

SESSION DE 2008

**CONCOURS INTERNE
DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS AGRÉGÉS
ET CONCOURS D'ACCÈS A L'ÉCHELLE DE RÉMUNÉRATION**

Section : GÉNIE MÉCANIQUE

Deuxième épreuve portant sur l'étude d'un problème
d'automatisation

Durée : 6 heures

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

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

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

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

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

Ce document comporte quatre parties :

- Une présentation du sujet : 2 pages ;
- Le travail demandé : 13 pages ;
 - Partie A : gestion de l'îlot et commande séquentielle ;
 - Partie B : asservissement de l'opération de vissage ;
 - Partie C : séquence pédagogique ;
- Les annexes : 4 pages ;
- Les documents réponses : 2 pages.

Le candidat traitera chacune des parties : A, B et C, sur des copies séparées en indiquant sur chacune d'entre elles le repère de la partie traitée.

Les deux documents réponses DRA.1 et DRA.2 (y compris vierges) sont à rendre obligatoirement avec la partie A.

PRESENTATION GENERALE

Contexte de l'étude

La société SAM technologie du groupe Arche est un sous traitant automobile spécialisé dans la production de pièces en aluminium pour l'environnement moteur. Elle conçoit et réalise des pièces de haute technicité, moulées sous pression ou par gravité. Les pièces subissent ensuite diverses opérations d'usinage, de grenailage, d'assemblage, de traitement de surface et de contrôle. Afin de maintenir sa compétitivité, la société mène une importante politique d'automatisation de son outil de production pour assurer une bonne réactivité vis-à-vis de ses clients tout en ayant un très bon niveau de qualité. Des îlots autonomes de production automatisée équipés de système de contrôle par vision ont été ainsi installés.

L'étude proposée porte sur un îlot de fabrication après moulage d'un carter de boîte de vitesse (usinage et assemblage). Le carter pèse 5,6 kg et a les dimensions suivantes : 420mm x 320mm x 200mm (Figure 1).

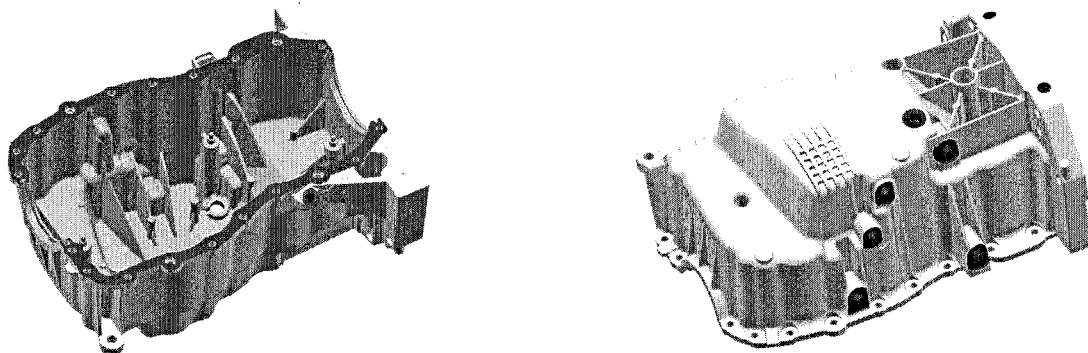


Figure 1 : Vues du carter

L'îlot robotisé est constitué de quatre zones : la cellule d'usinage, la machine à laver, le poste de bouchonnage et la cellule de finition. Chaque zone est constituée d'un ou plusieurs postes. Un robot R1 assure les manutentions entre les postes de la cellule d'usinage. De même, un robot R2 assure les manutentions entre les postes de la cellule de finition.

Une vue générale de l'implantation de l'îlot est donnée en Annexe 1.

Description des opérations de l'îlot

A l'intérieur d'un îlot robotisé, les carters passent successivement par les phases suivantes :

Cellule d'usinage

a) Introduction :

Les carters bruts sont déposés par un opérateur dans une file d'attente sur un convoyeur d'entrée.

b) Usinage :

L'usinage est réalisé dans un centre d'usinage. Les opérations consistent en des surfaçages, des lamages, des perçages et des taraudages. Les chargements et les déchargements des carters dans le centre d'usinage sont effectués par le robot R1.

c) Premier rinçage :

Une fois l'usinage terminé, le carter est déchargé par le robot R1 et déposé au poste de rinçage pour un premier rinçage.

d) Contrôle :

Un carter sur dix passe au poste de contrôle SPC (Statistical Process Control) pour vérification de la bonne exécution des différentes spécifications d'usinage.

Machine à laver

e) Lavage :

Le robot R1 prend le carter dans la machine de rinçage et le dépose sur un convoyeur qui le transporte dans la machine à laver.

f) Attente sur un système d'accumulation :

Les carters nettoyés, en sortie de la machine à laver, sont déposés sur des palettes dans un convoyeur de stockage qui les transfère jusqu'aux postes de finition.

Poste de bouchonnage

g) Montage du bouchon de vidange et du joint associé :

Une machine spéciale permet le vissage d'un bouchon de vidange et du joint associé. Le serrage est assuré par un couple contrôlé de 20 N.m.

Cellule de finition

h) Assemblage de la plaque anti-émulsion :

Ce montage se fait dans une machine spécialisée où le robot R2 pose la plaque anti-émulsion, puis un système automatisé d'assemblage la fixe par quatre rondelles à griffe. Les plaques anti-émulsion arrivent par un convoyage dédié.

i) Contrôle étanchéité :

Les carters sont introduits par le robot R2 sur un poste de contrôle de l'étanchéité. Ce contrôle consiste à mettre les carters sous pression et à contrôler la non présence de fuite.

j) Contrôle vision :

Le robot R2 sort les carters des machines de contrôle d'étanchéité et les dispose dans une machine pour un contrôle par vision qui permet de vérifier plusieurs points :

- Contrôle de la présence de la plaque anti-émulsion,
- Contrôle de la planéité de la face de joint du carter,
- Contrôle de la présence des rondelles de fixation de la plaque anti-émulsion,
- Contrôle que les vingt trous de fixation sur le carter sont débouchants,
- Contrôle de la présence du bouchon de vidange.

A la fin du contrôle, le robot R2 retire le carter et le pose sur un convoyeur de sortie.

k) Contrôle final :

Un opérateur prend les carters sur le convoyeur de sortie et fait un dernier contrôle visuel avant de les déposer dans un conteneur pour l'expédition.

TRAVAIL DEMANDE

1. Le sujet comporte trois parties indépendantes, elles mêmes constituées de nombreuses questions qui peuvent être traitées séparément :

- La partie A s'intéresse à la gestion globale du l'îlot de production et à l'étude d'une partie séquentielle du système. (**durée conseillée : 2h**).
- La partie B s'intéresse à l'étude de la machine d'assemblage du bouchon de vidange et de la rondelle. Elle traitera, en particulier, le dimensionnement d'un actionneur et la boucle d'asservissement du serrage. (**durée conseillée : 2h**).
- La partie C concerne l'utilisation pédagogique du cas d'étude pour l'enseignement de la régulation industrielle (**durée conseillée : 1h30**). L'objectif est de démontrer une capacité d'analyse de connaissances scientifiques et (ou) technologiques attachées à des contenus, puis à les organiser et à les transmettre au travers d'une séquence d'enseignement à un niveau donné.

2. Chaque partie sera traitée sur des copies séparées. Les documents réponse, même vierges, seront obligatoirement rendus.

3. Tous les développements de calculs seront réalisés sous forme littérale avant de passer à l'application numérique. Les résultats seront encadrés sur la copie.

4. Le candidat pourra préciser toute hypothèse qu'il jugera utile dans le cadre de ses réponses.

Partie A : GESTION DE L'ILOT ROBOTISE ET COMMANDE SEQUENTIELLE DE LA CELLULE DE FINITION

A.1. Gestion de la cellule de finition et du transfert poste à poste des carters

L'analyse porte sur la cellule de finition chargée de réaliser l'assemblage de la plaque anti-émulsion, le contrôle étanchéité et le contrôle vision. Cette cellule est constituée de plusieurs postes automatisés : un poste d'assemblage (PAE), un poste de contrôle d'étanchéité (PCE), un poste de contrôle par vision (PCV) et un convoyeur de sortie CS. Les carters arrivent par un convoyeur d'accumulation (CA) et sont arrêtés après bouchonnage à une station d'attente. Les manutentions entre la station d'attente en fin de convoyeur d'accumulation, les postes d'assemblage et de contrôle et le convoyeur de sortie sont réalisées par un robot 6 axes (Robot R2). Le flux des carters à l'intérieur de la cellule est représenté schématiquement sur la figure A.1. ci-dessous.

