



Secrétariat Général

Direction générale des
ressources humaines

MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE

Sous-direction du recrutement

Concours du second degré

Rapport des membres du jury

Session 2010

Agrégation
Externe
Génie Mécanique

Les rapports des jurys des concours sont établis sous la responsabilité des présidents de jury

Plan du rapport

| | |
|---|---|
| Rapport du jury | 2 |
| 1 – Composition du jury | 3 |
| 2 – Résultats de la session 2010 | 4 |
| 3 – Compte-rendu de la première épreuve d'admissibilité : | |
| Étude d'industrialisation | 6 |
| 4 – Compte-rendu de la seconde épreuve d'admissibilité | |
| Analyse et conception des systèmes | 6 |
| 5 – Compte-rendu de la troisième épreuve d'admissibilité | |
| Automatique et Informatique Industrielle | 6 |
| 6 – Compte-rendu de la première épreuve d'admission | |
| Technologie | 7 |
| 7 – Compte-rendu de la seconde épreuve d'admission | |
| Soutenance d'un dossier industriel | 7 |
| 8 – Compte-rendu de la troisième épreuve d'admission | |
| Epreuve de Travaux Pratiques | 7 |
| 9 – Références des textes officiels et des programmes | 8 |

RAPPORT DU JURY

1 – Composition du jury

| | | |
|------------------|--------------|--|
| Attard | Adeline | Professeur agrégé |
| Baton | Jean-Jacques | Inspecteur d'académie - Inspecteur Pédagogique Régional |
| Béarée | Richard | Maître de conférences |
| Bercot | Michel | Professeur agrégé |
| Chanal | Hélène | Maître de conférence des universités |
| Desprez | Jean-Marc | Inspecteur d'académie - Inspecteur Pédagogique Régional |
| Diverchy | Jean-Jacques | Inspecteur d'académie - Inspecteur Pédagogique Régional |
| Dugas | Arnaud | Professeur de chaire supérieure |
| Gamelon | Cédric | Professeur agrégé |
| Kouiss | Khalid | Maître de conférences |
| Le Pivert | Patrick | Inspecteur d'académie - Inspecteur Pédagogique Régional |
| Pateloup | Vincent | Maître de conférences |
| Poulachon | Gérard | Maître de conférences |
| Rage | Michel | Inspecteur Général de l'Education Nationale |
| Ray | Pascal | Professeur d'université – <i>Vice-président</i> |
| Rigaud | Régis | Inspecteur d'académie - Inspecteur Pédagogique Régional |
| Rossi | Olivier | Professeur agrégé |
| Taraud | Dominique | Inspecteur Général de l'Education Nationale - <i>Président</i> |

2 – RESULTATS DE LA SESSION 2010

Concours externe

Nombre de postes : 15

Nombre d'Admissibles : 40

Nombre d'Admis : 15

Moyenne d'admissibilité du premier Admissible : 15,64

Moyenne d'admissibilité du dernier Admissible : 7,61

Meilleure moyenne des trois épreuves d'Admission : 17,1

Plus basse moyenne des trois épreuves d'Admission : 8,85

Moyenne générale obtenue par le premier Admis : 16,03

Moyenne générale obtenue par le dernier Admis : 9,65

Commentaires généraux du président de jury pour la session 2009.

Comme pour la session 2009, la session 2010 du concours externe de l'agrégation de génie mécanique a confirmé le faible nombre de candidats potentiels, confirmant ainsi le constat des conséquences des fermetures des centres de formation universitaires faisant suite aux fermetures des concours des CAPET et des CAPLP du domaine de la productique.

La disparition d'un vivier d'étudiants induit des résultats contrastés aux épreuves d'admission comme aux épreuves d'admissibilité (les candidats des ENS continuant de recevoir une véritable formation scientifique, technique et pédagogique).

Comme en 2009, nombre de candidats, manifestement mal préparés, obtiennent de mauvais résultats aux épreuves écrites, marquées pourtant par la volonté d'infléchir les contenus des épreuves en proposant des sujets plus courts, plus progressifs, permettant à tout candidat, même mal préparé, de pouvoir « entrer » dans le sujet et répondre aux premières questions.

Malgré cela, nombre de candidats n'ont pas montré les connaissances de base exigibles au niveau de l'agrégation.

Les candidats bien préparés et du niveau du concours ont obtenu des résultats équivalents et supérieurs à ceux de ces dernières années, la moyenne du dernier admis étant, cette année, nettement supérieure à celle des années précédentes.

Au final, la session 2010 du concours a conservé son niveau de sélectivité et les 15 postes pourvus le seront par des professeurs agrégés compétents et performants.

Cette session s'inscrit dans la continuité des années précédentes, marquées par la volonté d'ouvrir le champ de la productique à l'ensemble des procédés et processus relevant de la production de biens manufacturés et de se rapprocher des contraintes des concepteurs à travers la pré industrialisation des pièces fabriquées.

Les mêmes points faibles que l'an dernier ont été identifiés et restent à améliorer :

- Les niveaux de conception et de culture technologique mécanique de certains candidats sont inquiétants, à l'écrit lors de l'épreuve de conception comme à l'oral, pour les épreuves de Technologie et de Dossier. La formation initiale, très scientifique, de certains candidats devient alors un handicap qu'il ne faut pas sous-estimer et qu'il conviendrait de compléter par un travail sur l'acquisition d'une véritable culture technique.
- Le niveau d'investissement de certains candidats dans l'épreuve de dossier est insuffisant. Cette épreuve se prépare durant l'année, dans la durée et la réflexion. Elle permet à un candidat de montrer sa capacité à s'approprier et à comprendre un sujet technique réel, industriel, justifiant ainsi le rôle et l'existence des professeurs de Sciences et techniques industrielles.

L'agrégation de génie mécanique continue donc d'être un concours exigeant, reconnaissant à ses lauréats une grande polyvalence professionnelle permettant une insertion rapide et efficace dans de nombreux secteurs d'enseignement (classes préparatoires, sections de BTS Industriels, départements d'IUT Industriels, écoles d'ingénieurs), marquant une capacité d'adaptation importante, un niveau de culture scientifique et technique très élevé et un potentiel d'efficacité pédagogique reconnu et apprécié.

Dominique Taraud
Président du jury, session 2010

3 – COMPTE RENDU DE LA PREMIERE EPREUVE D'ADMISSIBILITE ÉTUDE D'INDUSTRIALISATION

Éléments de corrigé et commentaires : voir fichiers joints au format PDF

- *Agreg GM ext 2010 Première épreuve Industrialisation Corrigé et commentaires*

4 – COMPTE RENDU DE LA SECONDE EPREUVE D'ADMISSIBILITE ANALYSE ET CONCEPTION DES SYSTÈMES

Éléments de corrigé et commentaires : voir fichiers joints au format PDF

- *Agreg GM ext 2010 Deuxième epreuve Conception Corrige et commentaires*

5 – COMPTE RENDU DE LA TROISIÈME ÉPREUVE D'ADMISSIBILITE ÉPREUVE D'AUTOMATIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

Éléments de corrigé et commentaires : voir fichiers joints au format PDF

- *Agreg GM ext 2010 Troiseme epreuve Industrialisation Corrige et commentaires*

Agrégation de Génie Mécanique
Concours externe
Session 2010

**6 – COMPTE RENDU DE LA PREMIERE EPREUVE D'ADMISSION
EPREUVE DE TECHNOLOGIE**

J.J. BATON– J.J. DIVERCHY – C. GAMELON – V. PATELOUP

Voir fichier joint au format PDF

- *Agreg GM ext 2010 Epreuve de Technologie - Rapport du jury*

**7 – COMPTE RENDU DE LA SECONDE EPREUVE D'ADMISSION
ÉPREUVE DE SOUTENANCE D'UN DOSSIER INDUSTRIEL**

A. DUGAS- M. RAGE - P. RAY – R. RIGAUD - O. ROSSI

Voir fichier joint au format PDF

- *Agreg GM ext 2010 Epreuve Dossier Industriel - Rapport du jury*

**8 – COMPTE RENDU DE LA TROISIÈME ÉPREUVE D'ADMISSION
ÉPREUVE DE TRAVAUX PRATIQUES**

A. ATTARD – R. BÉARÉE - JM. DESPREZ - M. BERÇOT– H. CHANAL - K. KOUISS

P. LE PIVERT - G. POULACHON

Voir fichier joint au format PDF

- *Agreg GM ext 2010 Travaux Pratiques - Rapport du jury*

9 – Références des textes officiels et des programmes

Les textes régissant l'agrégation interne de mécanique sont parus dans les bulletins officiels dont les références sont rappelées ci-dessous :

- Décret n° 72-580 du 04 juillet 1972 relatif au statut particulier des professeurs agrégés, modifié par le décret n° 2009-914 du 28 juillet 2009, publié au JORF n°0173 du 29 juillet 2009.
- Arrêté du 24 juin 2009 autorisant l'ouverture des concours de recrutement des professeurs agrégés de l'enseignement du second degré pour la session 2010, publié au JORF n°0161 du 14 juillet 2009.
- Note fixant les programmes des épreuves des concours externes de l'agrégation du second degré, publiée au BO n°30 du 23 juillet 2009.
- Arrêté du 12 septembre 1988 fixant les modalités des concours de l'agrégation (publié au BO n°32 du 29 septembre 1988), modifié par un arrêté du 2 juin 1994, du 18 novembre 2002.
- BO spécial n°5 du 17 juillet 2008 pour les modalités administratives.

Première épreuve de Génie Mécanique, étude d'industrialisation

Adeline Attard, Olivier Rossi

- Éléments de correction : pages 2 à 22
- Commentaires de l'épreuve : pages 23 à 26

Éléments de correction

Première partie

Étude de pré industrialisation :
Définition d'un outillage pour l'injection plastique.
Temps indicatif : 3h

1 - Étude du triplet Produit-Matériau-Procédé

1.1 - Choix du matériau de la dentelle

En plus des contraintes liées au procédé d'obtention, le produit doit répondre aux exigences de l'industrie pharmaceutique. Ces exigences peuvent être résumées à l'aide de deux contraintes qui sont :

- la compatibilité avec les normes du milieu médical ;
- une bonne stabilité dimensionnelle sous variation d'humidité.

Question 1. Choisir le matériau de la dentelle à partir du document DT3. Justifiez votre démarche.

Les critères de choix du matériau sont :

La compatibilité avec les normes du milieu médical : c'est le cas des 6 matériaux proposés sur le document technique. Cette connaissance des normes médicales n'était pas attendue mais le critère devait être rappelé et des hypothèses formulées.

Une bonne stabilité dimensionnelle sous variation d'humidité c'est-à-dire avec un taux d'absorption de l'humidité minimum sur le diagramme d'Ashby.

Le matériau le moins absorbeur d'humidité est le COC d'après le diagramme d'Ashby. Les 5 autres matériaux sont beaucoup moins performants sur ce critère. On ne donne pas de limite de prix de la matière première, ce critère n'est donc pas le critère prépondérant malgré son importance. On observe cependant pour le COC un prix de 12 euros au kilo ce qui est viable sur notre série.

On fait donc le choix du COC.

De plus le COC est un Thermoplastique donc il est injectable (certains Thermodurcissables peuvent être injectés mais les moules sont coûteux et le stockage de la matière première est contraignante)

1.2 - Pré étude de l'outillage et influence sur la définition fonctionnelle de la dentelle

Les disques conditionnés avec 50 aiguilles sont actuellement vendus 5 euros l'unité.

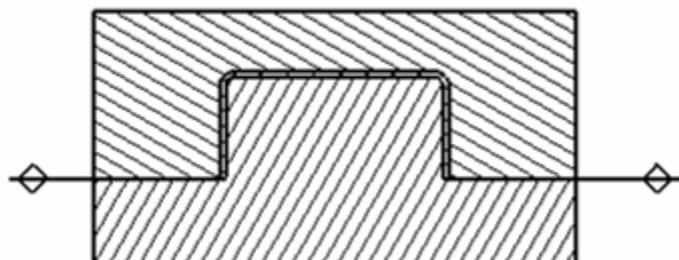
L'analyse de la concurrence impose que le coût de production de la dentelle ne doit pas dépasser 0,5 Euros.

La durée de vie de l'outillage à quatre empreintes est estimée à 800 000 dentelles soit 200 000 injections.

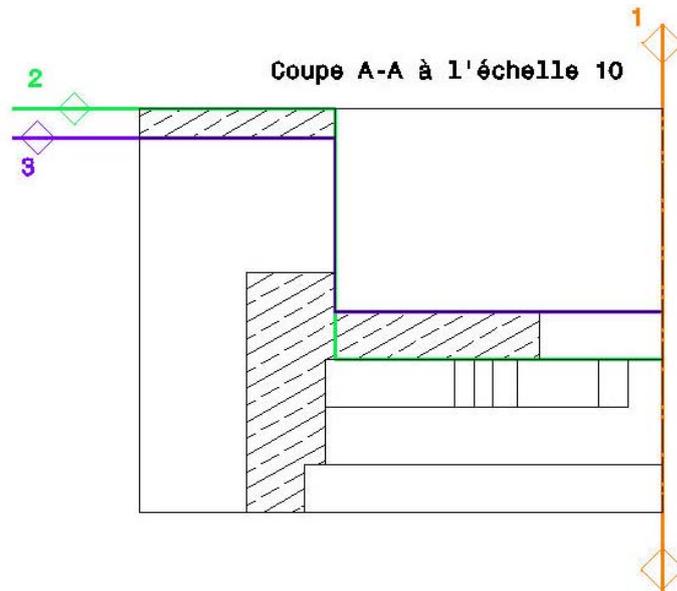
Question 2. Donner la définition d'un plan de joint

Un plan de joint ou une surface de joint est un plan ou une surface qui délimite les différentes parties d'un moule en tenant compte des contre dépouilles.

Exemple :



Question 3. Faire une étude des plans de joints possibles de la dentelle sur le Document Réponse représentant une première proposition de forme de dentelle. Justifier vos propositions sur copie.



Il était attendu la proposition d'au moins 3 plans de joint avec leur représentation normalisée et leur analyse respective suivant des critères définis par le candidat. Une réponse sous forme de tableau pouvait être proposée.

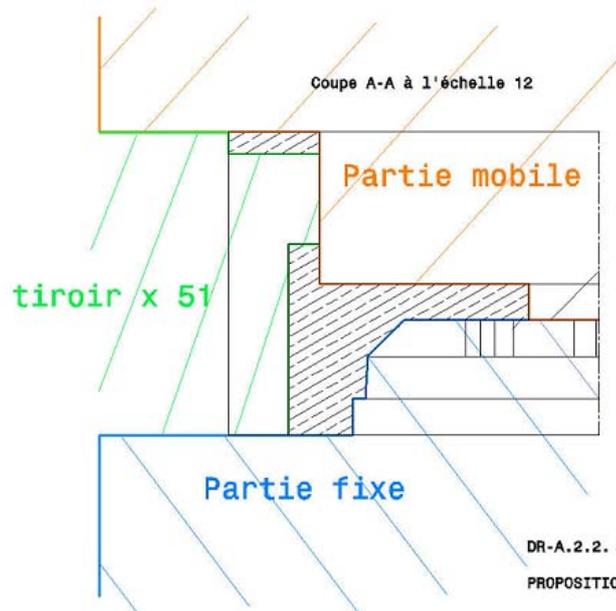
| Plan de joint N° | Critères liés au moule | Critères liés à la pièce finie |
|------------------|---|--|
| 1 | <i>Solution peu commune à la vue de la forme de la pièce qui entraîne un moule complexe avec 2 tiroirs principaux ayant une grande course. Hauteur des empreintes importante. Système de dégagement des poches nécessaire car en contre dépouille soit 51 tiroirs. Ejection sur des parois fines sur le pourtour extérieur.</i> | <i>ligne de joint sur la moitié du disque</i> |
| 2 | <i>Moule en 2 parties principales avec de la matière dans les 2 empreintes. 2 noyaux cylindriques + broches 51 tiroirs pour les poches en contre dépouilles.</i> | <i>Ligne de joint sur des surfaces fonctionnelles mais dont l'éventuelle marque ne posera pas de problème.</i> |
| 3 | <i>Moule en 2 parties principales avec de la matière dans les 2 empreintes. 2 noyaux cylindriques + broches 51 tiroirs pour les poches en contre dépouilles.</i> | <i>Ligne de joint extérieure dans la zone de la poche qui vient recevoir les buvards. Ligne de joint intérieure sur la surface de référence A.</i> |

On retient donc la solution 2. Malgré un moule complexe à 51 tiroirs, on minimise l'impact de l'emplacement des traces liées à l'injection plastique sur la pièce.

Question 4. On choisit d'étudier un plan de joint normal à l'axe de révolution de la dentelle. Proposer sur le Document Réponse un plan fonctionnel du moule d'injection précisant ses différentes parties : partie fixe, partie mobile, tiroirs.

Le choix de la partie mobile et fixe est déterminé par la position souhaitée des points d'injections. L'injection se faisant du côté de la partie fixe et ne doit pas se trouver sur une surface fonctionnelle en raison des traces sur la pièce finie.

On choisit, parmi plusieurs solutions possibles et considérées comme correctes à la correction de cette question, de positionner l'injection du côté de la surface circulaire à l'extrémité des poches du côté des rainures incrémentales (solution industrielle).



Question 5. Évaluer le prix du moule défini à la précédente. Le coût de l'outillage est-il acceptable vis-à-vis des objectifs de coût de la dentelle ?

Données :

- Coût matériau plastique de la dentelle : 4 Euros/kg ;
- Densité du matériau plastique de la dentelle : 1020 kg/m³ ;
- Volume de la dentelle : 3,01 cm³ ;
- Le coût de l'outillage et de la matière première représente environ 30% du coût de production du produit dentelle. Les 70% restant sont issus des charges indirectes, consommations énergétiques et main d'œuvre en cours de production ;
- En raison de la série, l'étude porte sur un moule quatre empreintes (quatre dentelles par cycle d'injection) ;
- On propose les indices de coûts suivants (tout compris) :
 - Prix du bloc fixe 4 empreintes usiné, alimentation bloc chaud comprise : 65 000 Euros ;
 - Prix d'un bloc mobile 4 empreintes usiné 400*400 : 35 000 Euros ;
 - Prix d'un tiroir : 600 euros.

Coût outillage :

Bloc fixe + bloc chaud + 4 x 51 tiroirs = 222 400 euros

Coût matière première :

$1020 \times 3.01 \times 10^{-6} \times 4 = 0.01228$ euros

Coût unitaire = $[(222\ 400 + 0.01228 \times 800\ 000) \times 100 / 30] / 800\ 000 = 0.9676$ euros

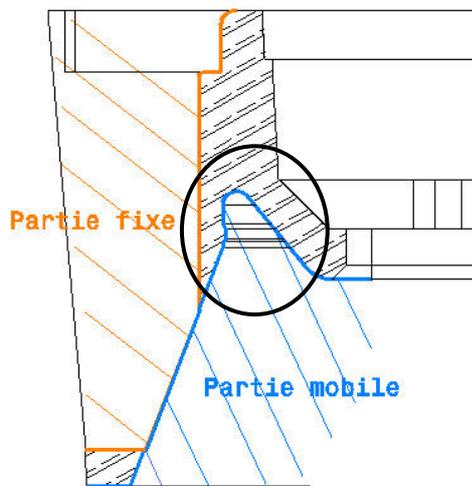
Ce coût est largement supérieur à celui à ne pas dépasser de 0.5 euros. Le prix de la matière première ne pouvant pas être diminué, il faut diminuer le prix de l'outillage. Celui ci est très coûteux en raison de ses 51 tiroirs. Il faut donc modifier le produit pour simplifier le moule par un travail collaboratif bureau d'étude produit - bureau d'études outillage.

1.3 - Adaptation du produit au procédé

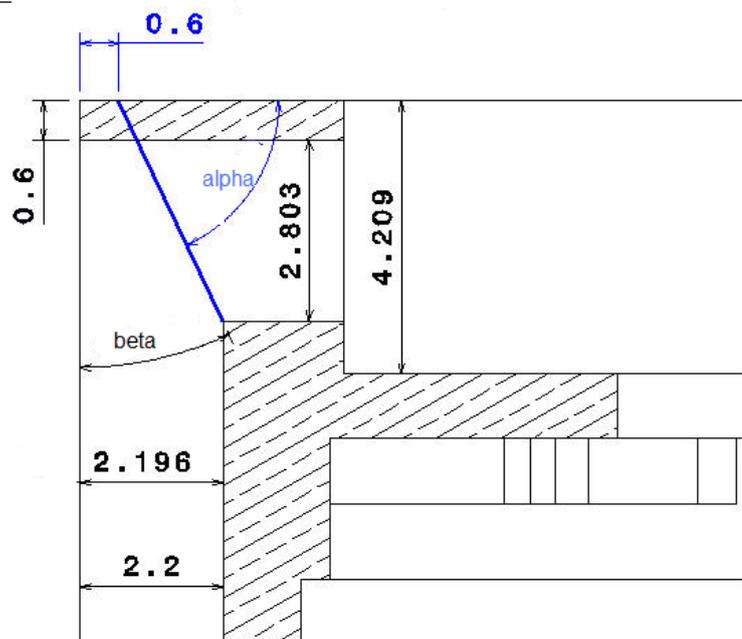
L'entreprise cherche à diminuer le prix du moule quatre empreintes en faisant évoluer le produit dentelle en relation avec le bureau d'étude. Elle aboutit à la définition finale de la dentelle présentée sur le Document Technique DT-2

Cette définition de produit permet de simplifier le moule en rendant accessible l'ensemble des surfaces de la dentelle aux parties fixes et mobiles du moule, sans tiroirs.

Question 6. A partir du premier plan de la dentelle fonctionnelle, Document Technique DT-1, justifier la forme finale repérée **F** sur le Document Technique DT-2 et calculer la valeur maximale de l'angle repéré α .
Les dimensions fonctionnelles du Document Technique DT-1 devront être conservées, ainsi que l'épaisseur mini de 0,6mm.



Grâce à cette inclinaison **F** on s'affranchit des 51 tiroirs tout en gardant la fonctionnalité des 51 poches.



L'angle limite α se détermine à partir des cotes fonctionnelles.

$$\begin{aligned} \tan(\alpha) &= (2.196 - 0.6) / (2.803 + 0.6) \\ &= 0.469 \text{ donc } \alpha = 25.15^\circ \text{ d'où } \alpha \\ \text{limite} &= 64.85^\circ \end{aligned}$$

Question 7. À l'ouverture du moule et juste avant l'éjection, préciser sur quelle partie du moule doivent impérativement se trouver les dentelles injectées ? Quelles sont les formes de la pièce qui assurent cette contrainte ? Justifier votre réponse.

Les dentelles doivent impérativement se trouver du côté de la partie fixe puisque c'est de ce côté que se trouve le bloc éjection. Mais le phénomène de retrait entraîne un resserrement de la dentelle autour du piston fixe donc celle-ci va se retrouver du mauvais côté à l'ouverture du moule si aucun dispositif ne permet le contraire. C'est pourquoi une contre dépouille a été modélisée sur la pièce. Cette contre dépouille (encadrée sur le schéma de la question précédente) a pour unique fonction de s'assurer de la position de la dentelle sur le bloc mobile pendant l'ouverture de l'outillage.

Question 8. En reprenant les données de la Question 5. , indiquer si la nouvelle solution est acceptable.

Coût outillage :

Bloc fixe + bloc chaud = 100 000 euros

Coût matière première :

$1020 \times 3.01 \times 10^{-6} \times 4 = 0.01228$ euros

Coût unitaire = $[(100\ 000 + 0.01228 \times 800\ 000) \times 100 / 30] / 800\ 000 = 0.4576$ euros

On se trouve alors avec un coût de production inférieur à celui souhaité de 0.5 euros donc la conception de l'outillage est validée vis-à-vis des critères de coût.

1.4 - Validation de l'injection par simulation

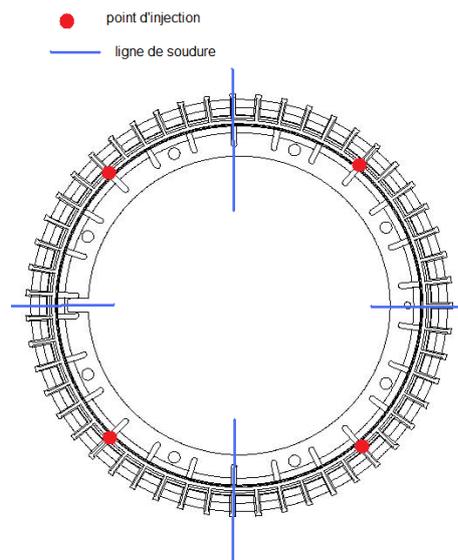
Le Document Technique DT5 présente les simulations sur CADMOULD RAPID de l'injection de la dentelle. Les différentes simulations justifient de prévoir quatre points d'injection.

Le Document Technique DT4 présente le principe d'injection par bloc chaud.

Paramètres :

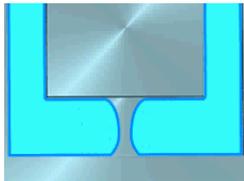
- Pression d'injection : 1000 MPa ;
- Matière : matière plastique de la partie 1.1 - Choix du matériau de la dentelle ;
- Débit : $10\text{cm}^3/\text{s}$;
- Température moule : 90°C ;
- Température d'injection : 290°C .

Question 9. Sur le Document Réponse DR3 indiquer la position des points d'injection.



C'est l'évolution du remplissage en secondes qui renseigne sur la position des points d'injection. Les premières zones remplies, en bleu sur le document DT-5, correspondent à leur emplacement.

Question 10. Rappeler ce qu'est une ligne de soudure. Analyser leur emplacement sur la dentelle et les faire apparaître sur le Document Réponse DR3



Une ligne de soudure est la rencontre dans le moule de deux fronts de matière injectée. Elle se forme systématiquement lorsque l'outillage dispose de plusieurs points d'injection sur une même pièce ou des broches destinées à réaliser un trou. C'est un défaut qui génère des affaiblissements mécaniques importants.

Les lignes de soudure sont nombreuses sur la dentelle puisqu'on a une ligne de soudure au niveau de chacun des 8 trous diamètre 1,70 et au niveau de chacune des poches à la jonction sur la partie circulaire supérieure.

Mais les lignes de soudure majoritaires sont celles de la rencontre des fronts de matières issus des 4 points d'injection. C'est la visualisation de l'origine de la matière sur le doc DT-5 qui permet de les positionner.

Question 11. En conclure quant à l'adaptation Produit-Matériau-Procédé.

La question 1 nous a permis de valider la relation Produit-Matériau.

Le COC est un Thermoplastique donc il est adapté au procédé d'injection plastique.

Les questions 6, 7 et 8 nous permettent de valider sur des critères de coût la relation Produit-Procédé. On a adapté les formes de la dentelle par une collaboration bureau d'études outillage et bureau d'études conception pièce de manière à optimiser financièrement cette relation Produit-Procédé.

Les simulations d'injection plastique permettent ensuite de valider l'outillage quant à l'obtention d'une pièce conforme.

L'étude rhéologique montre une pièce entièrement remplie avec des lignes de soudures dans une zone peu sollicitée mécaniquement. Il faudrait avoir une analyse de la déformée à l'issue du cycle complet d'injection pour pouvoir affirmer que l'obtention d'une pièce conforme est possible et valider la relation Produit-Procédé.

Analyse supplémentaire : L'échelle de la visualisation du taux de cisaillement maximal ne fait pas apparaître la barrière maximum du matériau ce qui signifie qu'on ne l'atteint pas. La visualisation de la température du front de matière nous montre un écart de température de plus de 60°C or on essaie de limiter cet écart à 20°C quand c'est possible. La perte de température s'explique par des parois fines difficiles à remplir. Le seuil de température inférieur du front de matière est de 227°C ce qui reste acceptable cependant d'autant plus que la majorité de la pièce est « rouge » sur la visualisation ce qui correspond, d'après l'échelle, à une baisse de température sur le front de moins de 10°C.

Deuxième partie

Étude de réalisation de l'outillage d'injection.

Temps indicatif : 2h 30min

2 - Réalisation de l'outillage

L'entreprise réalisant l'outillage doit, au préalable, réaliser un moule prototype pour l'obtention de la dentelle. Les formes moulantes de ce moule sont présentées sur le Document Technique DT 6 On s'intéresse dans cette partie à l'usinage du piston fixe qui est sous-traité.

Le piston fixe est défini dans le document DT 7.

Les surfaces du piston sont désignées pour plus de clarté sur un document à part : le document DT 8.

Le nombre de piston fixe à réaliser est de 5.

2.1 - Définition de la nomenclature des phases

Le piston fixe nécessite des opérations d'enlèvement de matière (par outil coupant, par abrasion ou par électroérosion), un traitement thermique et un traitement de surface. L'objectif de cette partie est de définir la chronologie des phases et les moyens à mettre en œuvre pour obtenir les caractéristiques finales du piston fixe.

Question 12. Le matériau du piston est un X38 Cr Mo V 5. Justifier le choix de ce matériau par une analyse de sa désignation.

Ce matériau est un acier fortement allié (préfixe X) comportant 0,38% de carbone, 5% de chrome, des traces de molybdène et de vanadium.

Cet acier, très commun pour la réalisation des outillages d'injection plastique, a une bonne résistance à la corrosion (pour résister sur la durée de vie de la pièce aux cycles thermiques d'injection) et une aptitude aux traitements thermiques tels que la trempe, ce qui permet d'augmenter la durée de vie de la pièce au sein de l'outillage.

Le piston fixe est trempé à 54 HRC puis nitruré.

Question 13. Rappeler le principe de ces deux traitements et leurs effets sur la pièce traitée.

La trempe et la nitruration sont deux traitements dont l'objectif principal est d'augmenter la dureté de la pièce. La trempe, traitement thermique agissant par le biais d'une élévation en température de la pièce puis d'un refroidissement rapide maîtrisé permet de figer la structure cristalline CFC de l'acier à température ambiante.

La nitruration est un procédé de traitement de surface qui agit par l'intermédiaire de diffusion superficielle d'azote dans la pièce. S'en suit une augmentation de la dureté superficielle, une augmentation de la résistance à la corrosion et une diminution du coefficient de frottement. Ces changements de caractéristiques indiquent son utilisation pour une pièce ayant des formes moulantes au sein d'un outillage d'injection plastique. La nitruration se pratique en bain de cyanures ou sous atmosphère contenant de l'ammoniac à la température moyenne de 550°C pendant une certaine d'heures. C'est donc un traitement long nécessitant de nombreuses précautions de protection des personnels et de l'environnement.

Plus de détails sur la trempe et la nitruration se trouvent de manière courante dans la littérature.

Question 14. Donner les règles générales permettant de les placer correctement dans une gamme de fabrication.

Les règles générales permettant de placer correctement les traitements thermiques et traitements de surface dans une gamme sont issues des contraintes imposées par les traitements eux-mêmes. La trempe :

- augmente la dureté de la pièce, elle sera donc placée le plus tard possible dans la gamme de fabrication de la pièce, pour éviter de pénaliser les opérations de coupe (les opérations telles que l'électroérosion ne sont pas dépendantes de la dureté de la pièce) ;
- a tendance à provoquer une déformation de la géométrie de la pièce, il faut donc placer après la trempe les opérations de finition ou de super finition nécessaires à l'obtention de la géométrie finale de la pièce. Ces opérations se feront obligatoirement avec des procédés permettant d'usiner une matière d'une grande dureté.

La nitruration n'agit que sur une très faible profondeur, de l'ordre de 0,02 mm, sans déformation de la pièce, toute opération d'enlèvement de matière enlèverait aussi le traitement de surface. La nitruration sera donc placée en dernier dans la gamme de fabrication. De plus, la surépaisseur engendrée par la nitruration est facilement maîtrisée. On peut donc en tenir compte dans les phases d'enlèvement de matière préalables.

Question 15. Vis à vis des règles énoncées à la question précédente, proposer une nomenclature des phases en précisant pour chacune d'entre elles :

- la ou les surfaces obtenues (utiliser un code couleur sur les silhouettes proposées et la désignation proposée dans le document DT-8) ;
- la classe d'équipement à utiliser (dans le cas d'une machine outil, la décrire par sa morphologie et son nombre d'axes minimal).

