$C_d(t)$  =

$C_c(t)$  =

#### Expressions des fonctions de transfert

$G_3(p) =$

$G_5(p) =$

$G_4(p) =$

$H_3(p) =$

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

#### C. 1. 2 Fonction de transfert $W_m(p) / u_a(p)$ .

$$G(p) = \frac{\Omega_m(p)}{u_a(p)} =$$

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

### C. 1. 3 Détermination des paramètres

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

### C. 1. 4 Simplification

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

## C. 2. Réglage du courant d'induit

### C. 2. 1. Modélisation

$$i_a(p) = S_p(p) \cdot i_c(p) + S_r(p) \cdot C_d(p)$$

$$S_p(p) = \frac{C_f(p) \cdot G'(p)}{1 + C_f(p) \cdot G'(p) \cdot H_2(p)}$$

$$S_r(p) = \frac{G''(p)}{1 + C_f(p) \cdot G'(p) \cdot H_2(p)}$$

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

### C. 2. 2. $G'(p)$ et $G''(p)$

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

### C. 2. 3. Performances statiques et dynamiques

Objectif de  $S_p(p)$  :

Objectif de  $S_r(p)$  :

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

### APPROCHE ALGEBRIQUE DU PROBLEME DE REGULATION

### C. 2. 4. Modèle de correcteur

Correcteur général

Correcteur simplifié

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

### C. 2. 5 Relation entre $i_a(p)$ , $i_c(p)$ et $C_d(p)$

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

### C. 2. 6 Conclusion

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

**C. 2. 7 Etude de la dynamique de poursuite**

$$S_p(p) = \frac{G_{BOI}(p)}{1 + G_{BOI}(p)} \cdot \frac{1}{H_I(p)}$$

**Identification de  $G_{BOI}$  et  $H_I$**

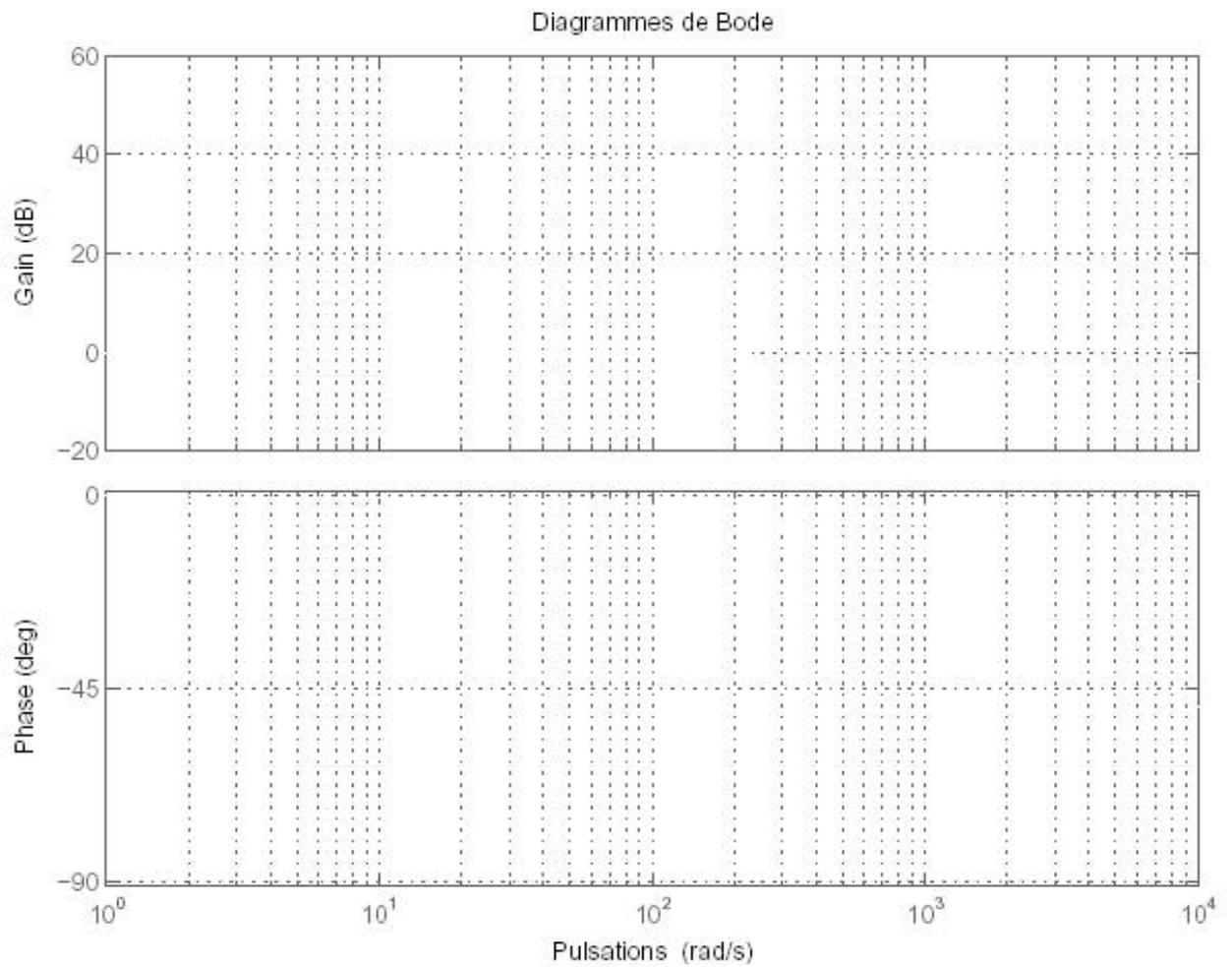
**Simplification**

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	}	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