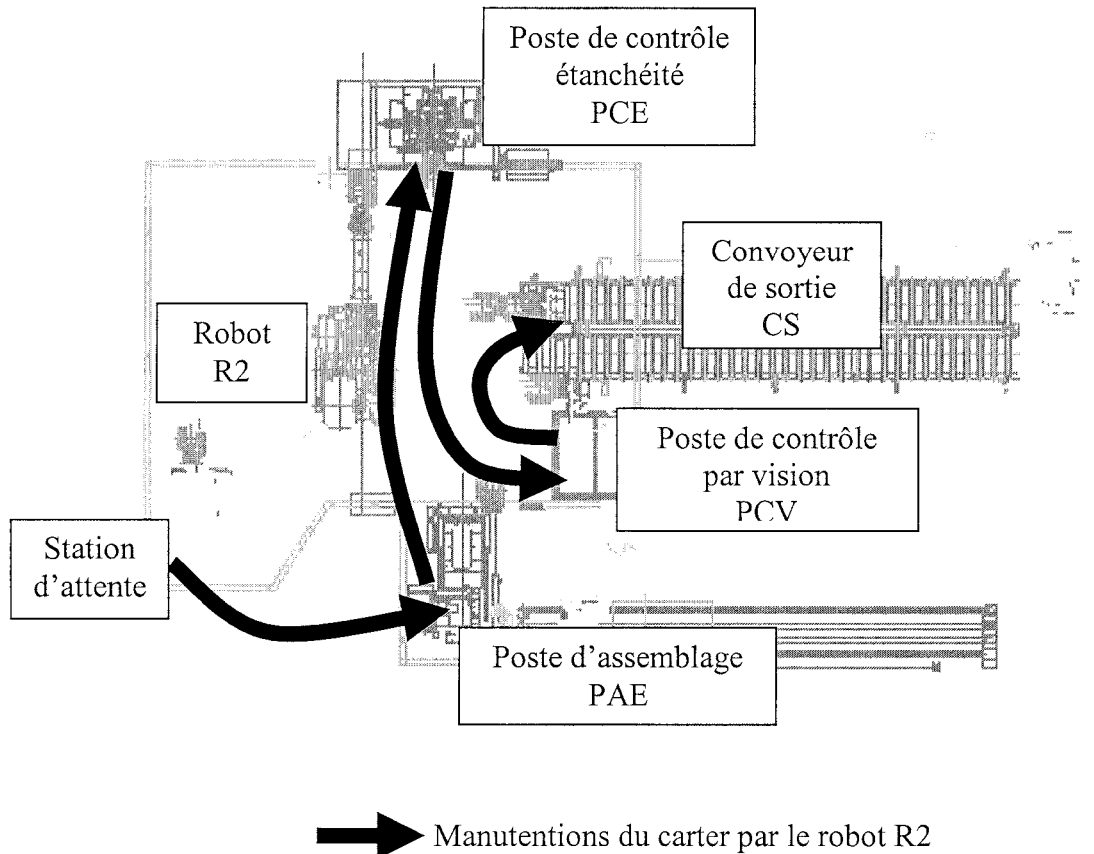


Figure A.1 : Synoptique de la cellule de finition et flux des carters.

Principes de fonctionnement

- le robot R2 assurant les manutentions est muni de deux griffes de préhension des carters ce qui lui permet d'arriver à un poste avec un carter N dans la première griffe, de prendre le carter N-1 avec la deuxième griffe et de déposer le carter N au poste (postes d'assemblage et de contrôle étanchéité) ;
- le robot maintient le carter pendant que le contrôle vision est effectué ;
- la durée du temps de cycle est optimisée par réalisation de tâches en temps masqué.

Question A.1.1 : compléter le diagramme document DRA.1 en respectant les principes de fonctionnement décrits précédemment :

- Préciser pour chaque tâche la ou les ressources utilisées ;
- Tracer les rectangles associés à chaque tâche pour le carter N et aux tâches des carters N-1 et N+1 réalisées en parallèle de celles du carter N ; indiquer quel est, ou quels sont les carters (N, N-1 ou N+1) saisis par le robot R2, faisant l'objet d'un assemblage ou d'un contrôle.

Question A.1.2 : à partir du diagramme complété document DRA.1 :

- Déterminer le temps de cycle T_{cy} associé à la cellule de finition (temps entre l'entrée d'un carter dans la cellule et sa sortie : soit entre l'arrivée d'un carter dans la station d'attente et son arrivée en attente sur le convoyeur de sortie) ;
- Déterminer la cadence instantanée de production C_{inst} de la cellule de finition (temps entre chaque sortie de carter) ;
- Calculer le nombre théorique de carters produits par 24h en supposant qu'il n'y a pas d'arrêt de production
- Déterminer les temps d'utilisation du robot, du poste d'assemblage, du poste de contrôle étanchéité et du poste de contrôle vision (temps observé pendant un cycle relatif à la sortie d'un carter d'une durée égale à la cadence instantanée C_{inst}) : Tu_{R2} , Tu_{PAE} , Tu_{PCE} et Tu_{PCV} ;
- Déterminer le temps de non utilisation du robot ;
- Préciser, en justifiant, quelle est la tâche la plus pénalisante.

L'entreprise souhaite utiliser au mieux ses moyens. Dans cette optique, elle s'est fixée d'atteindre un objectif de TRS = 85 %.

NB : le TRS (Taux de Rendement Synthétique) est un indicateur de performance reflétant les trois composantes que sont : la disponibilité du moyen de production, sa performance et la qualité des produits. Il correspond à un rendement effectif de 85 % du rendement maximal théorique. De manière simplifiée, on admettra ici qu'il est défini par le rapport entre le nombre de carters bons produits et le nombre de carters théoriquement fabricables.

Question A.1.3 : en supposant que le TRS de 85% soit réellement respecté, déterminer le nombre maximum de carters bons que l'entreprise peut espérer produire quotidiennement avec la cellule de finition actuelle.

L'objectif de production est de 2500 carters bons par jour. Cet objectif n'étant pas satisfait par la cellule de finition, l'entreprise envisage d'implanter un deuxième poste de contrôle étanchéité.

La description de la commande séquentielle de la cellule est réalisée par une description structurée à l'aide de plusieurs grafjets :

- un grafjet par tâche (poste d'assemblage, poste de contrôle vision, postes de contrôle étanchéité) ;
- un grafjet de commande du robot qui assure la coordination entre les tâches des postes de l'îlot ;
- un grafjet de conduite (voir en partie A.2 pour sa réalisation) ;
- un grafjet d'arrêt d'urgence.

On donne en Annexe 2 le grafctet de commande du robot R2 lorsque la cellule de finition ne comprend qu'un poste de contrôle étanchéité. Ce grafctet gère les tâches réalisées par le robot mais ne pilote ni l'assemblage ni le contrôle étanchéité, ni le contrôle vision. La « synchronisation » est assurée par le lancement et la réception d'informations spécifiques (par exemple *lancer ordre d'assemblage* est l'action qui permet d'envoyer au grafctet du poste d'assemblage un ordre de lancement du cycle correspondant). Les tâches du robot nécessitant de la part de celui-ci plusieurs mouvements ou actions sont représentées par des macro-étapes.

Question A.1.4 :

- *Expliciter en quoi le fait de doubler le poste de contrôle étanchéité permet d'atteindre l'objectif de production ;*
- *Modifier le grafctet du robot R2 de manière à prendre en compte l'existence du deuxième poste de contrôle étanchéité. Créer au besoin de nouvelles données d'entrées et de sorties.*

A.2. Modes de marche et d'arrêt de la cellule de finition

L'état de référence de la partie opérative est défini de la manière suivante : la partie opérative est à l'arrêt et en énergie, la partie commande à l'état initial, la cellule est vide de carters. Cet état permet (en dehors de la première mise en marche) principalement un redémarrage de l'installation après avoir réalisé des opérations de maintenance et de réglage, ou après avoir vidé l'installation des carters pour engager une nouvelle campagne de production.

Depuis cet état, l'opérateur doit sélectionner le mode automatique (*auto*), puis appuyer sur un bouton poussoir *dcy* pour mettre en marche la cellule. Les postes sont alors sollicités progressivement au fur et à mesure de l'arrivée de carters, la cellule fonctionne automatiquement.

A tout moment pendant le fonctionnement automatique, un arrêt de la production peut être demandé (*fcy*) pour vider progressivement la cellule des carters et aucun nouveau carter ne pouvant entrer dans celle-ci. La cellule s'arrête complètement après l'arrivée du dernier carter dans la zone d'attente du convoyeur de sortie.

Lors de la marche automatique, une demande exceptionnelle de sortie de carter après assemblage (pour contrôle statistique) peut être faite (*sca*). Dans ce cas, le cycle de production du carter retiré est interrompu et la production se poursuit normalement pour les autres carters. Lorsque le carter est contrôlé, il est réintroduit dans le circuit au niveau du contrôle d'étanchéité et la production automatique reprend normalement après action sur un bouton poussoir *rc* en mode automatique.

Lorsque la cellule est en mode automatique ou passe en mode automatique, si le mode vérification (*vérif*) est sélectionné, il est possible d'exécuter le cycle tâche par tâche après chaque action sur un bouton poussoir *valid*. Ce mode permet une vérification du bon fonctionnement de la cellule tâche par tâche et dans l'ordre d'exécution utilisé en mode automatique. Le retour en mode automatique est obtenu en sélectionnant *auto* et après action sur *dcy*.