Les éléments de correction sont, pour plus de clarté, repoussés à la fin du document, pages 20 à 22. La gamme proposée doit tenir compte des contraintes issues des traitements thermiques et de surface définis plus haut. La trempe sera donc placée après les phases enlevant le plus de matière. Bien qu'aucune spécification ne soit placée dans ce sens sur le dessin de définition du piston fixe, le contexte d'utilisation de cette pièce laisse supposer qu'une phase de super finition sera nécessaire après trempe.

L'électroérosion des rainures du détail D de définition des surfaces génère des surfaces plus élancées et potentiellement déformables par le traitement thermique. On la placera donc après la trempe. La nitruration sera placée en dernière position dans la gamme de fabrication de la pièce.

À ce niveau de traitement du sujet, la stratégie de réalisation des logements de busette n'étant pas évoquée et compte tenu du temps imparti pour l'épreuve, la gamme de fabrication demandée à la question 15 n'avait pas obligatoirement à tenir compte de ces usinages particuliers.

2.2 - Étude des phases d'usinage par outil coupant

On souhaite réaliser un maximum de surfaces en utilisant un tour à commande numérique Spinner.

Question 16. Pour chacune des phases d'usinage, proposer une mise en position isostatique. Justifiez votre proposition vis à vis des spécifications portées sur le dessin de définition du piston fixe.

Les spécifications géométriques portées sur le dessin de définition du piston fixe sont relativement peu nombreuses. Elles lient principalement les groupes de surfaces fonctionnelles liées au positionnement des busettes chaudes avec les surfaces de guidage du piston fixe dans le moule et les surfaces moulantes de la dentelle et du positionnement de la soupape.

Pour plus de clarté, les éléments de mise en position seront placés sur chacun des schémas de la gamme de réalisation de la pièce.

La phase 20a ne nécessite que la mise en place de cinq normales de contact, le brut initial ayant une géométrie que l'on peut raisonnablement supposer de révolution.

La position angulaire des surfaces de la phase 20b est liée à celle des surfaces usinées dans la phase 20a, afin de garantir un bon positionnement des surfaces moulantes dans le moule. Il est donc important de noter que le passage de la broche principale à la contre-broche se fera avec indexation angulaire. Il n'est donc pas nécessaire de positionner une sixième normale de contact bloquant la rotation d'axe Z, puisque la machine ne perd pas la position angulaire.

La mise en position de la phase 20b aurait été différente si elle n'avait pas été réalisée sur un tour bi-broche.

La phase d'électroérosion impose une mise en position isostatique complète afin de positionner correctement les rainurages par rapport aux surfaces de mise en position dans le moule. Comme les logements de busettes ont été réalisés dans la même phase que le méplat Mpl1 et le perçage radial Perc radial 1, on pourra se reprendre indifféremment sur ces trois surfaces pour réaliser la suppression de la rotation suivant l'axe principal du piston fixe.

Question 17. On souhaite choisir les outils et les stratégies d'usinage. Un extrait de documentation d'un carburier est fourni en DRS 6.

Détaillez les opérations d'usinage nécessaires à la réalisation des surfaces formant l'enveloppe extérieure du piston fixe (de PI1 à PI5) en prenant soin de :

- nommer l'opération ;
- schématiser l'outil associé en situation dans le système d'axes de la machine ;
- décrire morphologiquement et dimensionnellement les parties actives des outils (formes, rayons, angles caractéristiques) ;
- proposer une nuance de plaquette.

Une solution est proposée dans le document réponse correspondant. On peut y voir deux stratégies différentes pour la réalisation de la poche cylindrique Cy3. Une ébauche par cycle de défonçage est proposée à l'aide de l'outil à gorge. En fonction d'essais préalables, on pourra choisir d'effectuer la finition en contournage à l'aide de l'outil à gorge, on bien à l'aide de deux outils d'enveloppe à plaquette rhombique 55°. La méthode donnant les meilleurs résultats en terme de qualité de surface (et non forcément de temps de cycle, comme on pourra le voir à la question suivante) sera retenue.

La nuance de plaquette choisie parmi celles proposées dans l'extrait de catalogue carburier tient compte de la nature particulière du matériau du piston fixe, ainsi que des conditions favorables d'usinage (surface de révolution continue, pas d'écroutage, pièce peu élancée...) permettant de choisir une plaquette dure, résistante à l'usure.

La géométrie Wiper du carburier est choisie afin de diminuer la rugosité des surfaces obtenues.

Question 18. Compte tenu de la petite taille de la série et du contexte de production, comment choisir judicieusement les conditions de coupe ?

Le nombre de pièces à produire est de 5, ce qui est une production quasi unitaire. On mettra donc l'accent lors de la détermination des conditions de coupe et de la stratégie de réglage sur l'obtention d'une géométrie et d'états de surfaces conformes aux spécifications du dessin de définition de la pièce.

L'optimisation des paramètres de coupe en vue d'une productivité maximale est inutile dans ce cas d'étude. On ne cherchera pas non plus à allonger à tout prix la durée de vie des outils.

La vitesse de coupe et la profondeur de passe des diverses opérations seront déterminées afin d'avoir une coupe qualitativement correcte, par exemple sans filage de copeaux ou arrachements de matière. L'avance sera calculée pour satisfaire à la rugosité générale demandée en se référant aux modèles classiques ou à la documentation carburier.

Question 19. On s'intéresse à la réalisation de la poche carrée 33x33. Définissez la géométrie complète de l'outil permettant de réaliser cette entité.

La poche carrée 33x33 de logement de la soupape ne présente pas de difficultés spécifiques de réalisation, si ce n'est la présence d'un angle de dépouille de 10° et d'un rayon de coin de 6mm. La profondeur de cette poche est de 4mm, ce qui permet de privilégier un outil court.

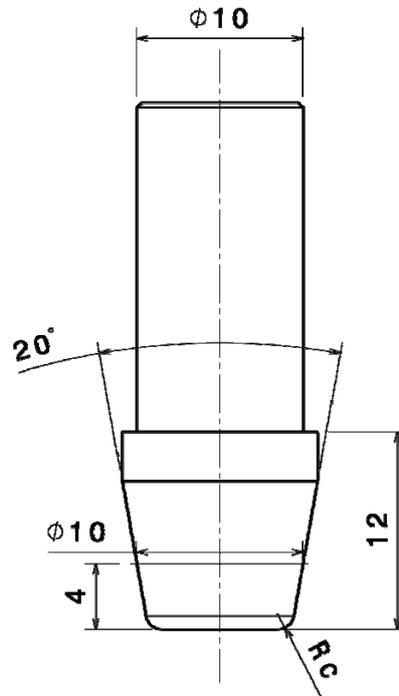
La cinématique du tour Spinner ne permet pas d'incliner l'axe de l'outil par rapport à l'axe Z. Dans le cadre de cette étude, on sera amené à utiliser un outil de forme conique.

La longueur totale de la partie active est dimensionnée à une valeur permettant l'absence d'interférence avec le plan PI5. Une dimension nominale de 12mm semble convenir.

Le diamètre au plan de jauge est choisi de manière à éviter une trajectoire anguleuse dans le coin de la poche. Le rayon choisi sera inférieur à 6mm. Un diamètre de 10mm peut convenir.

L'attachement doit être compatible avec le porte-outils motorisé du tour Spinner. On pourra choisir un emmanchement cylindrique standard de $\varnothing 10\text{mm}$.
Le rayon R_c sera choisi afin d'être compatible avec le rayon toléré en fond de poche.

L'ensemble de ces contraintes amène à proposer la définition suivante :



Rc selon rayon de fond de la poche

Question 20. Les logements de busette (surfaces intérieures repérées Alésage busette à Cyl-bus-3), sont-elles réalisables sur le tour Spinner ? Si oui, précisez la situation pièce/machine, si non, proposez une machine et un porte-pièce pour réaliser ces surfaces.

Le tour Spinner dispose par broche de trois axes : X, Z et C, et d'une tourelle motorisée permettant l'entraînement en rotation d'outils de fraisage. L'absence d'axe Y impose que l'axe de rotation de l'outil soit contenu dans le plan XZ de la machine.

Les logements de busette sont des surfaces que l'on peut obtenir par opérations axiales de type perçage/alésage. L'axe de ces surfaces est excentré par rapport à la broche, parallèle à l'axe Z, et que l'axe C permet de placer dans le plan XZ.

Les logements de busettes peuvent donc topologiquement être obtenus sur le tour Spinner proposé. Il reste à déterminer si le tour a la capacité suffisante (en présence d'un outillage adapté) pour réaliser de manière conforme les surfaces étudiées. La tourelle possède une broche limitée à 4000 tr/min. Les outils utilisés pour réaliser le diamètre $\varnothing 10$ des logements de busette devront donc être compatibles avec une vitesse de coupe inférieure ou égale à 125m/min.

Question 21. Proposez alors une stratégie d'ébauche et de finition pour les logements de busettes (surfaces intérieures repérées Alésage busette à Cyl-bus-3 EE) sur le document DT 8.

Les surfaces composant les logements de busette ont des formes particulières et des tolérances de diamètre relativement serrées. Ces surfaces permettent de positionner le système de busettes qui alimente en matière les empreintes du moule.

La faible série envisagée n'incite pas de prime abord à se tourner vers l'utilisation d'un outillage spécifique pour réaliser les logements de busette. Cependant, l'investissement pourrait être rentabilisé si le même système d'injection était réutilisé pour d'autres applications. Il nécessiterait alors la réalisation d'une géométrie identique sur d'autres pièces.

Outre une stratégie par contournages intérieurs, on peut proposer la succession d'opérations suivantes :

- Pointage ;
- Perçage à $\varnothing 9,9$;
- Perçage à $\varnothing 15,9$;
- Perçage à $\varnothing 17,4$;
- Finition à l'aide d'un outil axial de forme étagée ;
- Finition du diamètre $\varnothing 0,8H7$.

Question 22. En admettant que les trous de diamètres $\varnothing 0,8H7$ (soit $\varnothing 0,8 +0+0,01$) (Cyl-bus-3 EE) soient réalisés en électro érosion dans une phase séparée des phases de tournage, d'après la fonction de ces surfaces, quels sont les défauts géométriques qui risquent de porter atteinte au bon fonctionnement des busettes ? Comment y remédier ?

Les trous $\varnothing 0,8H7$ permettent à l'orifice des busettes d'être en relation avec l'empreinte du moule. Les défauts géométriques pouvant porter atteinte au bon fonctionnement du système sont principalement une mauvaise coaxialité par rapport aux logements de busettes. Cela reviendrait à masquer partiellement ou totalement les seuils d'injection, directement définis par la position des busettes dans le piston fixe. Il pourrait d'en suivre un écoulement turbulent de la matière dans le moule, un dépassement du taux de cisaillement admissible du COC ou un bourrage des busettes qui viendrait interdire l'injection.

Pour remédier à ce problème, on peut par exemple assurer un guidage de l'électrode à l'intérieur du logement de busettes, ou mesurer la position du logement de busette dans le plan normal à la direction d'enfonçage afin d'aligner l'électrode avec la ligne d'alésages.

2.3 - Électroérosion par enfonçage sur le piston fixe

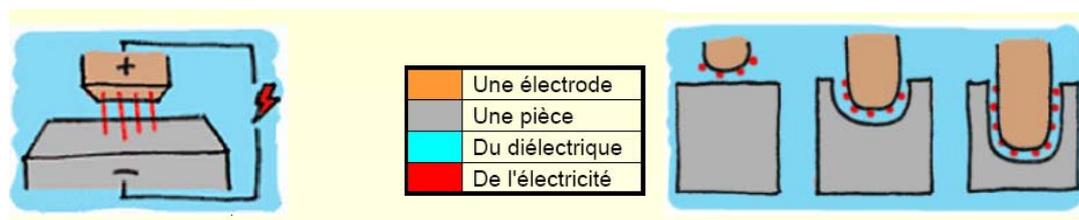
Les formes moulantes du piston fixe ainsi que les 4 seuils d'injection des busettes sont réalisées en électroérosion par enfonçage sur une machine IONA dont la documentation est jointe en Documents Ressources DRS4 et DRS5.

Question 23. Rappeler le principe de l'électroérosion par enfonçage, justifiez son utilisation pour la réalisation des surfaces citées ci-dessus.

L'électroérosion par enfonçage est un procédé d'usinage qui consiste à enlever de la matière dans une pièce avec un outil appelé électrode qui a les formes complémentaires de la forme à usiner. La pièce est immergée dans un diélectrique dans lequel on fait passer un courant. L'action du courant va ioniser un canal à travers le diélectrique. Un arc électrique se produit de l'électrode vers la pièce à usiner, arrachant de la matière à cette dernière localement. Les particules détériorées sont ensuite refroidies dans le diélectrique.

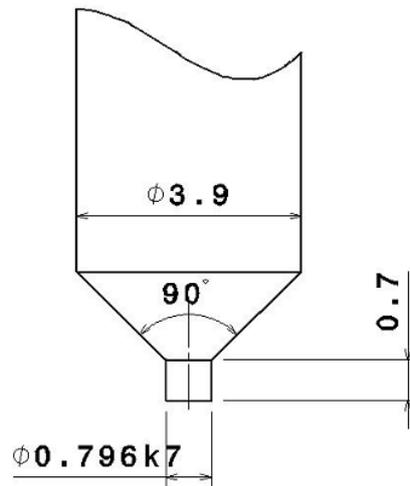
C'est un procédé qui permet d'usiner des matériaux très durs, mais impérativement conducteurs. Les cotes peuvent être obtenues avec une précision de plus ou moins $5 \mu\text{m}$.

Les électrodes, qui sont usinées, sont en cuivre, graphite ou sparkal (alliage de cuivre et tungstène). Leurs dimensions sont celles de la forme à obtenir plus ou moins le gap, distance laissée entre la pièce et l'électrode où s'effectue l'arc électrique.



Ce procédé permet l'obtention de surfaces difficilement réalisable voire non réalisables par les procédés d'usinage conventionnels et ce avec une précision élevée. La forme mâle de l'électrode est en général plus facile à réaliser. C'est le cas pour notre seuil d'injection diamètre 0.8H7

Question 24. Le choix s'est porté sur des électrodes de cuivre pour la réalisation des quatre seuils d'injection. Les surfaces sont repérées E sur le Document Réponse DR6. Sur ce même document représenter et coter l'électrode à réaliser pour l'opération d'électroérosion par enfonçage sachant que la rugosité visée est de $Ra=0,36 \mu\text{m}$.



$Ra = 0.36 \mu\text{m}$ donc $VDI = 20 \times \log(10 \times 0.36) = 11.13$

On prend un VDI de 11 sur la table technologique qui permet d'avoir un état de surface légèrement inférieur à celui visé alors que celui de 12 risque de nous faire une pièce non conforme.

On choisit un arrosage par aspiration d'où un gap de $2 \mu\text{m}$ d'après la table technologique.

Pour réaliser les formes moulantes du piston fixe, trois électrodes présentées sur le Document Technique DT9 sont utilisées.

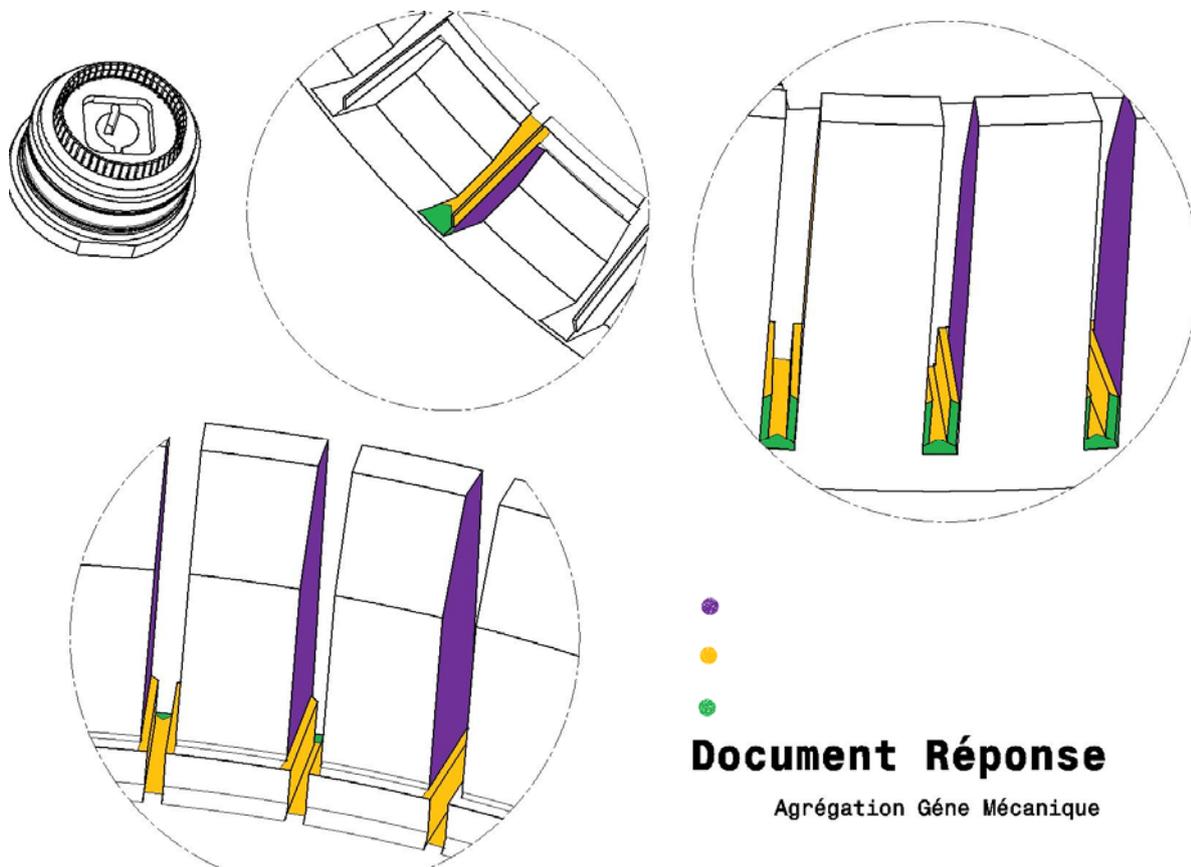
Question 25. Donner l'ordre de passage d'enfonçage de ces trois électrodes en justifiant votre choix.

L'électrode C est celle d'ébauche. Elle vient enlever un maximum de matière en créant les rainures du piston en un minimum de temps. L'électrode A fine donc fragile aura ainsi moins de matière à enlever. On augmente ainsi sa durée de vie en limitant son usure.

On usine ensuite avec l'électrode A qui va réaliser le rebord inférieur et la rainure inférieure plus étroite que la précédente.

On termine par l'électrode B. Celle-ci est passée en dernier car ainsi sa partie active est limitée à la hauteur du rebord.

Question 26. En utilisant un code couleur - une couleur par électrode - colorier les surfaces moulantes du piston fixe sur le document DR7 suivant le code couleur de l'électrode qui permet de les réaliser.



Troisième partie
Élaboration du cahier des charges pour l'automaticien.
Temps indicatif : 30 minutes

3 - Définition du cahier des charges pour l'automatisation de l'équipement de moulage

Cette partie a pour but l'élaboration d'un cahier des charges définissant le processus séquentiel de moulage du disque, ainsi que ses performances du point de vue du temps de cycle. Il est à destination de l'automaticien, qui se base sur les prévisions de production et sur les contraintes techniques du procédé d'injection.

Le disque, comme vu plus haut, est composé de trois éléments distincts :

- la dentelle ;
- le support en dessicant ;
- la base.

La presse permettant l'injection est une presse bi-matière.

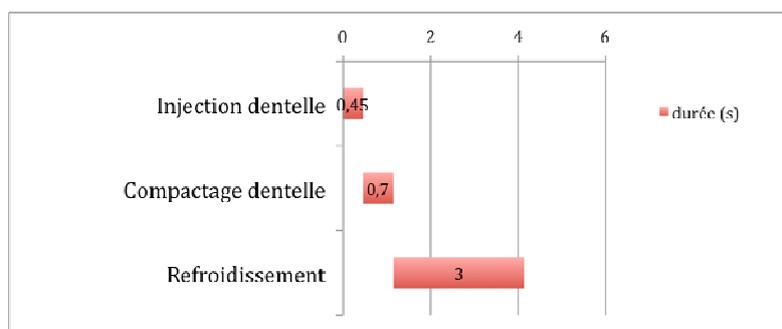
On donne les paramètres d'injection suivants en secondes :

- Temps d'injection dentelle: 0,45 ;
- Temps de compactage dentelle: 0,7 ;
- Temps de refroidissement dentelle: 3 ;
- Temps d'injection support en dessicant : 0,4 ;
- Temps de compactage support en dessicant : 0,6 ;
- Temps de refroidissement support en dessicant : 2,5 ;
- Temps d'éjection support en dessicant ou pièce finie: 0,5 ;
- Retour batterie d'éjection support en dessicant ou pièce finie: 0,5 ;
- Translation empreintes : 1 ;
- Temps d'injection base : 0,3 ;
- Temps de compactage base : 0,6 ;
- Temps de refroidissement base : 2,5 ;
- Temps d'ouverture ou fermeture du moule : 1 ;
- Temps de manipulation (robot) : 2,5 ;
- Temps d'assemblage dentelle- support en dessicant : 1.

L'outillage de presse est muni de deux manipulateurs. Un permettant de manipuler les supports en dessicant injectés pour les transférer vers l'empreinte de la dentelle et l'autre de manipuler les supports en dessicant assemblés avec la dentelle vers l'empreinte de surmoulage de la base.

Question 27. Construire le diagramme de Gantt d'injection d'une dentelle.

Le temps nécessaire entre la fermeture du moule et son ouverture en vue de l'extraction de la dentelle injectée est de 4,15 s. Le cycle d'injection étant obligatoirement composé des étapes citées ci-dessus et ne pouvant être interrompu, il pourra être considéré comme une tâche « injection dentelle » d'une durée de 4,15 secondes.



De même, on peut définir la tâche « injection du support en dessicant » d'une durée de 3,5 secondes, et la tâche « injection de la base » d'une durée de 3,4 secondes.

Il est important de noter qu'un cycle d'injection correspond à la production de 4 pièces simultanément.

Question 28. Construire le diagramme de Gantt du processus d'injection complet.

Question 29. Déterminer à partir de la réponse portée sur le document DR 9, le chemin critique du processus et le temps de cycle associé.

La spécification grafcet donnée en annexe et le schéma d'injection permettent de définir le diagramme ci-dessous (les durées sont données en secondes). Les tâches faisant partie du chemin critique sont repérées en rouge, les autres en vert. Pour plus de clarté, les ouvertures/fermetures de moule sont représentées comme des tâches différentes. Elles sont évidemment réalisées par la même ressource. Le grafcet de description du cycle d'injection comportait un oubli : il manque une étape de fermeture du moule en fin de cycle. Une immense majorité de candidats a su faire l'hypothèse que le moule se refermait après l'éjection des pièces finies.

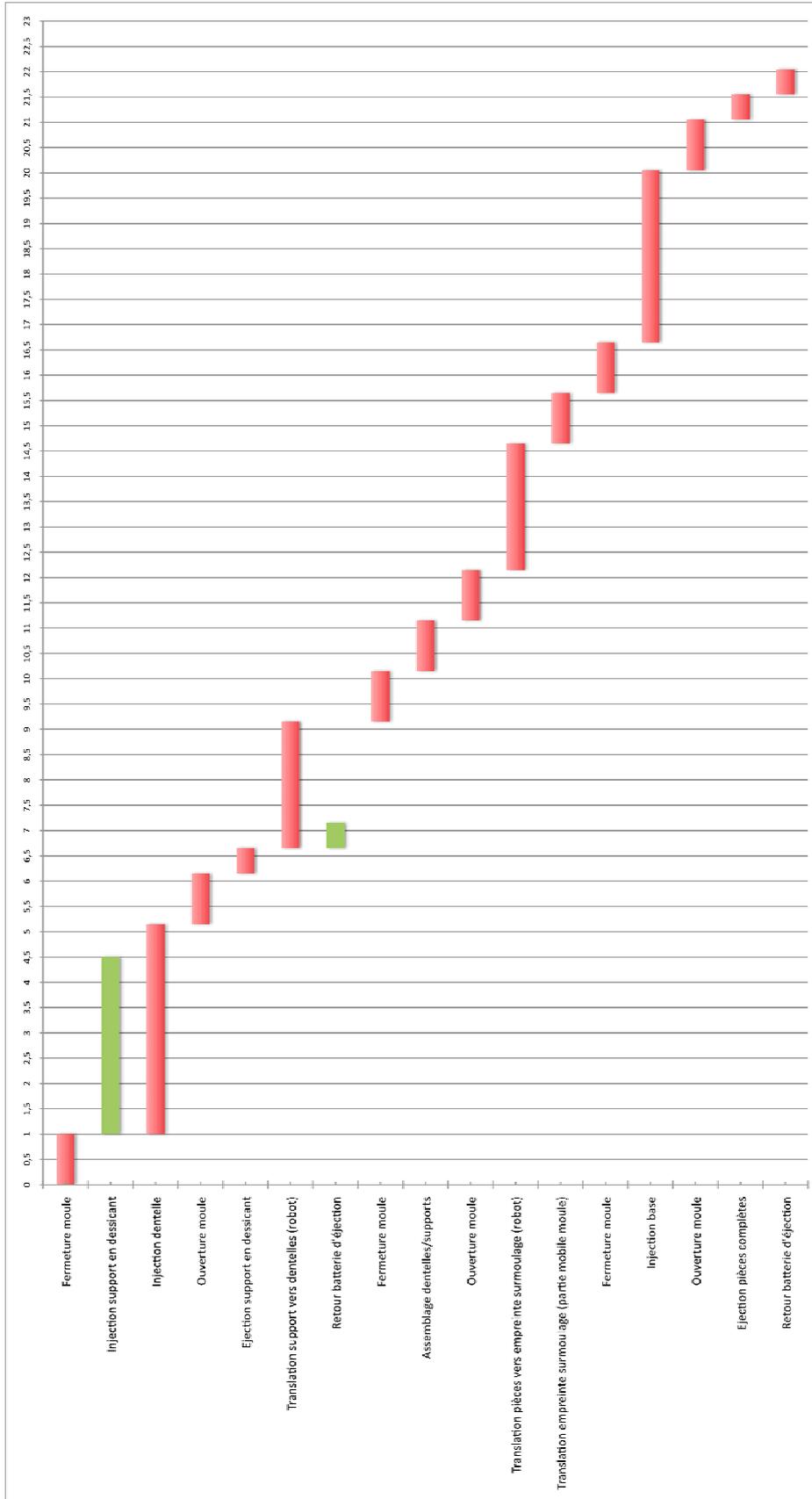
Le temps de cycle pour l'injection de 4 pièces est de 22,05s, ce qui donne un temps de cycle par pièce de 5,52s par pièce.

Question 30. Déterminer le niveau de performance du manipulateur qui déplace le support en dessicant depuis l'empreinte où il est injecté vers l'empreinte de la dentelle.

La durée d'action du manipulateur est fixée dans un premier temps à 2,5 s, ce qui correspond approximativement à 22,7% du temps de cycle, en comptant deux manipulations.

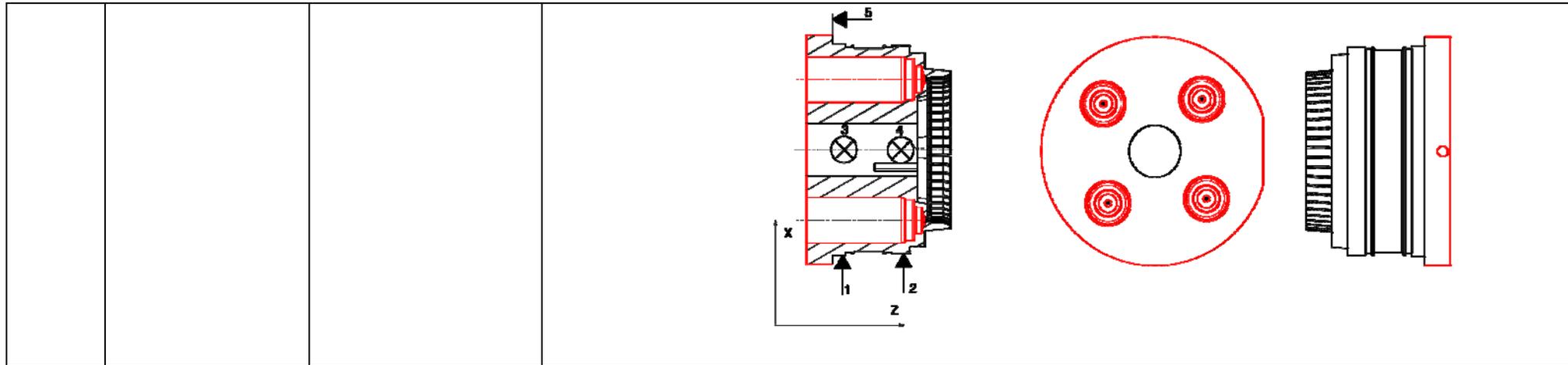
20000 pièces doivent être produites chaque mois soit une durée de production mensuelle de 30,63h. En comptant 20 jours ouvrés par mois, le robot devra pouvoir assurer une production continue pendant au moins 1,53h / jour, en négligeant les rebuts.

Les durées d'action associées au manipulateur ne sont donc pas pénalisantes du point de vue de la cadence de production. Une montée en cadence progressive est donc possible, ainsi que l'intégration d'autres tâches dans les fonctions du manipulateur.



Proposition de nomenclature des phases

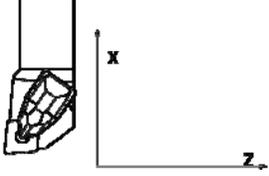
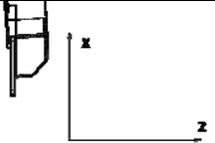
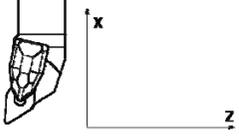
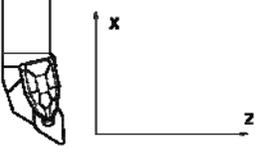
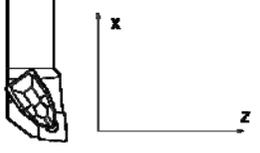
| | | | |
|-----------------------|--|--|--------------------------|
| Document n°1 | | | |
| Élément : Piston Fixe | | Matière : X38 Cr Mo V 5 | Analyse d'usinage |
| N° Phases | Désignation des phases, Opérations d'usinage | Machine outil, Appareillage | Croquis de la pièce |
| 10 | Débit brut | Scie | |
| 20a | Tournage surfaces cylindriques extérieures et fraisage poche et rainure soupape | Tour spinner 3 axes, broche principale (broche gauche) | |
| 20b | Tournage Cy1, P11, Alésage busette et surfaces associées, fraisage Mpl1 et Perc radial 1 | Tour spinner 3 axes, contre-broche (broche droite), avec reprise directe indexée avec la broche principale | |



| Document n°2 | | | |
|-----------------------|--|-----------------------------|--------------------------|
| Élément : Piston fixe | | Matière : X38 Cr Mo V 5 | Analyse d'usinage |
| N° Phase | Désignation des phases, Opérations d'usinage | Machine outil, Appareillage | Croquis de la pièce |
| 30 | Traitements thermiques (trempe + revenu) | Fours et bacs de trempe | |
| 40 | Superfinition surfaces extérieures de guidage dans le moule (non développé ici, rectification ou tournage dur) | | |

| | | | |
|----|---|---|--|
| 50 | Électroérosion rainurages (détail D) | des Machine à électroérosion par enfonçage | |
| 60 | Nituration | Unité de traitements de surface | |

Nomenclature des opérations et des outils pour l'obtention des surfaces extérieures du piston fixe

| N° Opération | Désignation opération | Caractéristiques morphologiques et dimensionnelles des parties actives | Nuance de plaquette | Schéma outil et axes machine |
|--------------|---|--|---|---|
| 1a | Dressage PI2, PI3 PI4, PI5, chariotage Cy1, Cy2, contournage Co1, Co2 | Outil à charioter/dresser, $\epsilon_r=80^\circ$, R_ϵ suivant rayon mini toléré (par exemple 0,2 ou 0,4 mm), outil à gauche, $\kappa_r=95^\circ$ | WM – GC1025 Nuance inox, géométrie Wiper, plaquette résistante à l'usure |  |
| 2a | Réalisation Gorge1, Gorge2, Cy3 par cycle de défonçage et finition par contournage | Outil à gorge, largeur<4mm, R_ϵ suivant rayon mini toléré | Non disponible, plaquette nuance inox. |  |
| 3a' | Réalisation Cy3, fond et bord gauche (finition alternative au contournage par outil à gorge) | Outil à charioter/dresser, $\epsilon_r=55^\circ$, R_ϵ suivant rayon mini toléré (par exemple 0,2 ou 0,4 mm), outil à gauche, $\kappa_r=93^\circ$ | WM – GC1025 Nuance inox, géométrie Wiper, plaquette résistante à l'usure |  |
| 4a' | Réalisation Cy3, fond et bord droit (finition alternative au contournage par outil à gorge) | Outil à charioter/dresser, $\epsilon_r=55^\circ$, R_ϵ suivant rayon mini toléré (par exemple 0,2 ou 0,4 mm), outil à droite, $\kappa_r=93^\circ$ | WM – GC1025 Nuance inox, géométrie Wiper, plaquette résistante à l'usure |  |
| 1b | Dressage PI1, chariotage Cy1 | Outil à charioter/dresser, $\epsilon_r=80^\circ$, R_ϵ suivant rayon mini toléré (par exemple 0,2 ou 0,4 mm), outil à droite, $\kappa_r=95^\circ$ | WM – GC1025 Nuance inox, géométrie Wiper, plaquette résistante à l'usure |  |

Commentaires de l'épreuve

Le support de cette épreuve a été choisi afin de tester les candidats sur un certain nombre de champs de compétences et de connaissances du Génie Mécanique portant sur les études suivantes:

- relation produit-matériau-procédé à travers une pièce obtenue par injection plastique ;
- gamme de réalisation faisant appel à l'intégration de traitements thermiques, traitements de surface, usinage sur tour bi-broche et électroérosion par enfonçage ;
- séquence d'injection pour déterminer des critères de performance d'un manipulateur automatisé.

