

**AGRÉGATION**  
**CONCOURS EXTERNE**

**Session 2011**

**Section : GÉNIE MÉCANIQUE**  
**ÉPREUVE D'INDUSTRIALISATION**

**Durée : 6 heures**

# **ÉTUDE DE L'INDUSTRIALISATION D'UNE PROTHESE DE HANCHE**

**Proposition d'éléments de correction**

## PARTIE A – ÉTUDE DE PRÉ-INDUSTRIALISATION DE LA CUPULE

La cupule est définie sur le Document-Technique **DT-2**.

Les fonctions essentielles que doit remplir la cupule sont les suivantes :

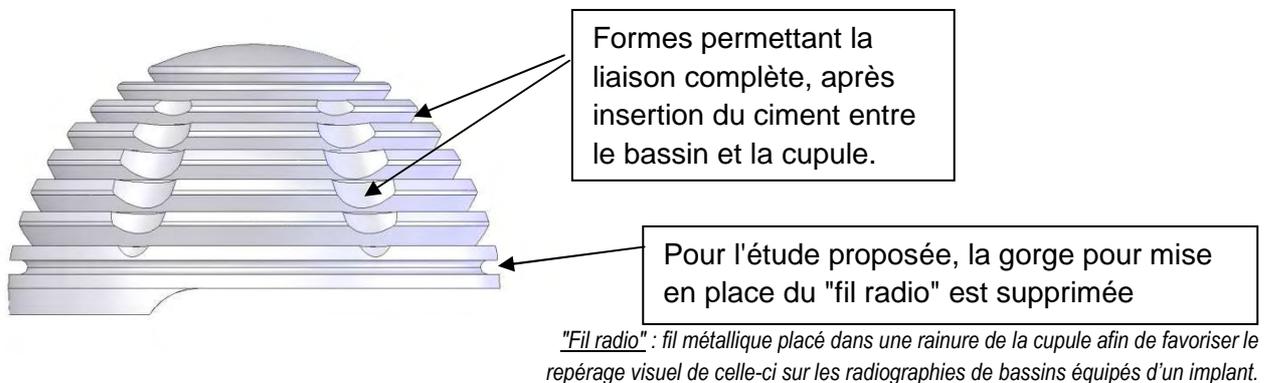
- réaliser la liaison encastrement entre le bassin et la cupule (interposition d'un ciment colle favorisée par la présence de rainures extérieures croisées) ;
- réaliser la liaison rotule entre la cupule et la tête en favorisant le glissement, en limitant l'usure et en s'approchant du comportement des matériaux vivants (cartilage, os, synovie ...) ;
- absorber une partie de l'énergie due aux chocs provoqués par la marche ;
- être biocompatible.

La cupule doit être réalisée dans le respect de la norme ISO 7206-2 qui, entre autres, indique :

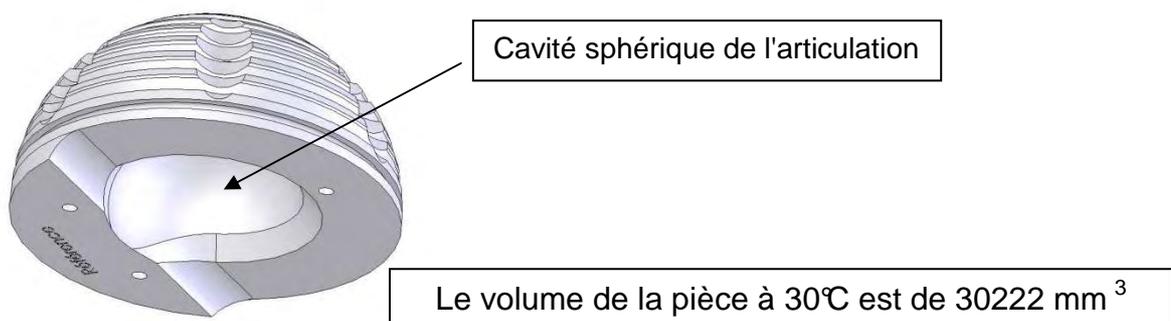
- ISO 7206-2 § 4.1.1 Sphéricité : L'écart maximal admissible de sphéricité de la surface articulaire sphérique d'un élément fémoral ne doit pas être supérieur à 10µm ;
- ISO 7206-2 § 4.1.2 État de surface : La valeur de la rugosité arithmétique (Ra) de la surface articulaire sphérique ne doit pas être supérieure à 0,05µm ;
- ISO 7206-2 § 4.1.3 Tolérances dimensionnelles : La cavité sphérique doit avoir un diamètre égal au diamètre nominal, avec une tolérance de - 0,2 mm à 0 mm.

### Mise en situation de la cupule :

Comme indiqué en introduction du sujet la cupule est insérée dans le bassin (dans un emplacement calibré par le chirurgien) et liée à celui-ci par l'intermédiaire d'un "ciment".



La tête de fémur est positionnée et mobile dans la cavité sphérique de la cupule. La durée de vie de la prothèse est essentiellement liée à la qualité et la précision des surfaces en contact.



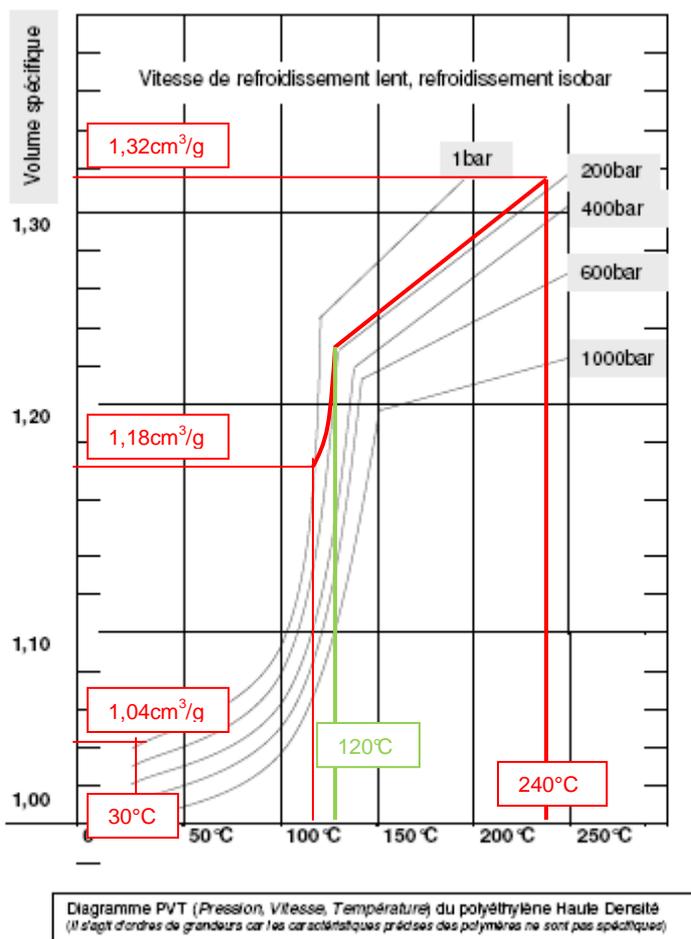
## Bio compatibilité :

Le matériau utilisé pour la réalisation des cupules est un polyéthylène à haut poids moléculaire (voir Document-Ressource **DRS-1**).

Actuellement la cupule est réalisée par usinage sur un tour 3 axes bi broche à partir d'une barre de polyéthylène extrudé.

Pour augmenter la durée de vie de la cupule, en améliorant ses caractéristiques, il est envisagé de la réaliser par injection compression (utilisation d'un noyau mobile de compression pour réaliser la creusure sphérique). La machine utilisée sera une presse à injecter à commande numérique (voir Document-Ressource **DRS-2**). La matière et les formes, validées par de nombreux essais, ne peuvent pas être changées.

**Question A1.** En vous appuyant sur les Documents-Ressources **DRS-1** et **DRS-3**, proposez un mode opératoire détaillé et un schéma d'outillage permettant de le mettre en œuvre. Pour l'étude proposée, la gorge de mise en place du fil radio est supprimée. (Après validation des essais il est prévu de surmouler ce fil radio.)



### Sur document DRS-1 2/2 :

Température de transformation 160 – 321°C.  
Choix : 240°C

Volume pièce à 30°C : 30,222cm<sup>3</sup>

### A partir des courbes PVT :

Comme nous travaillons en injection – compression :

- Volume de matière à injecter dans la cavité :

$$(30,222 / 1,04) \times 1,32 = 38,359 \text{ cm}^3$$

Si l'injection est directe avec buse chaude à clapet.