Le mode manuel (*manu*) peut être utilisé pour tester le fonctionnement de la cellule à vide et effectuer des réglages depuis l'arrêt dans l'état de référence de la cellule. Ce mode peut également être choisi après un arrêt d'urgence dans le cas où il n'est pas possible de reprendre le cycle en l'état et en mode automatique. Chaque mouvement peut être commandé indépendamment. Après avoir vidé la cellule, le retour en situation de référence pour la partie opérative est obtenu après avoir sélectionné un autre mode que le mode manuel et après action sur un bouton poussoir *init*. Un cycle d'initialisation est alors lancé.

L'arrêt d'urgence (AU) provoque un figeage et une mise hors énergie de la partie opérative ainsi qu'un figeage de la commande en l'état. Après un déverrouillage de l'arrêt d'urgence et acquittement du défaut (*acquitté*) il est possible de reprendre le cycle en l'état ou de passer en mode manuel.

Question A.2.1 : compléter le GEMMA du document réponse DRA.2 (contenus des rectangles-états et conditions de passage d'un état à l'autre) pour décrire :

- les procédures de fonctionnement et d'arrêt de la cellule (marche automatique, arrêt de production, mode manuel, mode de vérification),
- les procédures d'arrêt de sécurité (arrêt d'urgence et retour en fonctionnement automatique ou en mode manuel),
- le passage dans l'état « PC hors énergie » et le retour dans l'état « PC en énergie ».

Il est possible si nécessaire de donner des variables supplémentaires en les justifiant, d'utiliser tout passage d'un état à un autre état qui ne serait pas décrit par le GEMMA dans sa forme standard ou de créer des rectangles état supplémentaires.

Rappelons que la description de la commande séquentielle est réalisée de manière structurée avec un grafcet par tâche (poste d'assemblage, poste de contrôle vision, postes de contrôle étanchéité), un grafcet assurant la synchronisation entre les postes (grafcet du robot R2 vu en Annexe 2), un grafcet de conduite et un grafcet d'arrêt d'urgence.

Question A.2.2 : Proposer un grafcet de conduite permettant de gérer les procédures de fonctionnement et d'arrêt.

A.3. Evacuation des carters contrôlés

La macro-étape M3 du grafcet du robot proposé en Annexe 2 gère la dépose du carter fini (assemblé et contrôlé) sur le convoyeur de sortie CS. Le convoyeur de sortie est constitué de deux parties : une partie haute (CShaut) et une partie basse (CSbas), chacune étant constituée d'un convoyeur d'accumulation équivalent à une zone d'attente (Figure A.2). Si le carter est considéré bon après contrôle étanchéité et contrôle vision, il est déposé sur la partie haute du convoyeur ; si le carter est considéré mauvais après l'un des contrôles, il est déposé sur la partie basse. Après chaque dépose du carter, le robot se met en position d'attente.

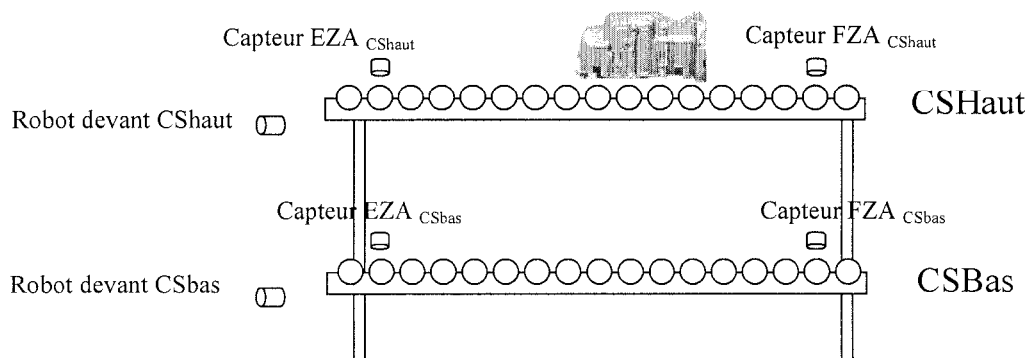


Figure A.2 : Représentation schématique du convoyeur de sortie.

La Figure A.3 donne la liste des entrées/sorties nécessaires à l'écriture de l'expansion de la macro-étape M3.

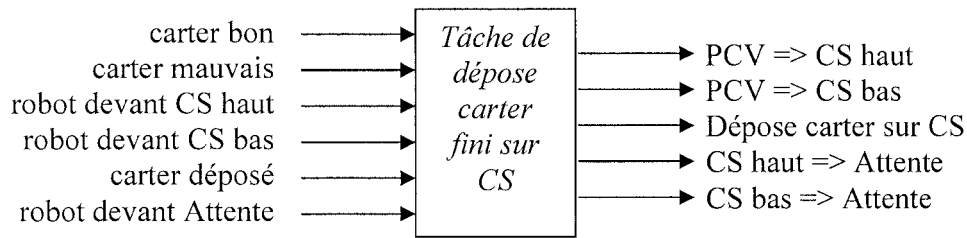


Figure A.3 : Liste des entrées/sorties de la tâche de dépôt d'un carter fini (macro-étape M3).

Les informations *carter bon* et *carter mauvais* utilisées à l'issue du contrôle vision pour la répartition des carters sur le convoyeur de sortie sont construites de manière logique à partir du résultat des contrôles d'étanchéité et de vision (*carter étanche* et *carter contrôle vision OK*)

Question A.3.1 :

- Ecrire les expressions logiques permettant d'élaborer les conditions « *carter bon* » et « *carter mauvais* ».
- Proposer une solution sous la forme de Function Block Diagram (FBD) permettant de générer les valeurs des variables de contrôle et de maintenir leur état en mémoire depuis le passage au poste de contrôle étanchéité jusqu'à ce que le carter soit déposé sur le convoyeur de sortie. On admettra pour cette question qu'un carter *N* peut être en cours de contrôle étanchéité alors qu'un carter *N-1* est en cours de contrôle vision ou en cours de dépôt sur le convoyeur CS.

Question A.3.2 : écrire l'expansion de la macro-étape M3.

Chacune des parties CS_{haut} et CS_{bas} du convoyeur de sortie CS est équipée d'un capteur détectant l'entrée d'un carter sur la zone d'attente haute ou basse ($EZA_{CS_{haut}}$ ou $EZA_{CS_{bas}}$) et d'un capteur détectant l'arrivée du carter en fin de zone d'attente haute ou basse ($FZA_{CS_{haut}}$ ou $FZA_{CS_{bas}}$) (voir figure A.2 ci-dessus). La saturation d'une des deux zones d'attente est effective ($SAT_{CS_{haut}} = 1$ ou $SAT_{CS_{bas}} = 1$) lorsque dans la zone concernée, les deux capteurs détectent des carters durant plus de 3 s alors que le convoyeur est en marche.

Question A.3.3 : décrire en langage à contact (Ladder diagram) comment est élaborée la variable $SAT_{CS_{haut}}$ (ou $SAT_{CS_{bas}}$).

Le calcul du taux de rebuts résultant des postes de la cellule de finition permet de fournir un indicateur utile au suivi de la production. Ce taux est défini comme étant le rapport entre le nombre de carters bons et le nombre de carters produits.

Question A.3.4 : proposer une solution fonctionnelle permettant le comptage des carters bons et des carters mauvais, ainsi que la détermination en temps réel du taux de rebut.

Partie B : ETUDE DE L'ASSERVISSEMENT DE L'OPERATION DE VISSAGE

Cette partie est consacrée à l'étude de l'opération de bouchonnage du carter. A cet effet, une machine a été développée (voir figure B.1) qui assure le montage d'un bouchon et d'un joint, puis son vissage sur le carter avec un couple souhaité de $20\text{N.m} \pm 2\text{N.m}$.

La cadence de cette machine est de 180 pièces par heure. Elle effectue les opérations suivantes :

- arrêt du plateau porte-carter en position de vissage ;
- centrage du carter puis bridage ;
- **vissage du bouchon sur le carter** ;
- contrôle de la position correcte du bouchon puis marquage des pièces bonnes ;
- libération et évacuation du plateau porte-carter.