Chacun des champs énoncés constituait le cœur d'une partie du sujet.

Le jury a apprécié que, d'une manière générale, les candidats admissibles ont traité l'ensemble des trois parties, évitant donc de négliger de traiter une ou plusieurs parties, de manière volontaire ou non.

Première partie

Il apparaît clairement sur la partie étude de pré industrialisation que les candidats ne sont pas suffisamment préparés sur le procédé d'injection plastique. La plupart d'entre eux ont mobilisé leurs connaissances sur les autres procédés et plus particulièrement la fonderie pour réussir à répondre aux questions. Mais le vocabulaire employé n'était pas celui attendu et les particularités liées au procédés inconnus de la majorité des candidats.

Il convient de se former sur ce procédé utilisé pour l'obtention d'un très grand nombre de pièces.

Choix du matériau de la dentelle

Peu de candidats proposent une démarche structurée en citant les deux critères du cahier des charges. La connaissance des normes médicales n'était pas attendue des candidats mais n'empêche pas la formulation d'hypothèses et la mention du critère en question.

Pré-étude de l'outillage

Dans cette partie le candidat étudie la conception de l'outillage sur la définition fonctionnelle de la dentelle. Il s'aperçoit alors que l'outillage initialement prévu est beaucoup trop onéreux vis-à-vis du coût de production limite imposé.

La définition demandée d'un plan de joint est une question simple destinée à évaluer le vocabulaire technique employé par les candidats et sa capacité à définir un terme technique de manière simple et précise. Ces compétences sont primordiales pour un professeur or beaucoup de candidats utilisent un vocabulaire approximatif. L'illustration par un schéma simple de la définition proposée a été appréciée.

L'étude des plans de joint a été traitée par l'ensemble des candidats. Mais des solutions aberrantes ont trop souvent été proposées. La mise en place de plan de joint sur une pièce réalisée par différents procédés telles que l'injection plastique, la fonderie ou la forge doit être maîtrisée par un professeur agrégé.

L'analyse fonctionnelle du moule traitée par les $\frac{3}{4}$ des candidats a permis d'observer des solutions intéressantes. Trop de candidats proposent un schéma complet du moule avec éjecteurs, broches et buse d'injection, ce qui n'était pas demandé.

On rappelle que l'analyse fonctionnelle d'un moule précède l'adaptation du produit au procédé ce qui explique l'absence de dépouille à cette étape sur la dentelle.

Beaucoup de candidats ont déterminé avec succès le coût de production.

Adaptation du produit au procédé

La modification de la définition de la dentelle a permis de s'affranchir des 51 tiroirs grâce à un plan de joint incliné au niveau des poches.

Peu de candidats ont observé le rôle de la forme F qui était de simplifier l'outillage. Quant au calcul de l'angle, il a été effectué dans la plupart des cas sur les dimensions de la dentelle finie et non sur les cotes fonctionnelles, comme demandé.

La position de la pièce à l'ouverture du moule a été particulièrement mal traitée. La partie fixe est proposée la plupart du temps avec des justifications différentes pour chaque copie et parfois des arguments sans objet. Quelques très rares candidats justifient correctement en mentionnant la position des éjecteurs. Ceux-là mêmes ont souvent observé la contre dépouille pour s'assurer de maintenir la dentelle sur la partie mobile.

Le calcul du coût de production a été bien traité par ceux qui étaient parvenu au résultat attendu à la question 5.

Validation de l'injection par simulation

La simulation fournie au candidat permet de valider la conception du moule.

L'analyse de rhéologie était destinée à vérifier la capacité des candidats à interpréter ce type de documents. La plupart des candidats ont répondu correctement quant à l'emplacement des points d'injections mais plus rarement quant à celui des lignes de soudure. Trop peu de candidats présentent leur analyse de la simulation pour aboutir aux positionnements demandés.

Ceux qui savent ce qu'est une ligne de soudure parviennent à les positionner. La moitié des candidats ne propose pas de définition. Or, c'est un défaut récurrent en injection plastique qui conditionne l'emplacement d'un ou des point(s) d'injection.

Pour la conclusion Produit-Matériau-Procédé, une synthèse sur l'ensemble de la partie 1 était attendue avec une analyse plus approfondie de l'étude rhéologique. Peu de candidats ont proposé une synthèse structurée pour aboutir à une conclusion Produit-Matériau-Procédé. Or la validation de ce triplet est fondamentale dans la démarche de pré industrialisation.

Électroérosion par enfonçage

Cette sous-partie sur un procédé d'enlèvement de matière souvent peu connue des candidats a été peu traitée. Mais les questions pouvaient pour la plupart être traitées sans connaissances approfondies sur l'électroérosion par enfonçage et relevaient plus d'une capacité de réflexion face à un problème similaire à celui des autres procédés d'usinage plus connus.

La question de cours est traitée par tous ceux qui ont abordé cette sous-partie avec un vocabulaire approximatif mais surtout, pour plus de la moitié des candidats, sans aucun schéma explicatif ce qui est très décevant. Un simple schéma peut remplacer une page de texte et surtout être bien plus explicite.

La cotation de l'électrode par détermination de son sous-dimensionnement était une question très technique qui a été rarement traitée et jamais correctement. Certains parviennent à calculer le VDI mais se retrouvent avec une valeur qu'ils ne savent comment utiliser. La réponse à cette question n'était pas nécessaire pour les questions suivantes.

De nombreux candidats proposent un ordre de passage des électrodes sans aucune justification et sans même aborder la question qui suit alors que toutes les réponses issues d'une réflexion préalable doivent être justifiées !

Plusieurs solutions quand à l'ordre de passage des électrodes étant correctes, le coloriage des surfaces moulantes a été corrigé en fonction de la réponse à la question précédente traitée par tous ceux qui ont abordés la mise en couleur.

Deuxième partie

Étude de fabrication/Définition de la nomenclature des phases

La deuxième partie proposait une étude de gamme appuyée sur une pièce qui nécessitait de synthétiser un certain nombre de connaissances :

- la désignation de matériaux usuels, comme celui proposé ici, a posé problème à un trop grand nombre de candidats. Une connaissance complète des utilisations possibles et des désignations spéciales n'est pas demandée dans le cadre de cette épreuve, mais il est indispensable que le décodage des pourcentages de composition soit connu, tout comme les principales fonctions des éléments d'addition principaux ;
- la description brève de chacun des deux traitements proposés dans le sujet (trempe et nitruration) n'avait d'intérêt que mise en regard avec la situation de la pièce au sein d'un outillage d'injection plastique. De trop nombreux candidats ont soit donné une description laconique des procédés, soit perdu du temps en une description extrêmement détaillé des mécanismes atomiques. Dans les deux cas, seule la première moitié de l'interrogation était traitée ;
- les contraintes issues des traitements définis dans les premières questions de cette partie n'ont souvent pas été prises en compte pour l'ordonnancement des opérations de la gamme d'obtention du produit.

Étude des phases d'usinage

La nomenclature des phases a été traitée dans son ensemble correctement, mais il est étonnant à ce niveau d'épreuve que de nombreux candidats choisissent de ne pas faire apparaître la symbolisation d'isostatisme sur les silhouettes données. Ceci a pénalisé les candidats ayant fait ce choix, soit à cause d'une perte de temps due à la reproduction manuelle des silhouettes, soit à cause d'un grand manque de clarté.

Le choix d'outils coupants pour la phase de tournage, lorsque la question a été traitée, a donné lieu à un traitement de qualité, montrant une maîtrise de la définition géométrique des outils en tournage. Les nuances de plaquette ont trop souvent été choisies sans justification.

Il faut se méfier d'une optimisation des conditions de coupe systématiquement portée vers la productivité maximale. Au vu du faible nombre de pièces à produire, la qualité géométrique finale était ici le souci principal. Seul un tiers des candidats a su identifier cette problématique.

La définition de l'outil de fraisage de la poche de la soupape a donné lieu à de multiples réponses, mais trop peu s'appuyaient sur des éléments du dessin de définition pour justifier la géométrie de l'outil.

La question portant sur la stratégie d'ébauche et de finition des busettes a donné lieu à des réponses pour la plupart justifiées et intéressantes, mais trop peu de candidats se risquent à décrire le diamètre et/ou la géométrie des outils pour opérations axiales utilisés.

La question portant sur les conséquences d'un mauvais positionnement des trous de diamètres $\varnothing 0,8H7$ a été très peu traitée, sans doute en regard du temps restant ou du manque de connaissances spécifiques liées au procédé d'injection plastique.

Troisième partie

Définition du cahier des charges pour l'automatisation de l'équipement

Cette partie, lorsqu'elle a été traitée, a donné lieu à des réponses satisfaisantes pour les candidats ayant investi suffisamment de temps pour proposer des réponses claires et rigoureuses. Ne présentant pas de difficulté technique majeure, cette partie a permis aux candidats de montrer leur aptitude à faire le lien entre une spécification grafcet et une représentation temporelle du comportement sous forme de diagramme de Gantt. A contrario, certains candidats ont perdu énormément de temps sur cette partie, se perdant en conjectures inutiles sans savoir émettre les hypothèses simplificatrices (par exemple l'état d'ouverture du moule en début de cycle) leur permettant de débloquer la situation.

COMMENTAIRES RELATIFS A L'ÉPREUVE ANALYSE ET CONCEPTION DES SYSTEMES 2010

Le sujet de l'épreuve d'admissibilité de la session 2010 prenait appui sur un bras élévateur aérien équipant certains centres de secours et de lutte contre les incendies.

Ce sujet, composé de cinq parties, couvrait une grande partie du programme de l'agrégation de génie mécanique, permettant de ce fait une évaluation pertinente des candidats.

*Cette épreuve est commune avec l'agrégation de mécanique.
On se réfèrera à cette dernière pour le corrigé de l'épreuve.*

Commentaires Détaillés

PARTIE 1 Analyse globale du bras élévateur aérien

Cette partie, qui avait pour objectif la construction d'un argumentaire de choix d'un véhicule de sauvetage et, par là même, de permettre une bonne appropriation du support, a été traitée par l'ensemble des candidats.

On peut cependant regretter que nombre de candidats n'ait pas privilégié la concision des réponses, celle-ci n'étant pas antinomique avec clarté et précision.

PARTIE 2 Analyse et conception de l'orientation de la tourelle

Cette partie avait pour objectifs le choix de l'actionneur hydraulique et de la couronne d'orientation, ainsi que la conception de la liaison tourelle – support.

Si certains candidats ont répondu de manière très pertinente à la plupart des questions, au demeurant très classiques pour un grand nombre d'entre-elles, on peut s'étonner de ce que seuls 30% aient appliqué de façon correcte le principe fondamental de la statique et le théorème de l'énergie cinétique, dans un cas pourtant simple.

PARTIE 3 Analyse et conception du bras télescopique

Cette partie avait pour objectifs l'analyse du comportement mécanique du bras télescopique ainsi que le choix argumenté d'un matériau constitutif de celui-ci.

Si les questions relatives à la recherche de solutions, l'étude des liaisons ainsi que la détermination d'un torseur de forces de cohésion ont été abordées par la moitié des candidats, trop peu ont traité les questions relatives au choix d'un matériau ainsi que d'un couple matériau – section, ce que l'on peut regretter.

PARTIE 4 Analyse et conception du bras pendulaire

Cette partie avait pour objectif principal la reconception d'une articulation afin qu'elle soit moins encombrante que la solution actuelle.

Cette partie n'a été abordée que par 25% des candidats. Les résultats obtenus pour les questions relatives à la recherche de solutions ont été très décevants. En particulier, les trois dernières questions, qui devaient amener à la cotation d'une pièce par une méthode structurée, ont malheureusement été très peu abordées, et avec, dans la plupart des cas, une totale absence de méthode.

PARTIE 5 Analyse du porteur – Synthèse globale du sujet

L'objectif de cette dernière partie était la validation des systèmes de sécurité du bras élévateur. Les premières questions, qui ne présentaient aucune difficulté particulière, ont été abordées par un grand nombre de candidats, et avec un réel succès. En revanche, la question relative au calcul d'une correction proportionnelle, pourtant très classique, a été peu abordée. Il en est de même, ce qui peut paraître assez surprenant, pour les deux dernières questions de l'épreuve.

En conclusion

Compte tenu des résultats obtenus sur l'ensemble du questionnaire, il apparaît que la majorité des candidats ne ressentent pas l'importance des champs associés à la conception mécanique. Ces champs portent sur les démarches de conception, la proposition d'une architecture raisonnée en passant par son dimensionnement (approches cinématique, énergétique et résistance des matériaux), ainsi que sur la spécification géométrique des composants conçus.

Histogramme et statistiques

101 candidats ont composé lors de cette épreuve.

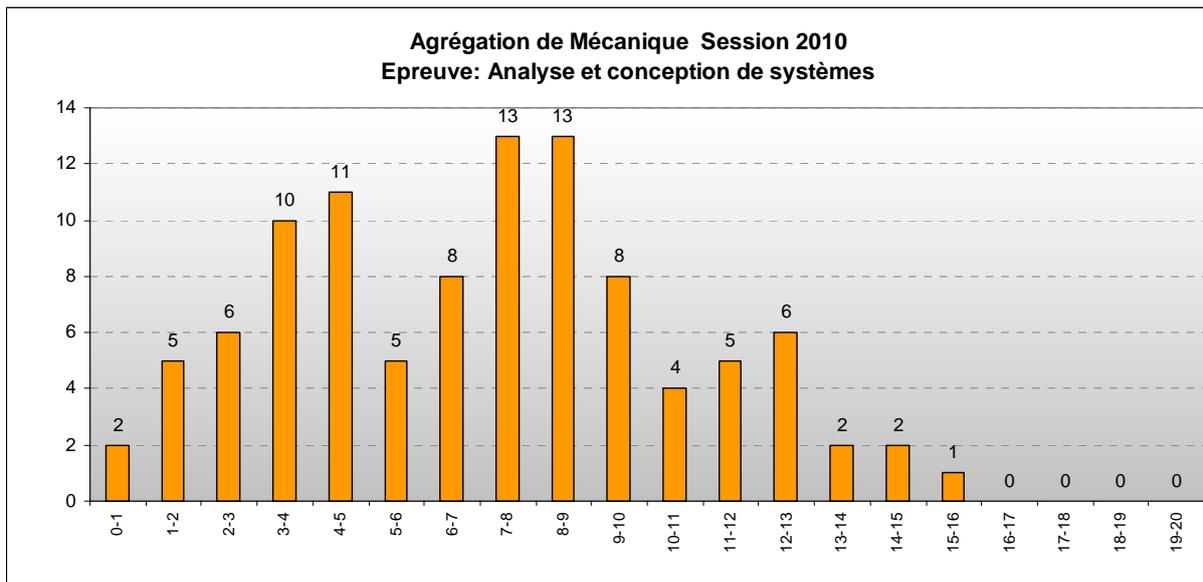
Moyenne : 7,1

Note mini : 0,4

Note maxi : 15,5

Ecart type : 3,6

La distribution des notes est illustrée par le graphique ci-dessous :



Agrégation Génie Mécanique - Épreuve d'automatique-informatique industrielle **RÉSULTATS ET COMMENTAIRES**

Khalid KOUISS – Cédric GAMELON

I – COMMENTAIRES GENERAUX

L'épreuve d'admissibilité de cette année marque une rupture.

Les examinateurs ont appliqué trois principes :

- **Principe 1** : Simplifier et didactiser le contexte industriel
- **Principe 2** : Faire une répartition équilibrée entre une partie modélisation en vue d'une résolution et une partie résolution sur des modèles trouvés ou fournis.
- **Principe 3** : Proposer un sujet très progressif permettant de tester les connaissances.

Le sujet est articulé autour :

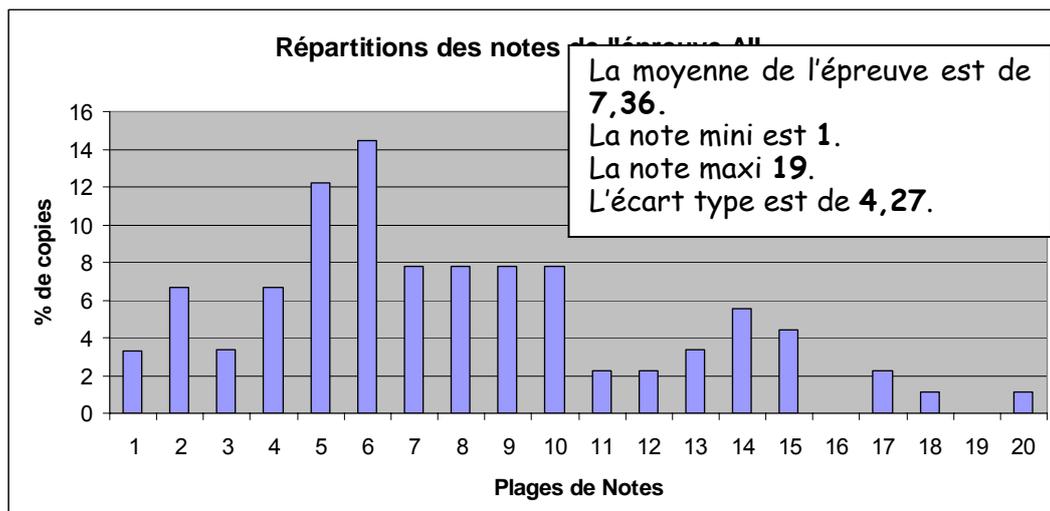
- de trois parties indépendantes dont les questions sont progressives;
- d'un équilibre entre des parties de modélisation et des parties d'application et de mise en œuvre de modèles ;
- de questions qui laissent une liberté au candidat pour choisir ses méthodes de modélisation.

Résultats globaux de l'épreuve :

Les examinateurs sont satisfaits de la manière dont les candidats ont réagi à l'épreuve. Les constatations suivantes peuvent être dégagées :

- Tous les candidats ont pu rentrer dans le sujet ce qui se traduit par le fait que les questions A1.1 et A1.2 aient été correctement traitées par presque la totalité des candidats.
- Toutes les questions du sujet ont été abordées par les candidats (pas forcément les mêmes)
- La répartition des notes de l'épreuve s'étalent naturellement entre 1 à 19.
- 15% des candidats ont plus de 13
- 30% des candidats ont plus de 9.

L'analyse des notes montre que les candidats ayant bien réussi (note ≥ 10) ont composé dans les trois parties de l'épreuve.



II – ANALYSE DU SUJET PAR QUESTION

Partie A1 : Dimensionnement du système de convoyage

Cette partie s'intéresse au dimensionnement du nombre de palettes sur le convoyeur et aux choix des moteurs pour son entraînement.

Questions 1 et 2 : Ce sont deux questions très simples pour aider à comprendre le fonctionnement de la machine. Presque la totalité des candidats a répondu correctement.

Questions 3, 4 et 5 : Ces questions liées pour déterminer le nombre de palettes dans le système et pour déterminer le temps de chargement font appel à des calculs arithmétiques simples. Seulement 60 % des candidats ont trouvé le bon nombre de palettes.

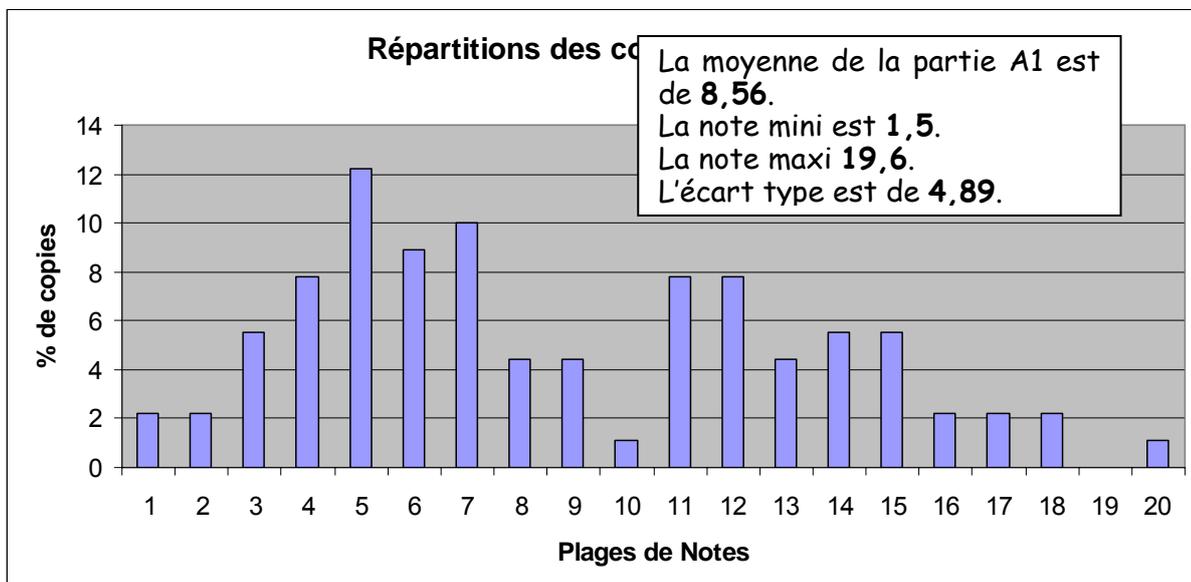
Question 6 et 7 : Une question 6 classique qui fait intervenir des éléments simples de la cinématique. Elle aurait pu être traitée d'une manière indépendante du sujet. Cependant, bien qu'elle ait été traitée par 70% des candidats, seul 30% des candidats trouvent les bons résultats. Question 7 liée au résultat de la question 6.

Question 8 : Seulement 20% des candidats a répondu correctement à cette question. De nombreux candidats semblent même ignorer la notion de « moment d'inertie ramené à un axe moteur ».

Questions 9 et 10 : Ces questions nécessitent l'application simple des lois de la mécanique au système étudié. Elles ne présentent aucune difficulté. Seulement 15% des candidats les ont traitées correctement.

Questions 11 à 13 : Permet aux candidats qui ont bien répondu à la question 9 de faire le choix du moteur à l'aide du document support fourni. 10% des candidats a traité correctement ces questions

Cette partie a été abordée par tous les candidats. Cependant, à part les deux premières questions très simples, de nombreux candidats éprouvent des difficultés à répondre aux questions dès qu'il faut prendre en compte des considérations simples de mécanique générale.



Partie A2 : Commande du système de convoyage

Cette partie s'intéresse à certains aspects de la commande du système de convoyage.

Question 1 : C'est une question ouverte pour tester les connaissances des candidats en outils de modélisation. Presque la totalité des candidats se limite à citer la méthode GEMMA (Guide d'Etude de Mode de Marche et d'Arrêt).

Questions 2 : 60% des candidats ont tenté de proposer une modalisation des modes de marches de la machine. Mais de très nombreux schémas sont très peu précis et ne comportent pas les éléments nécessaires pour décrire correctement les enchainements des modes. Seul 25% des candidats proposent des modélisations acceptables.

Question 3 : Le grafcet de conduite est le résultat de la modélisation proposée dans la question 2. Près de 35% des candidats ont proposé des solutions acceptables.

Question 4 : C'est une question simple où il suffit d'exprimer sous forme de grafcet un comportement donné sous forme littéral dans le sujet. 65% des candidats a répondu correctement à cette question.

Question 5 : Presque la totalité des candidats a répondu correctement à cette question.

Questions 6 : C'est une question simple où il suffit d'exprimer sous forme de grafcet un comportement donné sous forme littéral dans le sujet. 65% des candidats a répondu correctement à cette question.

Questions 7 : Cette question sert à tester les capacités des candidats à passer d'un langage de spécification (le grafcet) au langage le plus important de mise en œuvre de la commande qui est le langage à contact, tout en respectant les règles du grafcet. C'est une question simple et classique qui devrait être réussie par la grande majorité des candidats. Malheureusement, seulement 13% des candidats ont répondu correctement à cette question. Beaucoup semblent ignorer même le sens de la question.

Questions 8 : Cette question teste les capacités des candidats à écrire l'algorithme d'un traitement spécifié. 15% des candidats ont donné des réponses satisfaisantes.

Questions 9 : C'est la spécification d'un grafcet un peu plus complexe que ceux des questions 4 et 6. 25% des candidats a répondu correctement.

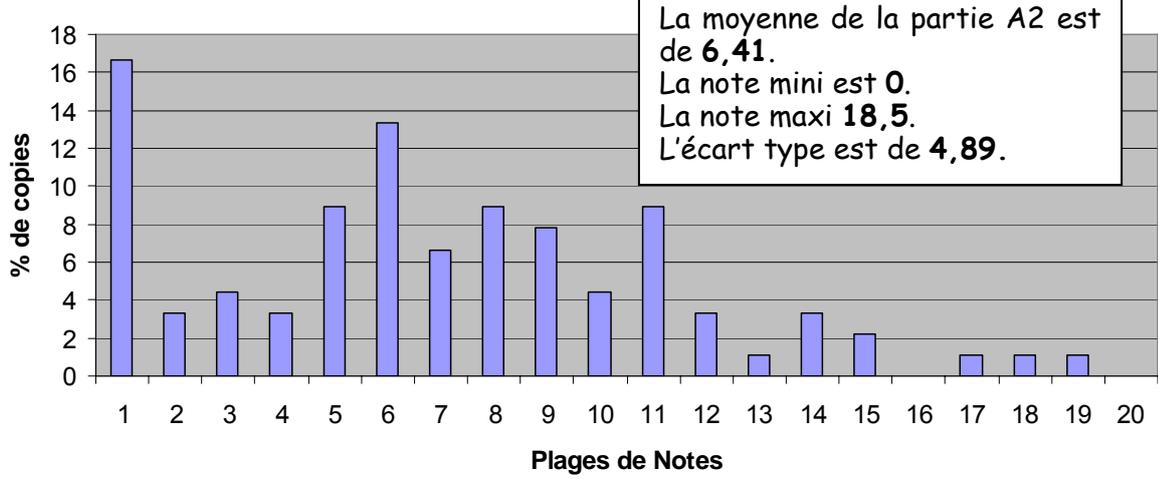
Questions 10 : Cette question permet de tester les connaissances des candidats vis-à-vis des outils de développement d'application de supervision et d'interface Homme-Machine. C'est une partie indissociable des développements de la commande des systèmes automatisés industriels d'aujourd'hui. 15% des candidats ont donné des réponses acceptables.

Questions 11 : C'est une question sur la mise en place d'un calcul d'un indicateur (ici le nombre de pièces produites) avec prise en compte de l'aspect temps. C'est une question qui n'a été traitée que par 10% des candidats.

Questions 12 et 13 : Ce sont deux questions sur le mode de fonctionnement dégradé de la machine, avec un calcul de cadence de production. Elles ont été traitées correctement par près de 38 % des candidats.

Il apparaît nettement que les candidats ont su appréhender les caractéristiques et la problématique de l'automatisation de cette unité de fabrication, mais sont pénalisés par la non maîtrise des outils de description fonctionnelle, Gemma, Grafcet et algorithmie. Les réponses aux questions 2, 7, 8 et 11 en font la démonstration.

Répartitions des copies Partie A2



Partie B1 : Estimation de la productivité prévisionnelle du robot

Question 1 : Le calcul du nombre de bandes a été traité par la majorité des candidats mais beaucoup se contentent de lignes de calcul sans explications, sans tenir compte des contraintes imposées par le sujet et sans donner les hypothèses nécessaires aux calculs.

Question 2 : Cette question a été globalement bien réussie et montre que les candidats se sont approprié rapidement le sujet.

Partie B2 : Estimation des performances de l'axe X du robot

Question 1 : De nombreux candidats font des erreurs de calcul sur cette question. Cependant la démarche pour obtenir une fonction de transfert semble globalement acquise. Cette question formulée différemment de la question 8 de la partie A2, confirme que le calcul de l'inertie équivalente n'est pas maîtrisé par la majorité des candidats.

Question 2 : Plus de 80% des candidats estiment qu'un moteur à courant continu à lui seul est asservi, et le justifient par la présence d'une « boucle de retour » sur un bloc diagramme.

Question 3 : La justification de l'approximation de l'ordre 2 par un ordre 1 a très souvent conduit à la comparaison de deux grandeurs non comparable car de nature différente. L'application numérique, pourtant ici indispensable, est trop souvent négligée.

Question 4 : Les candidats bien préparés connaissent majoritairement le principe d'une roue codeuse, cependant les critères qui permettent de choisir sa position dans la chaîne d'action ne sont pas toujours exprimés correctement.

Question 5 : L'analyse du diagramme de Bode est une difficulté importante pour 50% des candidats ayant abordé la question. Peu de candidat ayant pourtant identifié une marge de phase de 30° conclue sur le risque d'instabilité du système au regard du cahier des charges simplifiés imposé par le sujet. Quelques rares candidats ont des réponses pertinentes sur la stabilité intrinsèque d'un second ordre tout en tenant compte du cahier des charges du sujet.

Question 6 & 7 : Ces questions mesurent de manière flagrante que les candidats ne maîtrisent pas les effets des correcteurs. Au mieux certains retiennent des recettes sans savoir les appliquer à un système. Cela conduit à des erreurs fondamentales. Le calcul de l'écart statique, pourtant évident, n'a souvent pas été traité par les candidats.

Question 8 : 30% des candidats veulent appliquer des « formules » (généralement, sans y parvenir) pour déterminer les paramètres caractéristiques d'un second ordre alors qu'une simple lecture des données de l'annexe amène rapidement aux résultats.

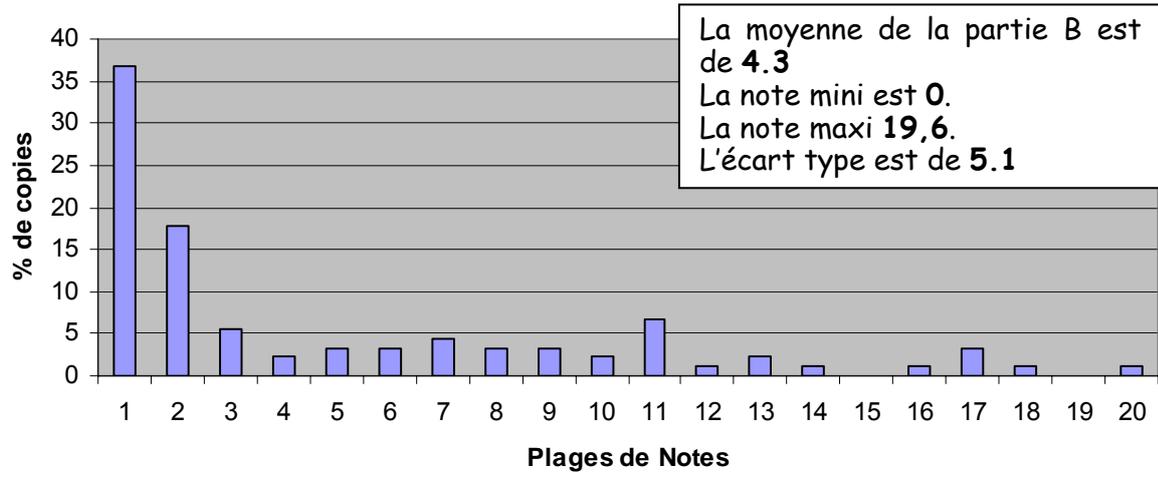
Question 9 : Seul 20% des candidats sont capables de mettre en œuvre le principe fondamental de la dynamique pour obtenir les résultats d'un modèle ressort – amortisseur.

Question 10 : La proposition d'un modèle adapté à un objectif simple n'a quasiment pas été traitée par les candidats (<10%).

Question 11 & 12 : Lorsque le calcul numérique de la fonction de transfert est réalisé peu de candidats sont capables de conclure sur les conséquences sur le système réel et encore moins de proposer des solutions pertinentes.

60% des candidats ont obtenu des notes inférieures à 3/20 sur cette partie, c'est-à-dire que ces candidats n'ont pas ou quasiment pas traitée cette partie. Comme déjà souligné précédemment, cette partie ne présentait pas de difficultés majeures et il n'est pas concevable pour les examinateurs que des candidats puissent prétendre à l'obtention d'une agrégation de génie mécanique sans connaître les principes fondamentaux des systèmes asservis.

Répartitions des copies Partie B



INTRODUCTION

Le sujet s'appuie sur une pré-étude réalisée pour le développement d'une machine de dépose de gel sur des articles de sport.

Une entreprise qui fabrique des vêtements de sport haut de gamme a développé des produits sur lesquels elle dépose un gel qui permet d'améliorer leur confort d'usage. Sur chaque article, elle dépose une ou deux empreintes sous forme d'un rectangle. Pour le moment, l'opération de dépose du gel se fait d'une manière manuelle. L'entreprise désire automatiser cette opération de dépose afin d'augmenter les cadences de production, d'améliorer la qualité de dépose et d'optimiser la consommation de gel.

La figure 1 donne une vue générale de la machine développée. Pour faciliter l'opération de dépose, les articles sont disposés sur des formes en métal que nous appellerons aussi palettes. Le gel se présente sous forme liquide et est déposé par gravitation. Après la dépose, il faut maintenir les articles sur leur forme pendant 4 minutes, avant de les manipuler, pour laisser le temps au gel de se solidifier. Ensuite, les articles peuvent être retirés de leur forme et empilés les uns sur les autres sans risquer de détériorer l'empreinte de gel.

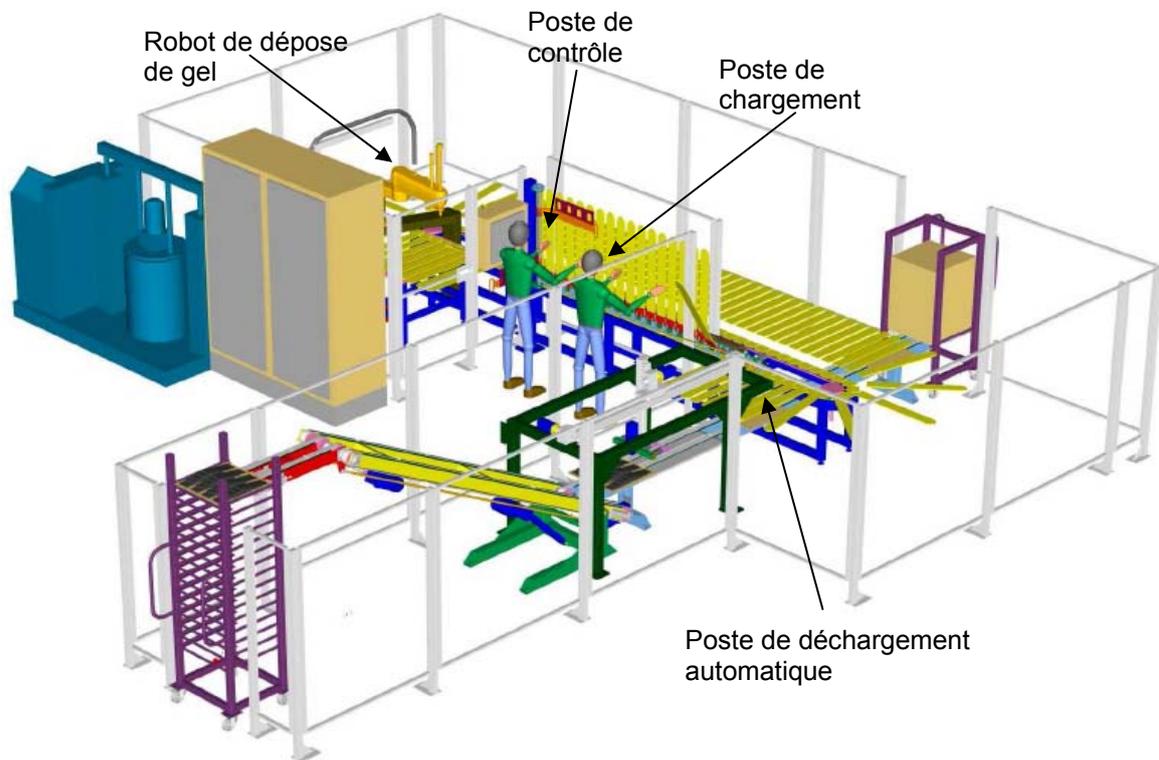


Fig.1 : Schéma général de l'installation

La machine est composée de plusieurs sous-ensembles :

- le poste opérateur comprenant : une zone de chargement manuel, une zone de contrôle de positionnement des articles et une zone de déchargement manuel,
- le convoyeur à palettes,
- le système de dépose de gel par gravité, composé d'un robot muni d'une buse,
- le poste de traitement et de pompage de gel,
- le poste de déchargement automatique.

**PARTIE A
ETUDE DE LA COMMANDE SEQUENTIELLE**

Rappel : cette partie est à rédiger sur copie(s) séparée(s)

Remarque

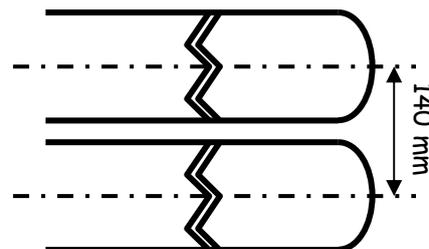
Les deux parties (A1 et A2) constituant la **partie A** sont indépendantes. Il est conseillé, cependant, de prendre connaissance de l'ensemble du sujet avant de traiter l'une des deux parties.

A1. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE CONVOYAGE

Cette partie va s'intéresser au dimensionnement du convoyeur et de certains de ses composants.

Le système de convoyage choisi est celui de la société HEPCO de type DTS25-351 (voir Document Ressource 1) dont la longueur et le nombre des palettes seront déterminés dans les questions qui suivent. Les caractéristiques principales sont les suivantes :

- liaison fixe à la courroie,
- pas de système d'indexage,
- forme ovale avec 2 poulies motrices,
- 2 moto-réducteurs synchrones avec codeur et frein synchronisés entraînant les deux poulies,
- châssis complet en profilé aluminium.
- 140 mm entre 2 palettes (figure ci contre).



L'avance du convoyeur se fait par pas de 4 palettes, et non en continu pour faciliter le positionnement des articles sur les formes métalliques par l'opérateur et pour la dépose du gel par un robot. A chaque fois que le convoyeur s'arrête, l'opérateur a, normalement, le temps de positionner et d'ajuster 4 articles sur les palettes.

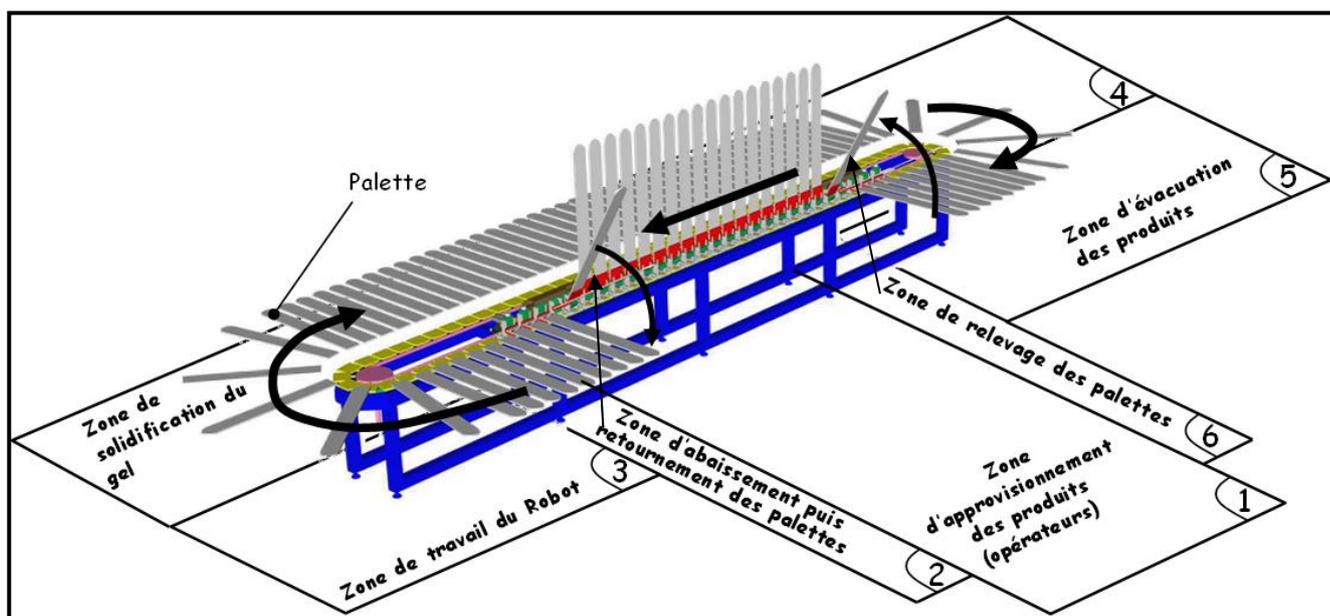


Fig. 2 : Le convoyeur

Le convoyeur est composé de plusieurs zones :

- zone de travail de l'opérateur avec 3 parties (Zone 1 sur fig. 2) (fig. 3):
 - partie de chargement : 4 palettes,
 - partie de contrôle, pour que l'opérateur contrôle et ajuste le positionnement des articles sur les formes à l'aide de gabarit: 4 palettes,
 - partie de déchargement manuel, utilisée uniquement en cas de panne du système de déchargement automatique: 4 palettes,
- zone tampon 1 : 2 palettes,
- zone de basculement : 4 palettes, (Zone 2 et 6 sur fig.2)
- zone de retournement : 2 palettes, (Zone 2 sur fig. 2)
- zone de dépose de gel : 4 palettes, (Zone 3 sur fig. 2)
- zone de séchage : X palettes (X sera déterminée dans les questions ci-dessous) (Zone 4 sur fig. 2),
- zone tampon 2 : 2 palettes,
- zone de déchargement automatique : 4 palettes. (Zone 5 sur fig. 2)

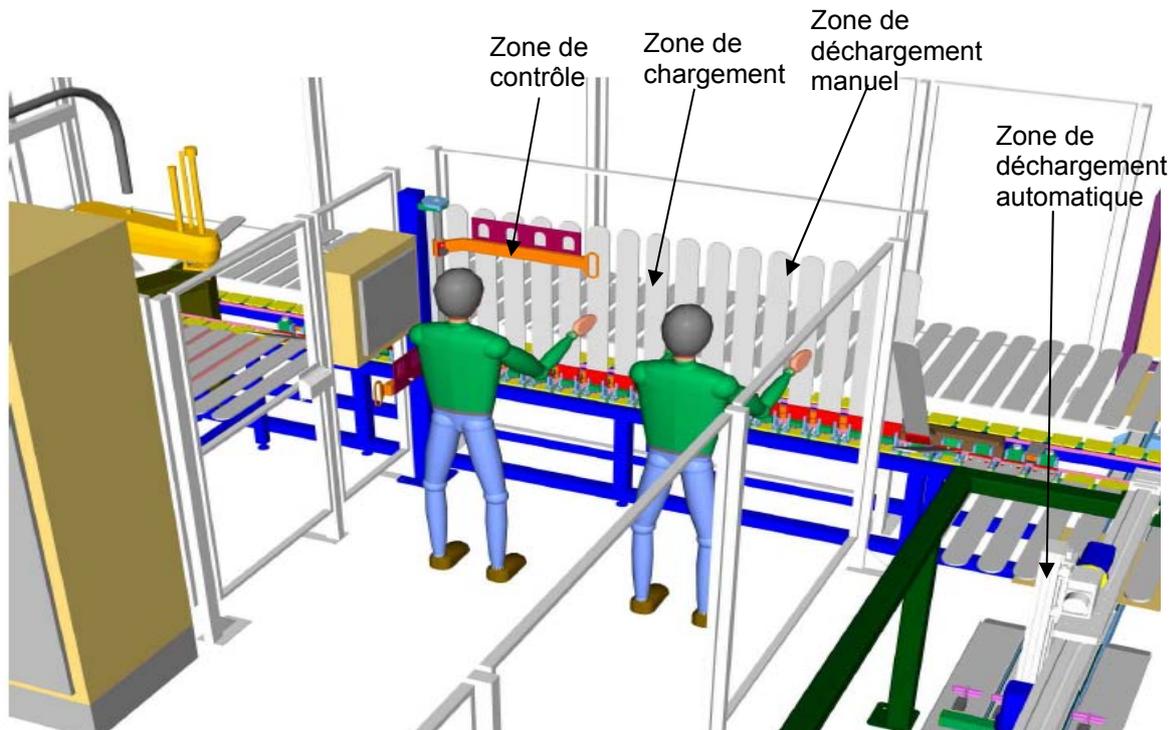


Fig. 3 : Poste Opérateur

QA1-1 L'entreprise désire avoir une production de 800 articles par heure. Dans l'hypothèse d'un fonctionnement continu, de combien de temps dispose l'opérateur pour positionner un article sur sa palette? On rappelle que les palettes sont positionnées tous les 140 mm. En déduire la vitesse moyenne d'avancement du convoyeur.

Réponse : Si on fait l'hypothèse d'une production alors il faut introduire une pièce tout les 4,5s. Pendant ce temps le convoyeur doit parcourir la distance correspondante à l'espace entre deux palettes. D'où :

$$V_{moy} = \frac{0.140}{4.5} = 0.031m/s$$

QA1-2 Pourquoi est-il nécessaire de basculer puis de retourner les palettes entre leur passage dans la zone de chargement par l'opérateur et leur passage dans la zone de dépose du gel ?

Réponse : Pour des raisons d'ergonomie l'opérateur positionne l'article sur la palette dans un mouvement du haut vers le bas (le mouvement de poussée est plus fatigant). En plus, il ajuste l'endroit où le gel doit être déposé à l'aide d'un gabarit en regardant l'article qui se trouve face à lui. Si l'on fait un simple basculement, l'endroit où le gel doit être déposé se trouvera en dessous. Ce qui ne permet pas au robot de déposer le gel par gravitation. Il est donc nécessaire de faire un retournement pour que l'endroit où le gel doit être déposé se retrouve au dessus de la pièce.

QA1-3 Le temps nécessaire pour le refroidissement du gel avant de pouvoir enlever les pièces est de 4 minutes. Calculer alors le nombre total de palettes que doit comporter le convoyeur. Il faut un nombre multiple de 4.

Réponse : Entre le dépôt du gel et l'enlèvement des articles, il doit s'écouler 240 s. Si on considère $V_{moy} = 0.031m/s$, la palette doit parcourir 7.2 m avant de pouvoir retirer l'article.

Le nombre X de palettes que l'on peut mettre 7.2 m, espacées de 0.14m est de $7,2/0,14$ soit 54 palettes

Le nombre de palettes doit être égal à $54+4+4+4+2+4+2+4+2+4=84$ palettes.

Comme il faut prendre un multiple de 4, nous choisissons 84 palettes.

QA1-4 Quelle est alors la longueur totale du convoyeur ?

Réponse : Longueur totale= $84 \times 0.14 = 11.76$ m

QA1-5 Afin de faciliter le chargement des pièces par l'opérateur sur les palettes, le chargement se fait à l'arrêt et les palettes avancent 4 par 4. Le convoyeur avance à la fin de chaque chargement de 4 pièces. Si l'on veut que la phase d'avance dure 3 secondes et que la production horaire soit de 800 pièces par heure, quelle est alors le temps t_c laissé à l'opérateur pour charger et contrôler les quatre articles ?

Réponse : On produit 800 articles par heure et on veut que le chargement se fasse par lot de 4 articles. Il y a donc 200 chargements et 200 avances par heure.

Le temps restant pour les 200 chargements est de $3600 - 200 * 3$ soit 3000s

On en déduit que le temps de chaque chargement doit être égal à 15s.

On adopte un profil trapèze pour la vitesse du convoyeur.

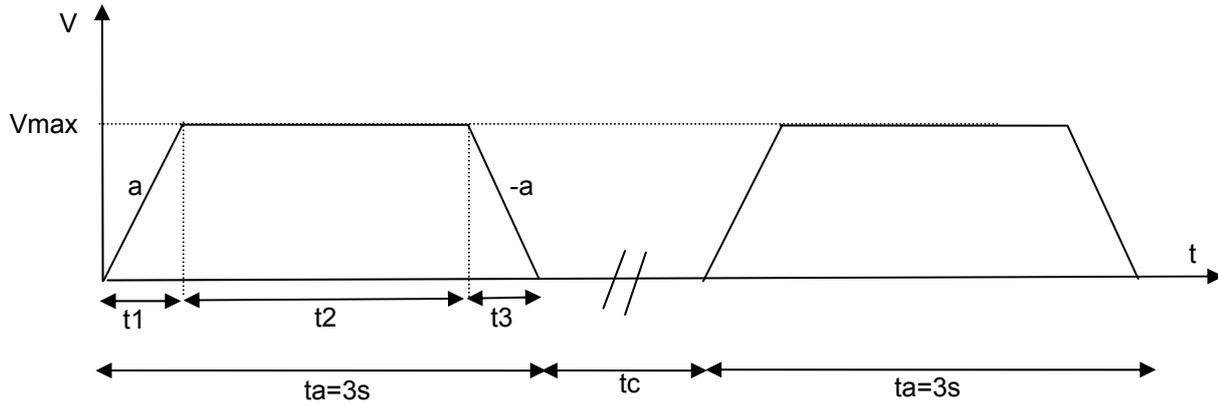


Fig. 4 : Profil de la vitesse du convoyeur

Données :

V : Vitesse du convoyeur,

Vmax : Vitesse maximale du convoyeur,

ta : temps d'avance du convoyeur,

tc : temps de chargement et de contrôle des articles par l'opérateur,

Le profil de vitesse comporte quatre phases :

- Phase 1 : accélération avec une accélération « a », durée t1,
- Phase 2 : vitesse constante Vmax, durée t2,
- Phase 3 : décélération avec une décélération « -a », durée t3,
- Phase 4 : arrêt pour le chargement des articles et leur contrôle, durée tc.

L'accélération « a » est limitée à 0,5 m.s⁻².

QA1-6 Quel est l'intérêt de la limitation de l'accélération ?

Calculer les valeurs manquantes du profil de vitesse : t1, t2, t3 et Vmax.

Réponse : En général, la limitation de l'accélération permet de limiter les chocs mécaniques ce qui permet de préserver le système. Dans notre cas, elle a aussi pour effet de ne pas causer l'étalement du gel non encore solidifié.

On considère que le déplacement durant les 3s vaut 4x0.14=0.56 m

$$\begin{cases} ta = 3s = t1 + t2 + t3 = 2t1 + t2 \\ xa = 0.56 = x1 + x2 + x3 \end{cases} \quad \text{soit} \quad \begin{cases} ta = 3s = 2 \frac{V_{max}}{a} + t2 \\ xa = 0.56 = \frac{V_{max}^2}{a} + V_{max} \cdot t2 \end{cases} \quad \text{d'où}$$

$$\begin{cases} t_2 = 2.12 \text{ s} \\ V_{max} = 0.218 \text{ m/s} \end{cases}$$

Finalement, $t_1 = t_3 = t_a - t_2 = (3 - 2.228)/2 = 0.44 \text{ s}$.

Dimensionnement des moto-réducteurs pour l'entraînement du convoyeur

L'entraînement du convoyeur se fait par deux moto-réducteurs disposés chacun dans l'un des virages de la boucle de convoyage. Chaque moto-réducteur entraîne l'une des deux poulies motrices du convoyeur, et on admet qu'ils fournissent le même couple. Le document ressource 1 détaille la structure mécanique du convoyeur.

QA1-7 Le moteur choisi aura une vitesse de rotation nominale de 2000 tr/min. On désire que cette vitesse corresponde à la vitesse d'avance linéaire V_{max} pour le convoyeur. Le rayon des poulies motrices est $R_p = 175,5$ mm (voir Document Ressource 1).

Déterminer le rapport de réduction K du moto-réducteur. ($K = \frac{\omega_{poulie}}{\omega_{moteur}}$)

Réponse :

on a : $V_{max} = R_p \cdot \omega_{poulie}$ avec V_{max} la vitesse maximale déterminée dans la question QA1-6.

donc $\omega_{poulie} = V_{max} / R_p$

On en déduit $K = \omega_{poulie} / \omega_{moteur} = V_{max} / (R_p \cdot \omega_{moteur}) = 0.218 \times 60 / (0.1755 \times 2 \times 3.1416 \times 2000) = 0.00596$

QA1-8 L'inertie ramenée à la poulie de l'ensemble du convoyeur chargé, du système de transmission et des deux poulies d'entraînement est $J_r = 500$ kg.m². Calculer J_{rm} , l'inertie ramenée à l'arbre moteur de l'ensemble du système de convoyage. L'inertie du réducteur sera négligée et son rendement sera égal à 1.

Réponse : En écrivant l'énergie cinétique du convoyeur nous obtenons

$$E_{c \text{ convoyeur}} = \frac{1}{2} J_r \omega_{Poulie}^2 = \frac{1}{2} J_r K^2 \omega_{moteur}^2$$

On en déduit que le moment d'inertie du convoyeur ramené à l'axe moteur est $J_{rm} = J_r K^2$

$$J_{rm} = 500 \times 0.0059^2 = 0.0177 \text{ kgm}^2$$

Rem : J_{rm} est l'inertie ramenée à chaque arbre moteur. Les réponses où les candidats ont fait une interprétation différente de l'énoncé, en considérant que cette inertie est partagée entre les deux moteurs, étaient aussi acceptées. Il en est de même dans les questions QA1-9 à QA1-12.

QA1-9 Déterminer le couple électromécanique que doit fournir chacun des deux moteurs lors de chacune des quatre phases du cycle d'avance. On admettra qu'il y a un couple de frottement sec résiduel $C_f = 5$ N.m ramené à l'axe moteur.

Récapituler les résultats dans un tableau de la forme :

Réponse : Le théorème du moment d'inertie appliqué au système donne :

$$C_m = C_f + (J_m + J_r K^2) \dot{\omega}_{moteur}$$

| Phase | Durée | Vitesse arbre moteur | Accélération arbre moteur | Couple électromécanique |
|-------|--------|----------------------|----------------------------|-------------------------|
| 1 | 0.44 s | | 474.83 rad/s ² | 13.49 N.m |
| 2 | 2.12 s | 209.44 rad/s | 0 | 5 N.m |
| 3 | 0.44 s | | -474.83 rad/s ² | -3.50 N.m |
| 4 | 15 s | 0 rad/s | 0 rad/s ² | 0 N.m |

QA1-10 Tracer les profils de la vitesse ω_{moteur} et du couple électromécanique C fourni par chacun des moteurs lors d'un cycle de convoyage.

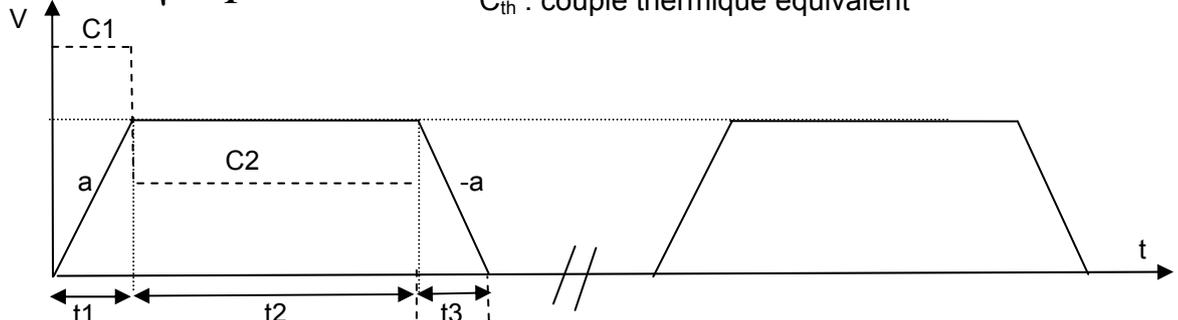
Pour le choix du moteur, il est nécessaire de déterminer le « couple thermique équivalent » correspondant aux différents couples présents dans le cycle de travail et de choisir un moteur qui fournit un couple permanent supérieur au couple thermique.

Par définition, le couple thermique se calcule à partir de l'expression :

$$C_{th} = \sqrt{\frac{\sum_i C_i^2 t_i}{T}}$$

T : durée totale du cycle
 t_i : durée de la phase i
 C_i : couple électromécanique lors de la phase i
 C_{th} : couple thermique équivalent

Réponse



QA1-11 Déterminer le couple thermique équivalent C_{th} pour l'ensemble du cycle.

Réponse :

$$C_{th} = \sqrt{\frac{C_3}{(13.49^2 \times 0.44 + 5^2 \times 2.12 + 3.5^2 \times 0.44)}} = 2,7 \text{ N.m}$$

QA1-12 A l'aide du document ressource 2, déterminer une référence pour les deux moteurs.

Réponse : Toutes les références possédant une vitesse maximale supérieure à 2000 tr/min et un couple permanent supérieur à 2,7 N.m conviennent. On choisit la LS 820 EQ.

Les LS 810 ER et le LS 620 EV sont limités en couple impulsionnel

Le LS 810 EX est limité en vitesse de rotation

Une fois un moteur choisi, il faut vérifier qu'il convient au fonctionnement souhaité en intégrant les caractéristiques du moteur données par le constructeur. Il faut alors tenir compte du moment d'inertie du moteur, du couple maximal et de la vitesse maximale. Il faut vérifier que le temps de cycle soit inférieur à 5% de la constante de temps thermique. D'autre part, si le moteur doit fonctionner en saturation (couple supérieur au couple permanent), il faut alors majorer le couple par un facteur de 1,2 et refaire le calcul du couple thermique.

QA1-13 En intégrant les caractéristiques du moteur, vérifier la validité du choix de la question QA1-12

Réponse :

Ref LS 810 EQ : $C_m = 25 \text{ N.m}$, $C_{th} = 13.5 \text{ N.m}$,

La constante de temps thermique est égale à 1500 s, $t_{cycle} < 5\%$ de 900 s = 75 s,

En tenant compte des autres vérifications le moteur convient.

A2. COMMANDE DU SYSTEME DE CONVOYAGE

Le cahier des charges de cette installation de production définit plusieurs modes de fonctionnement :

- **MODE ARRET** : L'ensemble de l'installation est à l'arrêt ;
- **MODE PRODUCTION** : C'est le mode de production normale, où l'opérateur charge les articles 4 par 4 au poste de chargement et valide la fin de son travail pour permettre la poursuite du cycle ;
- **MODE URGENCE** : Le système rentre dans ce mode après appui sur l'un des boutons arrêt d'urgence ou le déclenchement d'une sécurité ;
- **MODE DE TEST** : Ce mode permet de vérifier individuellement les différents composants de l'installation ;
- **MODE REGLAGE** : Ce mode sert au changement des campagnes de production. L'installation doit être complètement vide de tout article ;
- **MODE DEMARRAGE** : Permet de démarrer une nouvelle campagne de production. Les différents postes de la machine se remplissent au fur et à mesure ;
- **MODE DE MAINTENANCE** : Permet à l'opérateur de rentrer dans la zone du convoyeur par une porte de l'enceinte de sécurité. Aucun mouvement de la machine n'est autorisé lors de ce mode ;
- **MODE VIDANGE** : Permet de terminer une campagne de production. L'opérateur ne charge plus les articles aux postes de chargement. Les articles déjà chargés sont traités puis déchargés les uns après les autres. Dans ce cas, l'opérateur ne valide plus la fin de chargement car il n'y a plus de chargement ;
- **MODE DE FONCTIONNEMENT DEGRADE** : Lorsque le poste de déchargement est non disponible, il est possible de mettre en place un déchargement manuel. Si un opérateur supplémentaire est sollicité pour cette opération, il se positionnera à la zone de déchargement prévue à cet effet dans le poste opérateur.

Gestion de la sécurité pour les opérations de maintenance :

La sécurité du système est gérée par :

- une barrière immatérielle ;
- 6 arrêts d'urgences ;
- un « inter-verrouillage » positionné sur la porte d'entrée dans l'enceinte de sécurité.

Le déclenchement de l'une de ces sécurités provoque un arrêt immédiat du système.

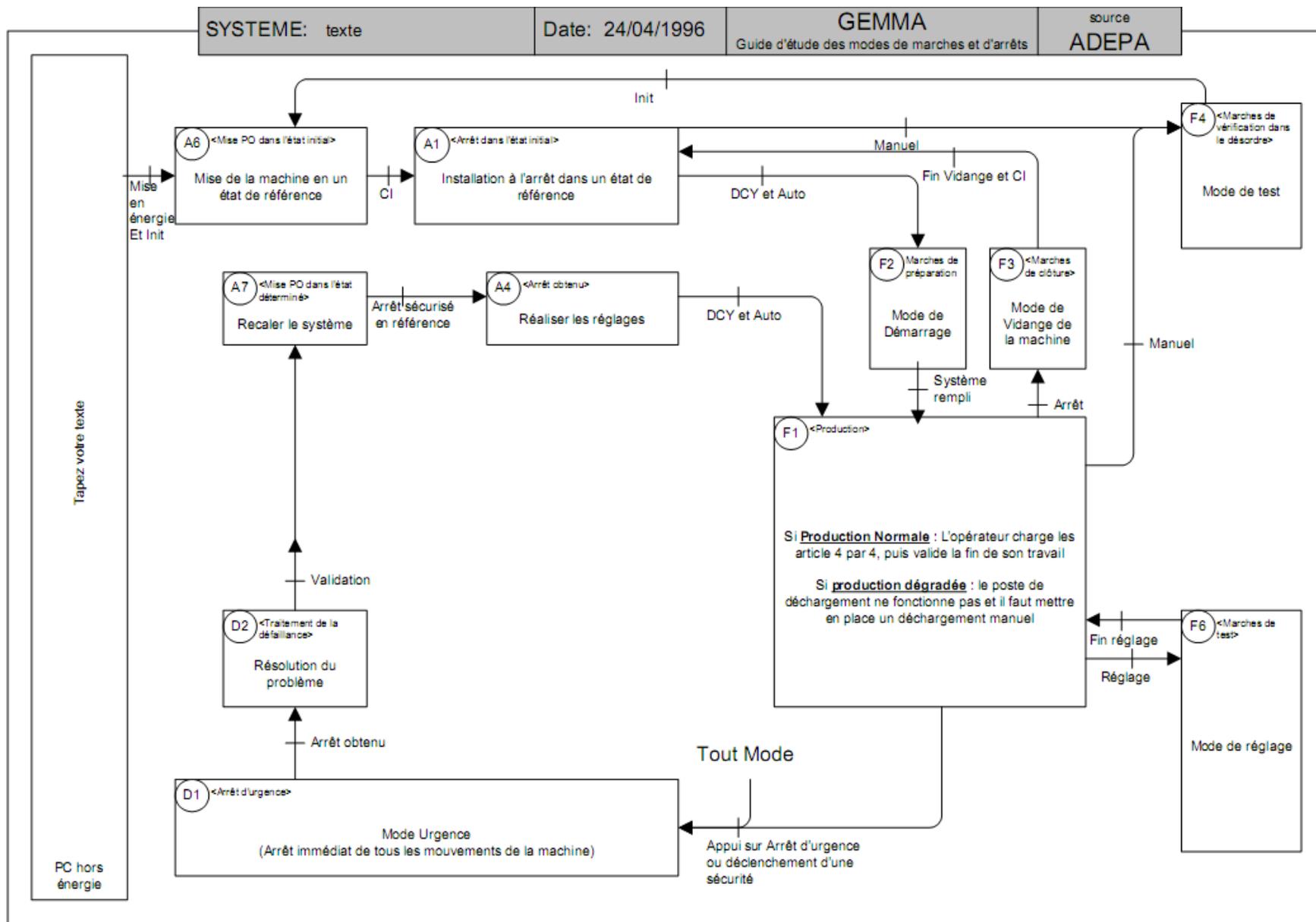
QA2-1 Proposer un outil de spécification et de représentation qui permettrait de synthétiser les différents modes de marche et d'arrêt décrits ci-dessus.

Réponse :

Le cahier des charges donné dans l'énoncé décrit les différents modes de fonctionnement d'une manière littérale. On peut considérer que chaque mode correspond à un état du système. La méthode de spécification la plus appropriée est la grille GEMMA. Mais d'autres outils graphiques de modélisations peuvent aussi être utilisés comme les digrammes d'activités d'UML, les diagrammes SADT, un logigramme ou même directement l'outil grafcet ou réseau de Petri.

QA2-2 Utiliser l'outil proposé ci-dessus pour présenter une synthèse complète des modes de marche et d'arrêt du système de production. Déterminer les commandes nécessaires qu'il faut ajouter pour contrôler les transitions entre ses différents modes.

Réponse : La solution à partir d'une grille Gemma n'est pas unique. Le mode de maintenance est traité en même temps que le mode d'arrêt d'urgence.

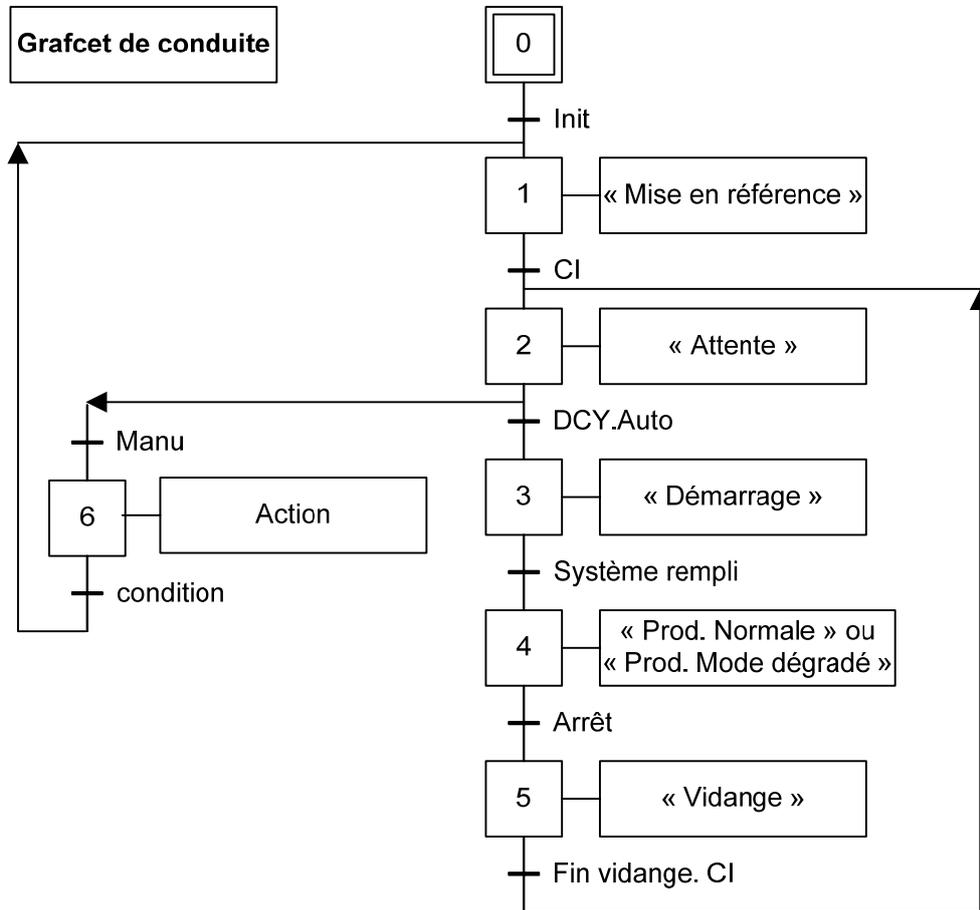


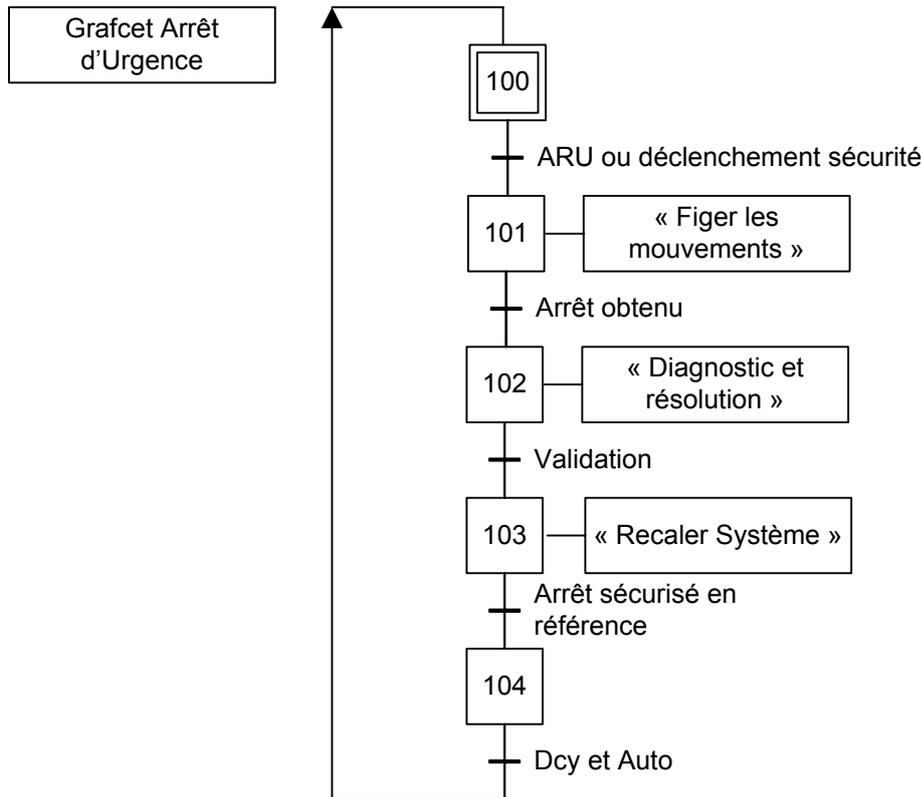
QA2-3 Proposer un grafcet de conduite de l'installation.

Réponse :

Une proposition avec deux grafkets est faite. Le grafcet d'arrêt d'urgence traite aussi le mode de maintenance.

Le grafcet d'urgence est hiérarchiquement supérieur.





Commande de verrouillage de la porte d'entrée à l'enceinte de sécurité

Le verrouillage est géré comme un arrêt différé. Il dispose d'une boîte à deux boutons poussoirs lumineux pour son pilotage.

- **Un bouton poussoir (BP) lumineux bleu** pour gérer les demandes d'accès :
 - éteint : pas de demande d'accès en cours,
 - clignotant : demande d'accès effectuée en attente de l'arrêt machine,
 - allumé fixe : accès en cours.
- **Un bouton poussoir (BP) lumineux orange** pour réarmer la sécurité et indiquer son état:
 - éteint : sécurité assurée,
 - allumé fixe : accès en cours, sécurité non assurée.

Pour chaque accès dans la zone de convoyage, l'opérateur effectue une demande d'accès (impulsion sur BP bleu). La machine termine, si besoin, ses cycles en cours; le bouton poussoir lumineux est alors clignotant. Lorsque le cycle en cours est terminé (« Cycle Terminé ») le système bloque le convoyeur avec le signal « Arrêt convoyeur » et fait passer le Bouton Poussoir bleu à allumage fixe pour indiquer à l'opérateur qu'il peut rentrer. Une deuxième impulsion sur le Bouton poussoir bleu permet de déverrouiller le verrou de la porte. Le voyant orange « Sécurité déclenchée » s'allume. A la fin de l'intervention, il faut réarmer la sécurité à l'aide d'une impulsion sur le bouton poussoir lumineux orange. Les deux voyants s'éteignent. La machine peut alors produire de nouveau.

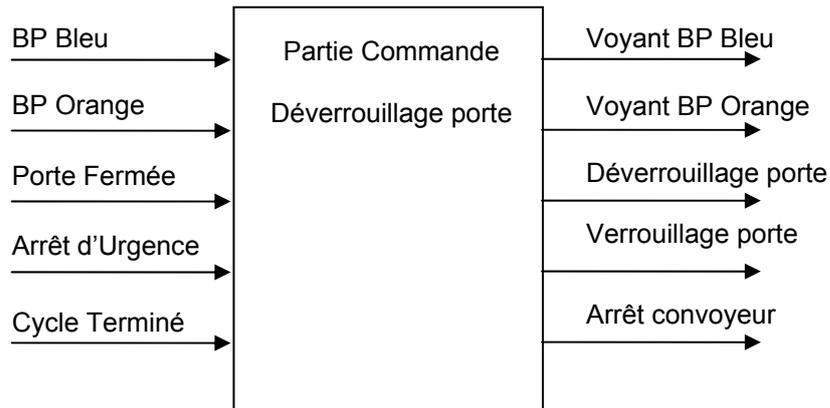
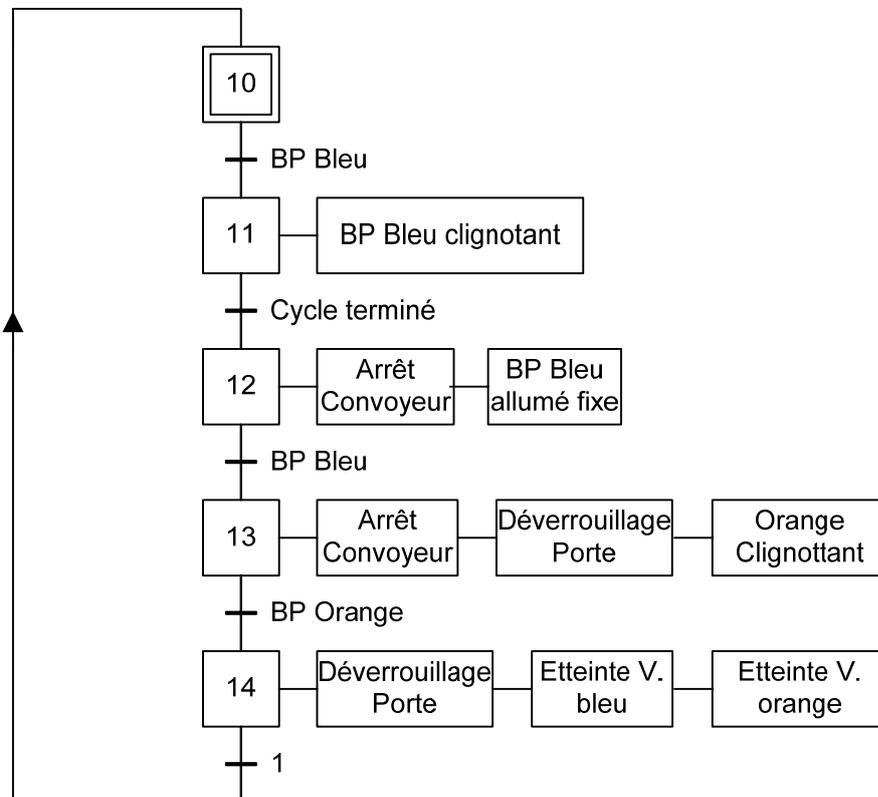


Fig. 5 : Bilan des entrées/sorties de la fonction « Verrouillage porte »

QA2-4 Proposer une logique de commande en grafcet pour la gestion de la boîte avec les deux boutons poussoirs.



Poste opérateur :

Le poste opérateur comprend 3 zones :

- une zone de déchargement manuel, utilisée en fonctionnement dégradé (Panne du poste de déchargement automatique),
- une zone de chargement manuel,
- une zone de contrôle de positionnement des articles sur les palettes.

Chacune de ces zones représente 4 palettes.

A chaque fois que le convoyeur s'arrête, l'opérateur a deux possibilités :

- s'il y a présence du signal « chargement demandé », alors le voyant vert est allumé. L'opérateur doit alors charger de nouveaux articles sur les palettes puis valider la fin de son travail par une impulsion sur « BP Validation »,

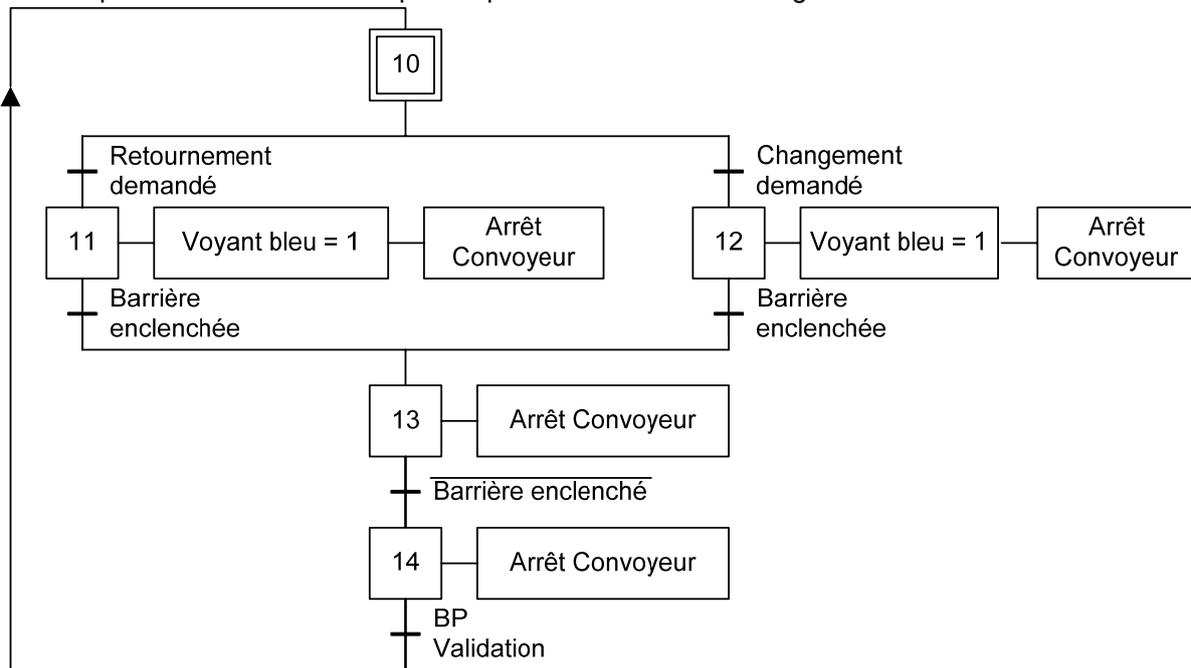
- s'il y a présence du signal « Retournement demandé », alors le voyant bleu est allumé. L'opérateur doit alors retourner les articles sur leurs palettes puis valider la fin de son travail par une impulsion sur « BP Validation ».

Comme cette zone comporte un risque de cisaillement pour l'opérateur, une barrière immatérielle est mise en place ainsi que le bouton poussoir de validation « BP Validation ». Ainsi, après l'allumage de l'un des voyants (vert ou bleu), l'opérateur effectue le travail demandé et la barrière immatérielle est donc forcément franchie car il introduit sa main. A la fin, l'opérateur donne une impulsion sur « BP Validation » pour signifier la fin de son travail.

QA2-5 Quelles sont les technologies utilisées pour la réalisation de barrières immatérielles ?

Réponse : Les principales technologies sont basées sur la détection d'un faisceau laser. Si un objet s'introduit dans la zone protégée, le faisceau est coupé et la sécurité est déclenchée.

QA2-6 Spécifier la commande du poste opérateur sous forme d'un grafcet.



Le signal « Barrière enclenchée » traduit l'actionnement de la barrière immatérielle.

QA2-7 Traduire la commande spécifiée en langage à contact.

Réponse : La traduction en logique à contact peut se faire selon plusieurs méthodes. Il faut vérifier que le candidat a bien compris la notion d'état et qu'il propose une traduction qui respecte les 3 règles de Grafcet.

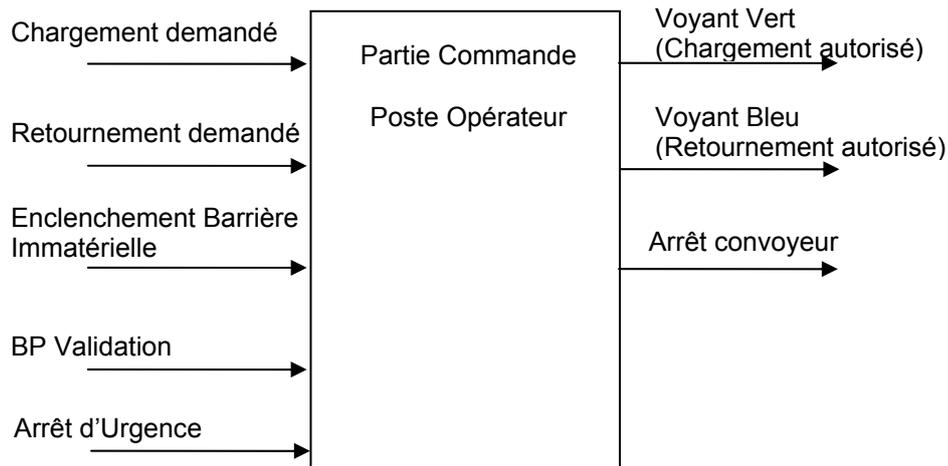


Fig. 6 : Bilan entrées/sorties du poste opérateur

Gestion de déposes multiples de gel

Les articles traités sont de deux types. Certains nécessitent la pose du gel uniquement sur un seul côté et d'autres nécessitent la pose du gel sur les deux côtés. Ces derniers doivent passer deux fois devant le robot dans le poste de dépose de gel (un passage pour chaque côté). C'est l'opérateur qui retourne l'article dans le poste de chargement lorsque l'article qui a besoin de deux déposes passe devant lui.

Pour faire la gestion de ces deux types de production, il y a la création dans la mémoire de l'automate d'un convoyeur virtuel, constitué d'un tableau de N entiers ($V[i]$), images des N palettes du convoyeur réel. L'entier de chaque élément du tableau présente le nombre de déposes effectuées par le robot sur l'article correspondant.

A chaque avance du convoyeur (4 positions), les palettes images sont décalées. A chaque fin d'opération de dépose du robot sur un article, le nombre de marquages effectués est incrémenté de 1.

Soit $V[i]$, avec $i = 1, \dots, N$ le tableau représentant le convoyeur virtuel créé dans l'automate.

$V[1], V[2], V[3], V[4]$ représentent les quatre positions du poste de chargement,
 $V[5], V[6], V[7], V[8]$ représentent les quatre positions du poste de contrôle,
 $V[9], V[10]$, représentent les positions des palettes de la zone tampon 1,
 $V[11], V[12], V[13], V[14]$ représentent les quatre positions du poste de basculement,
 $V[15], V[16]$, représentent les positions des palettes de la zone de retournement,
 $V[17], V[18], V[19], V[20]$ les quatre positions du poste de pose de gel,
 Etc.

QA2-8 Proposer un algorithme pour faire évoluer le convoyeur virtuel (le tableau $V[i]$) à chaque pas.

Réponse : A chaque avance du convoyeur, les palettes sont avancées de 4 positions dans le système, et en plus, les palettes qui sont au poste de dépose voient leur nombre de poses s'incrémenter d'une unité.

L'algorithme est alors le suivant :

A chaque avance faire :

Début

A = $V[81]$

B = $V[82]$

C = $V[83]$

D = $V[84]$

Pour $i = 80$ jusqu'à 1 {parcourir la boucle dans le sens décroissant}

$V[i+4]=V[i]$

Fin Pour

$V[1]=D$

$V[2]=C$

$V[3]=B$

$V[4]=A$

$V[17]= V[17]+1$

$V[18]= V[18]+1$

$V[19]= V[19]+1$

$V[20]= V[20]+1$

Fin

Gestion du poste de déchargement automatique:

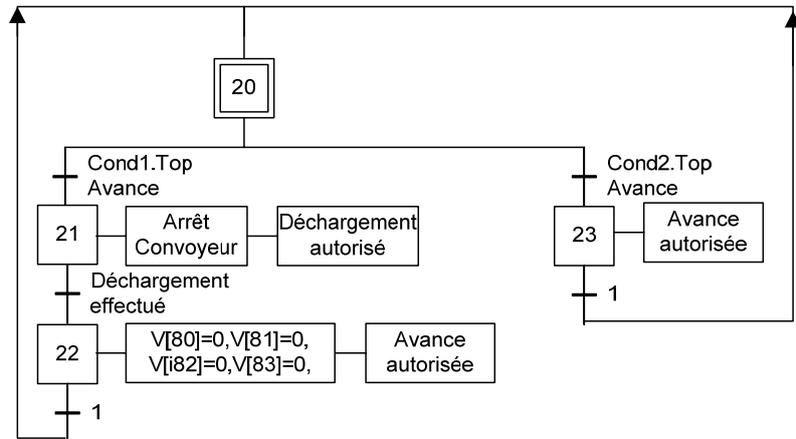
A chaque fois que quatre palettes se positionnent devant le poste de déchargement, le système vérifie les conditions suivantes:

- « Présence palette », (une seule information),
- « Présence article 1 », « Présence article 2 », « Présence article 3 » et « Présence article 4 » (provenant des quatre capteurs qui vérifient la présence d'un article sur chacune des 4 positions du poste de déchargement,
- « $V[i]$ = nombre de marquages à faire », avec « i » les indices qui représentent les quatre positions du poste de déchargement.

Après analyse, le système de commande prend l'une des trois décisions suivantes :

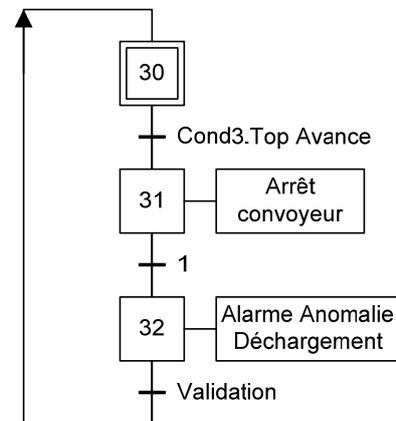
- Si toutes les conditions sont vérifiées, le système bloque l'avancement du convoyeur avec la condition « Arrêt Convoyeur » et lance le cycle d'évacuation des articles en envoyant l'ordre « déchargement autorisé » au bras manipulateur qui pourra alors évacuer les 4 articles simultanément. A la fin du déchargement, une information « Déchargement effectué » est renvoyée par le bras manipulateur qui permettra d'autoriser l'avance du convoyeur.
- Si toutes les conditions sont vérifiées à part le nombre de marquages pour les quatre palettes qui n'est pas atteint alors le convoyeur n'est pas bloqué.
- Si un article est manquant, alors le convoyeur est bloqué et une alarme « anomalie déchargement » est remontée vers l'opérateur.

QA2-9 Spécifier une commande du poste de déchargement.



Avec :

Cond1 = Présence Palette . Présence Palette 1. Présence Palette 2. Présence Palette 3. Présence Palette 4
 Cond2 = Présence Palette . Présence Palette 1. Présence Palette 2. Présence Palette 3. Présence Palette 4. $V[j] \neq$ Nombre marquages à faire pour $j=80, \dots, 84$
 Cond 3 : Not(Présence Palette) ou not (Présence Palette 1) ou not (Présence Palette 2). ou not (Présence Palette 3). ou not (Présence Palette 4).



Supervision temps réel de l'installation :

Le système est muni d'une supervision sur un ordinateur distant qui présente en temps réel des synoptiques de l'état du système. Parmi les animations proposées, l'une d'entre elles propose la vision couleur des palettes du convoyeur en fonction de la présence de gel :

- couleur grise pour une palette n'ayant subi aucune dépose de gel,
- couleur bleue pour une palette ayant subi une seule dépose de gel,
- couleur verte pour une palette ayant subi deux déposes de gel.

QA2-10 Proposer une solution technique qui permet de créer cette animation sur l'ordinateur.

Réponse : La supervision peut être développée avec un progiciel de supervision ou à partir d'une programmation avec VB, VC, C#, etc. Pour créer l'animation demandée, il suffit de lire avec une fréquence à déterminer (par exemple 1s) les valeurs du tableau $V[j]$. Un lien communication doit être installé entre le poste de supervision et l'automate programmable. Ce lien peut être un réseau Ethernet, un réseau d'automatisme (ASi, CAN, Profibus, modbus+, etc.) ou une simple liaison série RS232 ou RS 485. Les communications sans fil sont aussi possibles. La lecture des valeurs du tableau se fait au travers d'un protocole de communication compris par l'automate et le superviseur (exemple Modbus).

Calcul des cadences horaires

Le système calcule en continu la cadence horaire de production. Pour chaque heure, il comptabilise le nombre de pièces produites sorties au poste de déchargement. A la fin de chaque heure, le résultat est lu par le superviseur et stocké dans une base de données. Le responsable de la production peut ainsi afficher des graphiques représentant les cadences horaires de production. Cet indicateur sert aussi pour le calcul d'autres indicateurs tels que le TRS (Taux de Rendement Synthétique), le TRG (Taux de Rendement Global), le taux de rebut, etc.

QA2-11 Proposer un algorithme pour le calcul des cadences horaires.

Réponse : On peut créer un compteur pour chaque heure de production. Le fonctionnement du compteur est validé uniquement lorsque le temps correspond à l'heure correspondante. On fait augmenter le compteur de 4 à chaque fois que des pièces sont déchargées des palettes.

Exemple : supposons que le compteur C8 comptabilise le nombre de pièces fabriquées entre 8h et 9h
On a

A chaque lot de 4 pièces déchargées

Début

Si $H > 8h00$ et $H < 9h00$

$C8 = C8 + 4$

Fin

Fonctionnement en mode dégradé avec un seul opérateur

Lorsque le poste de déchargement est en panne, le système peut tout de même fonctionner en mode dégradé en mettant en place un déchargement manuel. Ainsi, à chaque fois que le convoyeur avance (4 palettes), l'opérateur commence par enlever les quatre articles déjà traités avant de positionner quatre nouveaux articles.

Le déchargement des quatre palettes demandera 10 secondes supplémentaires lors de chaque cycle.

QA2-12 Quelle est la cadence horaire pour ce mode dégradé si l'on suppose que l'opérateur parvienne à réaliser toutes ses tâches (déchargement, chargement et contrôle) dans le temps imparti. Distinguer les deux cas : produits avec une seule dépose de gel et produits avec deux déposes de gel.

Réponse : En mode dégradé, l'opérateur a besoin de 10s supplémentaires.

- Cas des produits avec une seule dépose : pour 4 articles il faut : $15 + 10 + 3 = 28$ s

La cadence horaire est alors de 514 articles. Soit une chute de 35%

- Cas des produits avec deux déposes : 4 articles sortent en moyenne tout les $15 + 3 + 15 + 3 + 10 = 46$ s

La cadence horaire est 313 articles par heure au lieu de 400 par heure. Il y a alors une baisse de 21,7%

QA2-13 Conclure quant à la pertinence d'avoir un opérateur supplémentaire pour le déchargement.

Réponse : En mode dégradé, la baisse de productivité est importante (35 % pour les articles avec une dépose et 21% pour les articles avec 2 déposes). L'utilisation d'un deuxième opérateur peut être justifiée.

PARTIE B
ETUDE DU ROBOT ASSERVI DE DEPOSE DU GEL

Rappel : cette partie est à rédiger sur copie(s) séparée(s)

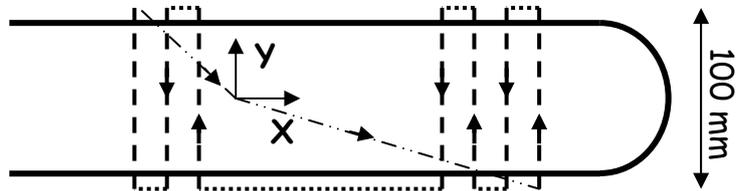
Nota : la notation $f(t)$ représente une fonction du temps, $F(p)$ est la transformée de Laplace de $f(t)$.

Une pompe assure l'alimentation en gel, mais seule la maîtrise des mouvements de la buse de dépose du gel permet de garantir la quantité de gel attendue sur les articles.

Cette partie du sujet étudie la faisabilité des déplacements du robot qui dispose de 15 secondes pour réaliser l'opération de dépose du gel sur 4 articles. Pour chaque article, les zones de dépose du gel se trouvent dans une zone rectangulaire de dimensions 100 mm x 300 mm au maximum. Le gel se répand autour du point de dépose selon un disque d'environ 1 cm de rayon.

Pour des raisons économiques, le concepteur a choisi d'effectuer les déplacements de la buse de dépose du gel à partir de deux systèmes vis-écrou à bille motorisés par deux moteurs à courant continu asservis. (voir fig.7 & 8)

Sur un article, le gel est déposé en bande de 2 cm de large et au maximum 100 mm de long. (voir figure ci-contre).



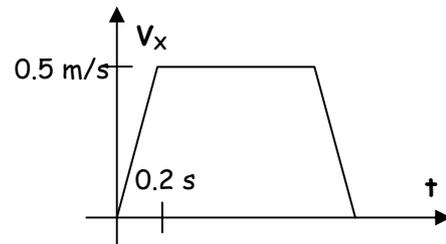
5 bandes au maximum sont déposées sur chaque article.

Le robot dépose le gel lors de déplacements suivant l'axe Y. La vitesse de dépose optimale du gel est de 0.2 m/s. Les déplacements du robot suivant Y doivent garantir cette vitesse et peuvent atteindre une vitesse maximale de 0.5 m/s sans déposer de gel.

Les déplacements suivant X doivent être précis (<0.2 mm) et aussi rapides que possible sans sollicitations inutiles de la structure.

Loi de déplacement souhaitée suivant X :
(Une phase d'accélération de 0.2 s maximum)

L'origine de programmation des déplacements de la buse est médiane pour chaque palette.



B1. ESTIMATION DE LA PRODUCTIVITE PREVISIONNELLE DU ROBOT

QB1-1 En négligeant les phases d'accélération et de décélération suivant Y, estimer le nombre de bandes que le robot peut réaliser sur un article. On rappelle que le gel doit être déposé sur 4 articles et que les déplacements du robot entre deux lots de 4 articles pourront être réalisés en temps masqué pendant l'avance du convoyeur.

- Temps disponible pour le robot pour 4a articles : **15 s**
 - Temps pour faire une bande : $0.100 \text{ m} / 0.2 \text{ m/s} = \mathbf{0.5 \text{ s}}$ (en négligeant les temps acc et freinage)
 - Temps pour passer d'une bande à une autre (suivant X) soit 2 cm :
- Pente de l'accélération : $V_x/T_x = 2.5 \text{ m/s}^{-2}$
 Il faut $L = V_{\text{moy}} \cdot 0.2 = 0.05 \text{ m}$ pour atteindre la vitesse maxi (on n'atteint pas la vitesse maxi)

$L = 1 \text{ cm}$ donc $L = \frac{1}{2} \cdot 2.5 \cdot T^2$ et $T = 2 \frac{\sqrt{0.01}}{2.5} = 0.08 \text{ s}$ Donc le temps pour passer d'une bande à l'autre est

le double (décélération) : **T = 0.16 s**

- Temps maximum pour aller de la dernière bande de l'article n à la première de l'article n+1 (n=1, 2, ou 3) au premier point de dépose :

Si on considère le temps suivant X en supposant une origine proche du milieu de course :

Course maxi = 320 mm ; pente d'accélération et le freinage le robot parcourt 10 cm en 0.4s. Il reste à parcourir 310 mm à 0.5m/s : 0.62 s (le temps nécessaire suivant Y n'est pas critique ; en 0.62 s l'axe pourrait se déplacer d'environ 310 mm alors que le déplacement maxi nécessaire est de $140 \cdot 2 \text{ mm}$)

Le temps total de changement d'article : **0.62 s** (3 fois dans un cycle de 4 articles)

Pour 1 article

N = nombre de bandes par article. $N \cdot 0.5 + (N-1) \cdot 0.16 = 15/4 - 3/4 \cdot 0.62$. donc $N=5.21$

Soit environ 5 bandes maxi.