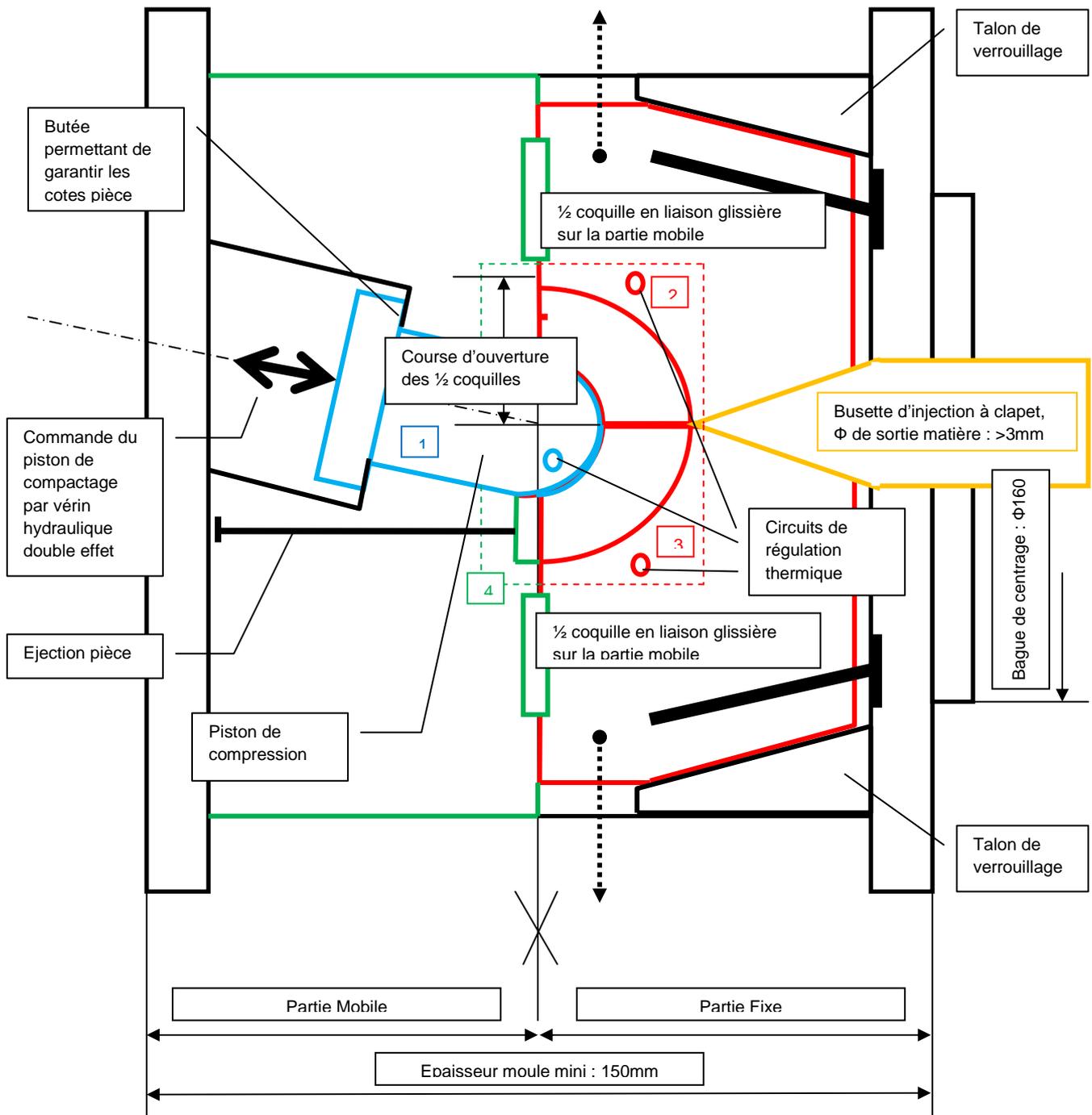
Augmenter ce volume de celui de la carotte d'alimentation si nécessaire.

### Mode opératoire :

- moule fermé, piston de compression reculé, montée en température : 240°C
- injection de la matière nécessaire (voir calcul).
- obturation du canal d'alimentation (busette à clapet).

- avancée du piston de compression pour compactage isobar 200bar (voir schéma) jusqu'à la butée. Le maintien en pression est effectif pendant la phase de refroidissement jusqu'à environ 120°C. Refroidissement contrôlé de la température matière côté piston (voir courbe question A4)
- ouverture de l'outillage ( $\theta$  pièce 90°), deux demi-coquilles libèrent les contre dépouilles.
- recul du piston de compression pour éjection de la pièce. (éjecteurs ou dépose robotisée pour conditionnement direct)

La presse sera équipée d'une vis de  $\Phi$  25, course 80mm pour pouvoir injecter les 38,359mm<sup>3</sup> de matière. (nous sommes aux limites de la machine).



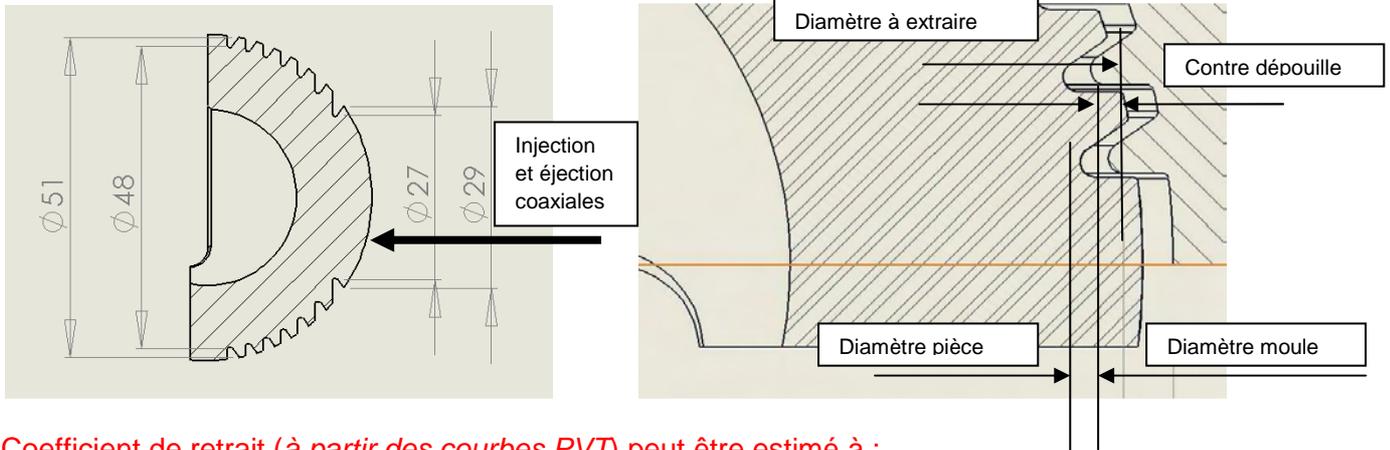
L'outillage est instrumenté : capteurs de température coté piston et dans les coquilles, la pression coté piston est contrôlée sur le circuit hydraulique (ou par la CN sur les plateaux presse).

**Question A2.** A partir de ce schéma de principe, proposez une solution permettant de réaliser l'ensemble des références de cupules (4 diamètres extérieurs possibles: 46 mm, 48 mm, 50 mm, 52 mm, combinés à 2 diamètres intérieurs possibles 22,2 mm et 28,2 mm).

Pour les deux diamètres intérieurs différents, le piston (ou la tête du piston) 1 sont interchangeable,

Pour les 4 diamètres extérieurs des inserts interchangeables sont mis en place dans les 2 ½ coquilles 2 3 et dans la partie fixe 4.

**Question A3.** Les gorges d'ancrage dans le ciment génèrent des contre dépouilles. Par soucis de simplification de l'outillage, l'entreprise souhaite analyser la possibilité de démouler la pièce par arrachement. Que préconisez-vous pour que cette opération soit possible ? Des adaptations dimensionnelles de ces gorges peuvent être proposées. Si tel est votre choix dessinez cotez et justifiez votre proposition. Ce sont les seules modifications acceptables sur la géométrie de la pièce.



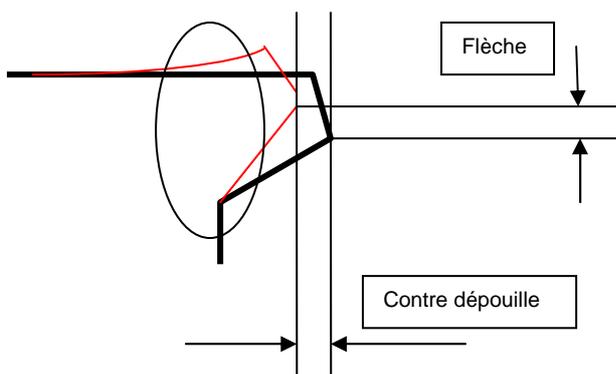
Coefficient de retrait (à partir des courbes PVT) peut être estimé à :

$$((1,18 - 1,04) / 1,18) \times 100 = 11,8\% \quad \text{soit un retrait linéaire de 4\% environ.}$$

Pour obtenir le diamètre de 48 mm, l'empreinte aura un diamètre d'environ 50mm. La contre dépouille n'est alors que de 0,5mm après refroidissement de la pièce.

Pour obtenir le diamètre de 27mm, l'empreinte aura un diamètre d'environ 28mm. La contre dépouille n'est alors que de 0,5mm après refroidissement de la pièce.

A partir de ces données il est possible de déterminer la profondeur maximum des gorges pour ne pas être en contre dépouille dans le moule. Si les profondeurs calculées sont insuffisantes pour assurer la liaison encastrement dans le bassin (*fonction pièce*), une détermination de la contre dépouille maximum acceptable sera faite pour chaque gorge.



Un tableau de calcul sera établi pour déterminer le meilleur compromis entre :

- Contre dépouille (*donc flèche*)
- Section à l'encastrement des formes en contre dépouille
- Température pièce lors de l'éjection (*donc module d'young*)

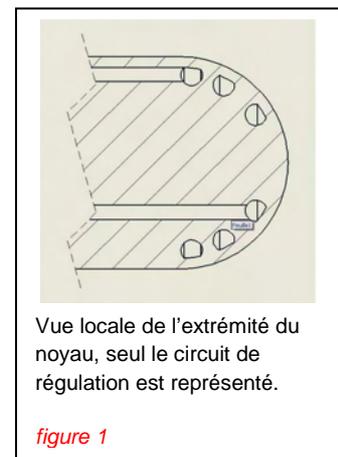
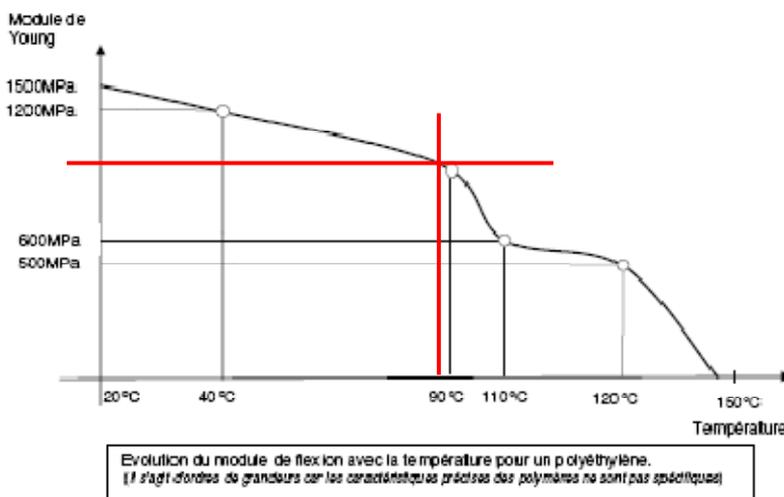
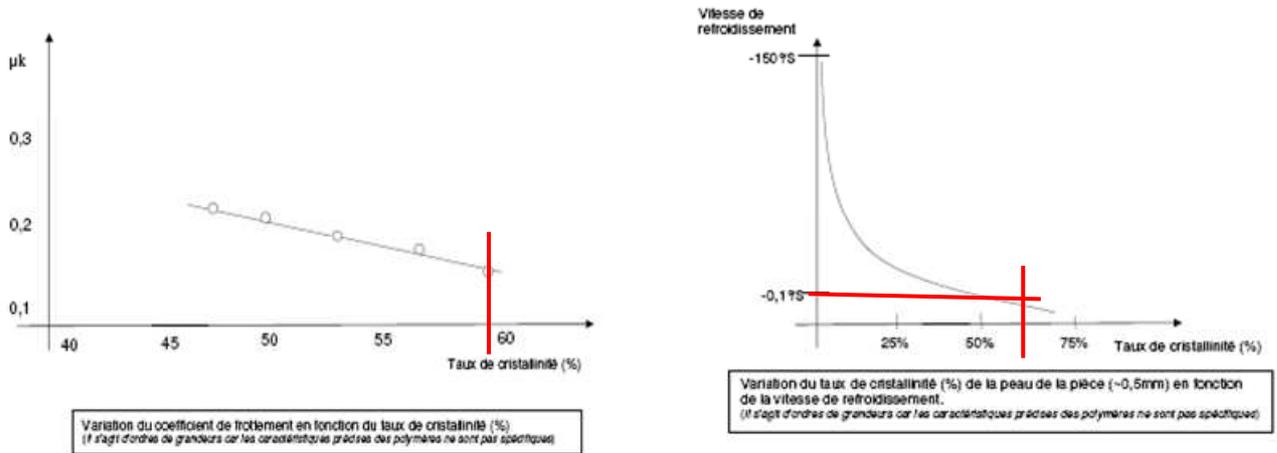
La somme des efforts nécessaires à l'arrachement permettra de déterminer l'aire de la surface de l'éjecteur (*en contact avec la pièce*) nécessaire à l'éjection pour limiter l'effet de poinçonnage. Un contrôle sera effectué pour vérifier si les caractéristiques presse sont correctes.