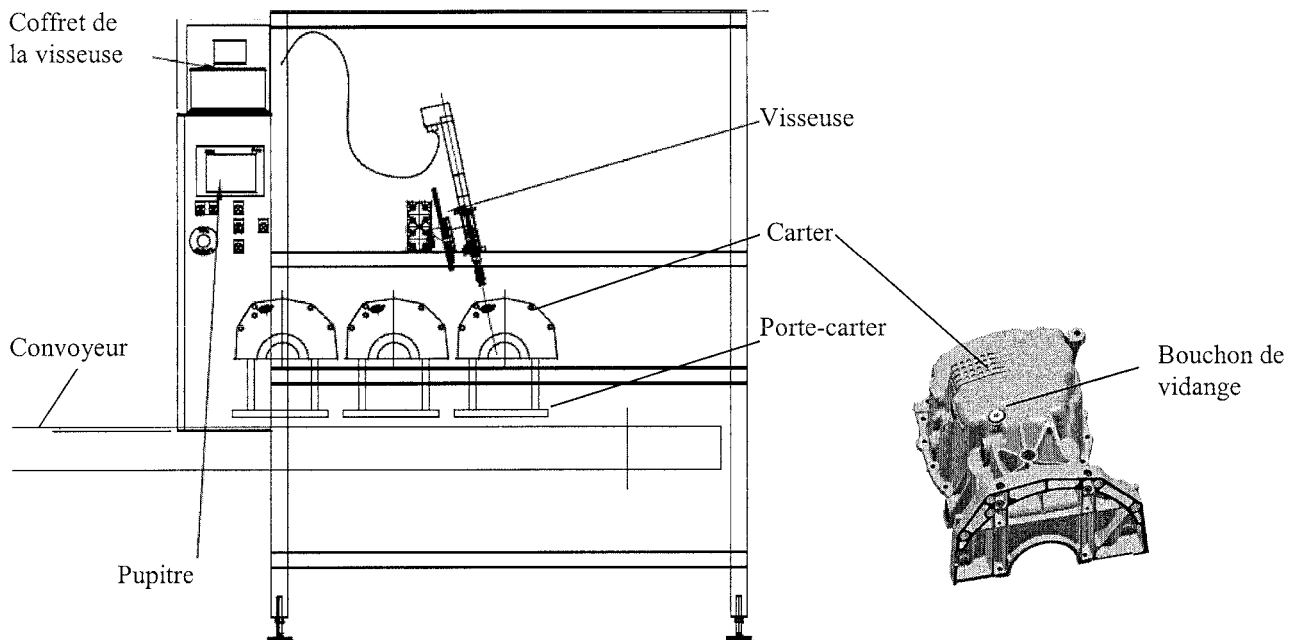


Figure B.1 : Vue générale de la bouchonneuse

Une broche de vissage équipée d'une motorisation à commutation électronique à forte dynamique a été choisie. Les paramètres de vissage importants, tels que le couple, le nombre de tours, l'angle de serrage et la profondeur sont acquis par des capteurs durant le vissage et interprétés en temps réel par la commande. Ces valeurs permettent un asservissement direct du procédé et une bonne précision de serrage.

Plusieurs stratégies de vissage sont possibles. Dans notre étude, la solution de vissage retenue se déroule en deux phases :

- 1^{ère} phase : Le bouchonnage commence par un vissage à vitesse constante avec surveillance du couple maximum. Un couple trop important dans cette phase signifie un défaut (bouchon de travers, défaut du taraudage, etc.). Si la valeur seuil du couple est atteinte lors de cette phase le bouchonnage est arrêté avec un message de défaut.

Tournez la page S.V.P.

- 2^{ème} phase : Lorsque le bouchon arrive au fond de son logement, la fin de serrage se fait avec un contrôle de couple pour obtenir le couple de serrage nominal.

B.1. Choix de composants

La figure B.2 présente les différents constituants de la boucle d'asservissement. Le moteur retenu est de type servomoteur auto-synchrone sans balai (moteur brushless), capable de développer un couple constant sur une large plage de vitesse de rotation grâce à un contrôle des courants et des flux dans la machine. Le moteur est associé à un capteur de vitesse. Un capteur de couple a également été installé.

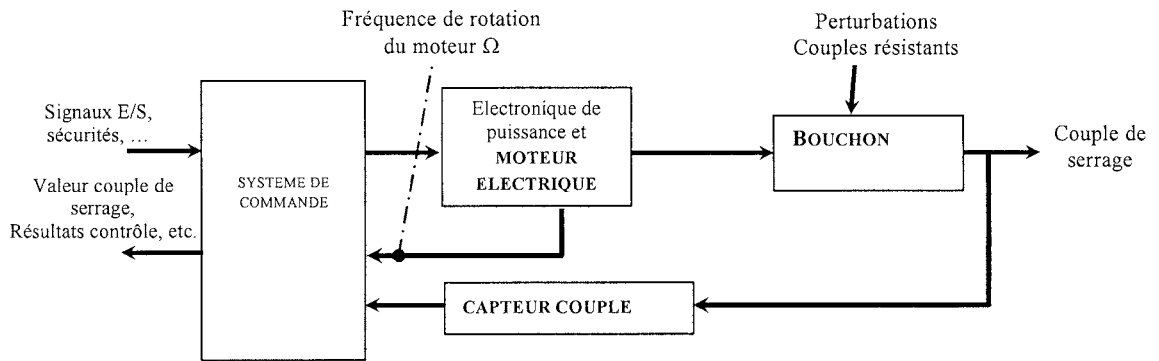


Figure B.2 : Constituants de l'asservissement

Question B.1.1 : quelles sont les principales méthodes disponibles pour l'acquisition de la vitesse Ω .

Question B.1.2 : proposer une solution technologique pour acquérir la valeur du couple de serrage de la vis.

Question B.1.3 : proposer une solution technologique pour le contrôle final, après vissage, de la bonne position du bouchon sur le carter.

B.2. Etude de la phase de déplacement à vitesse constante

La figure B.3 présente un schéma simplifié des constituants qui assurent le vissage. Le bouchon et la rondelle sont maintenus par une pince située au bout de la visseuse. On notera J le moment d'inertie, ramené à l'arbre moteur, de l'ensemble des pièces en mouvement lors du vissage y compris le bouchon et la rondelle.

Il existe un frottement visqueux lors de cette phase caractérisé par le coefficient équivalent f pour l'ensemble « moteur + bouchon ».

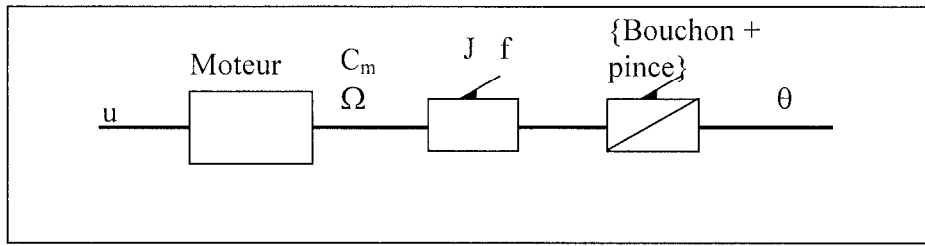


Figure B.3 : Asservissement de vitesse

- | | |
|--|--|
| u : Tension d'alimentation du moteur | J : Moment d'inertie ramené à l'axe moteur |
| f : Coefficient équivalent de frottement visqueux de l'ensemble « moteur + bouchon » | équivalent de l'ensemble des pièces en mouvement |
| C_m : Couple moteur | Ω : Vitesse de rotation de l'arbre moteur |
| θ : Rotation de la tête du bouchon | |

Un modèle approché du moteur permet de décrire son comportement par les deux équations suivantes :

$$(1) \quad u(t) = R.i(t) + L.\frac{di(t)}{dt}$$

$$(2) \quad C_m(t) = K_t.i(t)$$

avec :

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| $u(t)$: tension d'alimentation | R : résistance statorique |
| $i(t)$: courant d'alimentation | L : inductance |
| $C_m(t)$: couple moteur | K_t : constante de couple |

L'équation mécanique est obtenue en appliquant le théorème du moment d'inertie à l'ensemble des pièces représenté par l'inertie équivalent J et en tenant compte du coefficient de frottement équivalent f .

Question B.2.1 : en appliquant le théorème du moment d'inertie, donner l'équation différentielle reliant C_m , Ω , f et J .

Question B.2.2 : donner la fonction de transfert pour la vitesse du moteur sous la forme :

$$H_1(p) = \Omega(p)/U(p) \quad p \text{ étant la variable de Laplace.}$$

Question B.2.3 : mettre $H_1(p)$ sous une forme canonique et donner l'expression du gain (qu'on appellera K), du coefficient d'amortissement (qu'on appellera m) et de la pulsation propre du système non amorti (qu'on appellera ω_0). (cf Annexe 3 pour des résultats concernant les processus du 2nd ordre)

Question B.2.4 : donner les valeurs numériques de K , m et ω_0 . Donner alors l'expression numérique de $H_1(p)$.

Application numérique :

- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| $R = 1 \Omega$ | $f = 0.008 \text{ N.m.s}$ |
| $L = 0.005 \text{ H}$ | $J = 0.001 \text{ Kg.m}^2$ |
| $K_t = 2 \text{ N.m/A}$ | |

Question B.2.5 : - Compte tenu des valeurs numériques trouvées dans la question précédente, montrer qu'il est possible de mettre $H_1(p)$ sous la forme :

$$H_1(p) = A / ((1 + \tau_1 p) \cdot (1 + \tau_2 p)).$$

- Donner alors la valeur numérique de τ_1 et de τ_2 .
- Conclure sur la validité d'une expression simplifiée de $H_1(p)$ sous la forme d'une fonction de transfert du premier ordre dont vous donnerez alors l'expression numérique complète.

B.3. Étude de la phase de serrage

Dès que le bouchon rentre en contact avec le carter, il y a apparition d'une force résistante au déplacement du bouchon exercée par le carter. Cette force peut être assimilée à celle d'un ressort avec une raideur K . La commande de la visseuse bascule, alors, dans un asservissement de couple. Le système peut être représenté par la figure B.4.