Le temps pour déposer 5 bandes complètes est : $5 \cdot 0.5 + 4 \cdot 0.16 + 3/4 \cdot 0.62 = \mathbf{3.605 \text{ s}}$ (pour **3.75 s**)

QB1-2 Proposer deux stratégies qui permettraient d'augmenter le nombre de bandes déposées sans changer les performances du robot.

En faisant des lots de 4 chaussettes toujours identiques :

- Le robot peut réaliser 4 bandes alignées suivant Y avant de se décaler suivant X, il y a perte de temps entre les chaussettes mais gain de translation suivant X et gain sur les retours « à vide » entre deux chaussettes.
- Le robot peut piloter 4 buses identiques et réaliser 4 chaussettes identiques en même temps. On multiplie le nombre de bandes par 4 mais il faut valider cette solution qui modifie les inerties des pièces mobiles du robot.

B2 - ESTIMATION DES PERFORMANCES DE L'AXE X DU ROBOT :

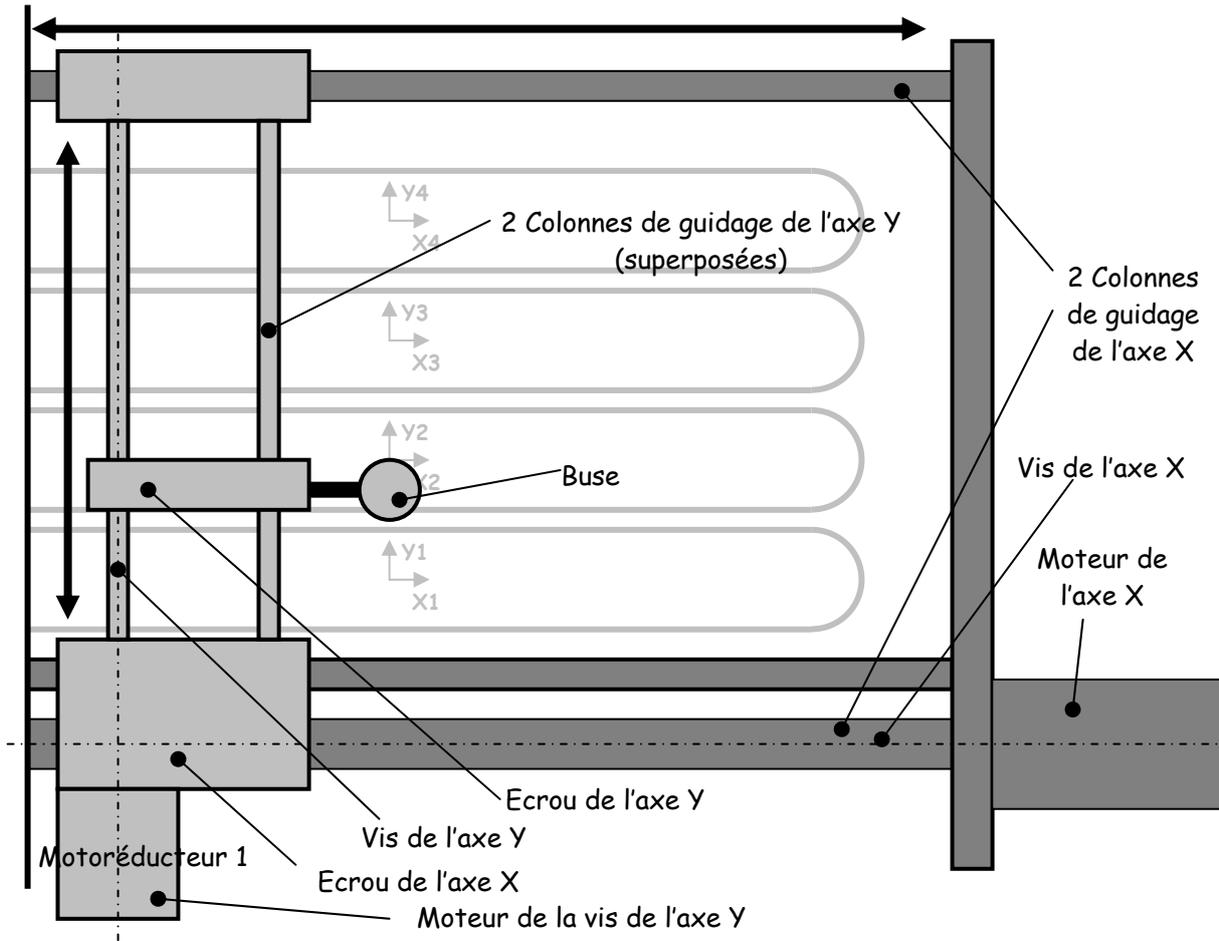


Fig. 7 : Schéma de principe du robot

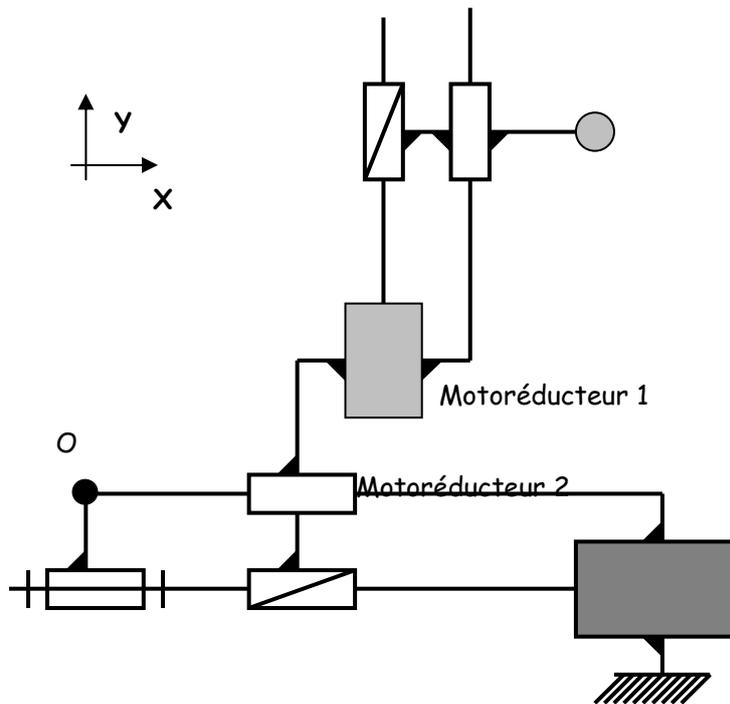


Fig. 8 : Schéma du robot

Caractéristiques

m_1 : Masse de d'axe Y ;

M_1 : Masse de la buse (avec l'ensemble de son système d'alimentation) ;

cinématique

de l'axe X
l'écrou et de la vis

m_2 : Masse de l'écrou d'axe X, des 2 colonnes d'axe Y et du motoréducteur 1 ;
 J_2 : Inertie équivalente du rotor, du réducteur et de la vis ramenée sur l'axe moteur 2 ;
 K_2 : Gain de la roue codeuse de l'arbre moteur 2 associé à un compteur d'incréments (on considèrera ce système comme continu) ;
 L_2 : Inductance des bobines du moteur 2 ;
 R_2 : Résistance du moteur 2 ;
 Cm_2 : Couple du moteur 2 ;
 ω_2 : Vitesse de rotation de l'arbre moteur 2 ;
 e_2 : Forces contre-électromotrices dans le moteur 2 ;
 Ke_2 : Constante de force contre-électromotrice du moteur 2 ;
 Kc_2 : Constante de couple du moteur 2 ;
 u_2 : Tension aux bornes du moteur 2 ;
 i_2 : Intensité dans le moteur 2 ;
 r_2 : Rapport de réduction du réducteur 2 ;
 p_2 : Pas de la vis 2 ;
 ω_{r2} : Vitesse de rotation de la vis 2.

| |
|---|
| Equations du moteur 2 : $u_{L_2}(t) = L_2 \cdot \frac{di_2(t)}{dt}$ $u_{R_2}(t) = R_2 \cdot i_2(t)$ $u_2(t) = u_{R_2}(t) + u_{L_2}(t) + e_2(t)$ $e_2(t) = Ke_2 \cdot \omega_2(t)$ $Cm_2(t) = Kc_2 \cdot i_2(t)$ |
|---|

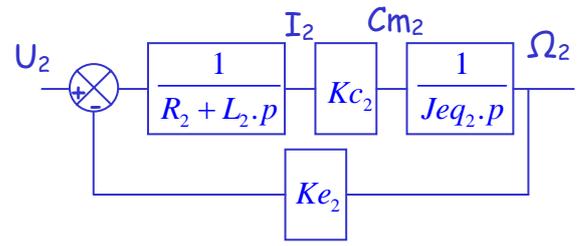
AN : $p_2=20$ mm/tr, $L_2=2.5$ mH, $R_2=2.65$ Ω , $Ke_2=1.1$ V/(rad/s), $r_2=1$, $Kc_2=1.1$ N.m/A, $M_1=50$ kg, $m_1=10$ kg, $m_2=20$ kg, $J_2=0,015$ kg.m².

QB2-1 Calculer l'inertie équivalente Je_q au niveau de l'arbre moteur 2. Calculer la fonction de transfert $H_{Mot2}(p)$ et compléter le schéma bloc suivant :

$$H_{Mot2}(p) = \frac{\Omega_2(p)}{U_2(p)}$$

Transformé de Laplace des équations du moteur

$U_{L_2}(p) = L_2 \cdot p \cdot I_2(p)$
 $U_{R_2}(p) = R_2 \cdot I_2(p)$
 $U_2(p) = U_{R_2}(p) + U_{L_2}(p) + E_2(p)$
 $E_2(p) = Ke_2 \cdot \Omega_2(p)$
 $Cm_2(p) = Kc_2 \cdot I_2(p)$



Equation énergie cinétique :

$$Cm_2(t) = J_2 \cdot \frac{d\omega_2(t)}{dt} + \left(\frac{r_2 \cdot p_2}{2\pi} \right)^2 \cdot (M_1 + m_1 + m_2) \cdot \frac{d\omega_2(t)}{dt} = Je_q \cdot \frac{d\omega_2(t)}{dt} \quad \text{d'où} \quad Cm_2(p) = Je_q \cdot p \cdot \Omega(p)$$

avec $Je_q = \left(J_2 + \left(\frac{r_2 \cdot p_2}{2\pi} \right)^2 \cdot (M_1 + m_1 + m_2) \right)$

Etude du comportement du moteur :

$$H_{Mot2}(p) = \frac{1}{Ke_2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_2 \cdot Je_q}{Kc_2 \cdot Ke_2} \cdot p + \frac{L_2 \cdot Je_q}{Kc_2 \cdot Ke_2} \cdot p^2} \quad \text{AN : } H_{Mot2}(p) = \frac{0.91}{1 + 3.46 \cdot 10^{-2} \cdot p + 3.26 \cdot 10^{-5} \cdot p^2}$$

QB2-2 Ce système est-il un système asservi ? Pourquoi ?
 Il y a une boucle de retour dans le schéma bloc mais ce n'est pas la boucle d'un capteur qui a pour but la mesure d'une grandeur physique. Ce n'est donc pas un asservissement.

QB2-3 Montrer qu'il est possible de négliger l'inductance du moteur et d'assimiler la fonction de transfert par un ordre 1. Calculer $H'_{Mot2}(p)$ en négligeant L.
 On peut approximer le comportement du moteur par un ordre 1 :

$$H'_{Mot2}(p) = \frac{27914}{(30+p).(1032+p)} \text{ la racine } 1032 \text{ n'a que peu d'influence donc :}$$

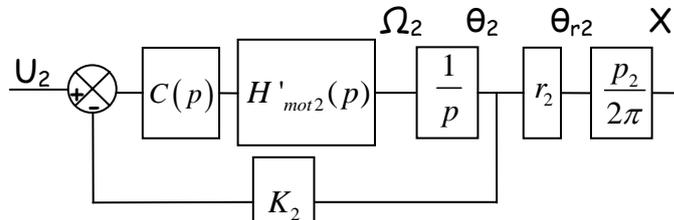
$$H'_{Mot2}(p) = \frac{1}{1 + \frac{R_2 \cdot Jeq_2}{Kc_2 \cdot Ke_2} \cdot p} = \frac{0.91}{1 + 3.46 \cdot 10^{-2} \cdot p}$$

Une roue codeuse est placée sur l'arbre moteur. Elle a une résolution importante qui permet de déterminer la position et la vitesse de la buse avec une bonne précision. La période d'échantillonnage étant très petite devant les constantes de temps du système, l'étude est réalisée avec une modélisation continue. La roue codeuse est représentée par un simple gain K_2 .

Pour la pré-étude, un cahier des charges réduit est fixé :

- Temps de réponse à 5% du robot suivant X : 0.25 s maxi
- Marge de phase mini : 45°

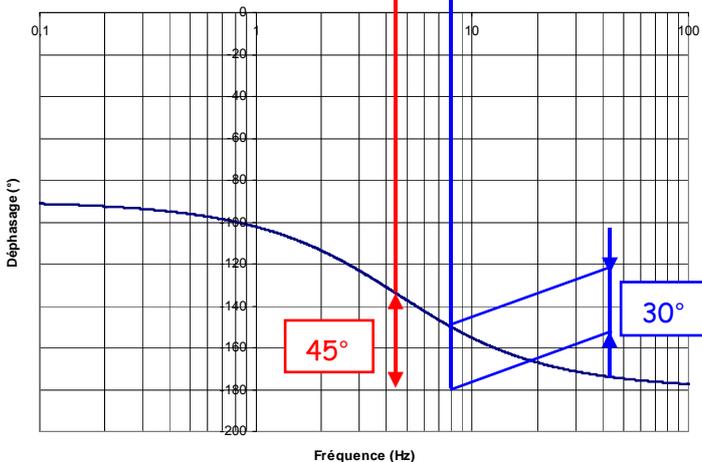
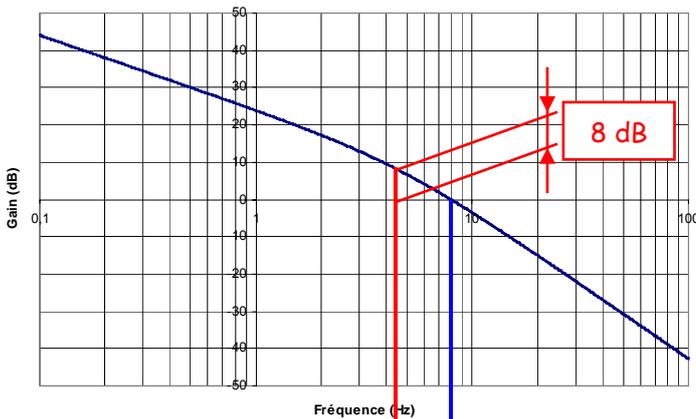
La modélisation retenue est la suivante (le correcteur $C(p) = 1$ pour QB2-4 et QB2-5) :



QB2-4 Quel est le principe de fonctionnement de ce capteur et quel est l'intérêt de le placer en amont du réducteur ? Quel pourrait en être l'inconvénient ?

Les codeurs incrémentaux fonctionnent sur un principe de comptage et décomptage d'impulsions. Le disque d'un codeur incrémental comporte deux types de pistes. La piste extérieure : (voie A ou voie A et B) est divisée en « n » intervalles d'angles égaux alternativement opaques et transparents, « n » s'appelant la résolution ou nombre de périodes ; c'est en effet le nombre d'impulsions qui seront délivrées par le codeur pour un tour complet de son disque.

Diagramme de Bode

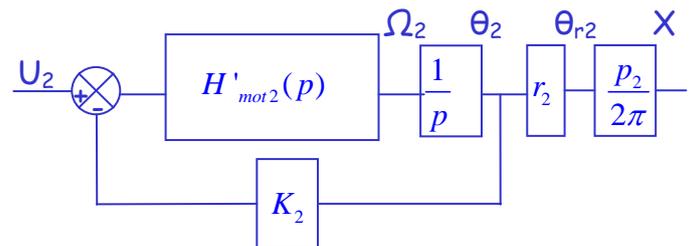


- En amont du réducteur, le nombre d'impulsion par tour de la sortie du réducteur est plus important (multiplié par $1/r$) donc le capteur est plus précis.

- L'inconvénient peut résider dans le jeu ou la déformation angulaire dans le réducteur.

QB2-5 A partir du diagramme de Bode donné dans le Document Ressource 3, montrer qu'il y a un risque pour la stabilité du système.

Etude de l'asservissement de position



$$FTBO_2(p) = \frac{\frac{K_2}{Ke_2}}{1 + \frac{R_2 \cdot Je q_2}{Kc_2 \cdot Ke_2} \cdot p} \cdot \frac{1}{p}$$

Bode de la fonction donnée en annexe (voir page suivante)

Marge de phase de 30° à 7,95 rad/s non suffisante. Le système peut être instable car sa marge de phase n'est pas suffisante au regard du cahier des charge (45°).

QB2-6 Un correcteur proportionnel peut-il résoudre le problème ? Le dimensionner si possible. Un correcteur intégral peut-il résoudre le problème ? Le dimensionner si possible.

- Correcteur à gain pur nécessaire k_G .

Mesure graphique de la valeur de gain k_G nécessaire (voir page ci-dessus)

$\Delta\varphi=45^\circ$ pour $\omega_{\Delta\varphi=45^\circ}=4.6$ rad/s le gain est de 7,8 dB; il faut donc translater la courbe de -7,8dB.

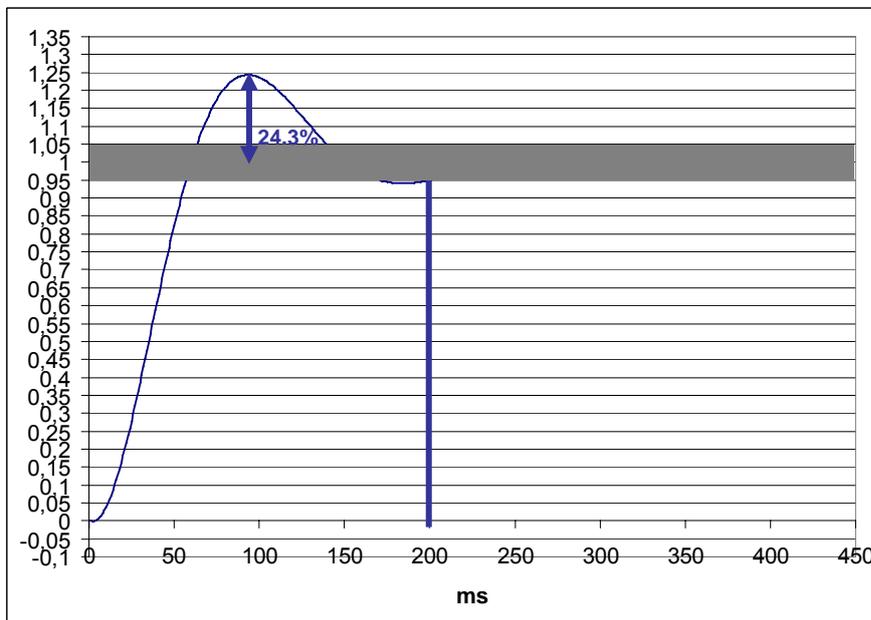
$$20 \cdot \log(k_G) = -7,8 \text{ donc } k_G = 10^{\frac{-7,8}{20}} = 0.4$$

- Correcteur intégral inutile. Il va amplifier le risque d'instabilité.

QB2-7 Calculer l'écart statique du système (avec un correcteur $C(p)=1$).

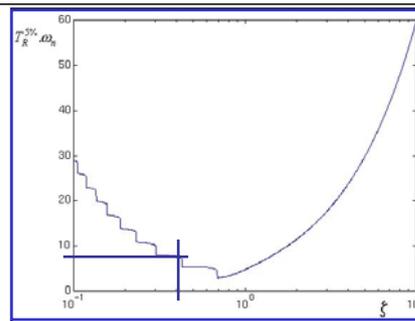
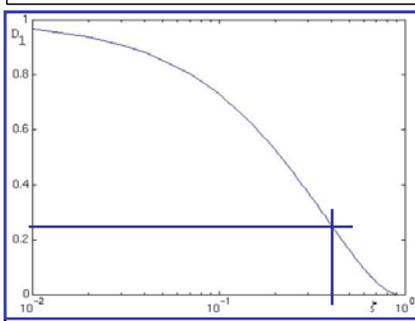
Le système possède une intégration dans la boucle d'asservissement donc l'erreur statique est nulle.

QB2-8 Après la mise en place d'un correcteur (la réponse indicielle de l'axe est donnée dans le Document Ressource 4), proposer une fonction de transfert qui puisse satisfaire cette réponse et identifier ses grandeurs caractéristiques. Commenter le résultat par rapport aux attentes de cet axe.



Temps de réponse correcte par rapport au CdC (<0.25s).

Peu d'oscillations.



Modélisation par un second ordre :

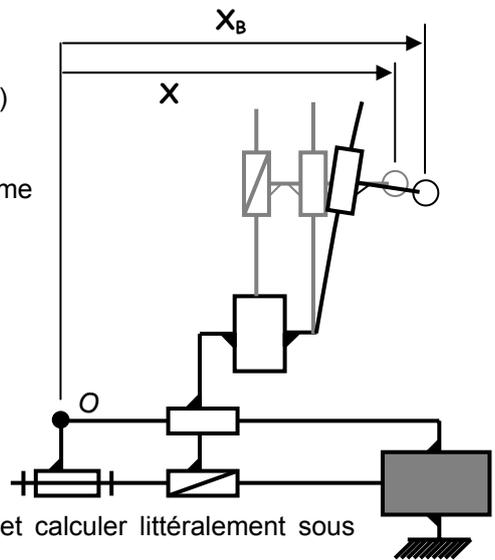
Coefficient d'amortissement $\xi=0.43$

$$H(p) = \frac{k}{1 + \frac{2\xi}{\omega_n} \cdot p + \frac{p^2}{\omega_n^2}}$$

Tr5%. $\omega_n=7$ alors $\omega_n=35$ Hz

La structure du robot est allégée au maximum pour diminuer les effets dynamiques et permettre l'utilisation de moteurs moins puissants. Cependant, ce choix entraîne une déformation de la structure sous charge.

- X : Abscisse du point piloté par l'axe X
- Y : Ordonnée du point piloté par l'axe Y
- X_B : Abscisse réelle de la buse (après déformation de la structure)
- $k(Y)$: Raideur de la structure suivant l'axe X en fonction de Y
- μ : Coefficient de frottement visqueux
- M_1 : Masse de la buse (avec l'ensemble de son système d'alimentation) ;



QB2-9 En considérant uniquement la masse M_1 , un frottement visqueux μ et une déformation élastique de raideur $k(Y)$, modéliser le comportement de structure et calculer littéralement sous

forme canonique $H_s(p) = \frac{X_B(p)}{X(p)}$

Equation de la dynamique en considérant uniquement la masse M_1 , un frottement visqueux μ et une déformation élastique de raideur k :

$$M_1 \cdot \frac{d^2 X_B}{dt^2} = -k \cdot (X_B - X) - \mu \cdot \frac{dX_B}{dt}$$

en Laplace :

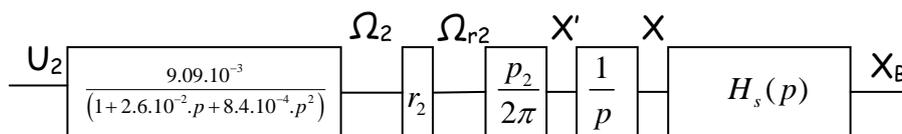
$$(M_1 \cdot p^2 + \mu \cdot p + k) \cdot X_B = k \cdot X \qquad H_s(p) = \frac{X_B}{X} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\mu}{k} \cdot p + \frac{M_1}{k} \cdot p^2\right)}$$

QB2-10 Proposer une modélisation qui permettrait d'exprimer k en fonction de Y . Donner la forme générale de la fonction selon la modélisation retenue.

En prenant un modèle poutre encastree de résistance des matériaux :

La flèche est $\Delta X = \frac{F \cdot Y^3}{3 \cdot E \cdot I}$ donc la raideur $k = \frac{Cte}{Y^3}$

Le modèle retenu pour l'ensemble de l'axe X est le suivant :



Pour cette question : $k=100$ N/mm, $M_1=50$ kg, $\mu=100$ N/(m/s)

QB2-11 Calculer numériquement $H_s(P)$ et conclure quant aux conséquences sur le robot.

Second ordre :

Amortissement trop faible : $\zeta=7.03.10^{-3}$

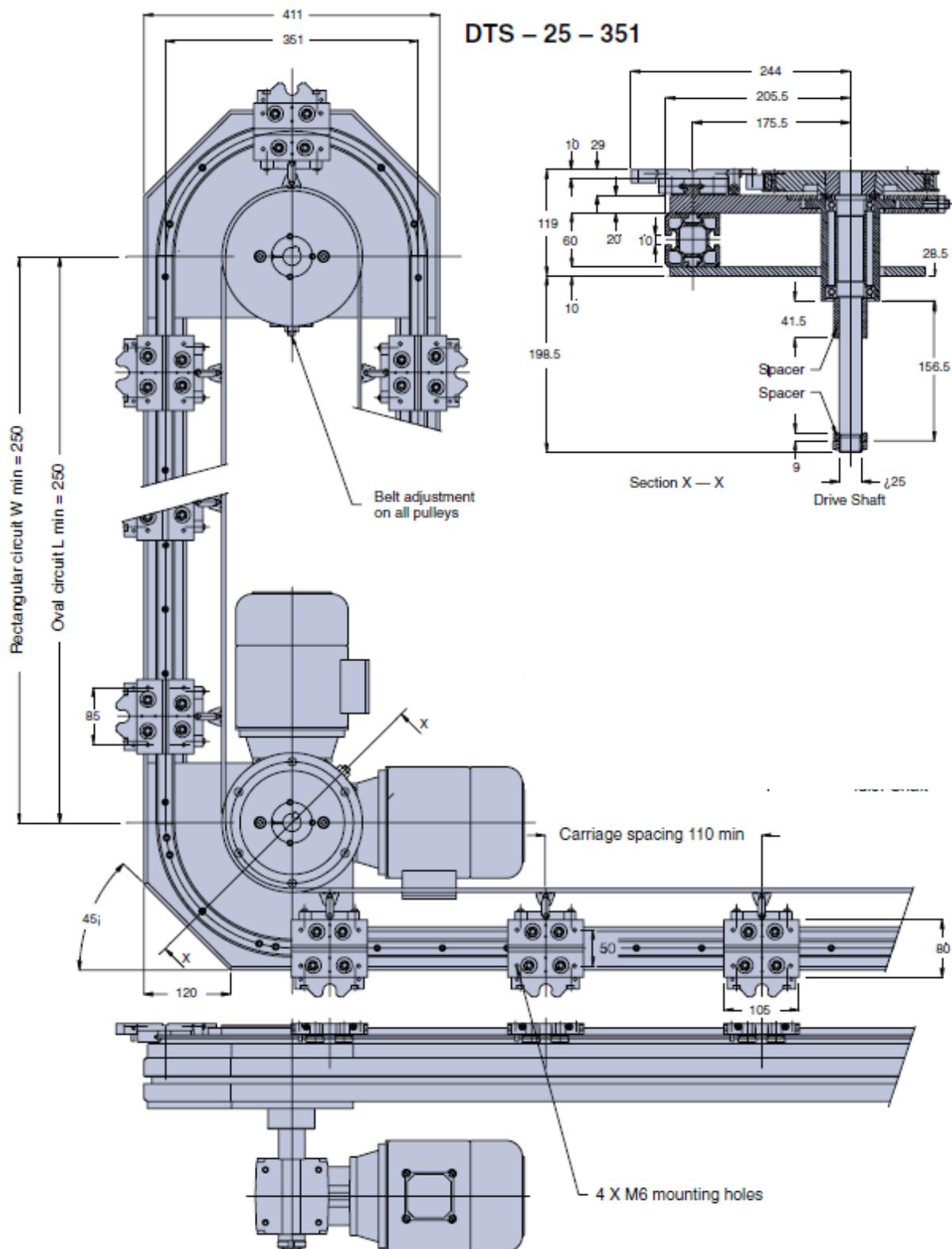
$\omega_n = 141,4$ Hz

Le temps de réponse de la structure est très long et la structure va osciller (problème de résistance de la structure à long terme)

QB2-12 Proposer deux solutions pour résoudre le problème posé par la structure : une solution de modification de la structure, une solution de modification de l'architecture de l'asservissement.

Solution 1 : Augmenter le frottement fluide dans la structure en installant un amortisseur. Cette solution nécessite une augmentation de la masse de la structure à valider.

Solution 2 : Asservir la position de la buse elle-même. Cela nécessite l'installation d'un capteur de position au niveau de la buse, ce qui est difficile, ou l'installation d'un accéléromètre (difficile à exploiter).



