

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.

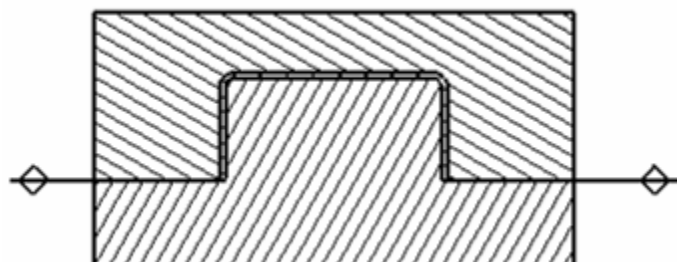
L'analyse de la concurrence impose que le coût de production de la dentelle ne doit pas dépasser 0,5 Euros.

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

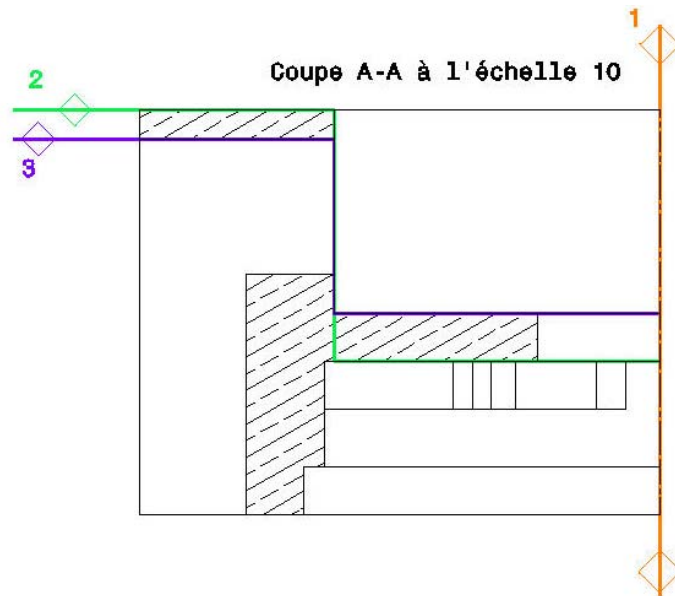
Question 2. Donner la définition d'un plan de joint

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.

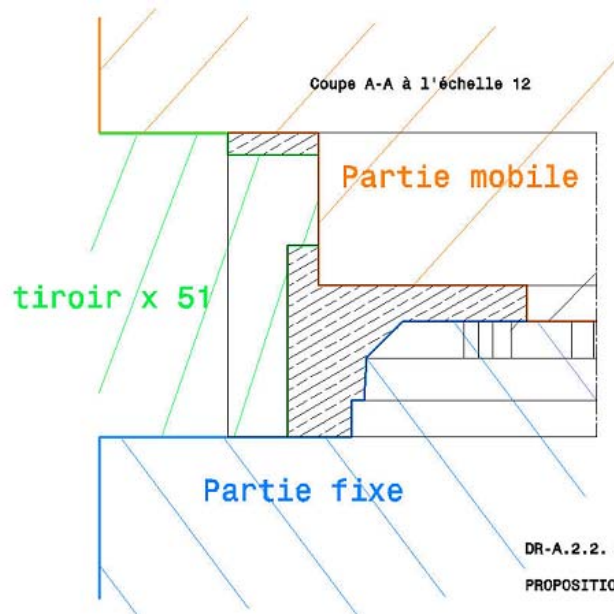
Plan de joint N°	Critères liés au moule	Critères liés à la pièce finie
1	<i>Solution peu commune à la vue de la forme de la pièce qui entraîne un moule complexe avec 2 tiroirs principaux ayant une grande course. Hauteur des empreintes importante. Système de dégagement des poches nécessaire car en contre 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/m^3 ;
- Volume de la dentelle : $3,01 \text{ cm}^3$;
- 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 :