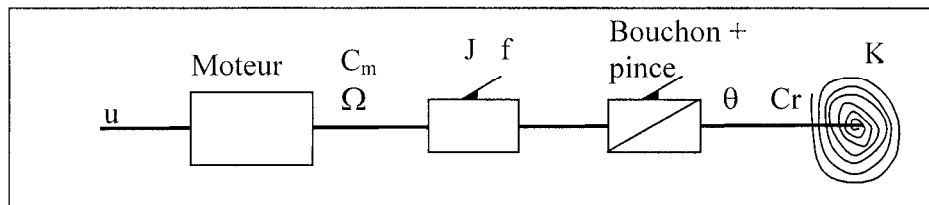


Figure B.4 : Processus de serrage

- | | |
|---|--|
| u : Tension d'alimentation du moteur | J : Moment d'inertie ramené à l'axe moteur |
| f : Coefficient équivalent de frottement visqueux de l'ensemble moteur plus bouchon | équivalent de l'ensemble des pièces en mouvement |
| C_m : Couple moteur | Ω : Vitesse de rotation de l'arbre moteur |
| θ : Rotation de la tête du bouchon | K : Raideur du contact carter |
| C_r : Couple résistant du carter | |

Compte tenu des grandeurs numériques, la constante de temps correspondant à l'établissement du courant dans les bobinages du stator du moteur peut être négligée devant les constantes de temps mécaniques. On considérera donc que :

$$C_m(t) = K_e \cdot u(t) , \quad \text{avec } K_e = 2 \text{ N.m.V}^{-1}$$

La couple résistant exercé par le carter est $C_r = K \cdot \theta$

Question B.3.1 : en appliquant le théorème du moment d'inertie à l'ensemble des pièces représenté par l'inertie équivalente J , donner l'équation différentielle reliant C_m , θ , f , J et K .

Question B.3.2 : montrer que le système peut être représenté par le schéma bloc de la figure B.5 ci-après. Donner l'expression de $G(p)$.

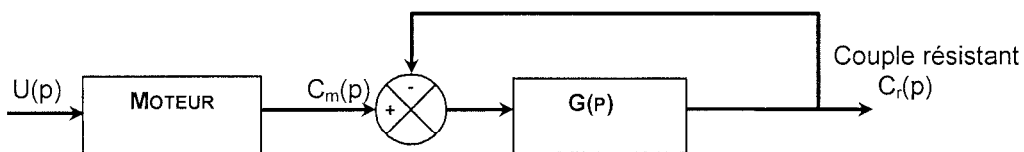


Figure B.5 : Boucle ouverte de couple

Question B.3.3 : Montrer que la fonction de transfert $G(p)$ peut s'écrire sous la forme $G(p) = G_1(p) * G_2(p)$
 Avec $G_1(p) = \Omega(p) / (C_m(p) - C_r(p))$ et $G_2(p) = C_r(p) / \Omega(p)$ (voir figure B.6)

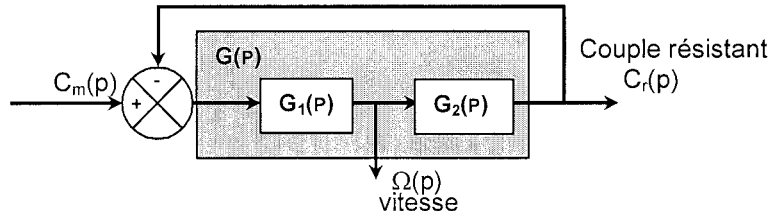


Figure B.6 : Décomposition de la fonction $G(p) = G_1(p) * G_2(p)$

Question B.3.4 : déterminer la fonction de transfert $H_2(p) = C_r(p) / U(p)$.

La commande de ce processus consiste à définir une consigne C_{ref} pour le couple de serrage C_r . La commande d'asservissement installée utilise le principe du modèle inverse. Elle introduit deux boucles d'asservissement en cascade avec respectivement deux correcteurs $COR_1(p)$ et $COR_2(p)$. A cet effet, deux capteurs ont été installés. Nous considérons que les gains de ces deux capteurs sont unitaires afin de simplifier les calculs.

La boucle d'asservissement est alors de la forme :

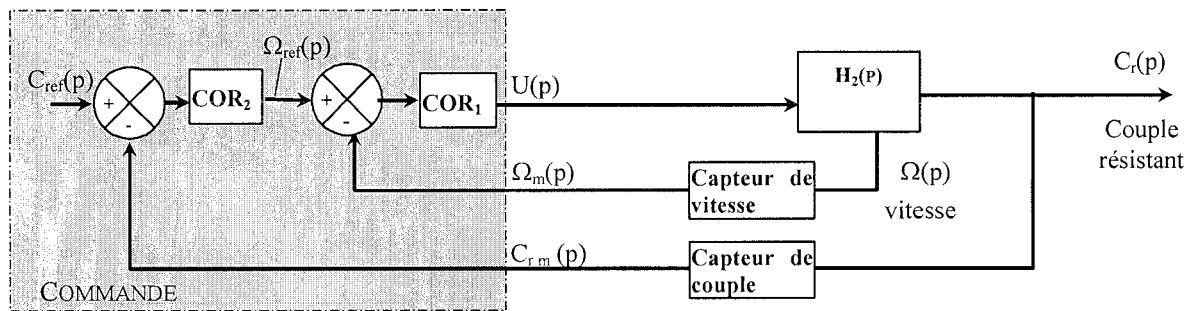


Figure B.7 : Asservissement de couple

Avec Ω_m et C_{rm} respectivement la mesure de la vitesse et la mesure de couple fournies par les deux capteurs.

Les correcteurs COR_1 et COR_2 intègrent de la connaissance sur le système afin d'optimiser la commande. Ainsi, les commandes Ω_{ref} et U sont obtenues respectivement par les expressions:

$$\Omega_{ref} = C_2 (C_{ref} - C_{rm}) \quad \text{et} \quad U = C_1 (\Omega_{ref} - \Omega_m) - \frac{C_{rm}(p)}{K_e}$$

C_1 et C_2 étant deux constantes qui devront être réglées.

En remplaçant $H_2(p)$ par son expression, le schéma de l'asservissement de la figure B.7 devient :

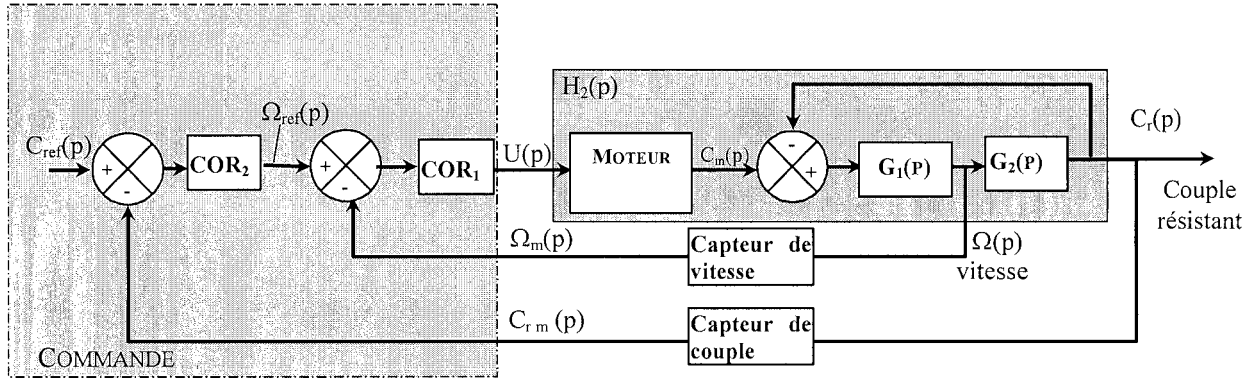


Figure B.8 : Asservissement éclaté de couple

On considère que les capteurs fournissent des mesures sans erreurs. On a alors : $\Omega_m = \Omega$ et $C_{r\ m} = C_r$

Question B.3.5 : déterminer, dans ce cas, la fonction de transfert $H_3(p) = C_r(p) / C_{ref}(p)$. Montrer que c'est une fonction du second ordre.

Question B.3.6 : mettre la fonction $H_3(p)$ sous sa forme canonique et donner l'expression du gain K_2 , du coefficient d'amortissement m_2 et de la pulsation propre ω_{02} . (cf Annexe 3 pour des résultats concernant les processus du 2nd ordre).

Le cahier des charges impose un couple de serrage de $20\text{N.m} \pm 2\text{N.m}$.

Compte tenu des cadences demandées, l'opération de serrage doit être réalisée en une durée maximale d'une seconde.

Question B.3.7 : comment régler les valeurs de $C1$ et $C2$ afin d'obtenir un serrage en une seconde avec un coefficient d'amortissement m_2 égal à 1 ?

Application numérique :

$R = 1 \ \Omega$	$f = 0.008 \text{ N.m.s}$
$L = 0.005 \text{ H}$	$J = 0.001 \text{ Kg.m}^2$
$K = 500 \text{ N.m.rad}^{-1}$	$Ke = 2 \text{ N.m.V}^{-1}$

Question B.3.8 : est ce que le système admet une erreur statique ?