**Question A4.** Pour optimiser la cristallinité du polyéthylène dans la zone de la creusure sphérique il est souhaitable de réguler de façon précise le noyau. En vous appuyant sur les Documents-Ressources **DRS-1**, **DRS-3** et **DRS-4**, tracer la courbe de régulation en la mettant en adéquation avec le cycle de transformation. Quel matériau, quelle géométrie et quel mode d'obtention préconisez vous pour la réalisation de ce noyau?

Le coefficient de frottement acier-polyéthylène décroît lorsque le taux de cristallinité augmente : 0,15 à 60%

Le taux de cristallinité augmente lorsque la vitesse de refroidissement diminue.

Le meilleur compromis est obtenu à un taux de cristallinité de 60%. La température d'injection choisie est de 240°C, la température de démoulage optimum par rapport au module d'Young : 90°C.

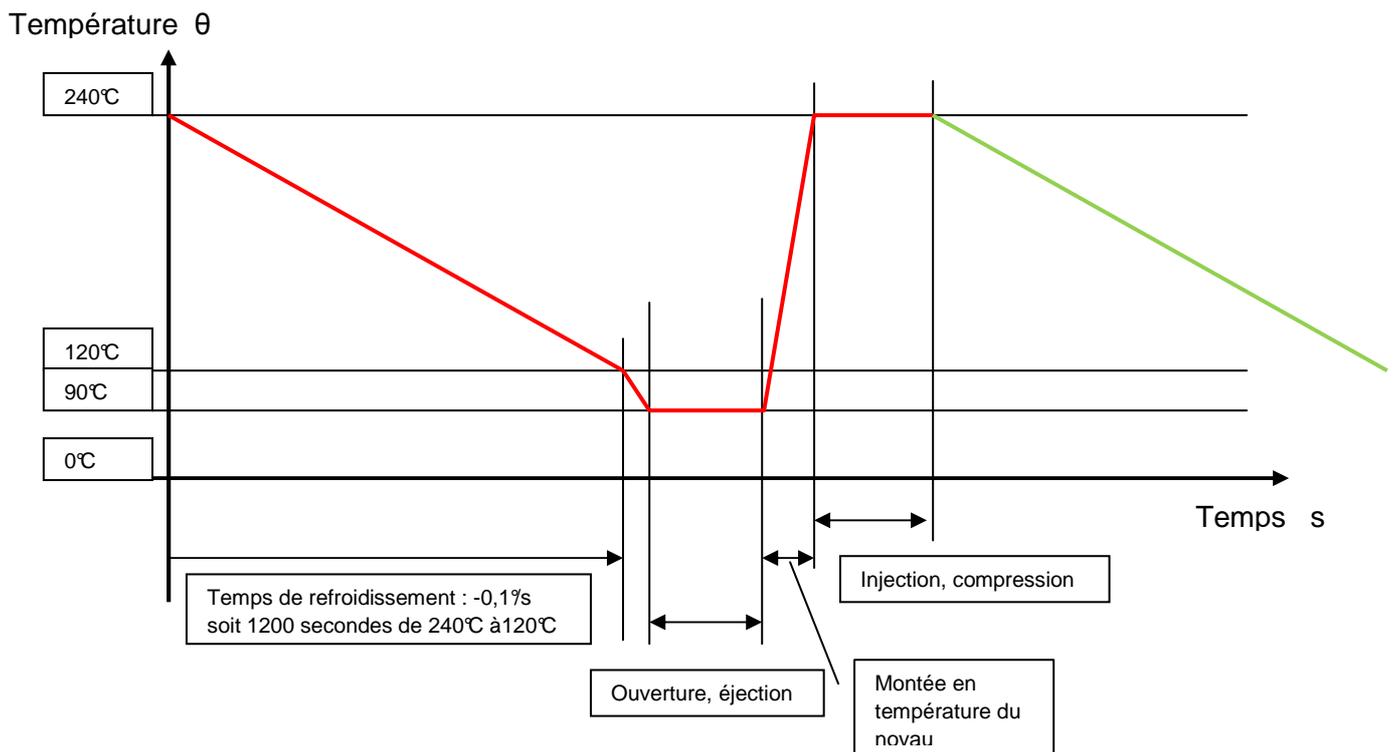


Le noyau doit être réalisé dans un matériau à très bonne conductibilité thermique, le polissage doit être facile (respect de la rugosité de la cavité norme ISO 7206-2), un revêtement de surface peut être envisagé.

Une cartouche chauffante ou un chauffage par induction peuvent être intégrés dans le noyau pour une montée en température rapide, un circuit de régulation au plus proche de la surface d'échange avec la pièce doit permettre la chute contrôlée de la température.

Le noyau (ou seulement la partie moulante) peut être réalisé par fusion métal (voir figure 1). La surface de la forme moulante sera reprise en usinage pour l'obtention de cotes et d'états de surface conformes aux spécifications du dessin de définition. L'utilisation de ce procédé de réalisation permet d'optimiser le circuit de régulation, facilite l'intégration de capteurs et d'éléments chauffants, permet un choix de matériau à caractéristiques optimum.

L'allure de la courbe de régulation préconisée est donc :



**Question A5.** La cupule doit absorber une partie de l'énergie due aux chocs provoqués par la marche. Pour que cette fonction soit assurée dans les meilleures conditions possibles, quelle devrait être la structure "à cœur" de la matière ? Quelle solution ou quel compromis préconisez-vous pour tendre vers cet objectif ?

Remarque : la société porteuse du projet prévoit une campagne d'essais pour optimiser les paramétrages issus des choix préconisés. Ce nouveau processus d'industrialisation doit conduire à un meilleur confort d'utilisation de la prothèse et à une forte augmentation de sa durée de vie.

-Pour des questions de résistance à l'usure provoquée par le frottement de la cupule sur la tête, la matière doit avoir un taux de cristallinité maximum en surface (*DRS-3 3/4*).

-Pour absorber une partie de l'énergie due aux chocs provoqués par la marche il faudrait au contraire que la structure à cœur soit la plus amorphe possible.

La vitesse de refroidissement ayant une incidence directe sur le taux de cristallinité il faudrait accélérer la vitesse de refroidissement à cœur ce qui est délicat. Un refroidissement rapide des deux demi-coquilles conjugué à une régulation précise en température du piston de compression (*réalisation de la sphère intérieure*) question A4, doit permettre d'obtenir le résultat escompté.

Un processus de co-injection pourrait être testé :

- Peau de la pièce (*entre 2 et 3mm*) dans le matériau validé et à conserver, cœur de la pièce dans le même matériau mais à caractéristiques mécaniques différentes.

## PARTIE B – INDUSTRIALISATION DE LA TÊTE

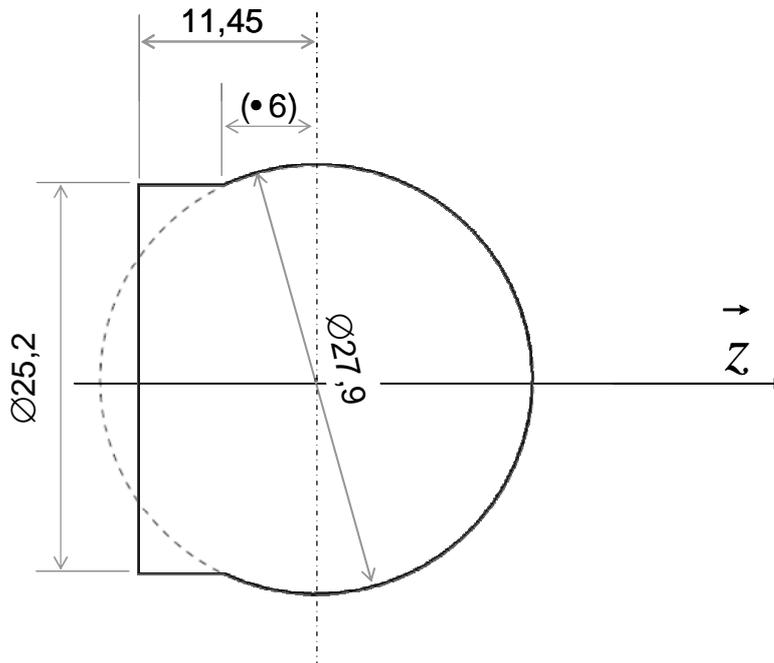
Proposition de correction, d'autres pistes pouvaient aussi convenir.

En effet, il existait deux familles de solutions possibles, l'une consistait à mettre en position la pièce en sous phase 20 en s'appuyant sur la sphère et l'autre en s'appuyant sur le cône.

Nous avons privilégié dans la correction une solution s'appuyant sur la sphère car elle permet une prise de pièce aisée et plus sûre en sous phase 20 vis-à-vis de l'effort de serrage par exemple.

**Question B1.** Partie Sous-phase 10 – Préciser la forme de la pièce dans l'état fin de sous-phase 10.

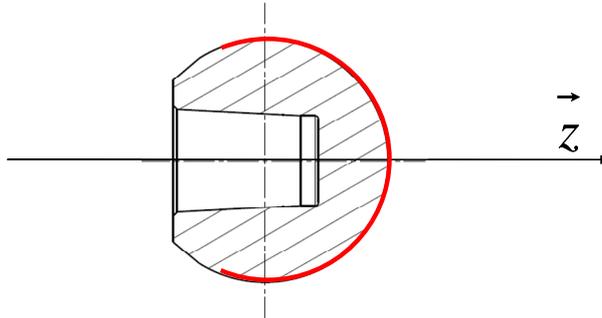
### Sous-phase 10



**Question B2.** Partie Sous-phase 20 – Préciser les surfaces servant à la mise en position de la pièce.

Compte tenu de la cinématique machine, les deux choix de sens de représentation de l'axe  $\vec{z}$  peuvent convenir.

## Sous-phase 20



- Étude des sous-phases 10 et 20 :

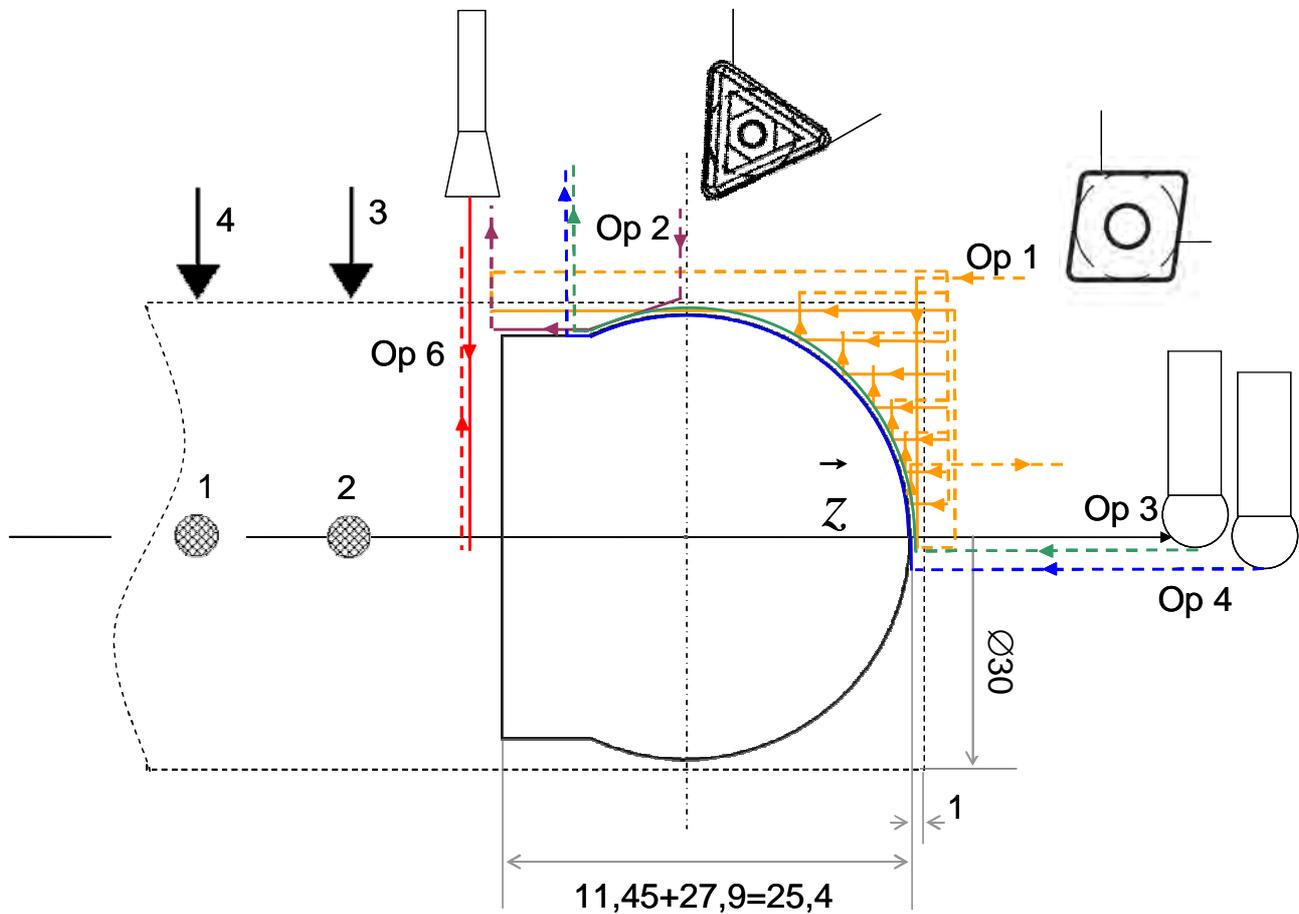
**Question B3.** A l'aide du document **DRS-6**, compléter les Documents-Réponses **DR-2** et **DR-3** en indiquant :

- L'enchaînement des opérations d'usinage (ne pas omettre de préciser le changement de broche),
- Le choix de la géométrie et des nuances des outils de coupe,
- La trajectoire des outils ainsi que leur silhouette
- Les conditions de coupe,
- La mise en position et le maintien en position de la pièce
- La longueur de la barre sortie des mors à la sous-phase 10 avant usinage.

*Vous pouvez proposer des outils qui ne sont pas référencés dans le document DRS-21.*

Le code matière est M pour le choix des outils

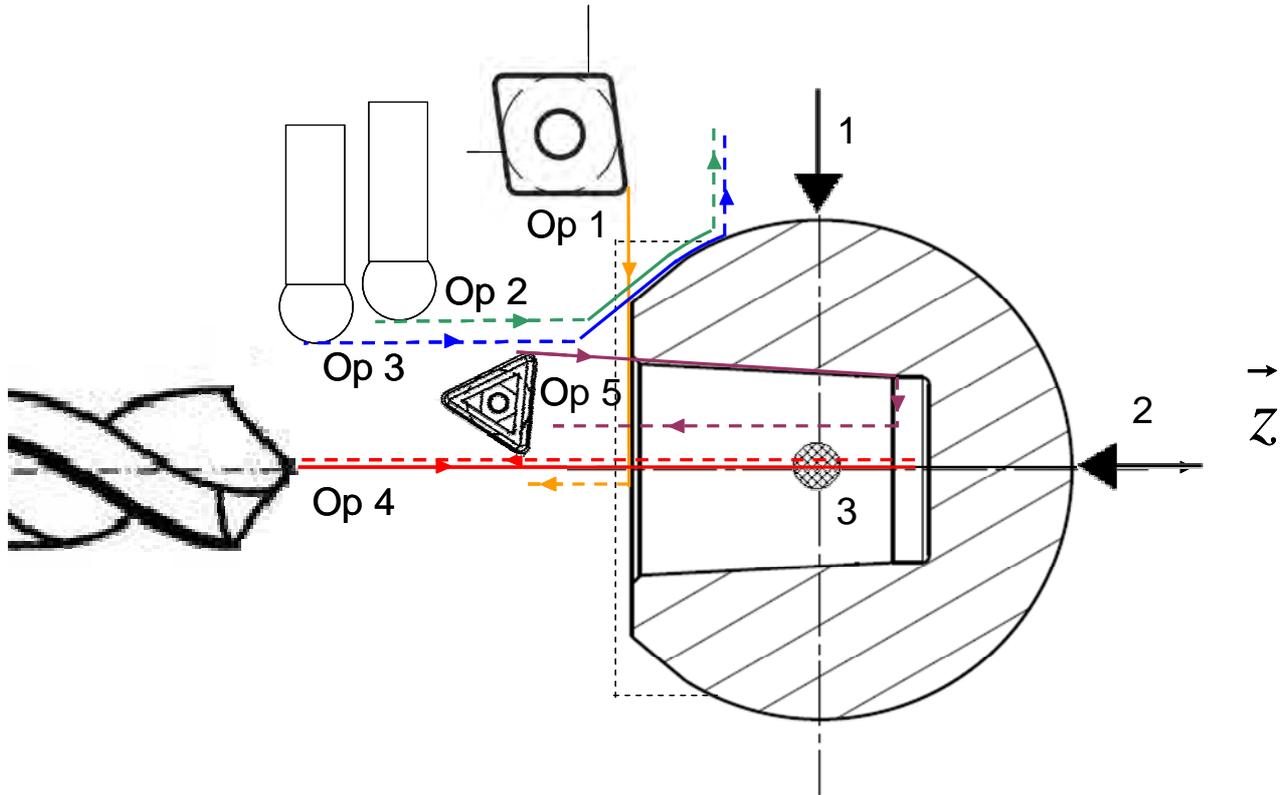
### Avant-projet de fabrication de la tête – sous-phase 10



Maintien en position : 3 mors durs concentriques.  
 Longueur de barre sortie : 35,4.  
 La broche secondaire est utilisée comme touche rétractable pour contrôler la sortie de la barre.  
 Ra estimée après finition : 0,08.  
 Surépaisseur sur la sphère avant finition : 0,5

	<u>Outils :</u>	Opération d'usinage.	Vc m/min	N (max) tr/min	fz mm/dent	Vf (max) mm/min	ap mm
1	CoroTurn® 107 Plaquette : CNMG 12 04 12-MR	Ebauche sphère droite	190	5000	0,35	1750	2
2	CoroTurn® 107 Plaquette : TNMG 16 04 12-MR	Ebauche sphère gauche	190	2400	0,35	840	2,5
3	Plaquette : N123L2 -0500-RM	Semi-finition sphère en profilage	125	5000	0,44	2200	2 max
4	Plaquette : N123H2-0500-RO	Finition sphère en profilage	125	5000	0,25	2500	0,5
5		Prise de la pièce par la seconde broche					
6	Plaquette : N123G2-0300-CR	Tronçonnage	90	5000	0,15	750	3

## Avant-projet de fabrication de la tête – sous-phase 20

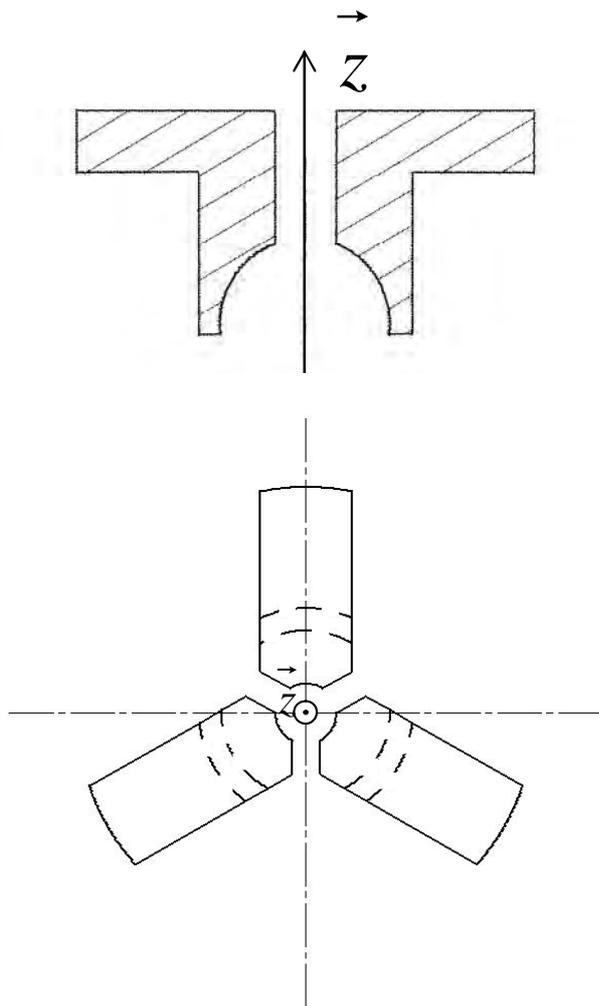


Trajectoire circulaire pour la fraise 2 tailles de l'opération 6.  
 Maintien en position : 3 mors doux concentriques.

	<u>Outils :</u>	Opération d'usinage.	Vc m/min	N (max) tr/min	fz mm/dent	Vf (max) mm/min	ap mm
1	CoroTurn® 107 Plaquette : CNMG 12 04 08-WF	Finition plan B	220	5000	0,3	1500	1
2	Plaquette : N123L2 -0500-RM	Semi-finition sphère et cône extérieur en profilage	125	5000	0,44	2200	2 max
3	Plaquette : N123H2-0500-RO	Finition sphère et cône extérieur en profilage	125	5000	0,5	2500	0,5
4	Foret Ø9	Perçage trou Ø9	40	1400	0,1	140	9
5	CoroTurn® 107 Plaquette : TNMX 09 02 04-WF	Finition cône extérieur	280	5000	0,12	600	1
6	Fraise 2 tailles de Ø6	Contournage fond intérieur	60	2122	0,02	160	2

**Question B4.** Sur le Document Réponse **DR-4**, schématiser le montage d'usinage nécessaire à la sous-phase 20. Quelles sont les préconisations à donner quant aux spécifications dimensionnelles et géométriques des surfaces participant à la liaison pièce-montage ?

### Définition du montage d'usinage de la sous-phase 20



La surface participant à la liaison pièce / mors doux est sphérique. Les trois mors sont usinés en même temps sur le Mazak Integrex 200.

Une spécification de forme quelconque d'un IT de 0,005 doit alors être respectée par cette surface sphérique ainsi qu'un Ra de 0,08 proche de celui de la surface de mise en position de la pièce.

**Question B5.** Pour le processus d'usinage que vous avez proposé, indiquer, en précisant les critères d'analyse, les spécifications géométriques et dimensionnelles

critiques portées sur le dessin de définition.

- la spécification géométrique de forme quelconque de 0,01 portée sur la surface sphérique, la surface étant réalisée en 2 sous phases
- la spécification de forme quelconque de 0,05 ayant pour référence A portée sur la surface conique, la surface de référence A étant usinée en sous phase 10 alors que le cône l'est en sous phase 20.

**Question B6.** Quels sont les paramètres à identifier liés à l'outil, aux mors et à la machine permettant de s'assurer l'intégrité de la pièce et de la cellule d'usinage lors de l'usinage ? On prendra soin de préciser la réponse à l'aide de calculs pertinents vis-à-vis du processus d'usinage proposé.

- validation de la puissance nécessaire à l'usinage par rapport à la puissance de la broche vis-à-vis des opérations d'ébauches extérieures et de perçage.
- validation du couple de serrage des mors pour les opérations d'ébauche en sous phase 10, et d'ébauche et de perçage en sous phase 20.

Il faut donc identifier les pressions spécifiques de coupe des couples outils d'ébauche/matière et du foret/matière.

**Question B7.** En fonction des dispersions intervenant dans la cellule d'usinage, évaluer la capacité du processus que vous avez proposé sur tour bi-broche.

Il y a un défaut d'alignement des deux broches de l'ordre de  $13,2 \cdot m$ . Ainsi la spécification la spécification géométrique de forme quelconque de 0,01 portée sur la surface sphérique risque de ne pas être respectée. Le processus proposé ne semble pas permettre d'atteindre la qualité finale attendue. Toutefois l'opération de rodage peut atténuer le défaut obtenu après usinage.

**Question B8.** Quels sont les paramètres qui vont permettre de prendre la décision de transférer la production sur le tour bi-broche. On prendra soin d'avoir un discours étayé.

- validation de l'aptitude du nouveau processus (usinage + rodage).
- gain en terme de coût du nouveau processus du fait de l'automatisation du chargement de la barre.

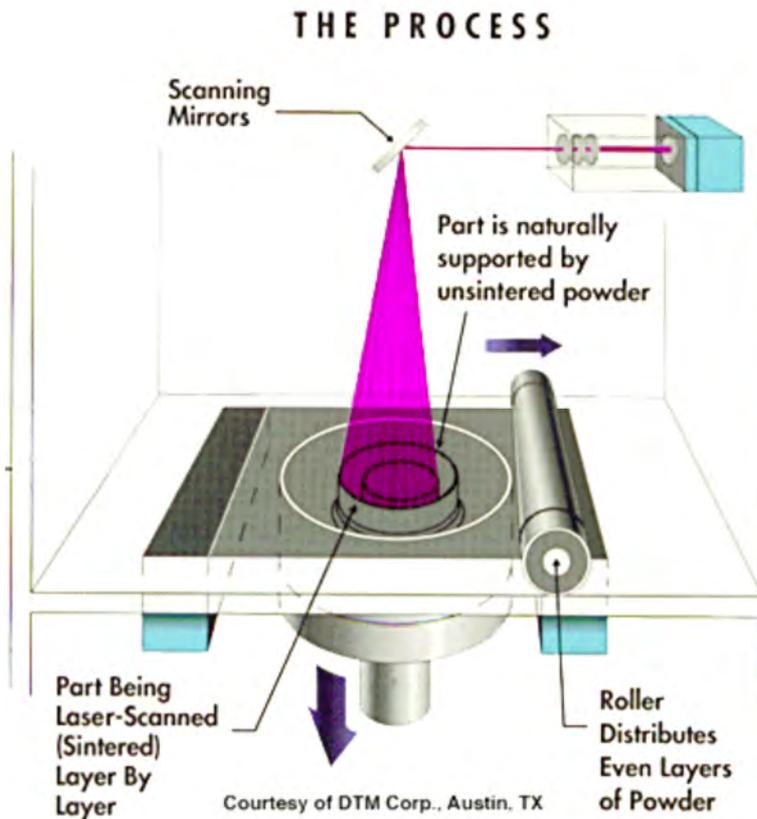
## PARTIE C – INDUSTRIALISATION DU COL

### C.1 – Étude du procédé d'obtention du brut du col par frittage de poudres métalliques

#### C.1.1 – Le frittage laser

Pour valider cette solution, les bruts des premiers prototypes du col sont réalisés en frittage laser.

**Question C1.** Décrire, en s'appuyant sur un schéma, un type de procédé de frittage laser.



Le procédé de frittage laser est aussi appelé procédé de frittage sélectif de poudre (Selective Laser Sintering ou SLS).

Certains matériaux, notamment certaines poudres métalliques et minérales, à une température locale élevée, présentent la propriété de se durcir. Le durcissement est obtenu par application d'un faisceau laser qui décrit une trajectoire correspondant à la géométrie que l'on veut obtenir. Ce principe permet de transformer la poudre en objet(s) solide(s) par frittage.

De nombreux matériaux peuvent être frittés comme le polyamide, le polyamide chargé verre, l'élastomère, le polycarbonate, le sable de fonderie, l'acier inox, l'alliage d'aluminium...

**Question C2.** Indiquer l'état et la nature de la matière d'œuvre de départ.

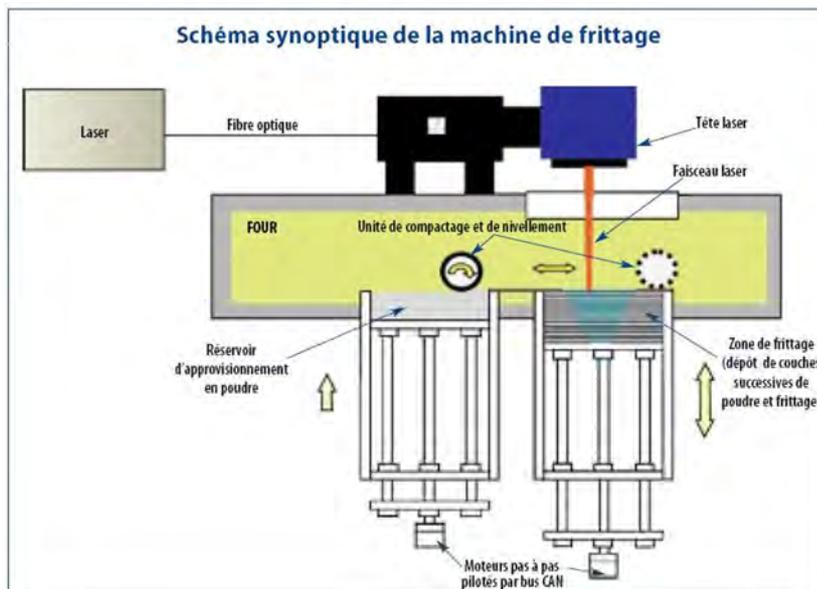
Poudres métalliques ou poudres minérales avec ajout éventuel d'un additif pour favoriser l'agglomération.

**Question C3.** Décrire en détail le mode de génération du volume à obtenir qui correspond au brut du col. Comment la matière d'œuvre est-elle apportée à la pièce en cours d'élaboration ?

La fabrication est entièrement automatique. L'opérateur part de la maquette numérique de la pièce à obtenir et fixe les paramètres de fabrication en fonction du type de poudre utilisé et du résultat à obtenir.

## Principe de fonctionnement d'une machine de frittage laser :

L'opération de frittage se fait en continu, par dépôt de couches successives de poudre. Le procédé permet d'obtenir des détails de 150 µm pour des pièces métalliques et de 300 µm pour des pièces en céramique.



Au cours du processus de frittage, la poudre présente dans le réservoir de gauche est amenée par couches successives à l'aide d'un racleur dans le réservoir de droite.

Au cours du processus de frittage, les deux niveaux du réservoir sont régulés à l'aide de vérins pilotés par des moteurs pas à pas. Le fond du réservoir de gauche « monte » tandis que celui de droite « descend ».

Le fond du réservoir de droite est aussi appelé plateau de construction, car c'est sur lui que s'élabore la pièce par couches successives.

La vitesse de fabrication varie généralement entre 1 et 10 mm<sup>3</sup>/s.

**Question C4.** Expliciter le principe physique permettant de passer d'une poudre métallique à la pièce à obtenir (rôle du laser).

Le laser trace la forme de chaque couche en fusionnant la poudre. Les grains qui ne sont pas chauffés assurent le support des couches suivantes en porte à faux.

La plate forme de travail descend de l'épaisseur d'une strate, une nouvelle couche de poudre est étalée par un rouleau mécanique et le cycle recommence pour construire le prototype couche par couche.

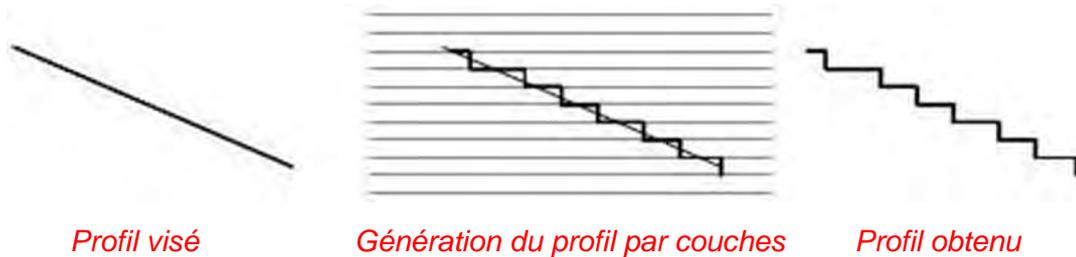
**Question C5.** Quelle solution matérielle est apportée pour, partant de la définition numérique du col dans un repère nominal de la pièce (repère de définition), positionner la pièce à obtenir dans le repère de travail de la machine (mise en position de la pièce sur la machine)?

Théoriquement, le mode de génération qui vient d'être décrit permet de s'affranchir d'une mise en position de la pièce et de son maintien dans l'espace de travail de la machine.

Pratiquement, il convient de prendre en compte trois contraintes :

1. Contrainte d'immobilité de la pièce au cours de sa génération – Au cours du processus d'élaboration, il faut éviter que la partie de pièce générée, se trouvant simplement en suspension sur les grains non chauffés, ne soit déplacée (glissement) par rapport au repère de travail de la machine sous l'action mécanique du racleur.
2. Contrainte de minimisation du temps de réalisation – Le temps d'élaboration de la pièce est essentiellement lié au nombre de couches de frittage, donc à la différence d'altitude, dans l'espace de travail, entre le point le plus bas et le point le plus haut de la pièce. Il convient alors, d'optimiser le temps de production en positionnant la pièce dans l'espace de travail de telle sorte que cette différence d'altitude corresponde à la plus petite arête du parallélépipède enveloppe de cette pièce.

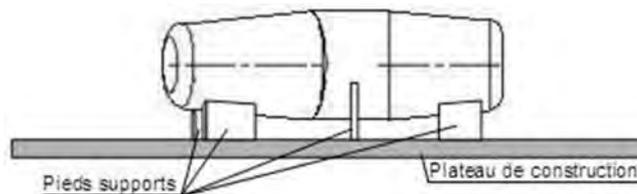
3. Contrainte d'état de surface – Ce mode d'élaboration par couches génère des profils dits « en escalier » lorsque ces profils ne sont pas perpendiculaires ou parallèles aux couches. Le défaut d'état de surface qui en découle doit être compatible avec les spécifications microgéométriques des surfaces de la pièce à obtenir.



La contrainte d'immobilité de la pièce au cours de sa génération impose que des pieds solidaires de cette pièce la lient complètement au plateau de construction. Ces pieds, réalisés dans le même matériau que la pièce, sont élaborés par frittage au démarrage du processus. La maquette numérique utilisée pour générer le parcours du laser correspond à la maquette numérique de la pièce à obtenir complétée par les pieds supports. Ces derniers sont appelés à disparaître lors du parachèvement de la pièce brute.

La contrainte de minimisation du temps de réalisation conduit à positionner la pièce de telle sorte que les axes des deux portées coniques soient situées dans un plan parallèle aux couches.

Après frittage, la pièce brute sera presque entièrement usinée (seul le cylindre de  $\varnothing 15 \pm 0,1$  restera à l'état brut), la contrainte d'état de surface est ici sans conséquences.



*Schéma de la pièce frittée solidaire du plateau de construction*

### **C.1.2 – Le frittage de production**

Le frittage laser a permis de valider le choix du procédé frittage de poudres métalliques pour l'obtention des bruts du col.

**Question C6.** En s'appuyant sur des schémas et en détaillant les différentes opérations du processus, décrire le procédé appliqué à un contexte de production et non plus à un contexte de prototypage.

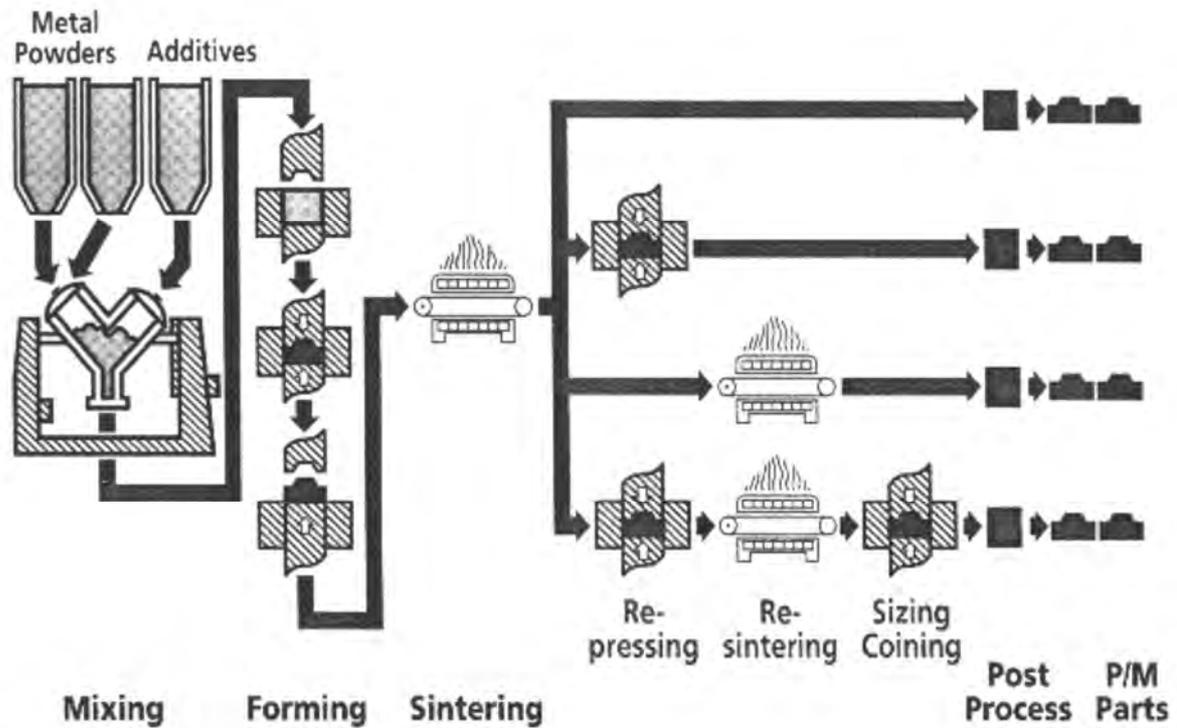
1. la poudre de base, généralement du fer, est mélangée avec des poudres d'alliages (nickel, cuivre, graphite,...) ainsi qu'avec un lubrifiant.

2. Une presse, mécanique ou hydraulique, compresse fortement le mélange dans un moule. Les pressions exercées sont de l'ordre de 100 à 1000 Tonnes pour la compression à froid.

3. Les pièces, après compression (pièces « vertes »), sont ensuite placées dans un four, ou sur un convoyeur passant au travers d'un four à haute température. Cette dernière doit, toutefois, rester inférieure à la température de fusion du fer afin d'éviter que la pièce ne perde sa forme.

4. Des opérations secondaires peuvent être effectuées comme l'ébavurage, les traitements thermiques et des usinages divers.

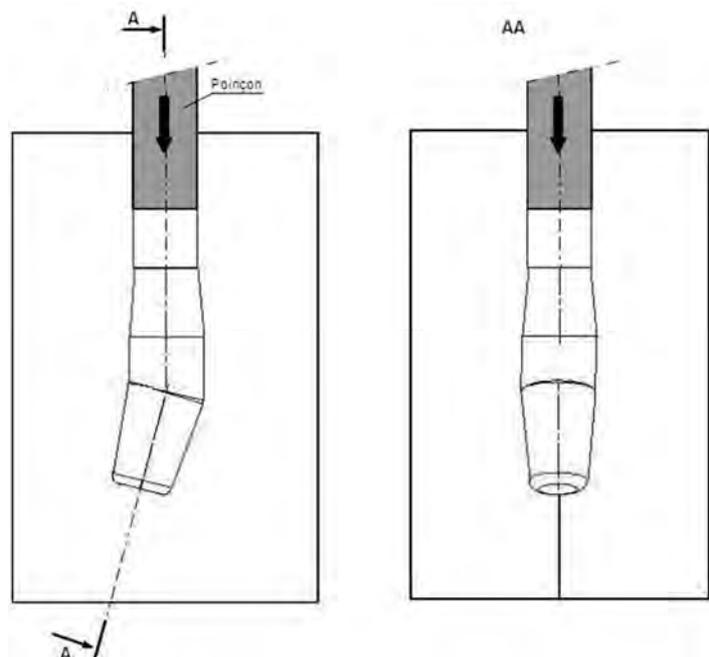
5. Produit fini.



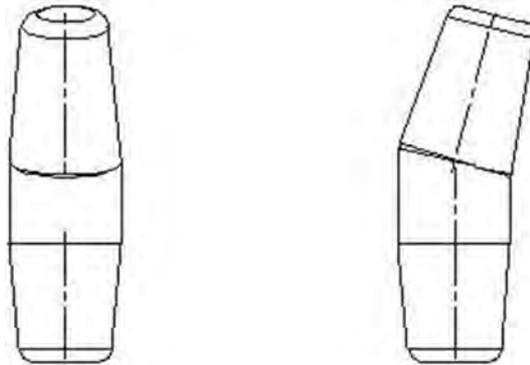
**Question C7.** Établir un schéma de principe de l'outillage donnant les formes du brut du col.

Pour assurer le bon remplissage du moule et une compression correcte de la poudre métallique, il convient de procéder à ces opérations en plusieurs étapes :

- remplissage et compression de la partie basse ;
- remplissage et compression à mi-hauteur ;
- remplissage et compression au  $\frac{3}{4}$  de la hauteur ;
- remplissage et compression de la totalité.



**Question C8.** Établir le dessin de la pièce brute qui doit correspondre à l'état de la pièce juste avant sa première phase d'usinage. Quelles sont les causes et les types de dispersions dimensionnelles et/ou géométriques de cette pièce brute? A partir d'une estimation de ces dispersions, porter sur le dessin les spécifications dimensionnelles et géométriques de la pièce brute.



Causes de dispersions aléatoires ou systématiques :

- Non coïncidence des deux empreintes du moule (remise en position des deux parties de moule) à *estimation : 0,3 mm*
- Dépouille aux extrémités de la pièce (surfaces nominale ment perpendiculaires au plan de joint) à *estimation : pente de 3%*
- Profil « en escalier » à *fonction de l'épaisseur des couches et de l'angle de la tangente à la surface et la normale aux couches*
- Retrait après refroidissement de la pièce non uniforme (ou non maîtrisé) à *prévisible à prendre en compte dans les dimensions nominales de l'empreinte*

Pour les spécifications dimensionnelles, il faut donc identifier :

- les spécifications relatives à des surfaces obtenues dans l'empreinte d'une seule partie de l'outillage ;
- les spécifications entre des surfaces impliquant les deux parties de l'outillage.

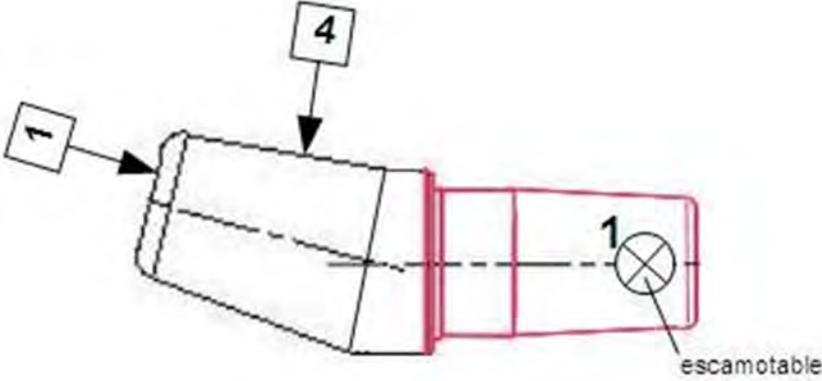
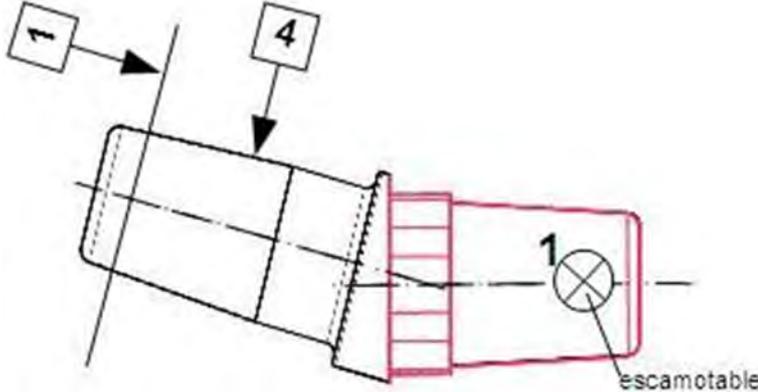
## C.2 – Étude prévisionnelle d'usinage du col

En partant du brut que vous avez défini à la question précédente, l'usinage du col est réalisé en deux phases d'usinage.

**Question C9.** Sur votre copie établir la nomenclature prévisionnelle des phases de fabrication du col :

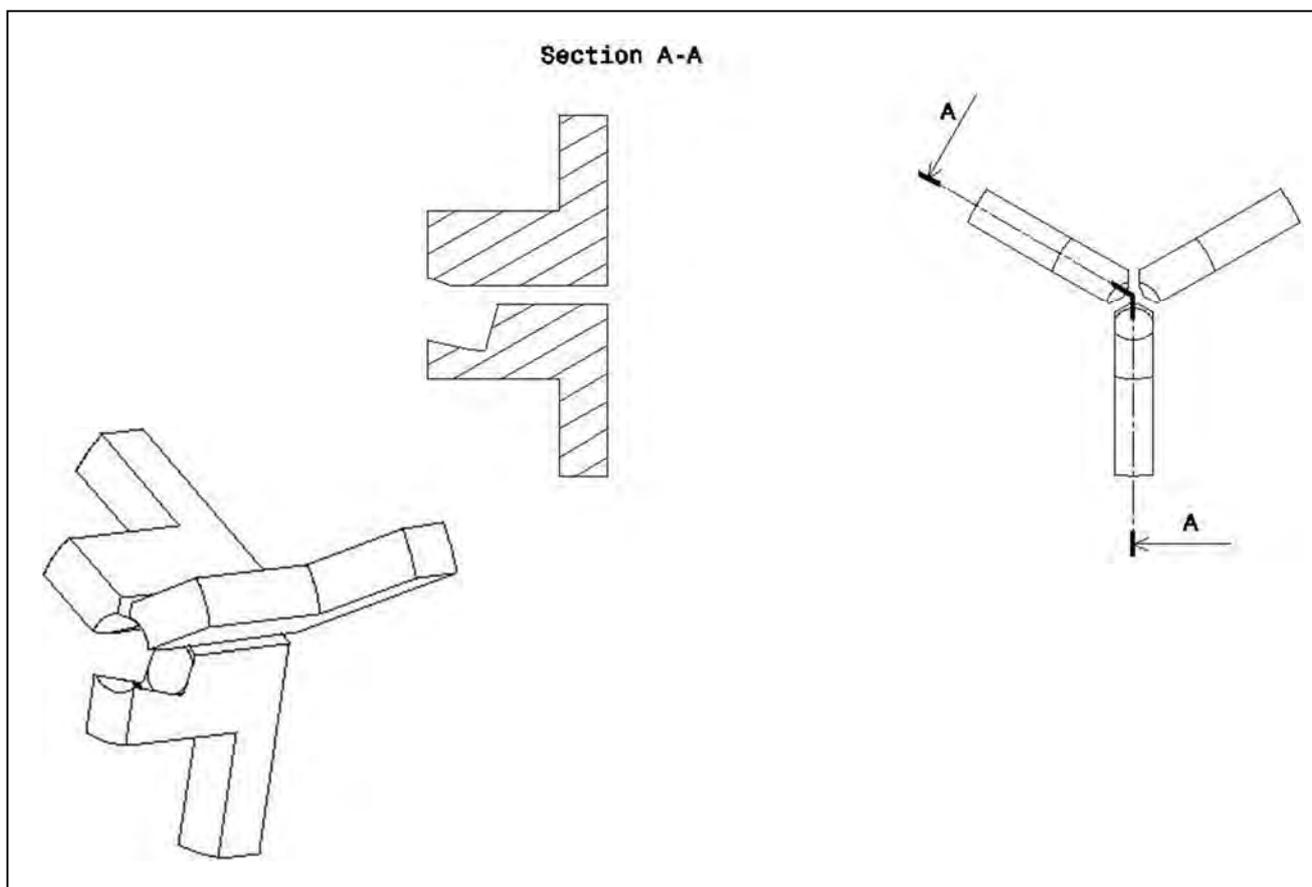
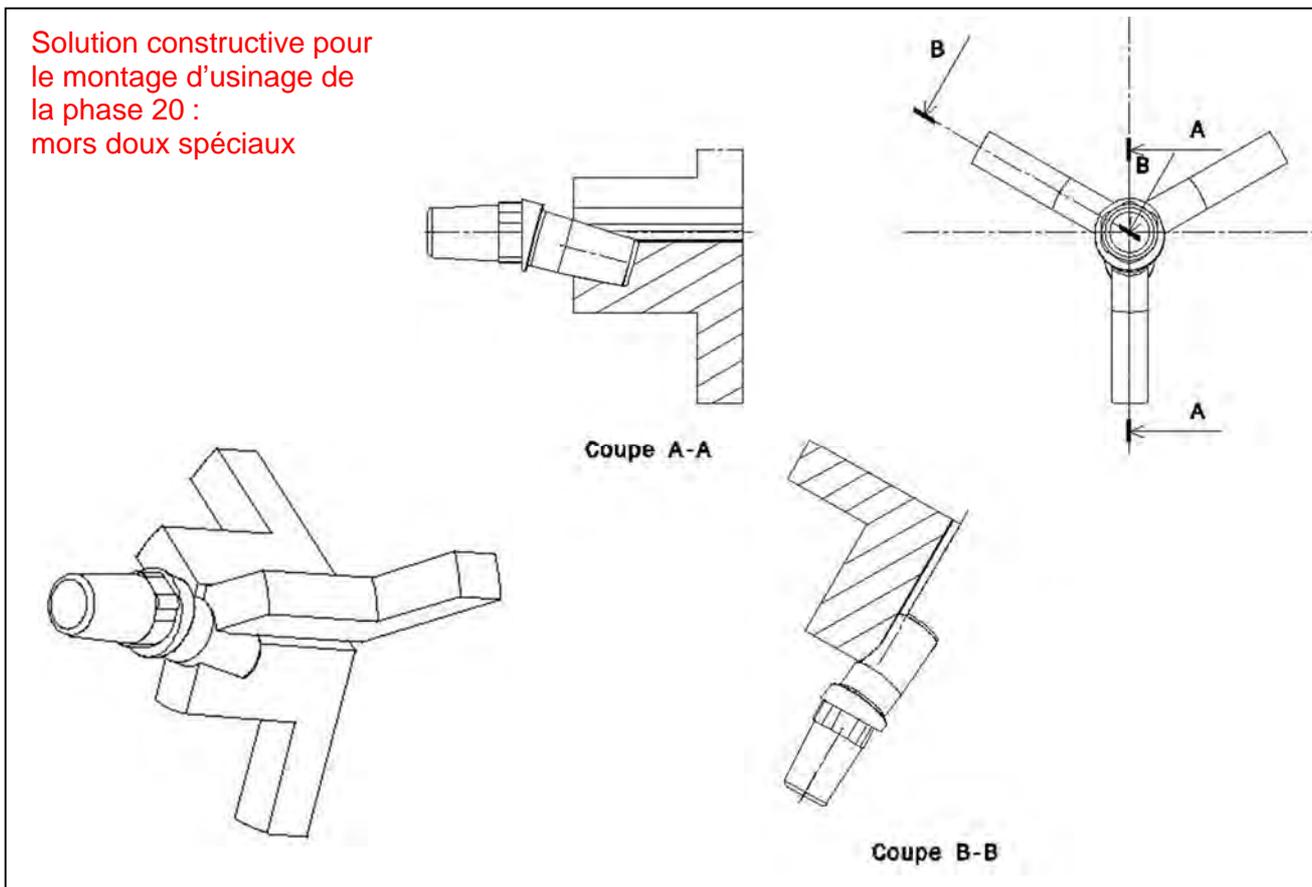
- tracer, avec une couleur différenciée, les surfaces réalisées dans chaque phase ;
- choisir le type de machine outil utilisé en précisant le nombre d'axes numériques ;
- Indiquer la mise en position de la pièce pour chacune des phases.

Afin d'éviter une mise en position sur la forme hexagonale, ce qui conduirait à une dispersion angulaire importante de la prise de pièce, il convient de réaliser cette forme en phase 20.

<p><b>PHASE 10</b></p> <p>Sur Tour CN 2 axes</p> <p>Usinage du tronc de cône B et des surfaces adjacentes</p>	
<p><b>PHASE 20</b></p> <p>Sur tour CN 3 axes (axe C)</p> <p>Usinage du tronc de cône A et des surfaces adjacentes, dont la forme hexagonale (axe C)</p>	

**Question C10.** Sur votre copie, donner le schéma de principe de l'outillage pour la deuxième phase d'usinage. Ce schéma doit permettre de comprendre les dispositions constructives proposées pour assurer la mise en position de la pièce et son maintien.

Solution constructive pour le montage d'usinage de la phase 20 : mors doux spéciaux



### C.3 – Contrôle

Cette étude se situe dans une démarche de mesure et de contrôle réception de produit fini.

**Question C11.** Proposer une méthode permettant de vérifier les spécifications figurant sur la vue de détail du microfiletage du Document-Technique **DT-5**.

Méthode optique au projecteur de profil  
Ou avec un rugosimètre (?)

**Question C12.** On s'intéresse à la mise en œuvre sur machine à mesurer tridimensionnelle du contrôle de la spécification figurant sur la vue du détail A du Document-Technique **DT-4** :

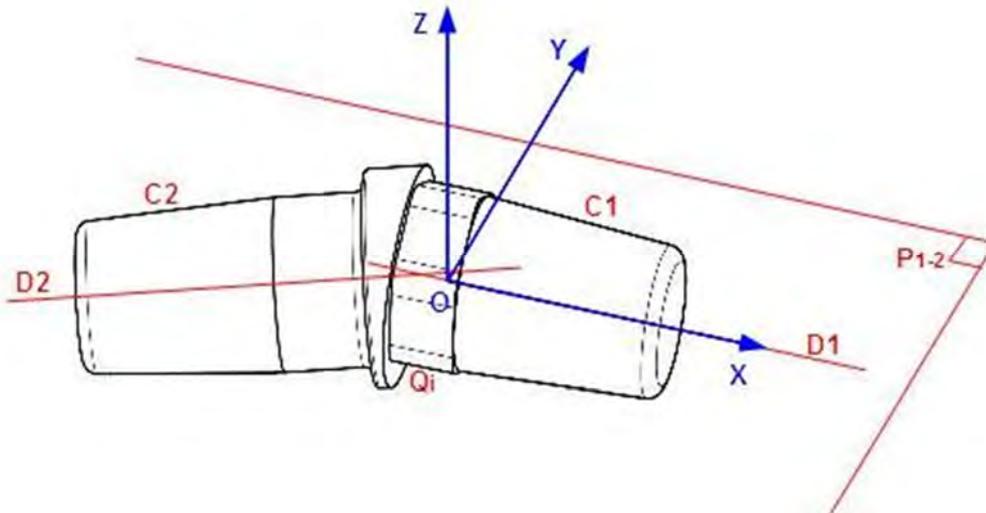
	0,03	A	A - B
---	------	---	-------

Sur le Document-Réponse **DR-5**, analyser et interpréter cette spécification. L'analyse mettra en évidence l'(les) élément(s) tolérancé(s), l'(les) élément(s) de référence(s), la(les) référence(s) spécifiée(s) et la(les) zone(s) de tolérance. Pour chacun de ces éléments, préciser éventuellement la nature, la forme, la(les) dimension(s), la situation et les critères d'association.

Voir page 24

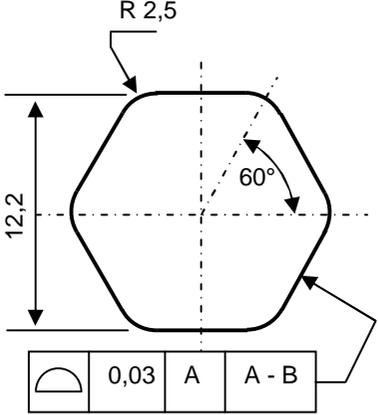
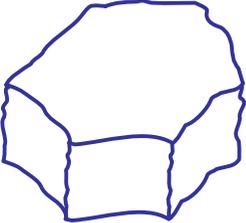
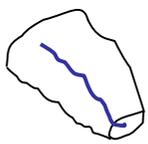
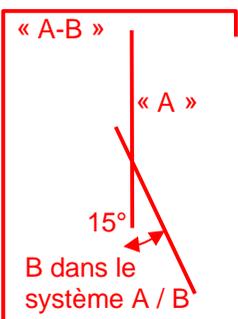
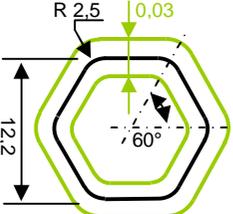
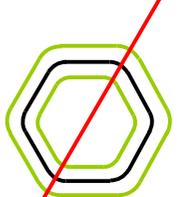
L'application numérique installée sur le micro-ordinateur relié à la machine à mesurer tridimensionnelle permet, à partir de la définition numérique spécifiée de la pièce, d'effectuer l'exploitation du relevé des points de mesure et de donner directement le résultat du contrôle. Expliquer succinctement les opérations à réaliser pour aboutir à ce résultat.

Nota : prendre soin de repérer sur le Document-Réponse **DR-6** les éléments nécessaires à la compréhension des explications.



### Opérations de contrôle

Opération de mesure	Repère de l'élément palpé	Opération de construction ou de calcul	Repère élément construit
Palper le cône A (association du cône avec les points palpés à partir du critère Min Max)	C1		
Palper le cône B (association du cône avec les points palpés à partir du critère Min Max)	C2		
		Axe C1	D1
		Axe C2	D2
		Plan contenant D1 et // à D2 (pour simplifier la construction)	P1-2
		Repère Rp (Op, Xp, Yp, Zp) : - $O \in D1$ - $X \equiv D1$ - $Y \perp P1-2$	Rp
Palper les points sur la forme hexagonale	Qi exprimés dans Rp		
		Distance entre les points Qi et la surface nominale de la forme définie dans Rp	di
		Vérification : $di \leq 0,015 \text{ mm}$	

TOLERANCEMENT GPS		Analyse d'une spécification par zone de tolérance			
Symbole de la spécification	surface quelconque 	Eléments non idéaux (Réels)		Eléments idéaux (Modèles)	
Type de spécification	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forme</li> <li>• Orientation</li> <li>✗ Position</li> <li>• Battement</li> </ul>	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance
Condition de conformité :	L'élément tolérancé doit être inclus dans la zone de tolérance.	<i>Nature géométrique</i> ✗ unique • groupe	<i>Nature géométrique</i> • unique ✗ multiples	• simple • commune ✗ système	✗ simple • composée  <i>Contraintes, (/ référence spécifiée)</i>
Schéma :		<p>Surface réputée quelconque</p> 	<p>L'élément de Référence A est l'axe réel de la surface réputée conique :</p>  <p>L'élément de Référence B est l'axe réel de la surface réputée conique :</p> 	<p>Référence spécifiée « A » : Droite axe du cône d'angle au sommet 6° tangent extérieur matière minimisant la somme des écarts.</p>  <p>Référence spécifiée « B » dans le système A/B: Droite sécante à « A », inclinée de 15°/ « A », axe du cône d'angle au sommet 5°57'30'' et tangent extérieur matière minimisant la somme des écarts</p>  <p>« A-B » plan contenant « A » et « B »</p>	 <p>Zone de tolérance : Espace compris entre deux surfaces, distantes de 0,03 mm, parfaites quelconques parallèles de la surface définie au nominale.</p>  <p>« A - B » dans le système A / A-B</p>