SERVOMOTEURS COURTS SANS BALAI

LS

| LS Caractéristiques (40° C ambiant) | Couple permanent en rotation lente $\Delta t = 100^\circ \text{C}$ | Vitesse à 280 V | Valeur crête du courant permanent | Couple par ampère crête (25° C) | Inertie | Constante de temps mécanique | Constante de temps thermique | Charge admissible sur l'arbre à 3000 tr/min.* | | Masse Moteur | Servo- amplifi- cateurs associés |
|---|--|--------------------|--|---|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|--------|-----------------|---|
| | | | | | | | | radiale | axiale | | |
| | Nm | min ⁻¹ | Å | Nm/Å | kgm ² .10 ⁻⁵ | ms | min | daN | daN | kg | CMS 3 BTM 3 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|------|------|------|-----|-----|----|----|----|----|--------|
| LS 610 EW | 3,3 | 4000 | 7,35 | 0,45 | 70 | 8,2 | 15 | 50 | 40 | 8 | 7,5/15 |
| LS 620 EV | 6,4 | 2200 | 7,2 | 0,89 | 115 | 4,5 | 20 | 55 | 40 | 10 | 7,5/15 |
| LS 620 EL | 6,4 | 4000 | 13,8 | 0,46 | 115 | 4,5 | 20 | 55 | 40 | 10 | 15/30 |

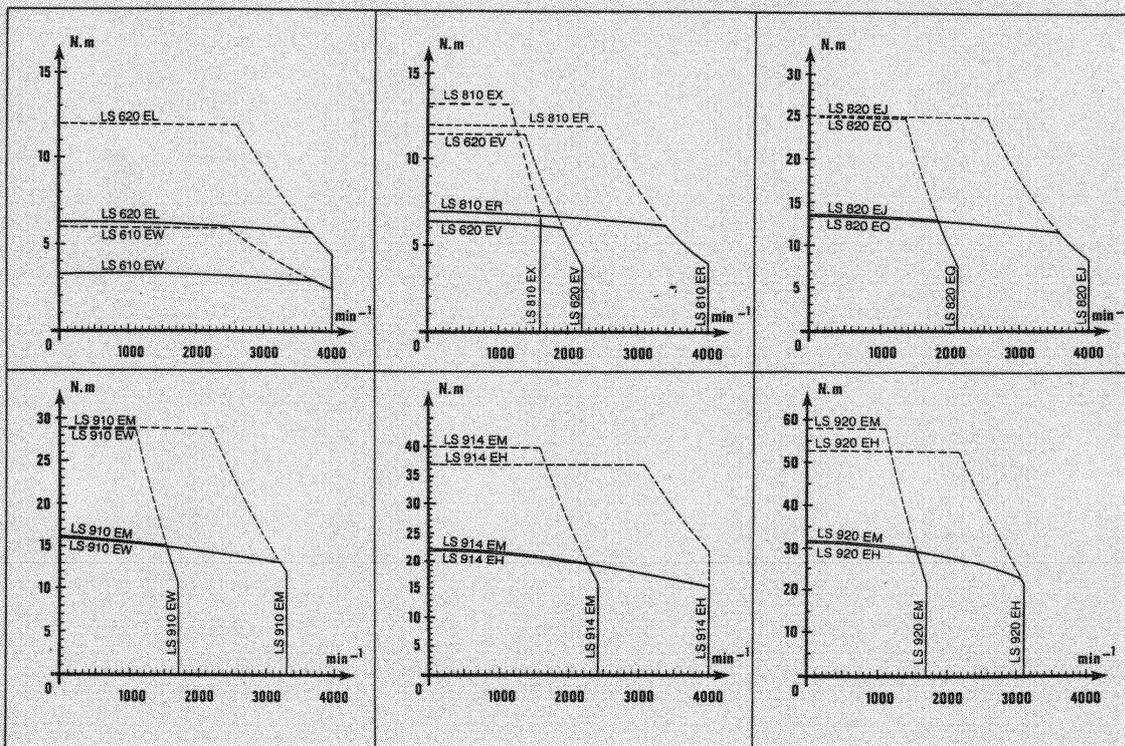
| | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|-----|-----|----|----|----|------|--------|
| LS 810 EX | 7 | 1600 | 7,2 | 0,98 | 180 | 5 | 20 | 65 | 40 | 12,5 | 7,5/15 |
| LS 810 ER | 7 | 4000 | 13,8 | 0,51 | 180 | 5 | 20 | 65 | 40 | 12,5 | 15/30 |
| LS 820 EQ | 13,5 | 2100 | 14,1 | 0,96 | 380 | 3,8 | 25 | 70 | 40 | 16 | 15/30 |
| LS 820 EJ | 13,5 | 4000 | 26,5 | 0,51 | 380 | 3,8 | 25 | 70 | 40 | 16 | 30/60 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|----|------|------|------|------|-----|----|-----|----|----|--------|
| LS 910 EW | 16 | 1700 | 14,6 | 1,10 | 730 | 5,6 | 35 | 105 | 40 | 17 | 15/30 |
| LS 910 EM | 16 | 3300 | 29,2 | 0,55 | 730 | 5,6 | 35 | 105 | 40 | 17 | 30/60 |
| LS 914 EM | 22 | 2400 | 28,6 | 0,77 | 910 | 4,2 | 40 | 115 | 40 | 21 | 30/60 |
| LS 914 EH | 22 | 4000 | 52,5 | 0,42 | 910 | 4,2 | 40 | 115 | 40 | 21 | 60/100 |
| LS 920 EM | 31 | 1700 | 28 | 1,10 | 1200 | 3,2 | 45 | 120 | 40 | 27 | 30/60 |
| LS 920 EH | 31 | 3100 | 51,6 | 0,60 | 1200 | 3,2 | 45 | 120 | 40 | 27 | 60/100 |

* Charges appliquées au milieu de l'arbre. Moteur horizontal.

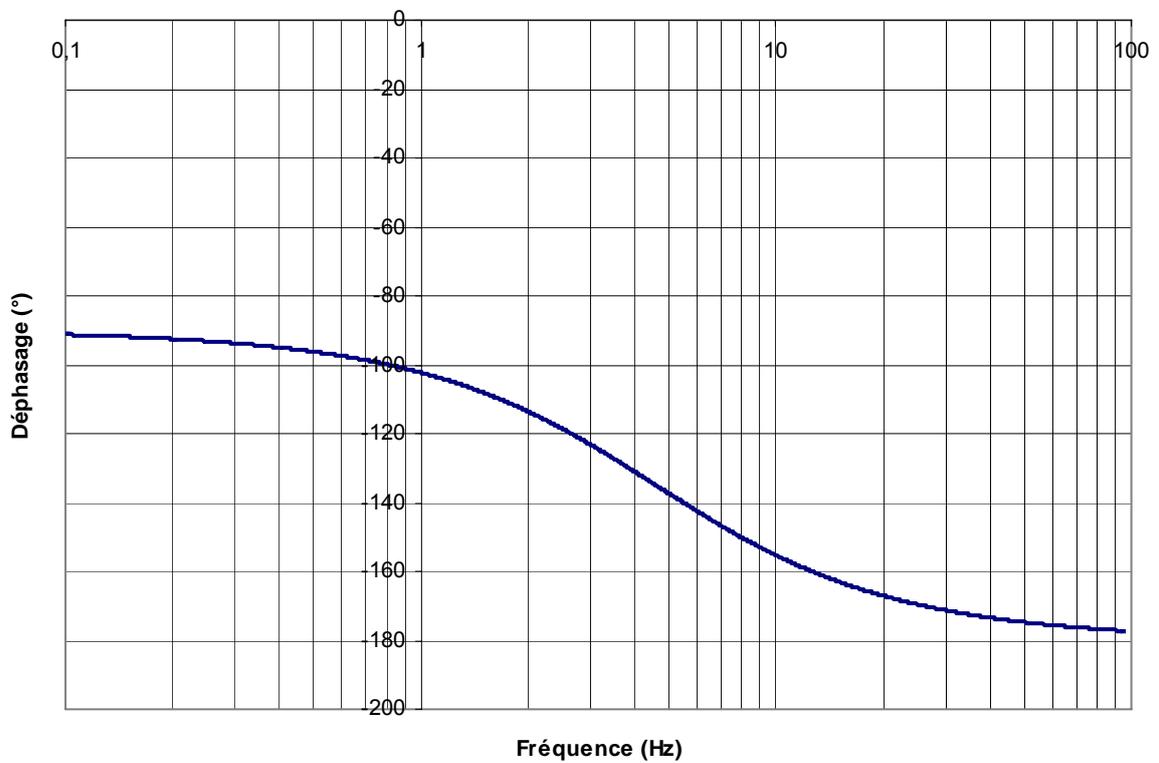
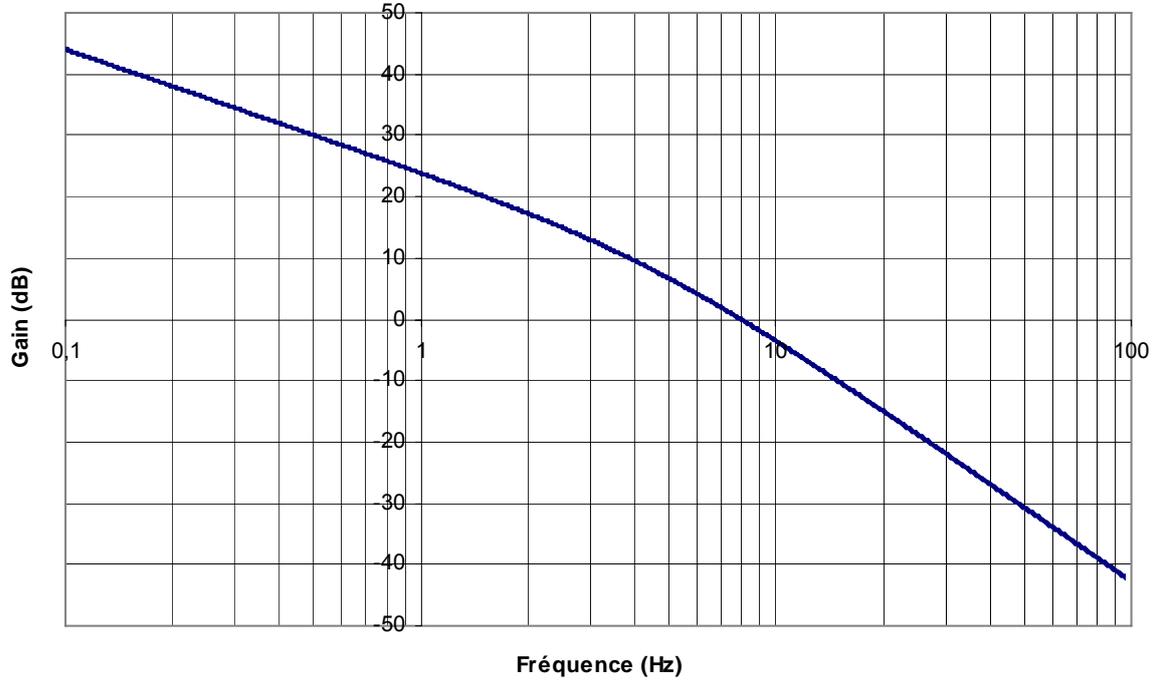
CARACTERISTIQUES DES ASSOCIATIONS SERVOMOTEURS - SERVOAMPLIFICATEURS

— permanent
- - - impulsionnel

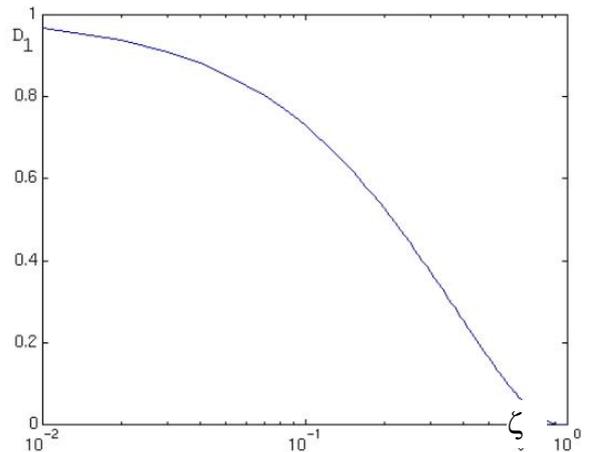
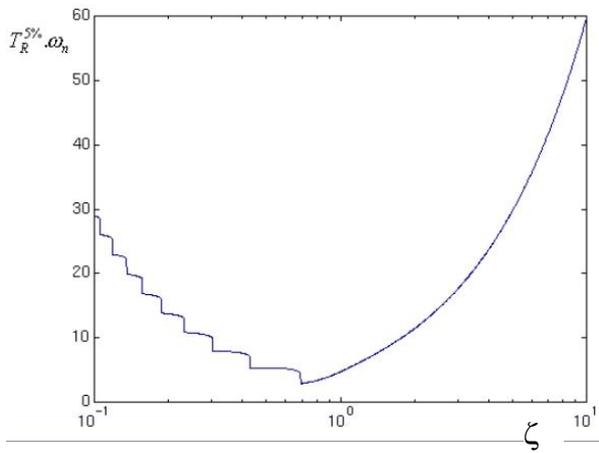
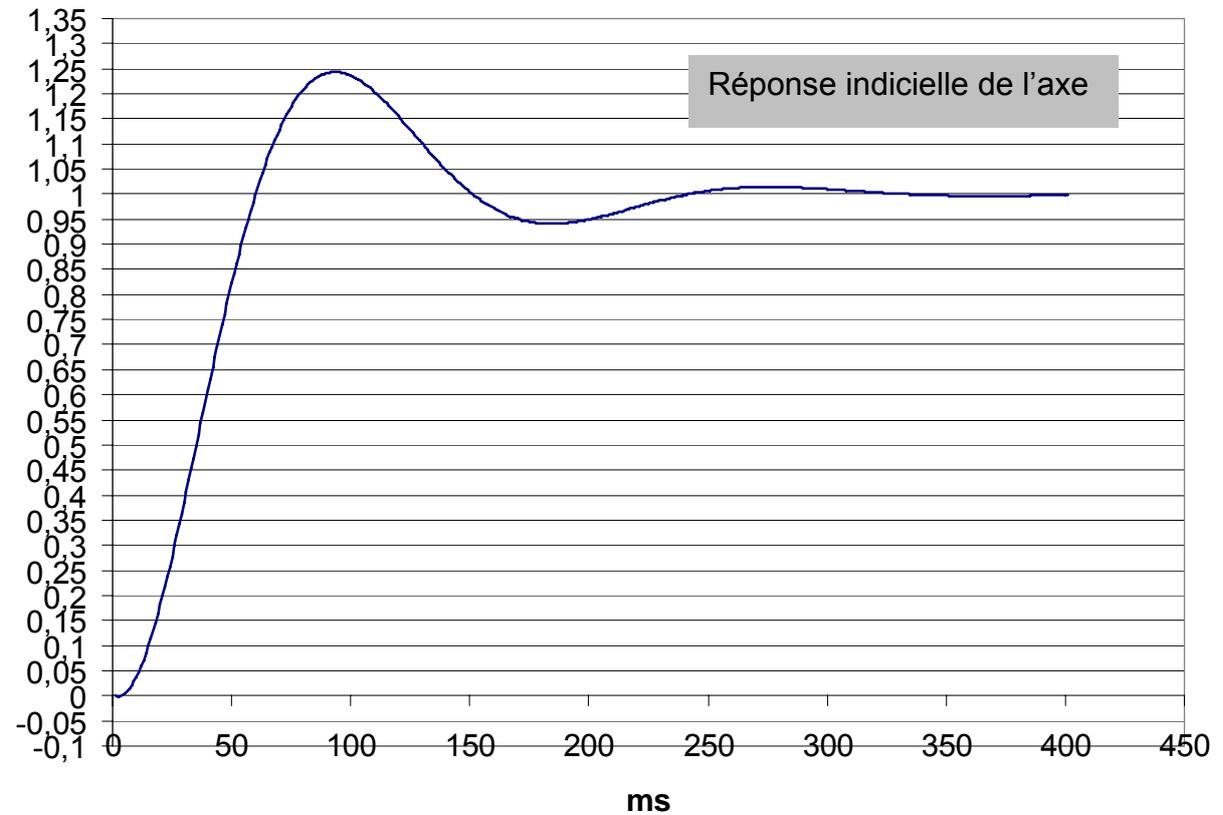


DOCUMENT RESSOURCE 3

Diagramme de Bode



DOCUMENT RESSOURCE 4



Amortissement

$T_R^{5\%}$: Temps de réponse à 5%

ω_n : Pulsation propre

D_1 : Amplitude du premier dépassement

RAPPORT DE L'ÉPREUVE DE LEÇON

J.J. BATON – J.J. DIVERCHY – C. GAMELON – V. PATELOUP

Objectifs

A partir de connaissances relatives à l'ensemble des procédés et des processus utilisés dans la production de biens manufacturés ainsi qu'à leur automatisation, leurs contraintes d'applications et leurs performances technico économiques, l'épreuve de leçon de technologie vise à vérifier le potentiel pédagogique des candidats, leur aptitude à imaginer des scénarii de formation efficaces, à transmettre des connaissances justes et adaptées de façon motivante et structurée et à organiser les apports de connaissances dans un contexte de formation donné.

Déroulement de l'épreuve

L'épreuve comporte une préparation d'une durée de 4 heures à l'issue de laquelle le candidat présente au jury sa leçon pendant une durée maximale de 45 minutes sans intervention du jury. Au terme de l'exposé, 15 minutes sont réservées à un entretien avec les membres du jury. Cet échange est destiné à apporter des précisions et des justifications relatives à la démarche pédagogique retenue mais également au fond technologique et scientifique.

Pendant la phase de préparation, le candidat a accès aux référentiels des principales formations de génie mécanique. Pour toutes les leçons, le dossier remis au candidat comporte l'ensemble des éléments nécessaires à la préparation de la leçon : ressources à caractère scientifique, pédagogique et industriel.

Un dossier numérique contenant les ressources informatiques identiques à celles fournies dans le dossier « papier » est à la disposition du candidat. D'autres documents peuvent être proposés, également sous forme numérique, sans être disponibles dans le dossier papier (séquences vidéo, animations, simulations...). Dans ce cas, les éléments fournis sous forme papier restent cependant suffisants pour répondre aux attentes de la leçon.

Le candidat dispose dès le début de la phase de préparation d'un micro-ordinateur portable lui permettant d'exploiter les documents numériques fournis et de préparer sa prestation devant les membres du jury. La salle d'interrogation dispose : d'un tableau blanc, d'un rétroprojecteur, d'un vidéo projecteur connectable sur le micro-ordinateur portable et de deux écrans de projection.

Attentes du jury et critères d'évaluation

Le jury désirent pouvoir vérifier les capacités globales du candidat à s'exprimer à l'écrit ainsi qu'à l'oral et à transmettre un message pédagogique de façon efficace, deux phases sont attendues au cours de l'exposé de la leçon :

- **Une description de l'intégralité de la séquence pédagogique envisagée dans laquelle la séance développée sera clairement identifiée. Le positionnement de cette séquence dans le cursus de la formation choisi sera précisé.**
- **Une simulation d'une leçon devant élèves. Durant cette phase, le candidat utilisera le tableau blanc, et pourra utiliser le vidéoprojecteur et le rétroprojecteur en complément.**

La leçon de technologie est la seule épreuve du concours dont l'un des objectifs explicites est l'évaluation des capacités potentielles des candidats à être capable de transmettre des connaissances adaptées à un public considéré.

Pour cela, le jury prend en compte :

- les contenus scientifique, technique et méthodologique liés à la leçon;
- la dimension épistémologique et l'articulation des savoirs;
- la dimension didactique de la leçon proposée.

Les interrogations sont complétées par l'évaluation des capacités de communication orale et écrite des candidats durant la présentation ainsi que sa réactivité durant l'entretien lors d'un dialogue portant sur les aspects technique, scientifique et pédagogique de la leçon proposée.

Compte tenu du fait que les dossiers remis aux candidats contiennent la grande majorité des informations à caractère technique et scientifique nécessaires à la leçon, le contenu technique et scientifique ne devrait pas constituer un obstacle et le candidat doit pouvoir se concentrer sur la structure pédagogique de sa leçon. **Cependant, les candidats montrant de grandes lacunes sur le thème abordé dans la leçon sont inévitablement pénalisés.**

Sans attendre d'un candidat inexpérimenté un savoir-faire pédagogique qui ne s'acquiert qu'avec l'expérience, le jury sait apprécier des constructions de séquences rigoureuses, fondées sur l'analyse des phénomènes, l'expression de paramètres influents, l'exploitation de classifications amenant les élèves à découvrir et utiliser des modèles technologiques et scientifiques pertinents.

Thèmes des leçons proposées

Pour chacun des thèmes, les leçons proposées portent sur un point du programme d'une classe précisée. Le dossier remis au candidat comprend quatre types d'informations:

- **Le niveau de formation auquel doit se situer la leçon.**
Les niveaux sont relatifs aux enseignements de Productique ainsi que d'Automatique et Informatique Industrielle dans les classes de première et terminale STI et SSI, dans les sections de techniciens supérieurs (Conception de Produits Industriels, Industrialisation des Produits Mécaniques, Etude et Réalisation des Outillages, Conception et Industrialisation Microtechniques, Mécanique et Automatique Industrielle, Maintenance Industrielle), dans les départements Génie Mécanique et Productique ou Qualité Logistique Industrielle et Organisation des IUT, ainsi que dans les classes préparatoires aux grandes écoles de type PTSI et PT. Les programmes officiels de ces formations sont fournis.
- **Les objectifs de la leçon attendue** accompagnés de recommandations générales aux candidats.
Chaque leçon est déclinée en un nombre limité **d'objectifs opérationnels à atteindre** dans le cadre d'une séquence pédagogique d'enseignement **à décrire et à justifier**.

Le jury rappelle qu'une séquence pédagogique est une suite structurée de séances de formation, positionnées dans le cursus de formation de la classe imposée, donnant lieu à des activités pédagogiques à préciser (travaux pratiques, cours, visites d'usines, activités de projet, travaux dirigés, évaluations, etc.), répondant à des objectifs de formation intermédiaires choisis pour leur pertinence et leur réalisme.

- **Des extraits significatifs de bases de connaissances.**
L'épreuve de leçon ne s'appuyant pas exclusivement sur les connaissances propres de chaque candidat, des données sont fournies sous forme de documents photocopiés ainsi que sous forme numérique.
- **Des données techniques et pédagogiques** utilisables pour bâtir la leçon attendue.
Ces documents proposent des supports techniques d'origines diverses (plans industriels, dossiers de formation, articles de revues techniques, sujets d'examens) choisis pour leur relation avec le sujet à traiter. Les candidats pourront les utiliser pour illustrer leur leçon.
Ces documents ne sont pas toujours utilisables directement et nécessitent parfois une adaptation de la part du candidat. C'est à ce dernier de trouver les bonnes conditions d'utilisation par rapport au niveau de formation concerné et aux objectifs visés.

De nombreuses images ou animations issues de simulations diverses sont parfois proposées aux candidats qui sont alors invités à les intégrer dans leurs présentations.

Sur le plan technique, les thèmes des leçons proposées relèvent des catégories suivantes :

- L'automatique et l'informatique industrielle.

Les leçons proposées dans ce champ concernent essentiellement les concepts de base des systèmes à événements discrets et de l'automatique des systèmes continus linéaires. Les candidats doivent s'attacher à présenter clairement les concepts associés aux supports proposés **en évitant de longs développements mathématiques ou des leçons « catalogue »**.

Pour les leçons proposées en post baccalauréat, le candidat doit être capable d'aborder la modélisation des systèmes en s'efforçant de faire le lien entre les modèles proposés et la réalité.

Exemples de leçons relatives à ce thème : systèmes asservis, capteurs et détecteurs...

- Les relations produit-matériau-procédé.

Le développement de l'ingénierie simultanée, la continuité et les performances de la chaîne informatique tout au long de la vie d'un produit industriel manufacturé et le développement du travail collaboratif imposent que chaque professeur de génie mécanique ait pris conscience des enjeux de la pré industrialisation des produits. Cette phase, à l'interface entre la conception préliminaire et l'industrialisation, induit une étroite collaboration entre concepteurs et fabricants. Les récents logiciels d'aide au choix des matériaux, des procédés et de simulation de tous les procédés classiques, offrent de nouvelles possibilités qui intéressent directement les techniciens de la production.

Des leçons, en particulier en BTS Conception de Produits Industriels et Industrialisation des Produits Mécaniques, sont proposées sur ce thème. Elles traitent de la justification des formes d'une pièce selon un procédé donné ou du choix d'un procédé et de la définition de la pièce associée dans une logique de travail collaboratif avec les techniciens de conception.

Exemples de leçons relatives à ce thème : obtention de pièces en moule métallique par gravité, obtention de pièces plastiques par injection...

- Les procédés primaires de mise en forme.

Il s'agit là de traiter des principaux procédés permettant d'aboutir aux formes primaires des pièces (forgeage, moulage, etc.). Dans tous les cas les objectifs proposés sont relatifs aux principes fondamentaux régissant les procédés, aux classifications permettant des choix ultérieurs et aux règles et méthodes associées aux pièces produites. Le jury tient à vérifier que les connaissances du candidat lui permettent de dégager les points fondamentaux d'une formation technologique ouverte sur les contraintes technico économiques. Les candidats se doivent de proposer une leçon motivante et intéressante, fondée sur une dynamique de confrontation avec **des études de cas, plus que sur un inventaire juste mais stérile qui n'intéresse pas les élèves**.

Exemples de leçons relatives à ce thème : le procédé de moulage au sable, le procédé d'estampage...

- Les procédés secondaires de transformation.

Si les leçons portant sur ce thème traitent essentiellement de l'usinage par enlèvement de matière, les candidats doivent être capables d'aborder précisément d'autres procédés, comme le découpage ou le pliage. Les leçons peuvent aborder des sujets pointus tels « *La production industrielle des filetages sur centre d'usinage* » comme des thématiques plus générales sur des phases de préparation des usinages telles « *Choix de stratégies d'usinage* ».

Exemples de leçons relatives à ce thème : choix et mise en œuvre des outils de coupe en tournage, étude de l'usinage de pièces sur centres d'usinage, mise en œuvre des machines à commande numérique, usinage grande vitesse...

- Les procédés tertiaires de transformation.
Il s'agit des procédés complémentaires (traitements thermiques, traitements de surface, assemblages) associés aux procédés primaires et secondaires. Les leçons attendues sur ce thème ne portent pas sur la transmission de connaissances très spécialisées dans ces domaines particuliers que les élèves pourront approfondir s'ils sont un jour confrontés à ce besoin. Il s'agit davantage **d'être capable de justifier un traitement, son processus associé et son intégration** dans la réalisation d'une pièce en vue d'obtenir un comportement attendu.

Exemple de leçons relatives à ce thème : Traitements thermiques dans la masse, intégration d'un traitement de ce type dans une gamme de fabrication, Traitements thermiques superficiels des alliages ferreux...

- Le mesurage et le contrôle.
Sur ce thème, les leçons intègrent obligatoirement le décodage des spécifications géométriques (selon la norme ISO) et à leur mesurage. Le jury apprécie la rigueur de la lecture des spécifications ainsi que la mise œuvre d'une démarche de contrôle explicite.

Exemples de leçons relatives à ce thème : mesurage de la position relative de deux surfaces, métrologie des surfaces usinées – rugosité, maîtrise statistique des procédés, cartes de contrôle et critères de capacité...

- Organisation de la production.
Les leçons portant sur ce thème vont des aspects très techniques comme la mise en place d'une démarche SMED à des aspects plus organisationnels tels que l'implantation physique d'ateliers, l'ordonnancement d'ateliers, la gestion ou le suivi d'une production.

Exemples de leçons relatives à ce thème : gestion de production de type MRP – planification – ordonnancement, production en flux tiré,...

Constats et recommandations du jury

La structuration pédagogique d'une séquence.

Comme cela a déjà été précisé, la leçon proposée s'intègre dans une séquence de formation. L'organisation de celle-ci et les objectifs visés par les séances qui la composent doivent être présentés et justifiés. Le jury attend que le candidat **justifie par des arguments liés au thème de la leçon proposée, et non par des généralités pédagogiques**, le modèle d'apprentissage retenu.

En fonction du thème proposé, le jury invite donc les candidats à utiliser toute la palette des modèles d'apprentissage comme:

- des séquences actives, porteuses de sens et de motivation, qui peuvent prendre diverses formes (activités pour découvrir et expliciter un problème, démarches actives d'analyse d'une situation, expérimentations pour constater les effets de variations de paramètres, synthèses d'activités préalables,...).
- des séquences plus traditionnelles, essentiellement transmissives, fondées sur des apports classiques de cours, TD, TP d'application et activités d'évaluation.

Le choix de la leçon présentée.

La leçon proposée au jury par le candidat doit **être au cœur du thème à traiter**.

Les candidats doivent donc éviter de traiter longuement des domaines périphériques ou annexes qui ne relèvent pas directement des objectifs opérationnels attendus. Ils doivent également expliciter

rapidement les raisons justifiant le choix de la leçon présentée et justifier les parties non présentées devant le jury.

Le jury apprécie les leçons s'appuyant sur des « problèmes techniques » pertinents et motivants, justifiant des apports de connaissance structurés et amenant l'élève à comprendre le « pourquoi » de ce qu'il apprend.

Le déroulement de la leçon.

Quelques candidats ne présentent pas de simulation de séance devant élève. Même si cela peut apparaître artificiel à certains candidats, il est nécessaire que le jury puisse évaluer les candidats en situation proche de celle d'un enseignant devant une classe. **Une partie non négligeable de la présentation de la leçon retenue doit correspondre à une séance réelle devant élèves. Toutefois, il s'agit d'une simulation et il ne faut pas attendre du jury la moindre participation.**

La structure pédagogique d'une séance de travaux pratiques.

Les candidats ne présentent pas toujours le contenu précis des séances de travaux pratiques, alors que les enseignements de productique ou d'All sont majoritairement dispensés sous cette forme.

Le jury conseille donc aux candidats de ne pas hésiter à proposer des scénarii d'activités de travaux pratiques définissant, par exemple, les éléments suivants:

- l'objectif de formation visé défini de façon précise;
- la fiche de formalisation des connaissances visées associée au TP, s'il s'agit d'un TP de découverte, récapitulant les acquis nouveaux que l'élève doit retenir;
- le problème technique proposé à l'élève, donnant du sens aux activités du TP;
- le scénario d'activités attendues, complété par les aides techniques et les bases de données mises à disposition durant le TP.

Une visite d'entreprise ou un TP positionné avant une leçon ne constitue pas en soi une démarche inductive. Les activités placées en amont du cours et les observations qui en découlent doivent apporter des éléments pédagogiques déterminants pour le déroulement de la leçon.

L'utilisation des supports numériques.

Le développement des outils numériques et des outils de présentation modifie en profondeur l'acte de formation. Certaines leçons ne peuvent plus se faire sans utiliser des illustrations extraites de ces outils.

Le choix a été fait de ne fournir que des éléments traités (images, vidéos, présentations, articles). Les candidats n'ont donc pas, dans cette épreuve, à manipuler des logiciels spécialisés. Il leur suffit de savoir maîtriser les outils de base des technologies de l'information et de la communication pour être capable d'intégrer des éléments choisis dans les diapositives de leur présentation.

La qualité des leçons observées.

Le jury constate que certains candidats cherchent à contourner le travail attendu soit :

- en ne présentant pas de leçon ;
- en développant une partie annexe à la leçon demandée ;
- en se réfugiant volontairement vers un niveau trop élevé ou trop faible ;
- en restituant au tableau des documents non adaptés aux élèves ciblés.

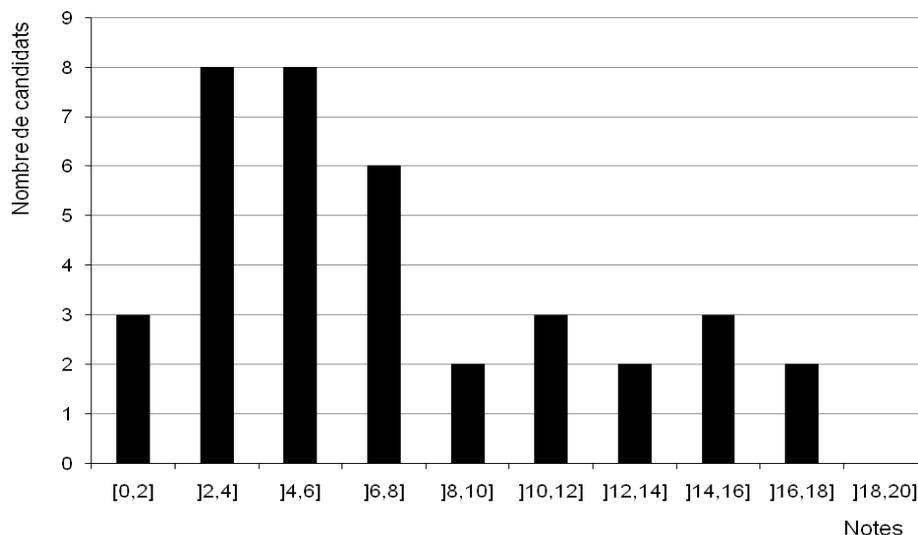
Cette attitude pénalise fortement le candidat.

Toute leçon de technologie doit faire ressortir les principes techniques que les élèves doivent comprendre et apprendre. Elle ne doit pas se limiter à un catalogue de « recettes » opérationnelles ou à un inventaire de données permettant à un technicien d'agir sans comprendre.

L'adéquation du niveau de la leçon et celui que doit atteindre l'élève est fondamentale. L'épreuve n'est pas destinée à juger le niveau scientifique du candidat, même si la faiblesse de ce niveau le pénalise, mais à appréhender sa capacité à transmettre les éléments nécessaires à l'élève pour l'amener d'un niveau **de connaissance identifié vers un niveau ciblé.**

Une leçon de synthèse ne peut se limiter à une simple reformulation des découvertes antérieures des élèves, mais doit permettre au professeur d'organiser, de compléter, de structurer, et de hiérarchiser des connaissances partielles découvertes en amont et relatives à un objectif de formation précis. Ce type de leçon se doit d'apporter une véritable « valeur ajoutée » pédagogique.

Distribution des notes



La moyenne générale de l'épreuve est de 7,76 sur 20 et l'écart type de 4,81.

Conclusions générales

Le jury regrette que quelques candidats ne répondent pas complètement aux attentes de l'épreuve. Le candidat doit présenter au jury :

- **La séquence pédagogique dans laquelle s'insère la leçon retenue, en justifiant ses choix ;**
- **La leçon telle qu'il la présenterait à des élèves, avec l'utilisation du tableau blanc et du rétroprojecteur ou du vidéoprojecteur si nécessaire.**

Malgré l'absence d'expérience professionnelle d'enseignement de certains candidats, le jury s'efforce d'identifier les qualités potentielles de ces candidats par rapport à leur projet professionnel et sait « oublier » certaines maladresses techniques ou pédagogiques.

L'épreuve de leçon ne doit pas se limiter à une simple description de la séquence pédagogique proposée. Il est indispensable que les candidats justifient leur réflexion préalable sur les objectifs visés, l'organisation d'une séquence, la structure d'une leçon, l'identification de l'objet de l'évaluation. De plus, ils doivent montrer de réelles capacités de communication écrite et orale, de réactivité et de dynamisme. Il est également important que les candidats fassent preuve d'un état d'esprit innovant en pédagogie, en imaginant des scénarii de formation variés, mettant en œuvre de manière maîtrisée et réaliste les outils informatiques.

Le jury met en garde les candidats concernant une utilisation abusive du vidéoprojecteur. C'est certes un outil précieux de communication, mais cela ne saurait remplacer l'utilisation du tableau avec le souci d'obliger les élèves à conserver des traces des connaissances essentielles apportées par la leçon présentée.

La technologie se doit de participer à la maîtrise de la langue, au même titre que les autres disciplines. Aussi le jury exige du candidat un développement écrit de la leçon sur tableau blanc.

Enseigner et former devient une activité de plus en plus complexe qui nécessite la maîtrise de compétences multiples, en sciences et techniques, en informatique, en communication, en pédagogie et en didactique... Une réflexion pédagogique forte est attendue sur l'ensemble des thèmes de leçons proposés. Il semble difficile de mûrir une réflexion profonde sur ces thèmes uniquement pendant le temps de préparation imparti à l'épreuve. Le jury n'a pas de préjugé dogmatique sur le choix de la pédagogie employée par le candidat, pourvu qu'elle soit justifiée et qu'elle corresponde au niveau ciblé.

RAPPORT DE L'ÉPREUVE DE SOUTENANCE D'UN DOSSIER INDUSTRIEL

M. RAGE - P. RAY - O. ROSSI - R. RIGAUD – A. DUGAS

Cette épreuve impose aux futurs professeurs de s'engager, dès leur début de carrière, dans un processus de rapprochement avec le monde de l'entreprise. Elle doit amener le candidat à conduire personnellement une analyse technique et économique d'un problème industriel authentique relatif à l'industrialisation et à la réalisation de produits mécaniques.

Cette analyse peut être soit à l'initiative de l'entreprise soit à celle du candidat mais dans les deux cas menée en coopération. Elle débouchera impérativement sur la résolution du problème technique industriel identifié ; la résolution de ce problème sera conduite par le candidat.

Ce compte rendu vise à mettre en évidence les caractéristiques de l'épreuve et les attentes du jury, afin de permettre aux candidats de conduire leur préparation dans les meilleures conditions.

Les textes réglementaires définissant l'épreuve

L'épreuve est définie par deux textes :

- la définition réglementaire (BO n° 38 du 21 octobre 2004)
- l'additif (BO spécial n°7 du 1^{er} juillet 2004) précisant la constitution du dossier industriel :

Soutenance d'un dossier industriel de production

Le dossier préparé par le candidat ne doit pas dépasser cinquante pages. Il ne peut se réduire à une simple compilation de documents industriels ou de documents issus de constructeurs. Il doit être organisé et mis en forme par le candidat qui ne retient que les éléments indispensables à la compréhension et aux études qu'il a choisi de développer. Il contient :

- les plans et documents techniques nécessaires à la compréhension du système de production et du produit considérés. Les fichiers informatiques (maquette numérique, simulations diverses, programmations, etc.) sont fournis sur un cédérom joint au dossier ;
- le dessin de définition de la ou des pièces dont la production est étudiée. Les problèmes d'industrialisation (justification du triptyque produit-matériau-procédé), de cotation et de tolérance normalisés, sont explicités ;
- les études conduites exploitant les connaissances attendues d'un professeur agrégé dans le domaine du génie mécanique et de la production industrielle doivent respecter les contraintes suivantes :
 - . Actualité du procédé et des moyens mis en oeuvre ;
 - . Traitement d'un problème pertinent au regard du support utilisé ;
 - . Non limitation de l'étude à des problèmes pointus afin de permettre au candidat de mettre en évidence sa capacité à s'approprier l'économie générale d'un environnement de production ;
 - . Prise en compte des exigences de la qualité en référence aux spécifications du produit ;
 - . Prise en compte de données technico-économiques contraignant la réalisation et la qualification du produit.
- les simulations (de fonctionnement, de comportement, de procédés, ...), lorsqu'elles sont utiles, sont obtenues à partir de logiciels exploitant autant que possible les possibilités d'intégration offertes par les modeleurs de nouvelle génération.
- toutes les informations permettant de justifier les choix techniques réalisés pour la production étudiée et/ou les évolutions projetées.
- une proposition succincte (une ou deux pages au maximum) d'exploitation(s) pédagogique(s) pouvant être liée(s) à tout ou partie des travaux développés. Chacune doit indiquer le niveau de classe retenu, les objectifs terminaux et intermédiaires visés et expliquer en quoi ce choix peut être efficace. Cette partie doit rester très limitée à des intentions et ne

pas faire appel à des connaissances et des applications fines de démarches pédagogiques particulières.

Pour la soutenance du dossier, le jury met à la disposition du candidat un environnement informatique dont le détail (matériel et logiciels) est publié annuellement. À défaut de vouloir utiliser ce matériel, le candidat se munit d'un ordinateur portable disposant des logiciels qui lui sont nécessaires et qu'il peut connecter sur un vidéo projecteur mis à sa disposition.

Afin de préparer son environnement de présentation, la salle d'exposé lui est ouverte une heure avant sa présentation.

Le déroulement de l'épreuve de la session 2010

Avant la soutenance proprement dite, le candidat dispose d'une heure pour préparer l'environnement nécessaire à son exposé. Un poste informatique avec vidéo projecteur et un rétroprojecteur sont mis à sa disposition.

A l'heure prévue pour la soutenance, le jury rejoint le candidat dans la salle ainsi préparée. Le candidat expose alors pendant une durée maximale d'une demi-heure. A l'issue de l'exposé, le jury interroge le candidat sur différents points du dossier, se confortant ainsi dans l'idée qu'il s'agit bien d'un travail personnel résultant d'un échange approfondi avec une entreprise industrielle sur un problème de production authentique.

Les attentes du jury, les critères d'évaluation

Le jury attend qu'au travers de l'épreuve de soutenance de dossier industriel les candidats démontrent leur capacité à conduire des investigations prenant en compte de réels problèmes techniques posés au sein d'un système de production.

Ces investigations doivent déboucher sur un travail personnel d'analyse sérieuse, de propositions de solutions techniques répondant aux problèmes posés, le tout démontrant la maîtrise d'une démarche scientifique pertinente complétée si cela est possible par des résultats d'expérimentation. Le niveau de confidentialité ne devra pas nuire à la constitution du dossier et au dialogue avec le jury.

Par ailleurs les éléments suivants sont déterminants pour un futur enseignant en sciences et techniques industrielles :

- aptitude à constituer un dossier avec les outils modernes de la PAO ;
- maîtrise des outils informatiques de simulation, de CAO et de FAO ;
- savoir faire en communication technique.

Le candidat s'attachera à produire des documents techniques conformes aux normes en vigueur.

L'évaluation s'adosse sur l'aptitude du candidat à :

- construire un dossier qui sera apprécié au travers de :
 - sa structuration autour du problème technique résolu ;
 - sa qualité rédactionnelle, notamment au travers de la maîtrise de la langue ;
 - la réalité industrielle du problème traité ;
 - la pertinence des développements techniques et scientifiques proposés ;
 - la rigueur technique et scientifique des analyses.
- exposer de manière claire et structurée la problématique retenue dans le dossier. Le jury appréciera ainsi :
 - sa démarche auprès de l'entreprise ;
 - le problème technique identifié ;
 - les axes de résolution choisis ;
 - l'engagement du candidat dans cette résolution ;
 - les étapes clés de la démarche ;

- l'interaction avec l'entreprise à l'issue de l'étude ;
- Établir une proposition pédagogique succincte mais cohérente avec la problématique choisie.

Le jury appréciera en outre, la rigueur du vocabulaire et la qualité de l'expression orale du candidat, la pertinence des réponses aux questions qui lui seront posées.

Typologie des dossiers présentés en 2010

Les différents dossiers soutenus à la session 2010 peuvent être classés en huit catégories, les deux premières correspondent au cadre de l'épreuve :

- Les dossiers traitant d'une problématique industrielle orientée "procédé ou/et processus" à l'initiative de l'entreprise ou du candidat.

Ces dossiers se caractérisent par un contexte industriel bien appréhendé par le candidat, les conduisant à une analyse et une étude pertinente d'un problème industriel authentique. Celui-ci concerne aussi bien la mise au point de procédé que la qualification ou l'optimisation de processus ou encore l'organisation de la production. Ce type de dossier, très apprécié par le jury, est celui qui est le plus conforme à la définition de l'épreuve.

- Les dossiers traitant d'une problématique industrielle orientée "automatisation en production" à l'initiative de l'entreprise ou du candidat.

Ces dossiers sont de même nature que les précédents, mais appliqués à un champ disciplinaire différent. Il est dommage que les problèmes liés à l'automatisation de procédé et processus ne soient pas plus abordés par les candidats alors que de nombreux problèmes de production mériteraient une investigation approfondie dans le domaine de l'automatique.

Celles qui suivent ne respectent pas la définition de l'épreuve et sont sévèrement sanctionnées par le jury :

- Les dossiers "scolaires" utilisant une pièce issue du monde industriel, pour faire valoir des savoirs et savoir-faire universitaires du champ de la discipline.

Il s'agit là de dossiers dans lesquels les candidats, ayant extrait une pièce d'un contexte industriel (avec une connaissance insuffisante de l'environnement), appliquent à cette pièce des démarches et procédures mobilisant des outils théoriques parfois de haut niveau sans mettre en relation calculs et conclusions avec la réalité d'un problème industriel authentique. L'absence fréquente d'éléments conclusifs pertinents a pénalisé ce type de dossier jugé artificiel sur le plan de la relation entre les mondes de l'entreprise et de la formation.

- Les dossiers portant sur la description ou l'optimisation des procédés ou processus ne développant pas d'approche scientifique avec le niveau requis pour le concours.

Le traitement complet d'un processus de production étudié en BTS IPM ou d'un thème de BTS MAI en est un exemple.

- Les dossiers des candidats surpris d'être admissibles à l'agrégation.

Il s'agit là de dossiers construits dans l'urgence, souvent prélevés d'un travail collectif, et dont l'adéquation à l'épreuve est bien souvent négative.

- Les dossiers « exposé technologique ou visite technique »

Ces dossiers sans contenu scientifique ou technique présentent sous forme d'exposés des procédés originaux ou un processus industriel sans analyse associée à une problématique approfondie.

- Les dossiers des candidats ne répondant pas aux exigences de l'épreuve.

Une faible minorité de candidats construisent leur dossier à partir de problèmes de conception et non d'industrialisation ou de réalisation.

- Les dossiers déjà présentés lors d'une session précédente

Compte tenu de l'effet mémoire, il est fortement conseillé aux candidats d'enrichir de façon conséquente leur dossier par le développement d'une nouvelle problématique ou par l'approfondissement réel de celle déjà abordée.

Constats et recommandations du jury

A propos de la problématique

Une des lacunes récurrentes constatée par le jury concerne l'absence de problème technique et de traitement associé. Identifier une problématique industrielle ne consiste pas à dérouler un schéma type : diagramme des interacteurs, FAST, description relation Produit – Procédé - Matériau, description d'une réalisation (gamme d'usinage etc...).

La compréhension de la problématique passe bien sûr par une mise en situation qui doit éviter au candidat de ne rien savoir sur l'environnement du produit, situation qui témoigne d'un manque de curiosité peu apprécié. La relation entre le produit associé à son environnement et les contraintes de l'industrialisation a permis à plusieurs candidats de bien clarifier leur présentation. De même, les éléments les plus pertinents du dossier d'industrialisation de l'entreprise doivent être mis en valeur par le candidat. Ces éléments, nécessaires à la compréhension du dossier ne sauraient en aucun cas en constituer le corps principal.

L'articulation "produit-procédé-matériau" est souvent fort importante pour une bonne compréhension de la problématique. Malgré tout, elle ne doit pas systématiquement conduire à des développements importants où l'artifice prend le pas sur la logique et la cohérence, par l'utilisation d'indices de performance dénués de sens.

Le jury ne considère pas que le prélèvement d'une pièce lors d'un passage en entreprise soit suffisant pour dégager un problème industriel authentique : l'entretien a largement confirmé ce point de vue par l'ignorance dans laquelle se trouvait le candidat des conditions de l'industrialisation et de la réalisation de la pièce étudiée. De même, un exposé simplement descriptif d'un processus ou d'un procédé ne peut être en aucun cas un niveau de réponse suffisant aux exigences de cette épreuve.

La construction du dossier

La majorité des dossiers sont bien présentés et leur construction est assez souvent cohérente. Cependant, ils souffrent parfois d'une structure archétypique qui ôte trop de liberté aux développements. Il n'y pas de modèle unique tant les préoccupations, et donc les poids relatifs des parties, peuvent être différents.

Les candidats doivent veiller à proposer des documents graphiques aux normes en relation avec l'étude menée. Le jury pourra toutefois être amené à demander les documents originaux de l'entreprise. En cas d'informations mentionnées « confidentielles » le jury s'engage à ne pas les reproduire ou les divulguer à des personnes extérieures pour que cet aspect ne constitue pas un obstacle pour le candidat.

Les candidats veilleront à ne pas rechercher de procédé ou de système technologique trop original conduisant à une prestation purement descriptive et sans apport personnel.

Quel que soit le sujet analysé procédé ou processus, les éléments de définition du produit et de la pièce étudiée (cahier des charges fonctionnel du produit, dessin de définition, documents graphiques descriptifs du ou des outillages...) doivent être associés au dossier.

Les fichiers informatiques font partie du dossier. Ils ne peuvent donc pas se limiter au dossier proprement dit. S'ils peuvent aider à une présentation du contexte, ils doivent aussi contribuer à une bonne perception des études et des simulations avec les conditions de leur réalisation.

Dans sa courte partie pédagogique, le dossier doit présenter des propositions. Celles-ci, outre la situation calendaire et la conformité aux référentiels et programmes, doivent mettre en situation la ou les activités proposées et leurs finalités pédagogiques. La pertinence de l'application pédagogique au regard du support proposé et du problème technique associé est appréciée par le jury.

L'exploitation pédagogique doit mettre en évidence :

- les objectifs de formation en conformité avec les référentiels et programmes ;
- l'identification des connaissances à acquérir par l'apprenant ;
- la mise en évidence de l'adéquation entre l'utilisation de la problématique développée dans le dossier avec les objectifs de formation et les connaissances visées.

La soutenance

La soutenance est un exercice particulier qui ne peut se concevoir comme un simple affichage des pages du dossier. La plupart des exposés sont de bonne facture pour ce qui concerne les outils de présentation. Les candidats ont bien compris qu'il ne fallait pas perdre de temps dans une recopie au tableau des informations qui figurent dans les diaporamas, le jury disposant du dossier et donc d'une mémoire de la structure de la présentation.

Les nombreuses simulations proposées par les candidats ont montré que si l'outil informatique est bien maîtrisé, les modèles qui régissent les comportements ou les conditions aux limites sont quelques fois absents des interprétations. Une grande sagacité s'impose donc dans leur mise en œuvre comme dans leur exploitation.

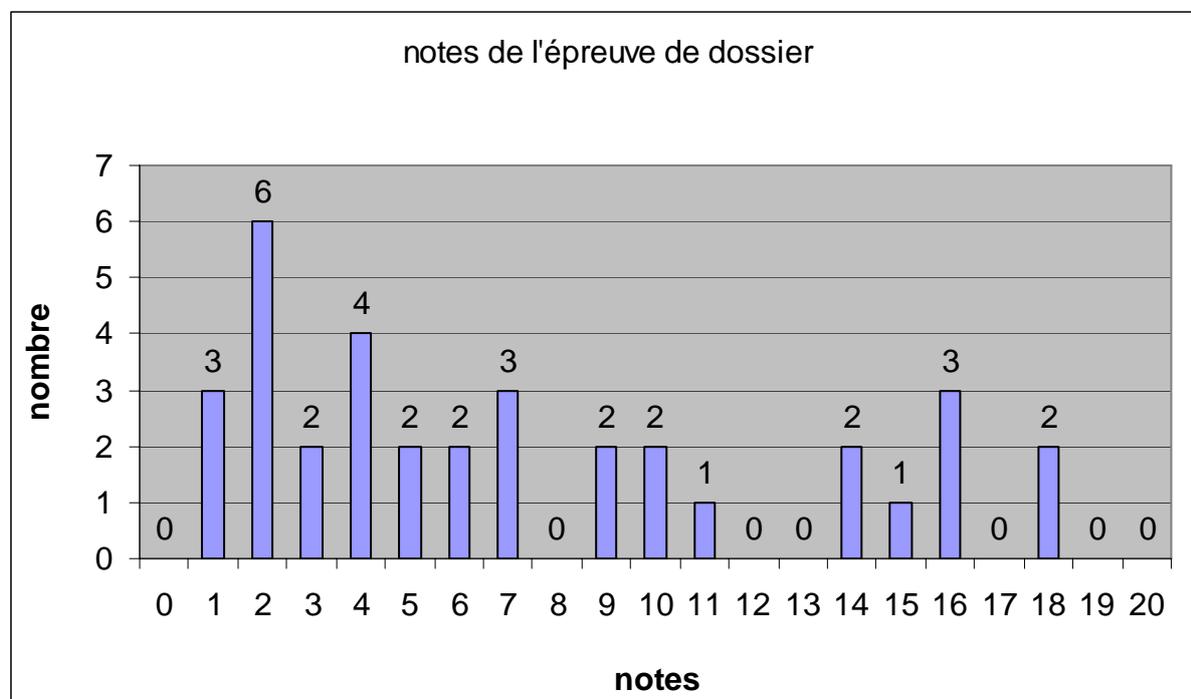
Par ailleurs, les candidats doivent être attentifs à ne pas donner d'informations non justifiables ou dont ils ignorent la réalité, tout comme ils doivent éviter d'utiliser des mots dont le contenu leur est étranger. Nombre d'entre eux ont reçu en retour une question demandant des précisions qui ont bien sûr manquées !

Les réponses aux questions du jury et la communication

Les questions posées par le jury permettent d'approfondir quelques-unes des informations données par le candidat, dans le dossier autant que dans l'exposé et à renforcer au sein du jury la conviction que le dossier présenté résulte bien d'un travail personnel.

Les réponses absentes ou évasives relatives au contexte de l'industrialisation, de la réalisation ou de l'automatisation sont peu appréciées car elles témoignent d'un réel manque d'investigation au sein de l'entreprise.

Histogramme des résultats



La moyenne générale de l'épreuve est de 7,13 sur 20.

Conclusions générales

Pour réussir cette épreuve, il y a lieu de s'appuyer sur une étude authentique issue du milieu industriel, dans laquelle un ou plusieurs problèmes techniques ou économiques sont appréhendés.

A travers la résolution totale ou partielle d'un ou plusieurs de ces problèmes, le candidat doit mobiliser ses connaissances avec rigueur scientifique et technique.

Au cours de la présentation devant le jury, il doit faire apparaître sa maîtrise de l'étude, la part de sa réflexion personnelle et faire preuve de qualité de conviction et de communication.

Le dossier qui caractérise cette épreuve s'inscrit dans la démarche que doit conduire tout enseignant de génie mécanique pour lui permettre d'exploiter, à des fins d'enseignement, des supports industriels réels, faire apparaître les problèmes techniques et économiques soulevés et les solutions retenues pour les résoudre.

Déroulement de l'épreuve 2011

Les modalités de l'épreuve de dossier pour 2011 évolueront. Les candidats à cette session sont invités à consulter les documents officiels.

RAPPORT RELATIF A L'EPREUVE DE TRAVAUX PRATIQUES

A. ATTARD – R. BÉARÉE - M. BERÇOT– H. CHANAL
J.M. DESPREZ - K. KOUISS - P. LE PIVERT - G. POULACHON -

1. REMARQUES GENERALES

Avec ses différents supports et procédés, l'épreuve de travaux pratiques a pour vocation d'évaluer la capacité de futurs enseignants à :

- appréhender un procédé ou un système par l'observation attentive des conditions technico-économiques de sa mise en œuvre ;
- s'approprier des problématiques techniques ;
- mobiliser des connaissances scientifiques et techniques pour résoudre un problème réel ;
- conduire une expérimentation en vue d'une validation d'hypothèses et/ou de modèles ;
- faire l'analyse critique des résultats obtenus dans une logique d'obtention de la qualité requise et/ou d'amélioration de la productivité.

Chaque travail pratique proposé aux candidats intègre tout ou partie des activités suivantes :

- analyse des données d'industrialisation et du contexte proposé de mise en œuvre ;
- identification des problèmes techniques ;
- définition d'un protocole d'expérimentation ;
- mise en œuvre des équipements et réalisation de l'expérimentation ;
- mesure et analyse des résultats ;
- proposition d'évolution des conditions de réalisation et validation des solutions proposées par la mise en œuvre finale.

La mise en œuvre totalement maîtrisée des machines et procédés n'est pas déterminante pour réussir cette épreuve.

2. DEROULEMENT DE L'EPREUVE

2.1. Exécution du travail pratique, durée 7 heures

Dans le cadre de la résolution d'un problème technique, le candidat est conduit à mettre en œuvre des systèmes automatisés ou des équipements relatifs à différents procédés de fabrication : assemblage, formage, usinage.

La maîtrise des connaissances fondamentales dans les domaines de la fabrication, la métrologie, la mécanique et l'automatique est indispensable pour mettre en œuvre les différents équipements proposés aux candidats et résoudre les problèmes techniques auxquels ils sont confrontés.

La maîtrise de démarches expérimentales structurées, de méthodes d'investigation et de résolution de problèmes et de traitements des données recueillies fait partie des exigences de cette épreuve.

Un membre du jury assure pour chacun des candidats, un suivi tout au long des 7 heures de mise en œuvre afin :

- de lui présenter le matériel mis à sa disposition ;
- de l'assister en cas de difficulté matérielle ;
- de l'aider à respecter le cadre de l'étude ;
- de procéder à une première évaluation entrant dans l'élaboration de la note finale.

Pour cette phase de préparation de 7 heures, les critères d'évaluation sont les suivants :

- Capacité à mobiliser des connaissances scientifiques et techniques :
 - validité des hypothèses formulées ;
 - pertinence des modèles utilisés ;
 - qualité du raisonnement et structuration de l'analyse ;
 - maîtrise des connaissances scientifiques et technologiques mobilisées ;
 - pertinence des expérimentations conduites ;
 - justesse de l'interprétation des résultats.
- Capacité à mettre en œuvre des équipements :
 - autonomie et dynamisme dans la mise en œuvre des matériels ;
 - qualité et pertinence de la mise en œuvre ;
 - qualité de l'organisation du poste de travail.

Commentaires relatifs à la phase d'exécution du travail pratique

Lors de l'étude proposée au candidat, doivent être mobilisées des compétences relatives :

- à la mise en œuvre et à la maîtrise des moyens ;
- à la définition d'un protocole d'expérimentation ;
- à l'exploitation scientifique des résultats.

Plusieurs candidats ont bien compris les objectifs de l'épreuve. Néanmoins les commentaires ci-dessous pointent des axes de travail pour les candidats désireux de se préparer à l'épreuve.

Au titre de la définition d'un protocole d'expérimentation, il est constaté, pour certains candidats, une méconnaissance des indicateurs de performance d'un processus. Le manque de définition d'une stratégie d'expérimentation conduit trop souvent le candidat à une perte de temps.

Au titre de la mise en œuvre, on observe trop souvent une ambition qui se limite à la réalisation d'une pièce, sans se soucier de problèmes identifiables dans nombre de procédés : mise en position, maintien en position, identification et quantification des grandeurs de pilotage et de réglage. La métrologie d'une pièce ne peut se limiter à l'analyse des spécifications souvent correctement faite. Les propositions de gammes de mesure manquent bien souvent de réalisme et l'utilisation d'une MMT ne peut être la seule réponse à un besoin de mesurage. Pour les automatismes, le jury constate que les connaissances des candidats sur les techniques d'implémentation des modèles de commande sont toujours en progrès.

Au titre de l'exploitation scientifique des résultats, nombre de lacunes dans les connaissances théoriques usuelles ne permettent pas une analyse correcte. Les bases de la statistique et leur exploitation en production (loi normale, taille des échantillons, exploitation des résultats...), la modélisation isostatique comme la détermination des spécifications de fabrication sont insuffisamment maîtrisées. Les résultats

annoncés ne sont jamais associés à des incertitudes. Les candidats éprouvent fréquemment des difficultés à justifier et mettre en place des actions correctives.

La réussite de cette phase d'exécution du travail pratique nécessite un équilibre entre ces trois composantes. Les difficultés rencontrées par certains candidats sont préoccupantes pour des enseignants ou de futurs enseignants amenés à concevoir et encadrer des séances de travaux pratiques.

2.2. Présentation des travaux réalisés et entretien avec le candidat, durée 1 heure

Le candidat dispose de 30 minutes pour présenter son investigation menée pendant le travail pratique. Il s'agit d'un exposé scientifique et technique de haut niveau qui doit mettre en évidence la démarche utilisée, exploiter les résultats des manipulations et proposer des interprétations et des conclusions.

Les questions posées, pendant 30 minutes, à l'issue de l'exposé ont pour but essentiel d'aider le candidat à valoriser ses compétences. Le jury attend des réponses claires et concises ; seuls les points exposés ou contenus dans le sujet font l'objet d'approfondissements lors de cette phase d'entretien.

Les critères d'évaluation pour l'exposé et l'entretien sont les suivants :

- présentation de la problématique, justification de la démarche, exploitation des résultats :
 - qualité du raisonnement et structuration des résultats de l'analyse ;
 - justification des hypothèses formulées ;
 - justification des modèles utilisés ;
 - justesse de l'interprétation des résultats ;
 - qualité de la communication et précision du vocabulaire employé.
- réponses aux questions posées :
 - maîtrise des connaissances scientifiques et technologiques ;
 - pertinence des réponses aux questions posées ;
 - réactivité face au questionnement et précision de la réponse.

Commentaires relatifs à la phase de présentation du travail pratique.

Les candidats doivent avoir pour objectif de montrer leur capacité à comprendre les différents problèmes posés et à confronter l'analyse théorique conduite avec les résultats de leur expérimentation en gardant un esprit d'analyse critique.

Si la description du contexte de l'étude est nécessaire, il est important de rappeler que la présentation doit principalement porter sur la problématique abordée et sur la démarche mise en œuvre pour y apporter une réponse. Les candidats doivent s'attacher à décrire et expliquer les actions conduites et surtout à formuler les conclusions de leurs expérimentations. Un manque d'analyse du problème technique ne doit pas conduire à mener des essais désordonnés. Un manque d'expérimentation ou de mise en œuvre ne peut être remplacé par un exposé de manipulations supposées.

Il est conseillé aux candidats de se préparer à une meilleure gestion du temps, quelques uns ayant limité leur intervention à 10 ou 15 minutes.

Trop de candidats se contentent lors de l'exposé de présenter une réponse à chacun des items de guidance proposés dans le texte du sujet. Le jury apprécierait une meilleure synthèse du travail et une plus grande qualité des documents projetés, des croquis et des écritures au tableau.

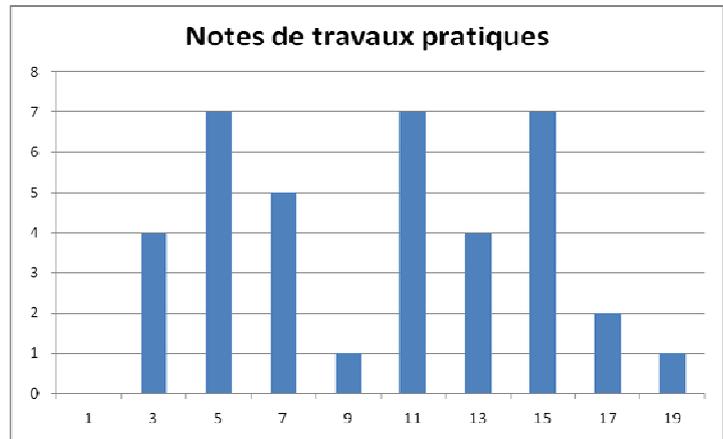
Si ces recommandations s'adressent à de nombreux candidats, le jury a été sensible au dynamisme de certaines prestations et à des présentations d'une qualité remarquable.

2.3. Histogramme des résultats

Remarque : Pour 39 candidats admissibles, 3 candidats ne se sont pas présentés à l'épreuve.

L'histogramme ci-contre ne les prend pas en compte.

La moyenne est de **10,1**.



3. THEMES D'ETUDES DES TRAVAUX PRATIQUES

Pour chacun des thèmes abordés, décrits succinctement ci-dessous, plusieurs travaux pratiques ont été proposés aux candidats. La métrologie et/ou le contrôle font quasi systématiquement partie des activités proposées aux candidats, tout comme l'utilisation d'éléments logiciels de la chaîne numérique.

1. Étude de préindustrialisation

L'adaptation du produit aux procédés ou processus de fabrication peut amener à la modification de sa définition – formes et spécifications géométriques ou mécaniques, adaptation du choix du matériau. La réalisation d'un prototype vient alors valider les hypothèses formulées.

2. Limites des procédures de réglages externes

La mise au point d'une production impose de nombreux pré-réglages externes qui ne sont pas sans conséquences sur les résultats obtenus. Plusieurs activités permettent d'apprécier l'influence des différents éléments de la chaîne numérique et de la boucle machine/porte-outil/outil/porte-pièce/pièce, et d'en déduire des règles limitatives d'emploi de ces réglages externes.

3. Optimisation sous contraintes technico-économiques

En fonction d'un contexte technico-économique particulier, les candidats sont amenés à définir les conditions optimales d'emploi des procédés, des outils et/ou des outillages. Le cas échéant cette recherche peut s'appuyer sur un plan d'expériences.

4. Recherche et validation d'un processus sous contraintes géométriques ou de déformation

Des spécifications géométriques et dimensionnelles peuvent amener des contraintes portant sur le processus, le choix d'outils, le choix de conditions de coupe, le choix des porte-pièces. Plusieurs travaux pratiques proposent d'analyser l'effet de ces contraintes, de conduire des expérimentations et de conclure sur les valeurs des paramètres à utiliser et la validité du processus envisagé.

Les comportements de la pièce ou de l'outil lors de l'usinage peuvent entraîner des déformations ou des contraintes particulières qu'il est nécessaire de quantifier pour envisager des actions correctives. Elles nécessitent la modélisation des efforts de coupe et de bridage puis la recherche des conditions aux limites permettant une approche par simulation.

5. Analyse et réglage d'un système asservi

Pour les systèmes automatisés continus, les travaux pratiques sont construits de telle manière à ne négliger aucune des parties constitutives d'un asservissement. Le candidat est amené à traiter des questions relatives à la chaîne d'acquisition (capteurs TOR, codeurs, résolveurs), aux éléments de sécurité, aux boucles d'asservissement, à la compensation des défauts mécaniques (jeux, frottement, défauts géométriques).

6. Analyse et programmation d'un système séquentiel

Pour les systèmes automatisés séquentiels, les travaux pratiques s'intéressent au développement de la commande. Les candidats sont amenés à faire des études de gestion de modes de marches et d'arrêt pour différents postes en prenant en compte les aspects de sûreté de fonctionnement, puis à traduire les résultats de leurs analyses en « programmes automates » en utilisant les environnements de programmation mis à leur disposition.

Pour cette session, les travaux pratiques retenus pour la partie fabrication sur les procédés sont les suivants :

- l'usinage par enlèvement de matière sur machines à commande numérique de 2 à 5 axes ;
- l'usinage grande vitesse sur centre d'usinage ;
- le décolletage sur tour multiaxes à alimentation automatique ;
- le grignotage ou pliage sur machine à commande numérique ;
- le soudage sur poste robotisé ;
- l'emboutissage ;
- l'injection plastique.

Pour le domaine des automatismes industriels, les supports exploités ont été :

- une unité d'assemblage à transfert libre ;
- une unité de transitique de cellule flexible ;
- un axe de commande numérique ;
- une machine numérisée trois axes.