Question B.3.9 : tracer l'allure de $C_r(t)$ en réponse à un échelon de 20 N.m .

Question B.3.10 : tracer l'allure de la réponse fréquentielle de $H_3(p)$ dans le plan de Bode. Quelle est la fréquence de coupure à 3 dB ?

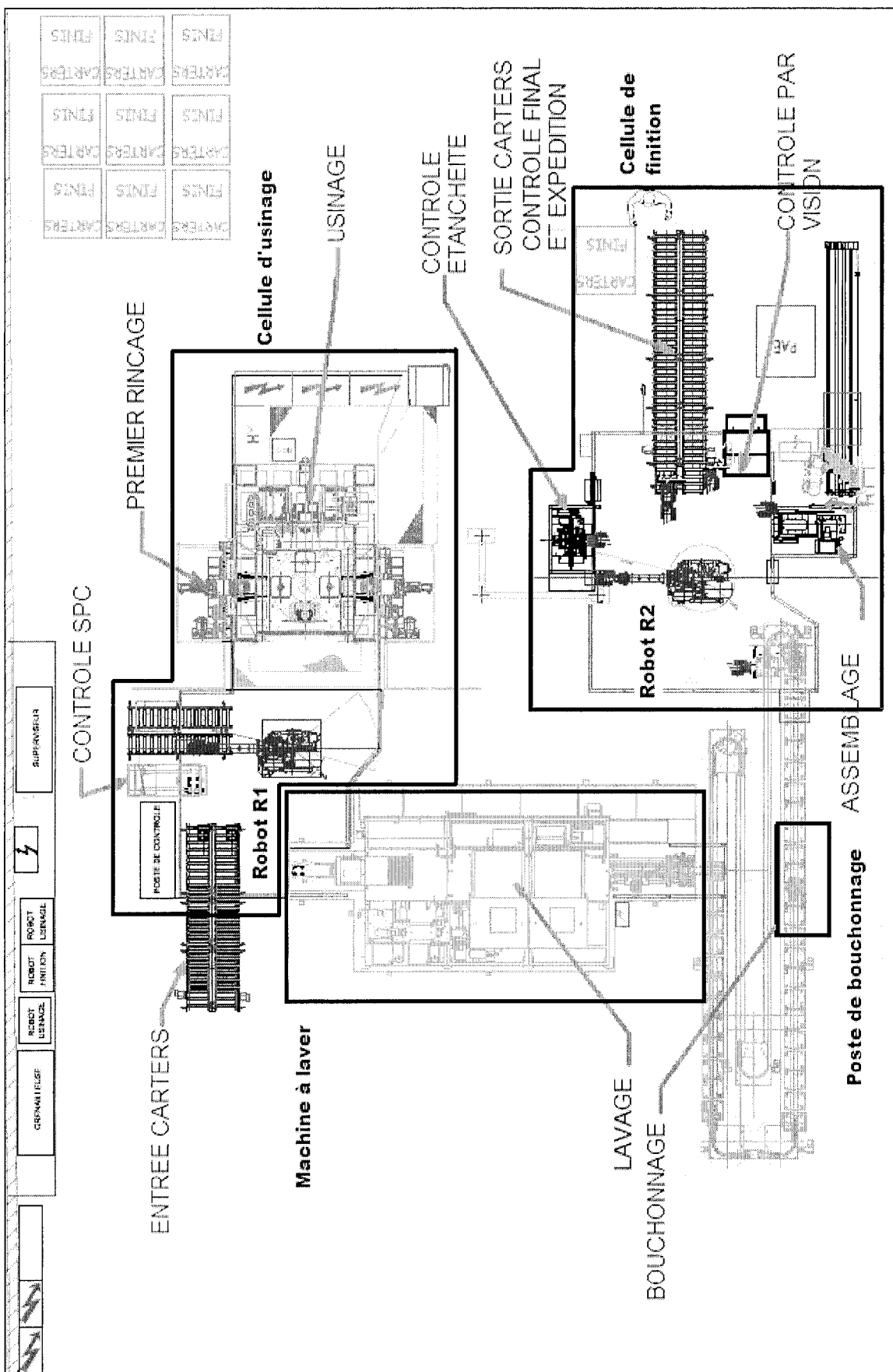
Partie C : APPLICATION PEDAGOGIQUE

On se propose dans cette partie pédagogique, de construire une séquence d'enseignement élaborée dans le cadre du référentiel de Brevet de Technicien Supérieur en Mécanique et Automatismes Industriels. On s'appuiera sur le cas de la visseuse étudiée dans la partie B pour développer une suite d'enseignement relative à **la mise en œuvre des boucles d'asservissement** pour des processus industriels.

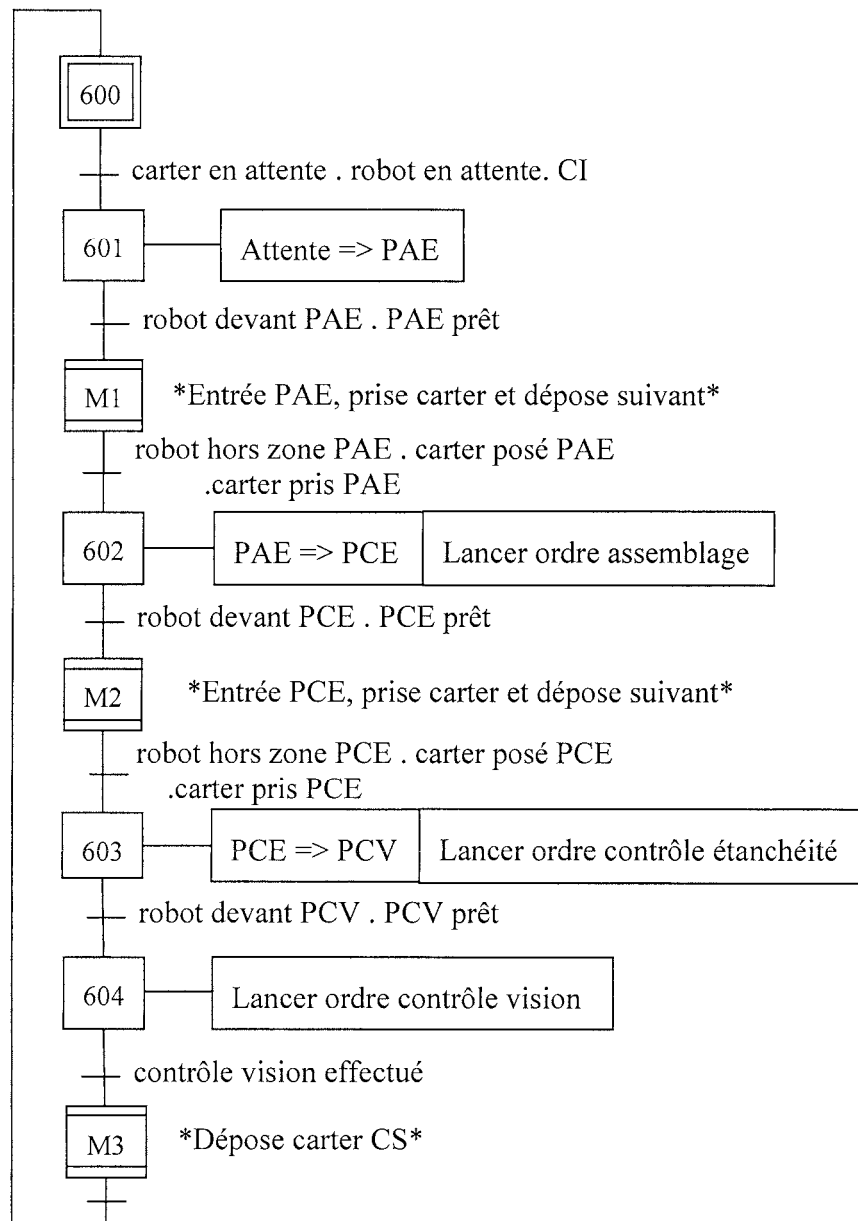
Travail demandé :

- Question C.1 :** *l'étude de la boucle d'asservissement de la visseuse de la partie B, comporte plusieurs étapes : modélisation, établissement des modèles de processus, élaboration des lois de commande, étude des performances de l'asservissement, etc. En vous basant sur le programme du BTS MAI (voir extrait en annexe 4), préciser quels seraient les domaines d'intervention du professeur de génie mécanique par rapport à ceux des autres enseignants (physique, mécanique, mathématique, etc...).*
- Question C.2 :** *en considérant que l'établissement dispose de la visseuse et de sa commande, définir une activité de travaux pratiques qui permette de valider le modèle de la fonction de transfert $H_1(p) = \Omega_m(p) / U(p)$ de la partie B1. Peut-on aboutir à l'identification du coefficient des frottements visqueux f et du moment d'inertie équivalent J ? (cf. partie B1)*
- Question C.3 :** *en s'appuyant sur le cas de la visseuse, décrire l'objectif et le contenu d'une séquence d'enseignement (organisation cours et/ou de travaux dirigés, ...) portant sur la différence entre une commande en boucle ouverte et une commande en boucle fermée. Explorer les performances des deux types de commandes en termes de respect du cahier des charges (couple de serrage, assemblage correct, cadences). Préciser les pré-requis nécessaires pour cette séquence.*
- Question C.4 :** *élaborer une fiche de synthèse des éléments de caractérisation et d'évaluation de la performance d'un asservissement.*