$1020 \times 3,01 \times 10^{-6} \times 4 = 0,01228 \text{ euros}$

Coût unitaire = $[(222\ 400 + 0,01228 \times 800\ 000) \times 100 / 30] / 800\ 000 = 0,9676 \text{ euros}$

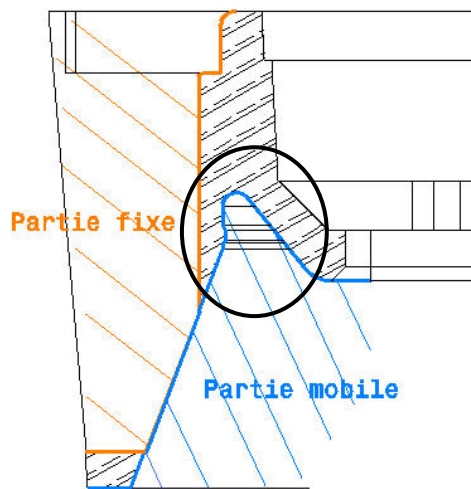
Ce coût est largement supérieur à celui à ne pas dépasser de 0.5 euros. Le prix de la matière première ne pouvant pas être diminué, il faut diminuer le prix de l'outillage. Celui ci est très coûteux en raison de ses 51 tiroirs. Il faut donc modifier le produit pour simplifier le moule par un travail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

1.3 - Adaptation du produit au procédé

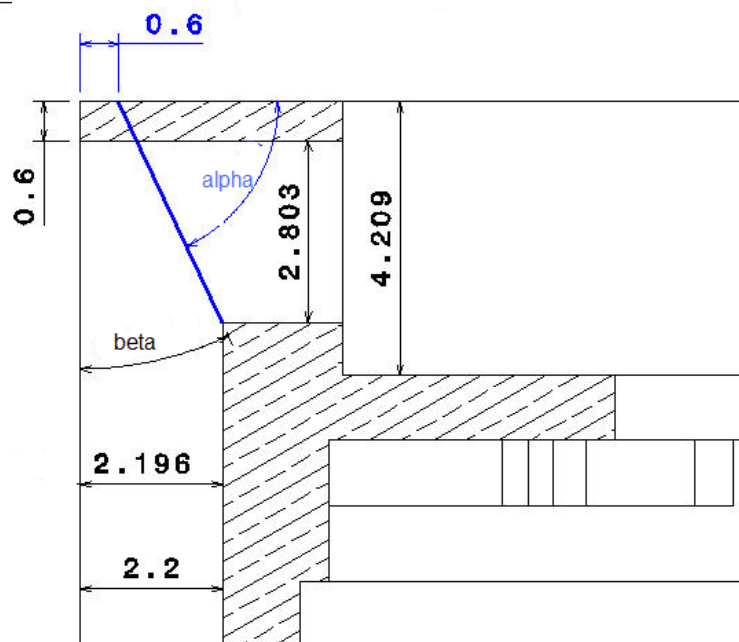
L'entreprise cherche à diminuer le prix du moule quatre empreintes en faisant évoluer le produit dentelle en relation avec le bureau d'étude. Elle aboutit à la définition finale de la dentelle présentée sur le Document Technique DT-2

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

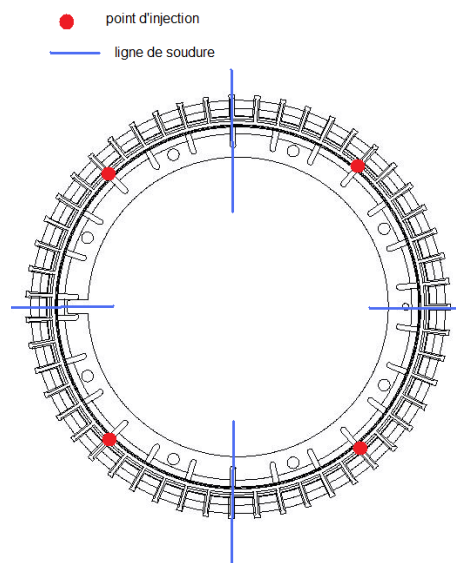
Le Document Technique DT5 présente les simulations sur CADMOULD RAPID de l'injection de la dentelle. Les différentes simulations justifient de prévoir quatre points d'injection.

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

Paramètres :

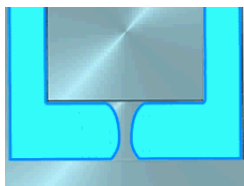
- Pression d'injection : 1000 MPa ;
- Matière : matière plastique de la partie 1.1 - Choix du matériau de la dentelle ;
- Débit : $10\text{cm}^3/\text{s}$;
- Température moule : 90°C ;
- Température d'injection : 290°C .

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 centaine 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 défouçage 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.

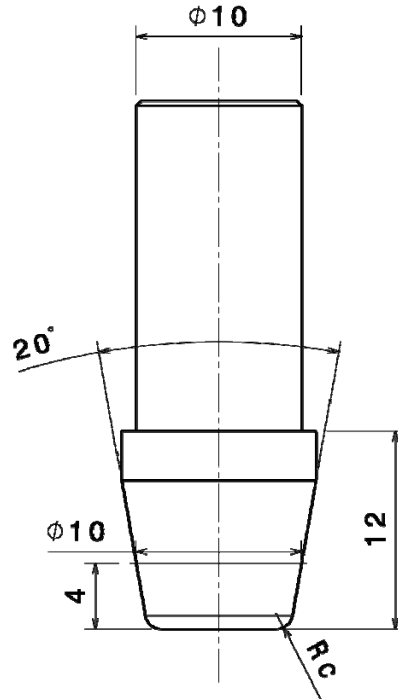
La cinématique du tour Spinner ne permet pas d'incliner l'axe de l'outil par rapport à l'axe Z. Dans le cadre de cette étude, on sera amené à utiliser un outil de forme conique.

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

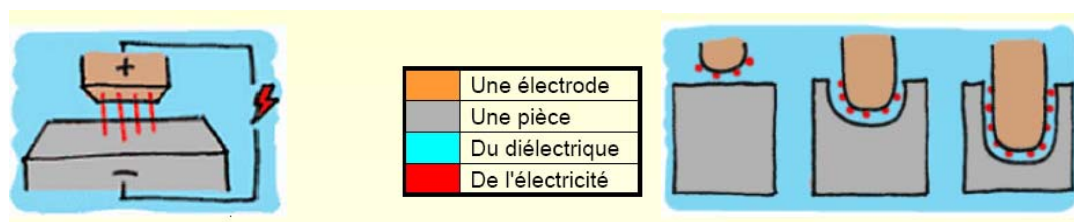
Les formes moulantes du piston fixe ainsi que les 4 seuils d'injection des busettes sont réalisées en électroérosion par enfonçage sur une machine IONA dont la documentation est jointe en Documents Ressources DRS4 et DRS5.

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.

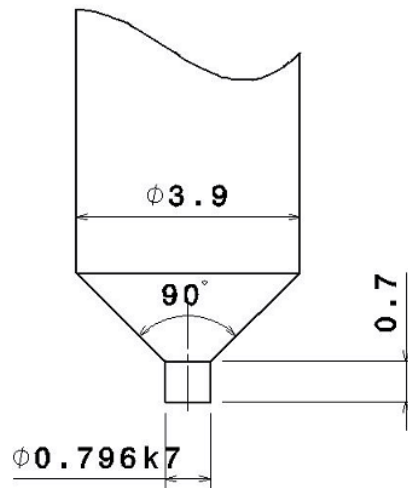
C'est un procédé qui permet d'usiner des matériaux très durs, mais impérativement conducteurs. Les cotes peuvent être obtenues avec une précision de plus ou moins $5 \mu\text{m}$.

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.

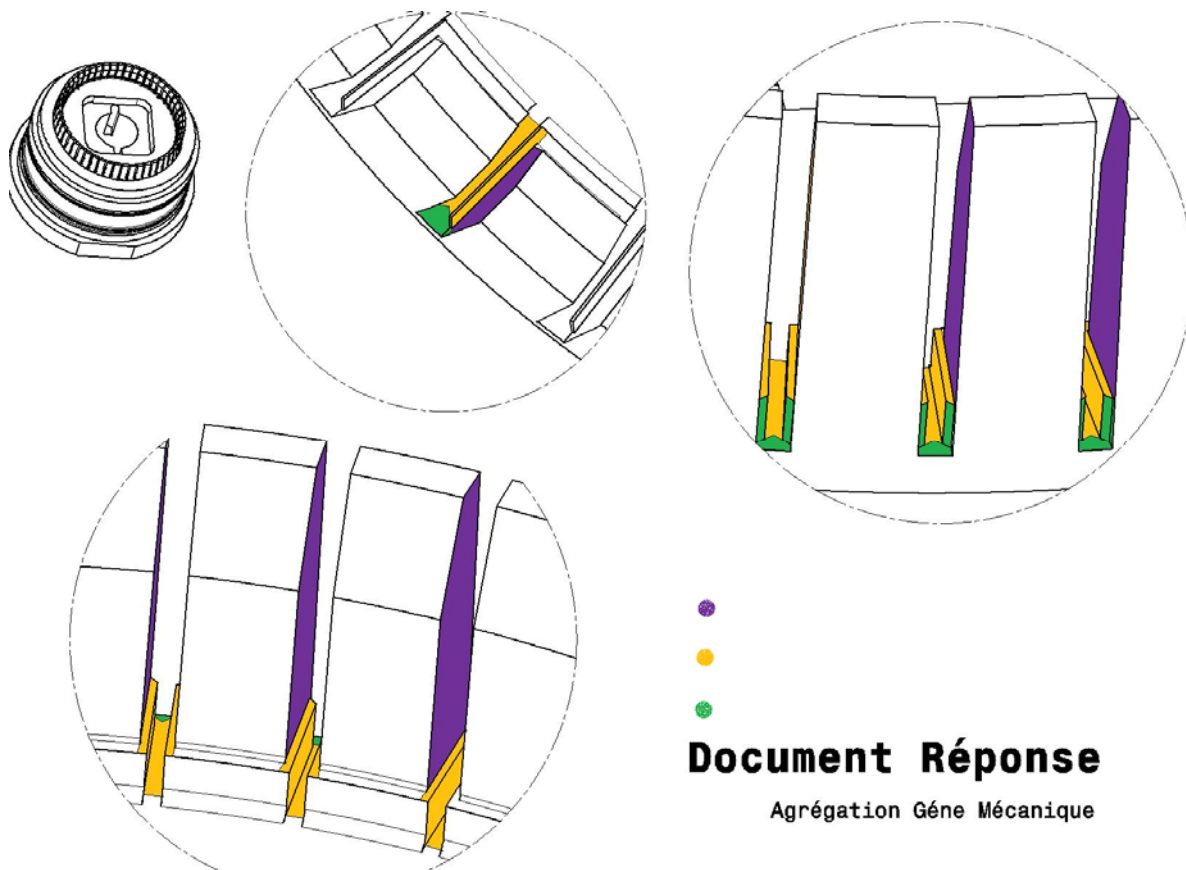
Question 25. Donner l'ordre de passage d'enfonçage de ces trois électrodes en justifiant votre choix.

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.

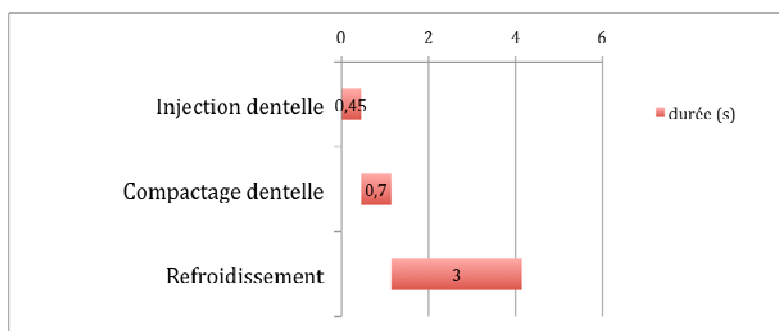
On donne les paramètres d'injection suivants en secondes :

- 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.

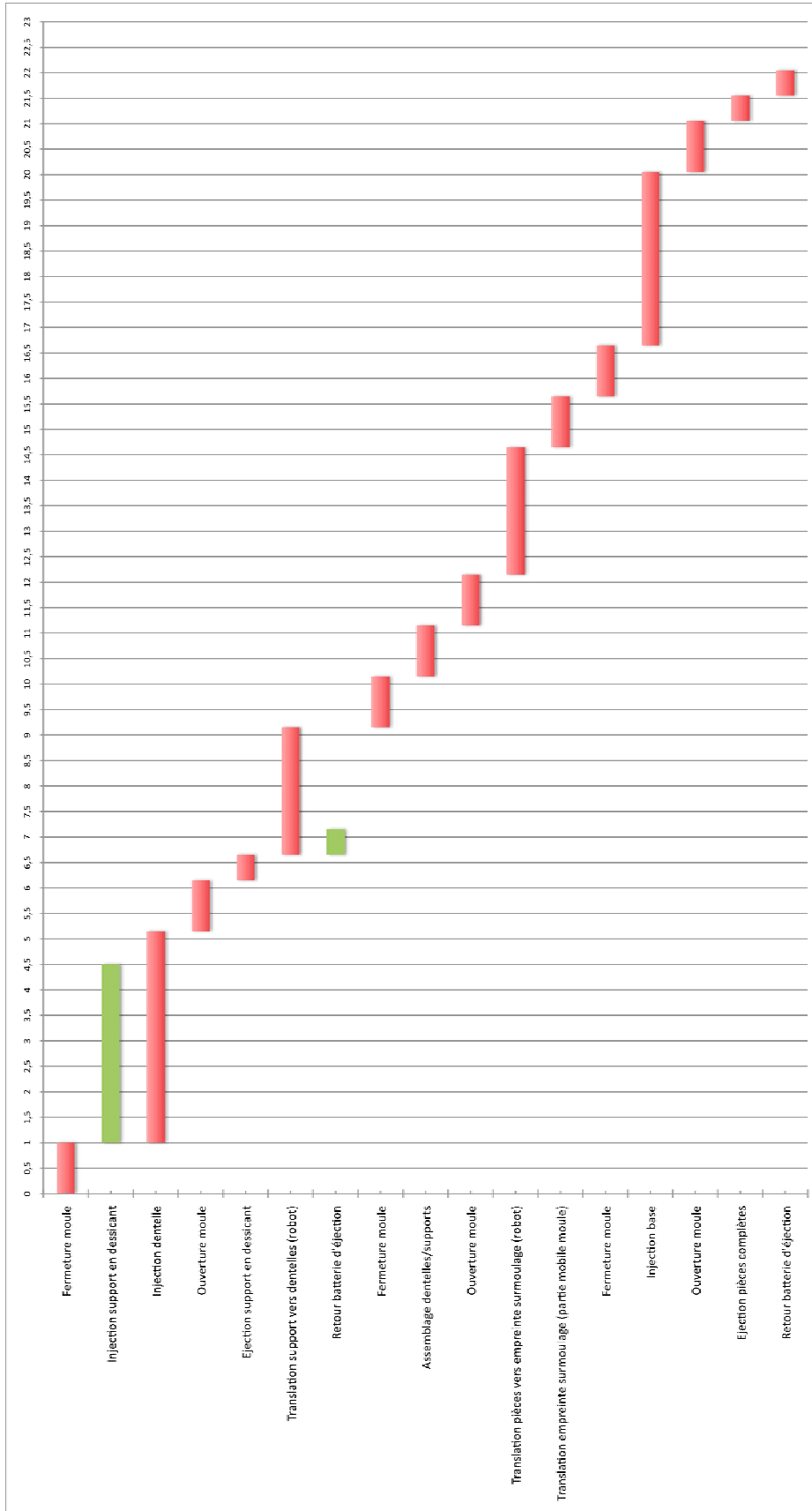
Le temps de cycle pour l'injection de 4 pièces est de 22,05s, ce qui donne un temps de cycle par pièce de 5,52s par pièce.

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.

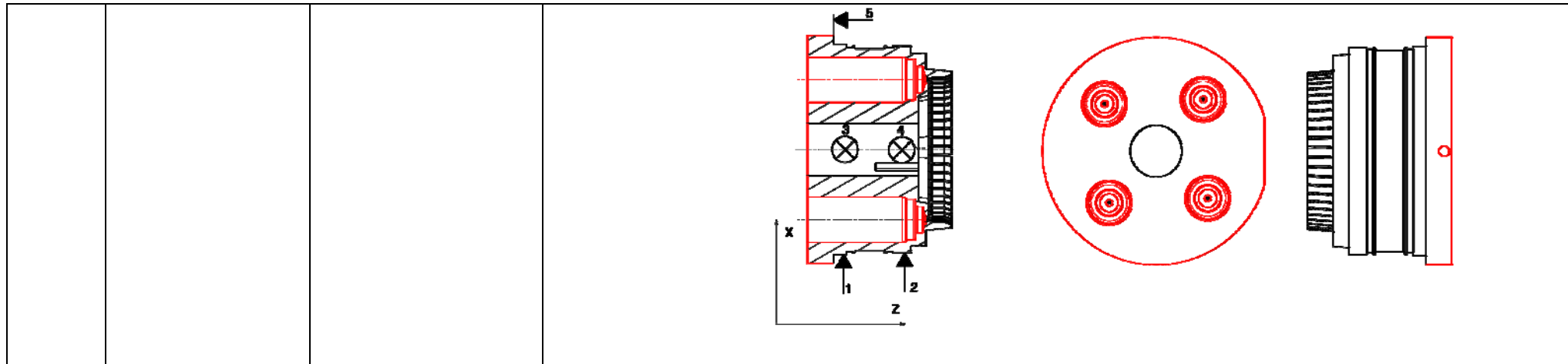
20000 pièces doivent être produites chaque mois soit une durée de production mensuelle de 30,63h. En comptant 20 jours ouvrés par mois, le robot devra pouvoir assurer une production continue pendant au moins 1,53h / jour, en négligeant les rebuts.

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

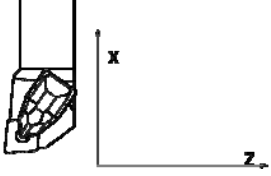
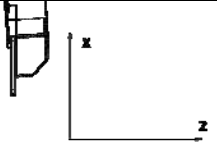
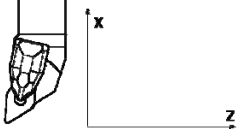
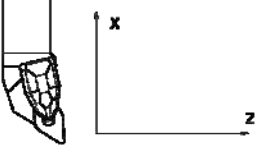
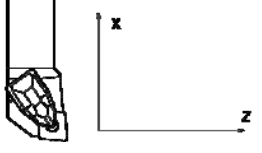
Document n°1			
Élément : Piston Fixe		Matière : X38 Cr Mo V 5	Analyse d'usinage
N° Phases	Désignation des phases, Opérations d'usinage	Machine outil, Appareillage	Croquis de la pièce
10	Débit brut	Scie	
20a	Tournage surfaces cylindriques extérieures et fraisage poche et rainure soupape	Tour spinner 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.