**C. 2. 8 Analyse qualitative du correcteur installé**

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	}	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

### C. 2. 9 Réponse fréquentielle de $G_{B0l}(p)$ .(Cas simplifié)

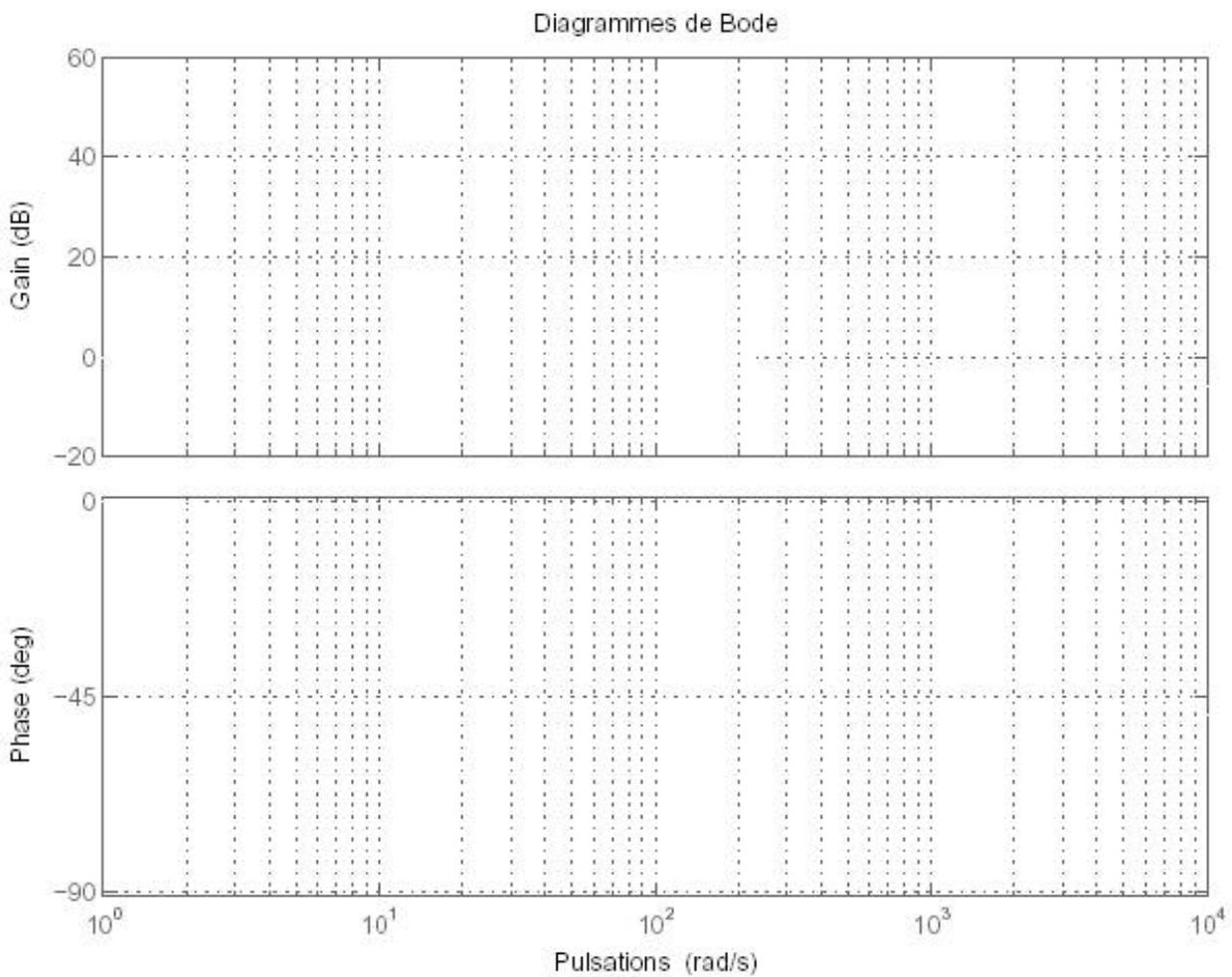


Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

### C. 2. 10 Estimation de la bande passante

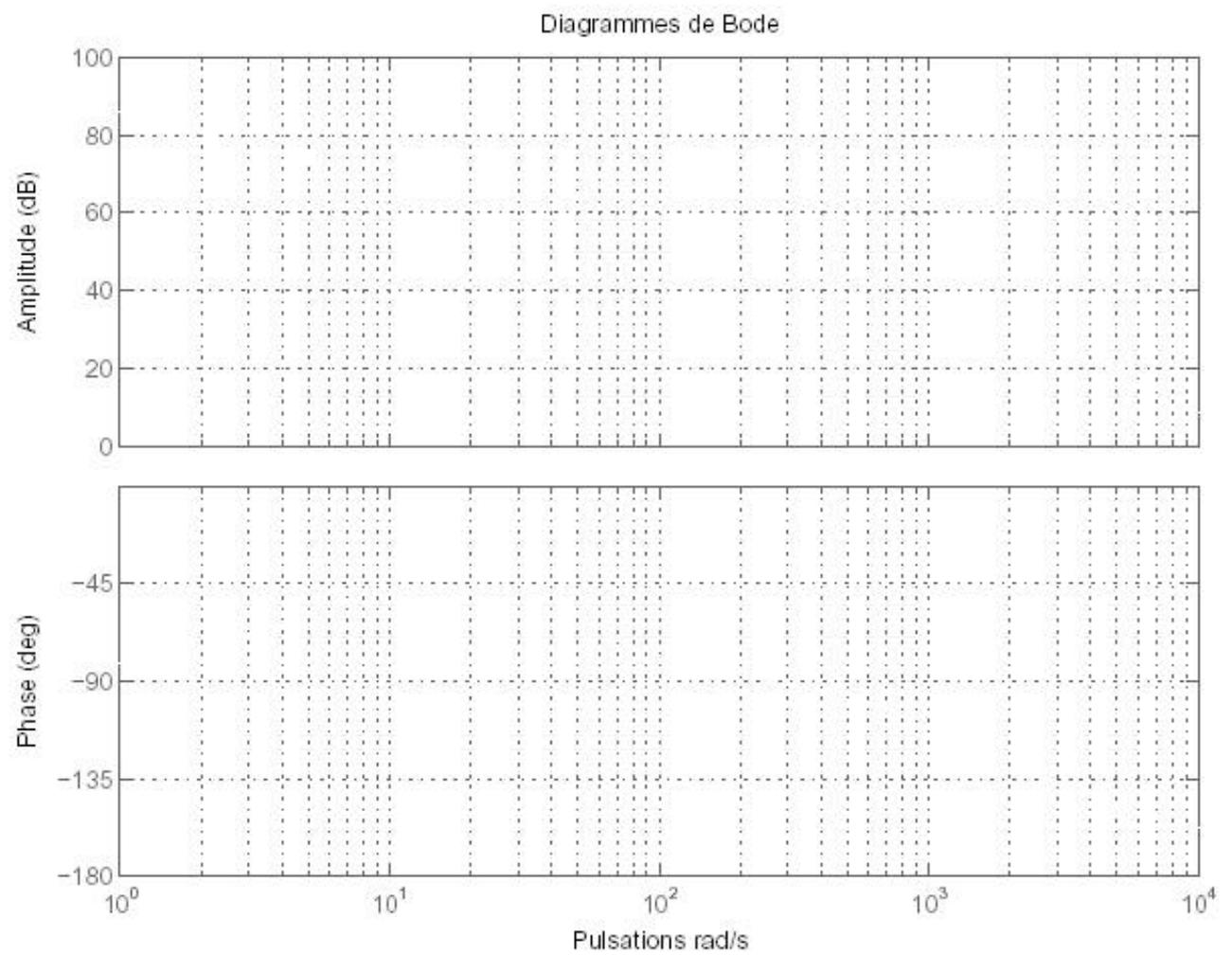
Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	}	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

**C. 2. 11 Réponse fréquentielle de  $G_{BoI}(p)$ .(Cas général)**



Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	}	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

## C. 2. 12 Validité du réglage



Pour répondre à cette question avez-vous utilisé



- le verso de la présente feuille
- des feuilles supplémentaires

OUI   
OUI

NON   
NON

### C. 2. 13 Modélisation de l'étage de puissance

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

## C. 3. Réglage de la boucle de vitesse

### C. 3. 1. Modélisation

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

### C. 3. 2. Performances statiques et dynamiques

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

### C. 3. 3. Etude de la dynamique de poursuite

Fonction de transfert  $T_p$

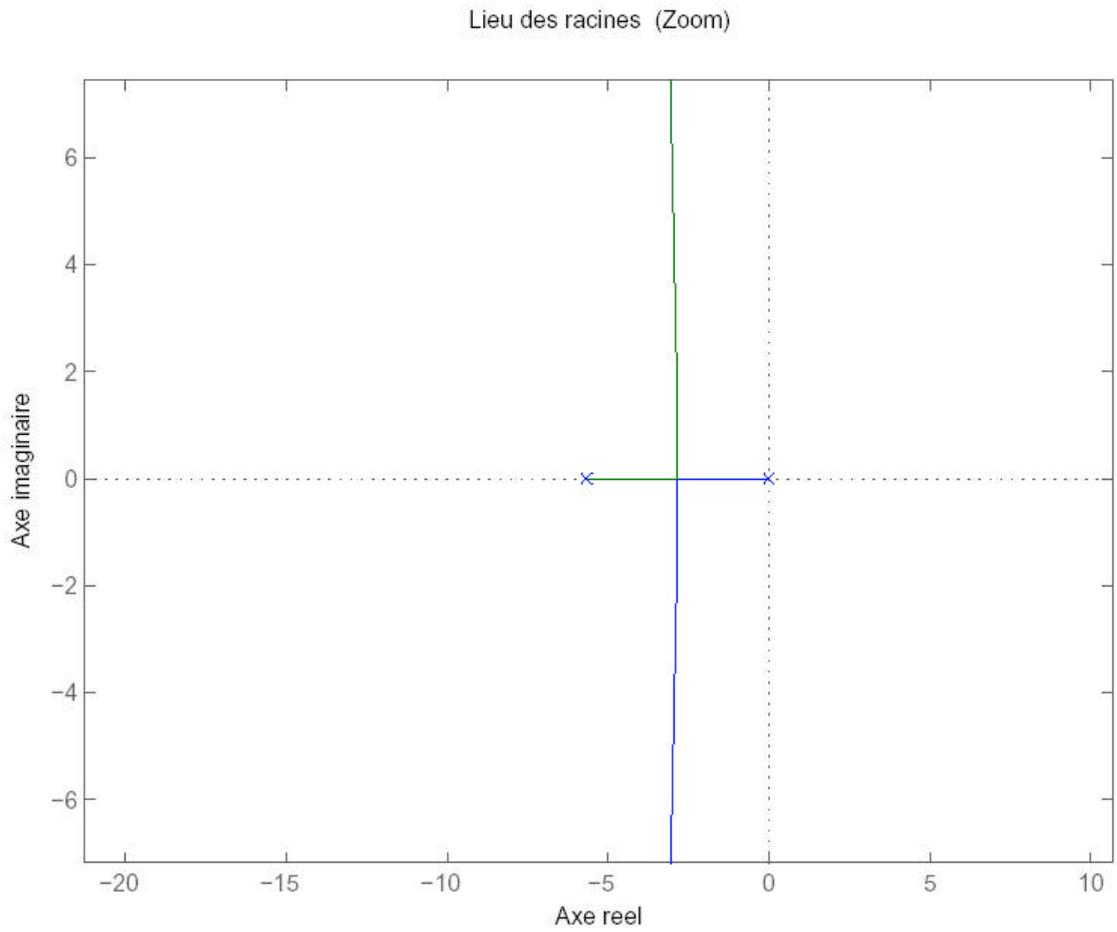
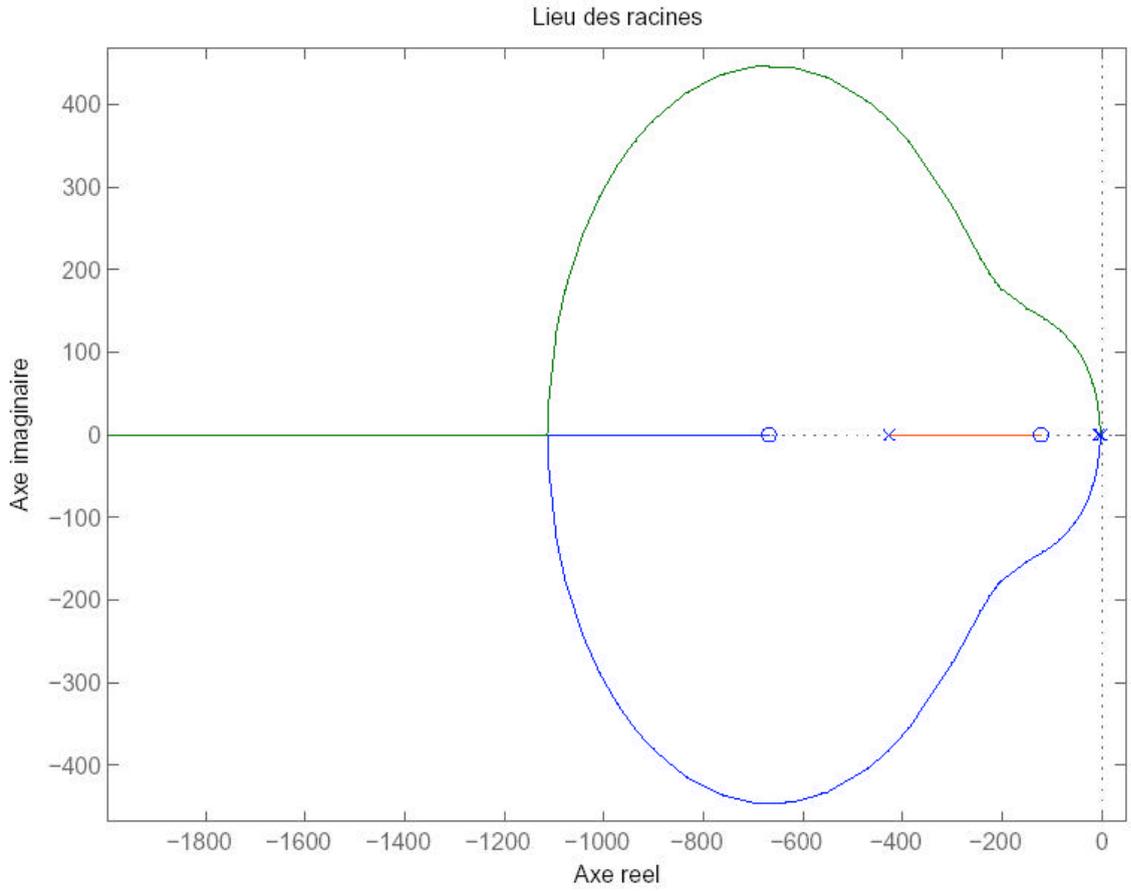
$G_{BOV}(p)$

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

### C. 3. 4. Modélisation de $H1(p)$

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

**ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE VITESSE**



### C. 3. 5. Analyse du lieu

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

### C. 3. 6. Pôles de la boucle de vitesse

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

### **C. 3. 7. Evaluation graphique du gain**

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

### **C. 3. 8. Application numérique**

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

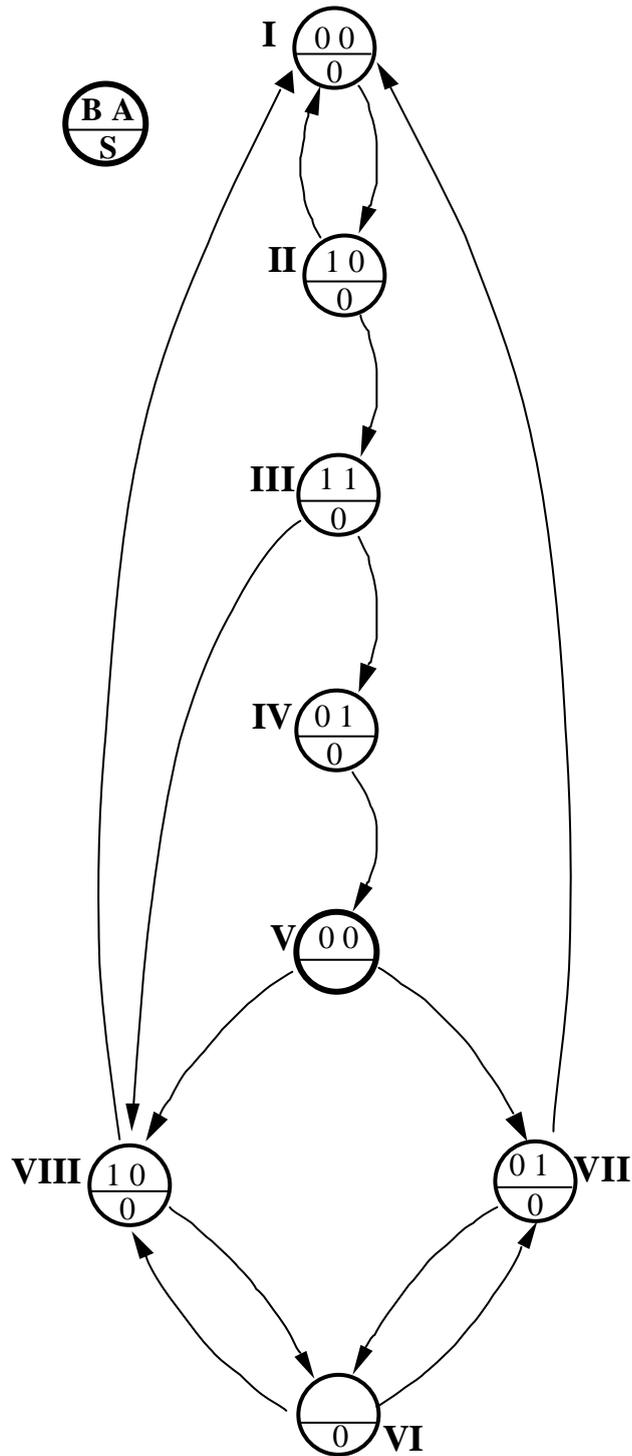
### C. 3. 9. Correction algébrique

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

# Partie D

## Logique de sécurité

### D. I. Etablissement du graphe de fluence



Pour répondre à cette question avez-vous utilisé

{

- le verso de la présente feuille

OUI

NON

- des feuilles supplémentaires

OUI

NON

## D. 2. Table des phases primitive

Vecteur d'entrée

Etat présent

Sortie

Etat futur

	B	A			S
I	1	7	-	2	0
II					
III					
IV					
V	5	7	-	8	1
VI					
VII					
VIII					

n

**Raison suffisante prouvant que le système est séquentiel**

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé { - le verso de la présente feuille OUI  NON   
 - des feuilles supplémentaires OUI  NON

## D. 3. Réduction

### D. 3. 1 Fusionnement: Définitions et conditions

**Définition d'états compatibles**

## Conditions de compatibilité

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé

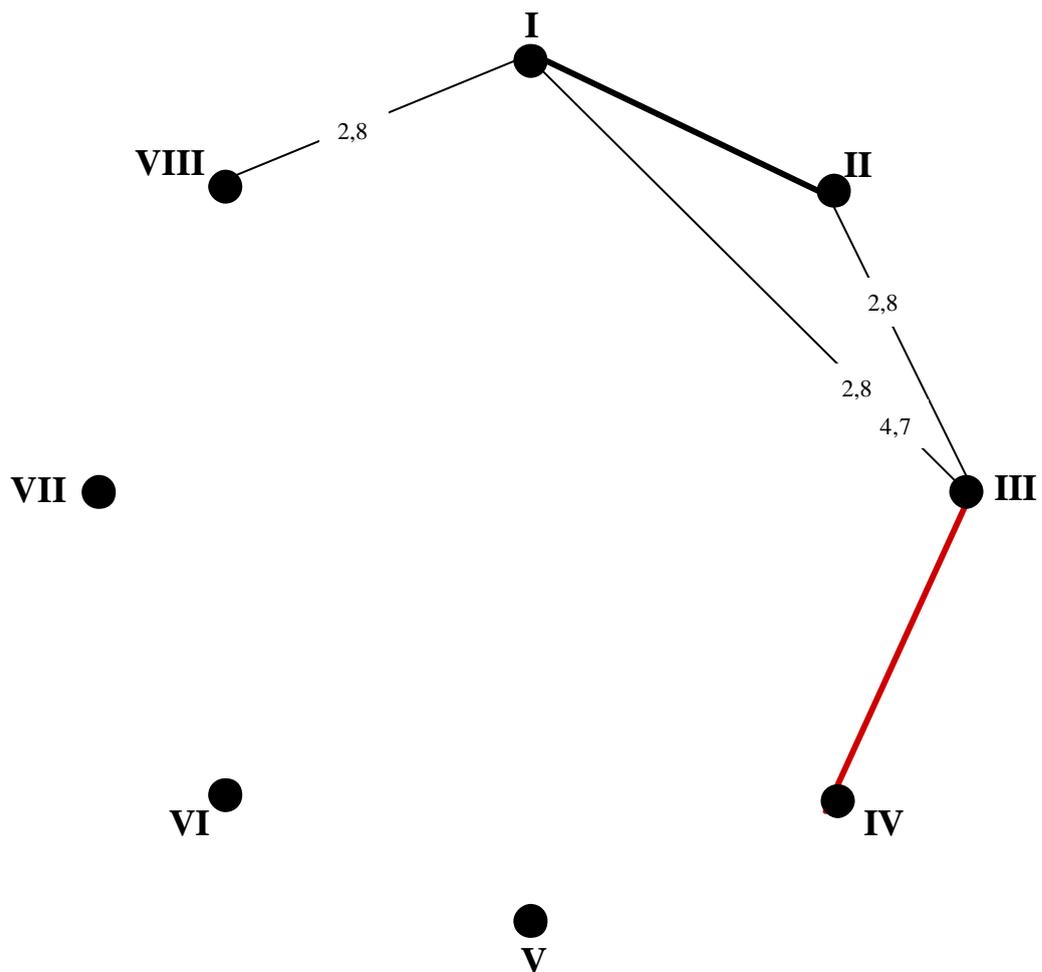


- le verso de la présente feuille  
- des feuilles supplémentaires

OUI   
OUI

NON   
NON

### D. 3. 2 Fusionnement: Graphe



Pour répondre à cette question avez-vous utilisé



- le verso de la présente feuille  
- des feuilles supplémentaires

OUI   
OUI

NON   
NON

**D. 3. 3 Fusionnement: Table**

II							
III	2,8 4,7	2,8					
IV							
V	X						
VI							
VII							
VIII							
	I	II	III	IV	V	VI	VII

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

**D. 3. 4 Table des phases réduite: Machine de Moore**

<b>B</b> <b>A</b>						
						<b>S</b>

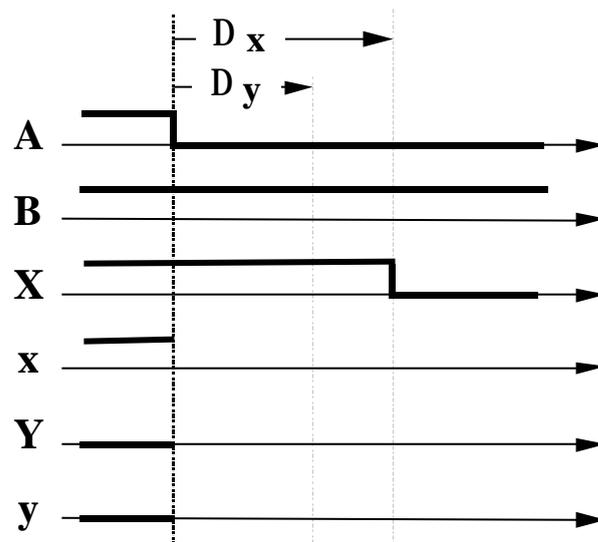
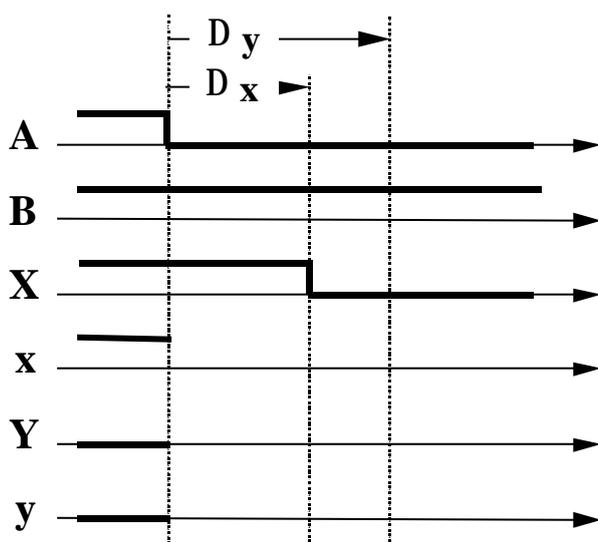
Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

## D. 4. Codage

### D. 4. 1 Analyse des transitoires

<table border="1"> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Y</td><td>X</td><td>A</td><td></td></tr> </table>			B			Y	X	A						
			B											
Y	X	A												
						00								
				01	10									
						10								
						10								

<table border="1"> <tr><td></td><td>B</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Y</td><td>X</td><td>A</td><td></td></tr> </table>			B			Y	X	A						
			B											
Y	X	A												
						00								
				01	10									
						10								
						10								



Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

**D. 4. 2 Organisation**

Y X		B			
		A			
		00	10	01	00
		11	01	01	11
		11	10	11	10
		00	10	11	10

**y x**

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

## D. 5. Excitations secondaires

		<b>y</b>			
Y	X	B		A	
		0	1	0	1
0	0	0	1	0	0
0	1	1	0	0	1
1	0	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1

Pour x

		<b>x</b>			
Y	X	B		A	
		0	1	0	1
0	0	0	0	1	0
0	1	1	1	1	1
1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	1	0

Pour y

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

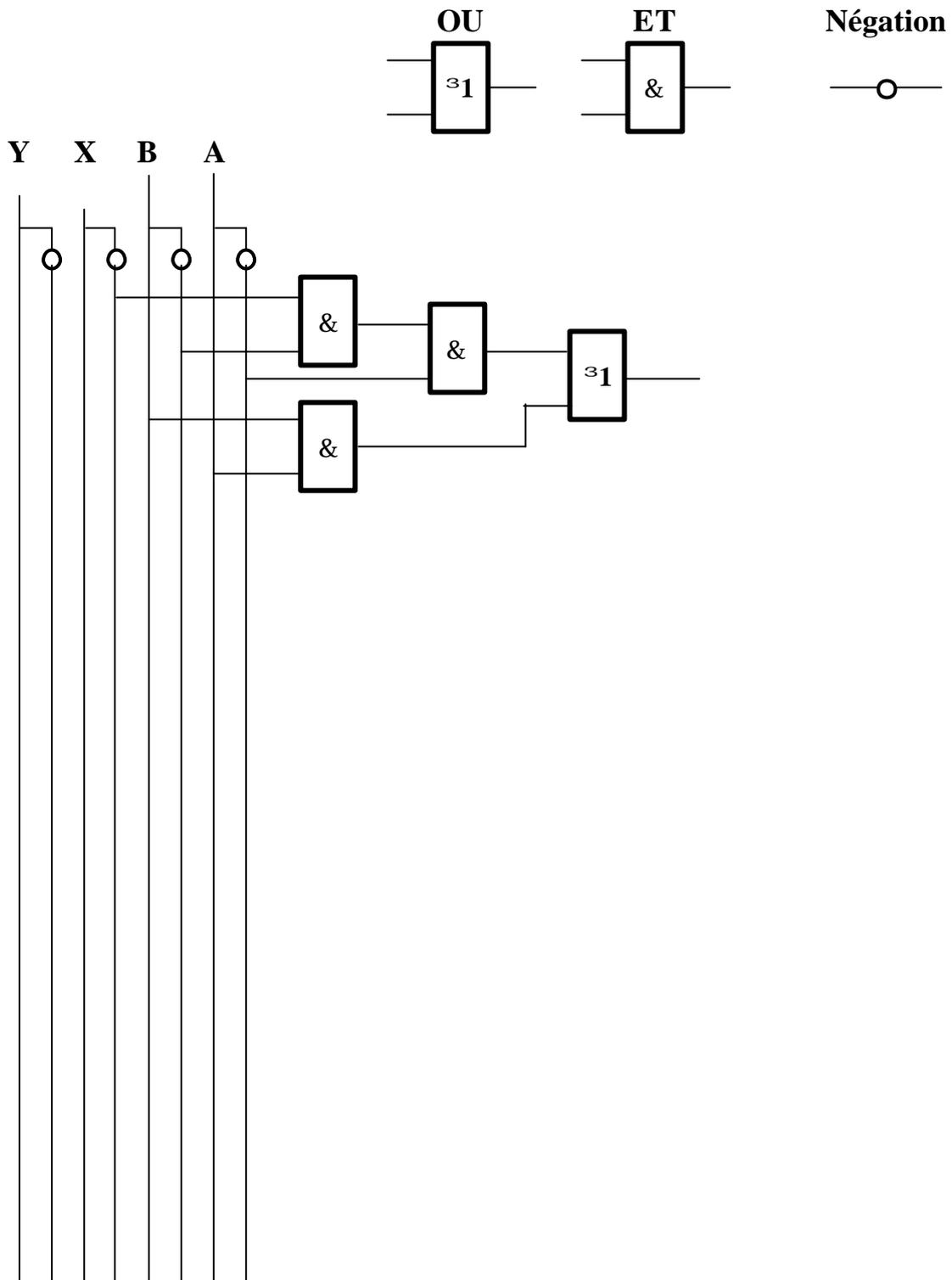
## D. 6. Sortie

		<b>S</b>		
	<b>B</b>			
<b>Y</b>	<b>X</b>			

Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{	- le verso de la présente feuille	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

## D. 7. Mise en œuvre

### D. 7. 1 Réalisation à partir de portes élémentaires



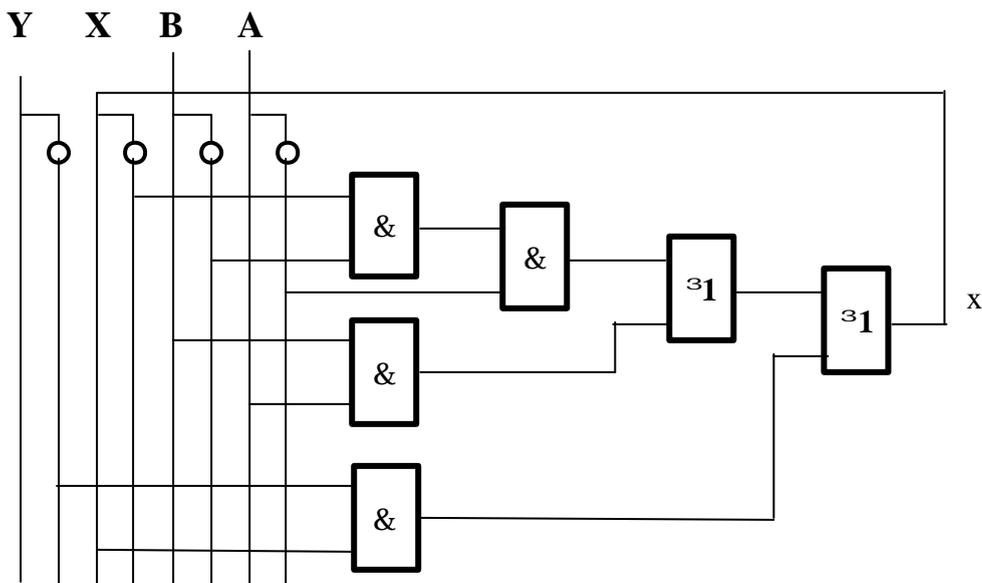
Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	{ <ul style="list-style-type: none"> <li>- le verso de la présente feuille</li> <li>- des feuilles supplémentaires</li> </ul>	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
		OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>

## D. 7. 2 Réalisation à partir de portes NAND à 2 entrées

### Théorèmes de De Morgan et représentations graphiques

### Principes de modification du schéma

### Exemple de la variable x

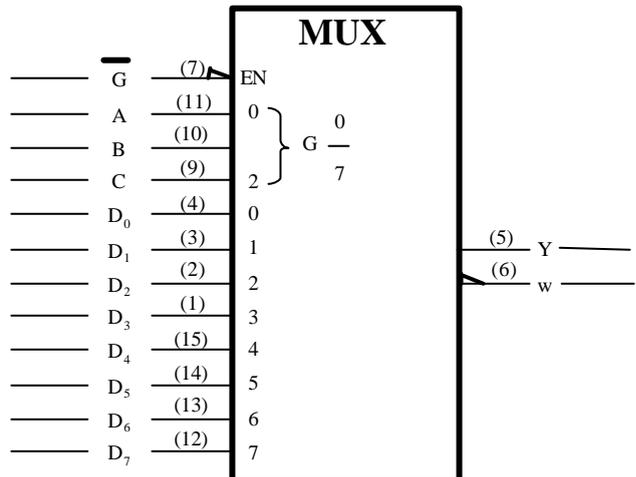


Pour répondre à cette question avez-vous utilisé	}	- le verso de la présente feuille	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
		- des feuilles supplémentaires	OUI	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>

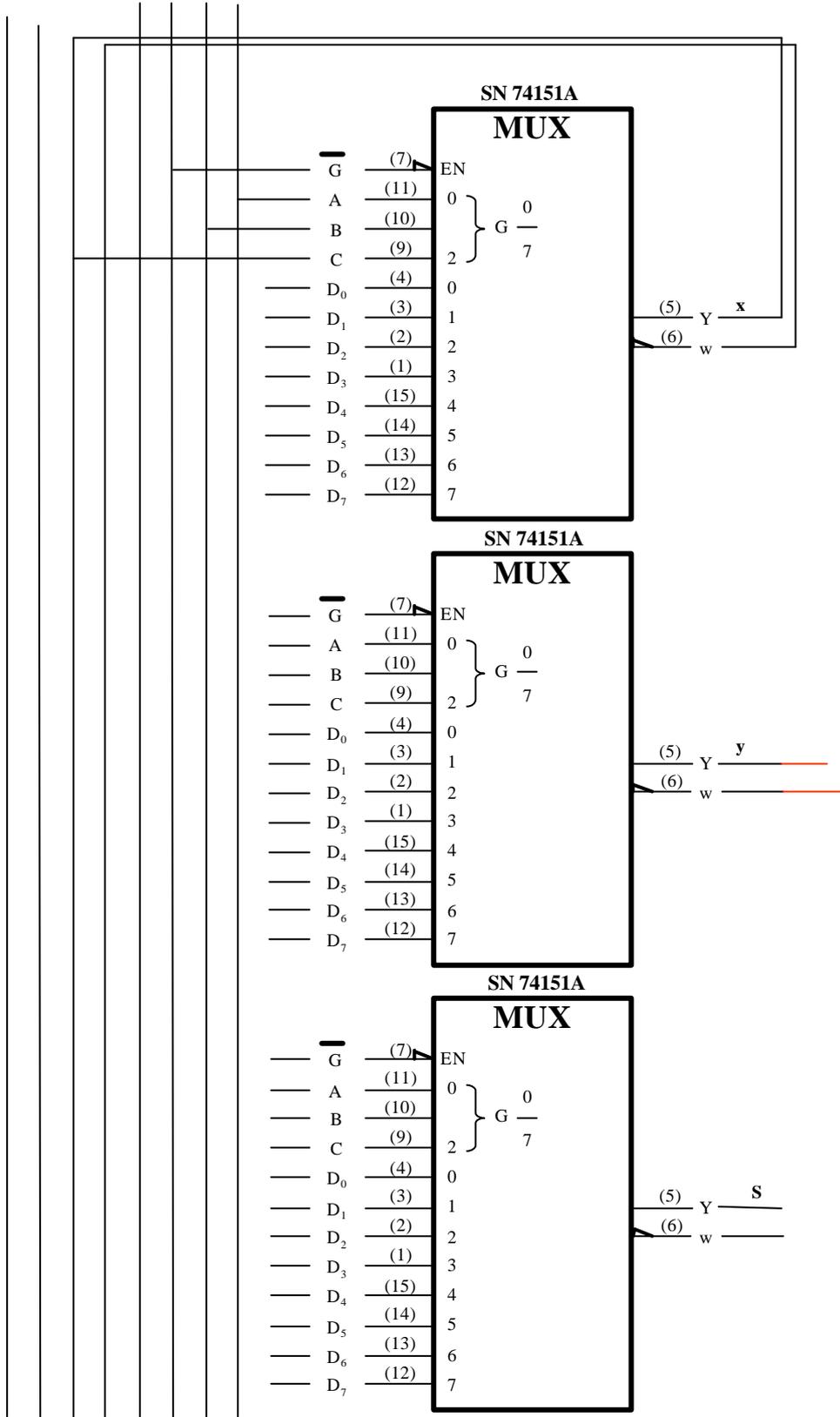
### D. 7. 3 Mise en œuvre au moyen de CI SN74151

#### Principe

		<b>X</b>			
	<b>B</b>				
<b>Y X</b>	<b>A</b>				
		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
		<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>



1 0 B A



Pour répondre à cette question avez-vous utilisé { - le verso de la présente feuille OUI  NON   
 - des feuilles supplémentaires OUI  NON