Annexe 1 : Implantation de l'îlot de fabrication des carters



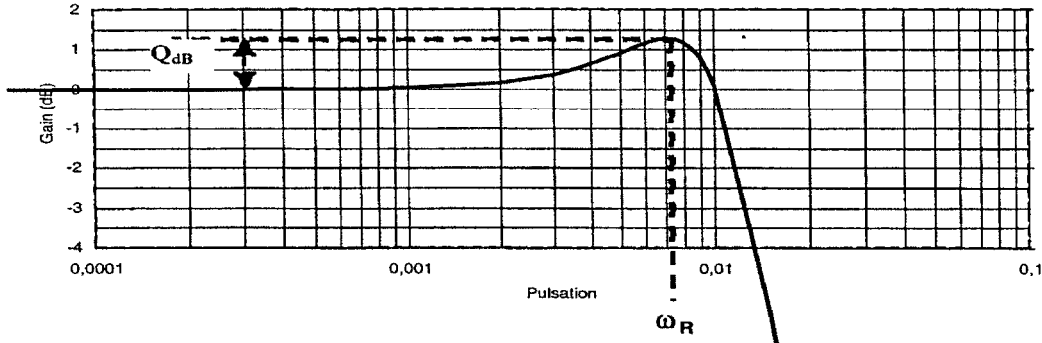
Annexe 2 : Grafset de commande du robot R2



Annexe 3 : Système du second ordre

Forme canonique d'un système de second ordre $H(s) = \frac{1}{1 + \frac{2.m}{\omega_0} .s + \frac{1}{\omega_0^2} .s^2}$

Réponse fréquentielle



Q : Facteur de résonance $Q = \frac{1}{2.m.\sqrt{1-m^2}}$

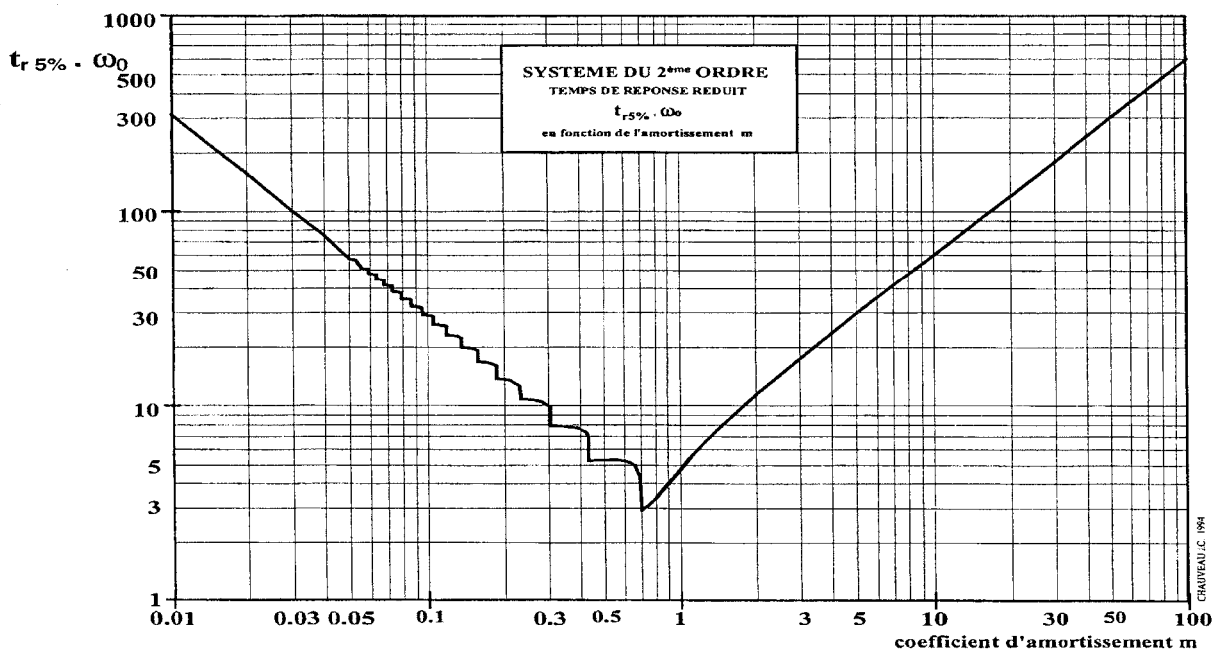
q : Facteur de qualité $q = \frac{1}{2.m}$

ω_R : pulsation de résonance $\omega_R = \omega_0 \sqrt{1-2.m^2}$

Réponse indicielle

$D\%$: Valeur du premier dépassement $D\% = 100.\exp\left(\frac{-\pi.m}{\sqrt{1-m^2}}\right)$

$T_{r5\%}$: Temps de réponse à 5%. Voir abaque temps de réponse réduit en fonction de l'amortissement m.



(Source : « Systèmes asservis linéaires » J-C et P CHAUVEAU - Ed CASTELLA)

Annexe 4 : EXTRAITS DU REFERENTIEL DU BTS MAI (Brevet de Technicien Supérieur en Mécanique et Automatismes Industriels)

- Systèmes du 1er et du 2ème ordre en régime transitoire et en régime sinusoïdal

- Systèmes du 1er et du 2ème ordre soumis à un échelon de tension et à une tension sinusoïdale.

1.1.1 - Etude expérimentale de la charge et de la décharge d'un condensateur à travers une résistance.

1.1.2 - Etude expérimentale de l'établissement et de l'extinction du courant dans une bobine en circuit fermé.

1.1.3 - Etude expérimentale et théorique d'un dipôle RLC soumis à un échelon de tension ; influence de l'amortissement.

1.1.4 - Etude expérimentale et théorique de la réponse en vitesse d'un moteur à courant continu à excitation indépendante, entraînant une charge inertielle, lorsqu'il est soumis à un échelon de tension.

- Le signal et son traitement

- Le signal: représentation temporelle et fréquentielle.

- Observation, analyse et caractérisation de différents signaux simples périodiques.

- Généralisation: exemples de spectres de signaux aléatoires analogiques ou logiques.

- Opérations linéaires sur les signaux analogiques: amplification, addition, retard, dérivation, intégration, filtrages.

- Opérations non linéaires sur les signaux analogiques: comparaisons.

- Fonctions logiques simples (ET, OU, NON-ET, OU EXCLUSIF).

- Fonctions logiques composées: comparaisons logiques, bascules, codage...

- Principes physiques mis en œuvre dans quelques composants et capteurs

- Présentation et étude en T.P. cours de quelques composants de base à semi-conducteurs: diodes, transistors, photorésistances, photodiodes, phototransistors, diodes émettrices.

- Les capteurs. Présentation simplifiée de quelques phénomènes physiques mis en œuvre dans divers capteurs: piézo-électricité (capteurs de grandeurs mécaniques), variation de résistance sous divers effets (jauge de contraintes pour capteurs de grandeurs mécaniques, résistances métalliques pour thermomètres de précision), effet Hall (capteurs de courant et de champ magnétique), effet Seebeck (capteurs de température), conduction dans les semi-conducteurs (capteurs de température à thermistance et capteur d'éclairement à photodiode ou phototransistors, induction électrique (capteurs de vitesse angulaire, capteurs inductifs de déplacement), variation de capacité (capteurs de déplacement).

Sensibilité et fidélité d'un capteur; conditionnement du signal fourni.

- Convertisseurs d'énergie tournants

- Moteur à courant continu à excitation indépendante.

- Moteur synchrone.

- Moteur asynchrone triphasé.

- Moteurs pas à pas.

- Notions de base sur les asservissements

- Présentation des asservissements par schéma unidirectionnel : chaîne de puissance ou chaîne directe ; chaîne de retour ou chaîne de contrôle ; opérateur de différence ; fonctions de transfert.

- Précision et stabilité d'un asservissement : comportements typiques.

- Nécessité d'un réseau correcteur pour traiter la grandeur d'erreur (régulateur). Différentes réalisations (numériques ou analogiques).

- Etude expérimentale d'un motovariateur industriel ou d'une maquette de régulation de vitesse ou de position.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : _____ Session : _____

Concours : _____

Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____

Intitulé de l'épreuve : _____

NOM : _____

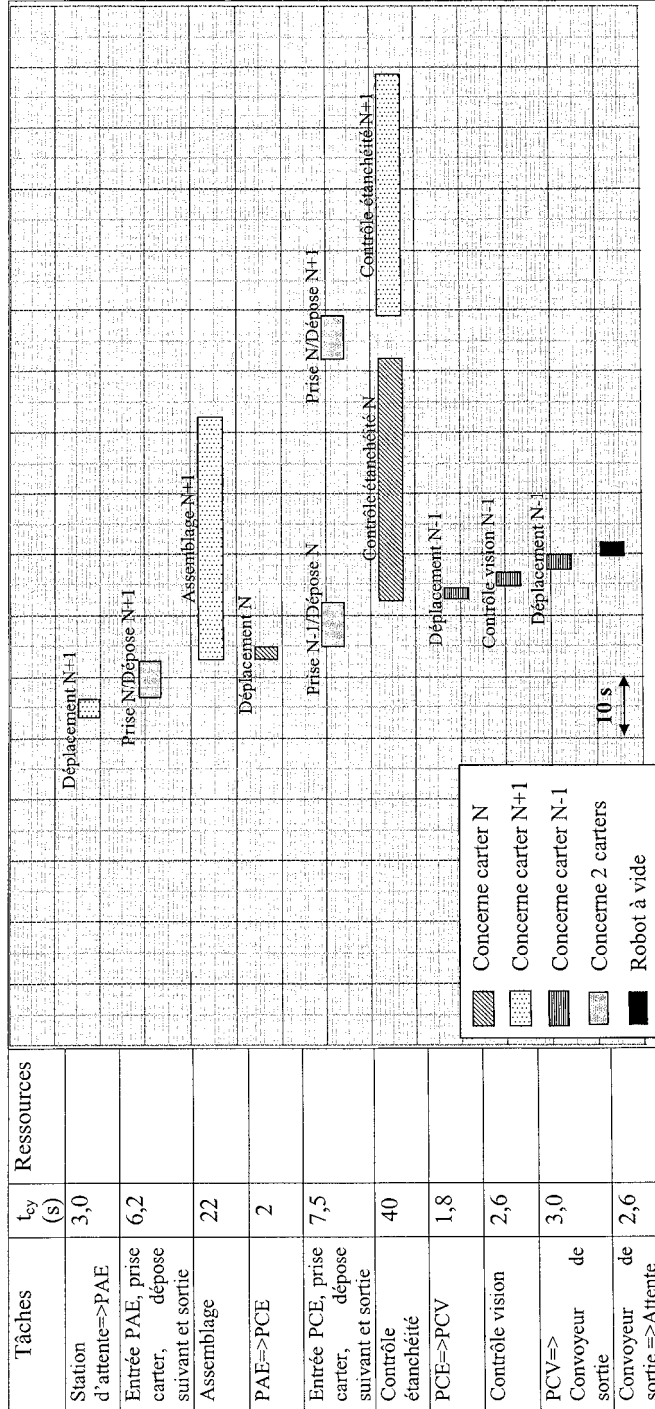
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : _____ N° du candidat _____

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

A12-7

Document réponse DR.A.1 : diagramme de GANTT de la cellule de finition à compléter



Symboles pour les ressources :

Station d'attente (sortie du convoyeur d'accumulation) = AT

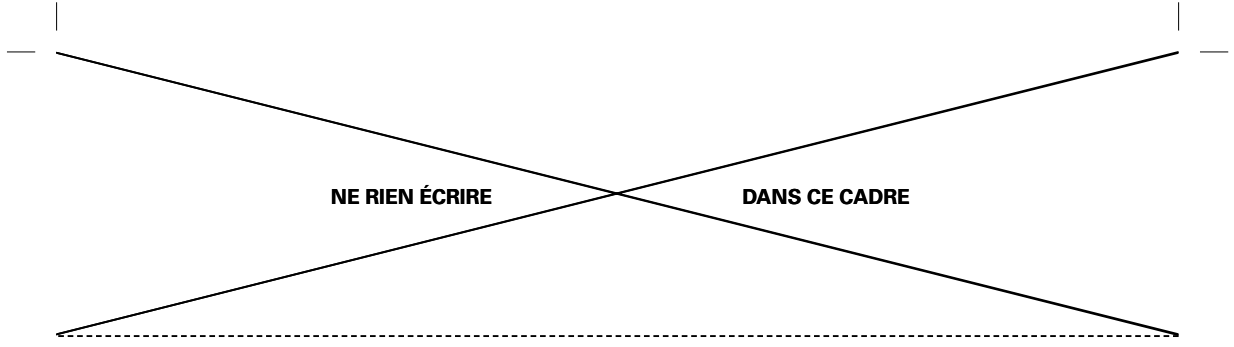
Poste d'assemblage = PAE

Poste de contrôle vision = PCV

Robot de manutention = R2

Poste de contrôle étanchéité = PCE

Convoyeur de sortie = CS.



MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : _____ Session : _____

Concours : _____

Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____

Intitulé de l'épreuve : _____

NOM : _____

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : _____ N° du candidat _____

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

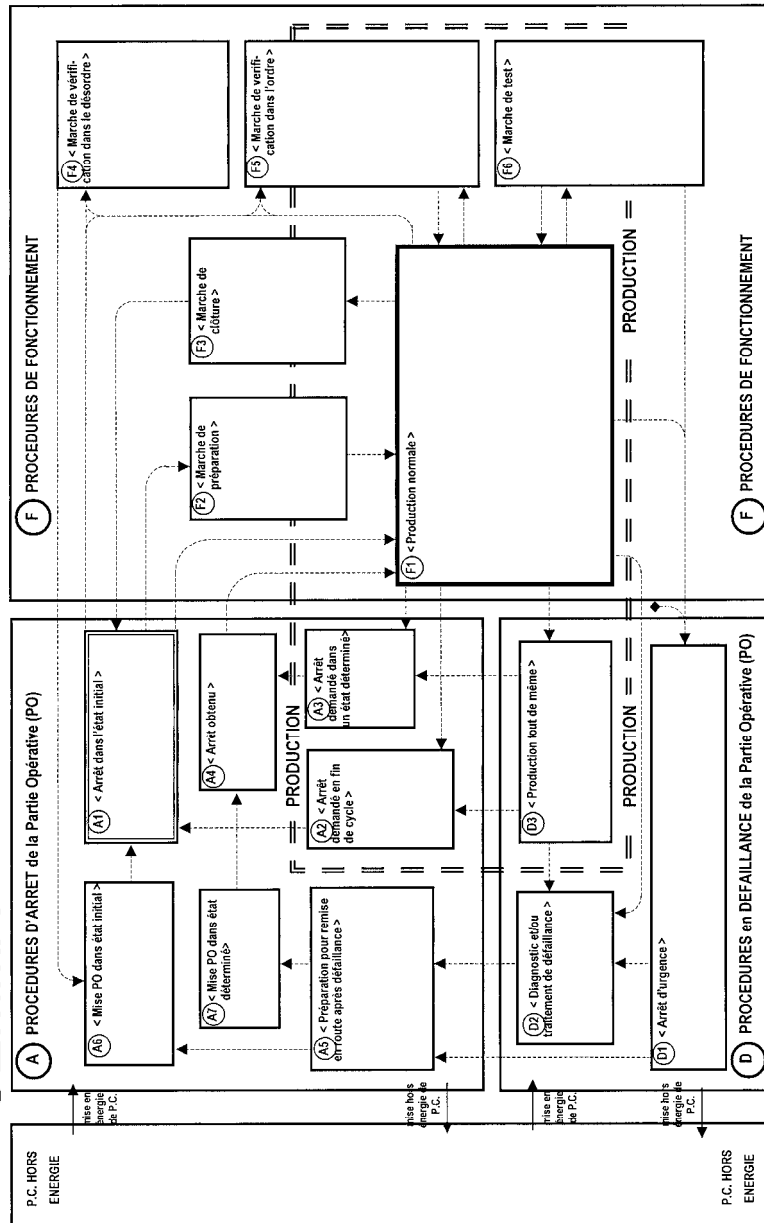
AI2-7

Document réponse DR.A.2 : GEMMA à compléter

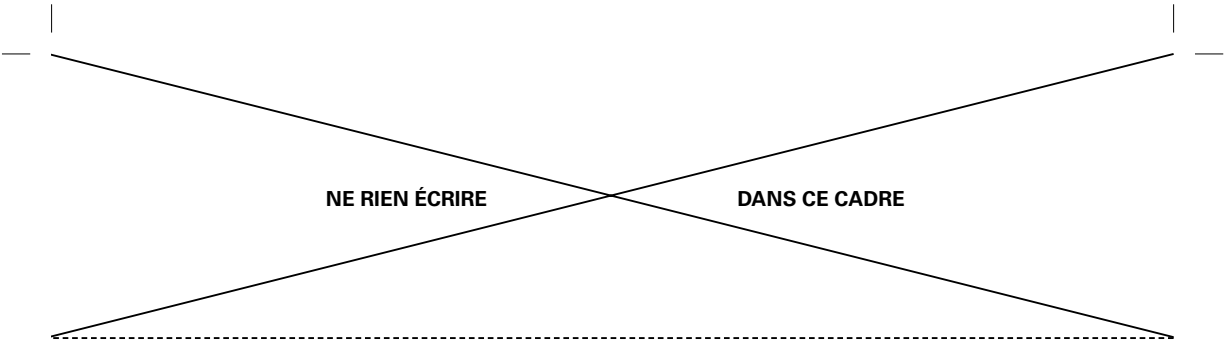
Références de l'équipement: *Cellule de finition des carters*

GEMMA

Guide d'Étude des Arrêts



(F)



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE