

## Eléments de correction

### **PARTIE A Choix de matériaux, de procédés et traitements associés**

#### **A1- Etude de la solution polymère chargé – injection plastique**

**A11** Le cahier des charges proposé impose une tolérance générale de 0,3 mm, un état de surface (grain R20), une tenue de la zone de préhension, un marquage et une couleur rouge.

A ceci il est impératif d'associer le contexte d'utilisation, l'automobile, qu'il est possible d'appréhender actuellement par l'application de critères de choix supplémentaires relatifs au poids, au coût et à la possibilité de recyclage du matériau.

Le matériau choisi est léger, d'un faible coût, recyclable aisément, la couleur rouge est directement obtenue par l'adjonction de colorants pigments, les polyamides offrent un bon fini de surface et on peut les marquer à chaud.

La pièce étant déjà fabriquée en série, les impositions de tolérance et de résistance étaient forcément satisfaites et ne pouvaient, pour cette dernière seulement, que justifier la présence de fibre de verre afin d'améliorer la résistance mécanique.

**A12** La solution industrielle de l'outillage est fournie en annexe. Le nombre d'empreintes choisi est de deux. Il correspond au fait que nous avons une poignée gauche et une droite donc nombre pair d'empreintes obligatoire et également à une solution en adéquation avec la taille de la série.

Le plan de joint est positionné pour obtenir les congés de raccordement (pièce de manœuvre donc pas d'arête vive) et rendre la pièce démoulable.

L'injection de ce matériau permet également d'obtenir le taraudage, le système présenté permet la manœuvre simultanée des deux noyaux.

**A13** La nomenclature des phases se réduit ainsi à sa plus simple expression : Injection de la pièce puis contrôle par prélèvement.

**A14** Les principaux paramètres de réglage du procédé sont :

- **la température de l'outillage**
- **la température de la matière**
- **la pression d'injection**
- **la vitesse d'injection** : plus la vitesse d'avance est élevée, plus la température dans le moule augmente ce qui permet de remplir le moule d'une masse amorphe (meilleure répartition des températures et des pressions). La vitesse d'avance du front de matière fondue dans la cavité du moule est en général proportionnelle à la vitesse de la vis.
- **la pression et le temps de maintien** : en passant de l'état liquide-plastique à l'état solide et en se refroidissant, la masse injectée se contracte. Afin de compenser ce retrait, la vis continue à avancer sous l'effet de la post-pression exercée et donc à injecter de la masse fondue dans le moule. Lorsque le temps de post-pression est écoulé, le refroidissement commence et la plastification de la masse pour l'injection suivante peut commencer. Le processus de plastification se déroule à la vitesse de plastification programmée.

L'augmentation du taux de fibre de verre entraîne une augmentation de la température matière, de la pression d'injection et de la vitesse d'injection.

Afin d'obtenir une qualité de surface optimale de la pièce moulée, il faut essayer d'une part d'obtenir une vitesse d'avance élevée du front de matière et, d'autre part une expansion relativement lente de cette dernière (plus faible vitesse de la vis). Par contre, en augmentant la vitesse d'avance de la vis, on réduit les différences de retrait et par là-même les risques de déformation des pièces.

## A2- Recherche de nouveau matériaux potentiels pour la réalisation de la poignée

**A21** Les documents DRS6 et DT3 permettent de séparer la poignée en deux zones distinctes :

- une zone circulaire qui comprend le taraudage qui ne subit pas de contrainte et de déformation
- une zone de préhension qui satisfait aux hypothèses de la Rdm et s'apparente à un modèle poutre. Sous les sollicitations imposées, elle se comporte comme une poutre encastree (contrainte maxi à l'encastrement et flèche maxi en bout, nulle à l'encastrement)

Le modèle retenu est donc celui d'une poutre encastree, de longueur imposée (pour limiter l'effort à fournir) dont on peut considérer que la section est une variable.

On prendra comme hypothèse une poutre carré de coté "b" et de longueur approximative L=65 mm.

**A22** L'inéquation de résistance des matériaux découle de la modélisation précédente. La longueur L et l'effort F sont spécifiés et sont donc des valeurs fixes. La section de la poutre peut par contre être considérée comme une variable libre qui doit permettre de supporter la charge en flexion F, ce qui s'exprime par la relation :

$$\sigma \leq \frac{Mf * \frac{b}{2}}{\frac{b^4}{12}} \quad \text{d'où la relation attendue : } \sigma \leq \frac{6FL}{b^3}$$

**A23** La fonction d'objectif était donnée :  $C = C_m A L \rho$  ; il s'agissait donc de minimiser le coût tout en supportant la charge F en toute sécurité.

Si on élimine entre les deux équations la variable libre relative à l'aire on obtient :

$$C \geq \left[ (6F)^{\frac{2}{3}} \right] \left[ L^{\frac{5}{3}} \right] \left[ \frac{C_m \rho}{\sigma^{\frac{2}{3}}} \right]$$

La première parenthèse contient la charge spécifiée F, la deuxième la géométrie spécifiée (longueur L) et la troisième les propriétés du matériau.

La barre la moins chère qui pourra supporter la charge F sera faite dans le matériau qui

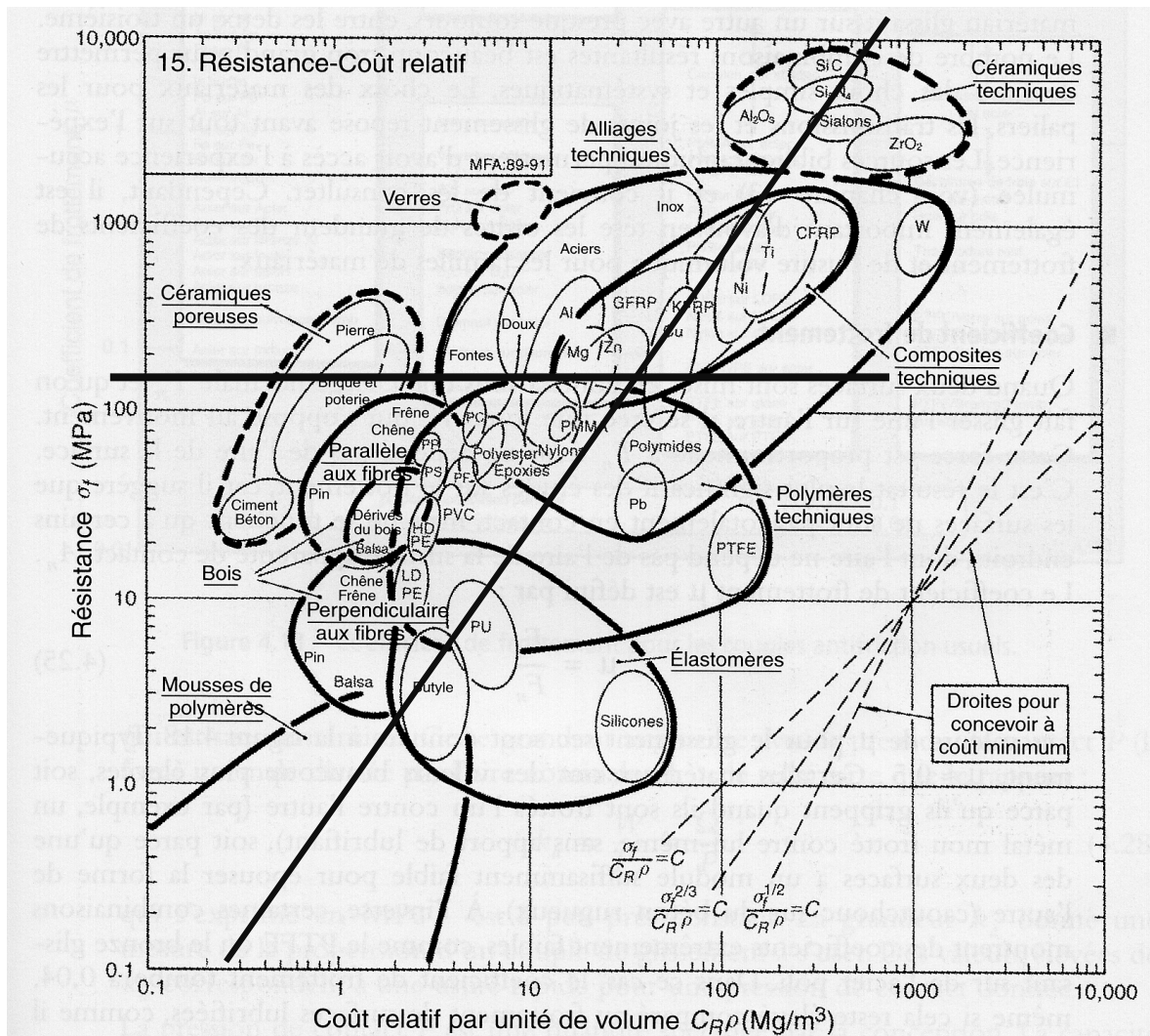
possède la valeur la plus faible du rapport  $\frac{C_m \rho}{\sigma^{\frac{2}{3}}}$ .

L'indice de performance est alors donné par la maximisation du rapport :  $\frac{\sigma^2}{C_m \rho}$ .

**A24** Parmi les diagrammes fournis un seul pouvait être utilisé en rapport avec la logique développée de conception à coût minimum tout en respectant la contrainte de sollicitation en flexion. La droite directrice pour l'indice précédemment calculé est placée de façon à ce que seul un petit groupe de matériaux se trouve au-dessus. Ce sont eux qui possèdent les plus grandes valeurs de cet indice et qui constituent le meilleur choix possible.

La ligne horizontale traduit la limite de propriétés que l'on pouvait relever sur le document DRS6.

On retrouve ainsi les grandes familles évoquées dans la partie A3.



### A3- Recherche des procédés associés

**A31** Le cahier des charges permet de positionner les deux limites supérieures pour l'état de surface ( on fait l'hypothèse que "grain R20" correspond à la valeur de la rugosité totale) et la tolérance dimensionnelle.

Les solutions adaptées aux matériaux possibles sont donc :

- PA6.6 chargé 30% fibre de verre ou polymère renforcé fibre de carbone : l'injection
- Alliage d'aluminium : moulage sous pression.

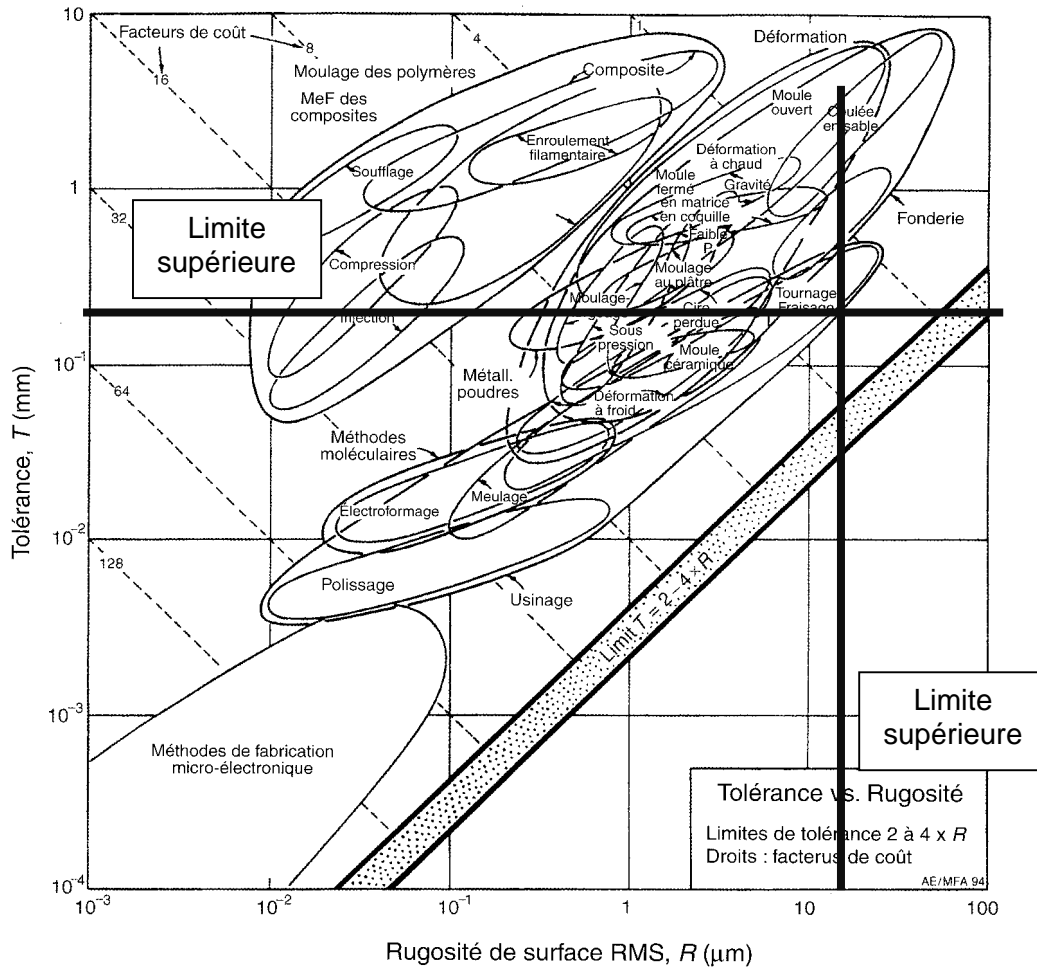


Figure 11.33 – Diagramme tolérance-rugosité.

**A32** Le coût d'un composant de masse  $m$  comprend :

- le coût du matériau  $C_m$  exprimé en  $\text{€} / \text{kg}$
- le coût de l'outillage dédié  $C_t$  en  $\text{€}$  que l'on amortira sur la série  $n$  de pièces
- le coût des frais généraux  $C_f$  exprimé en  $\text{€} / \text{h}$
- le coût énergétique  $C_e$  exprimé en  $\text{€} / \text{kWh}$
- le coût lié à l'utilisation des locaux  $C_s$  exprimé en  $\text{€} / \text{m}^2$

l'équation du coût prend alors la forme :

$$C = mC_m + \frac{C_t}{n} + \frac{C_l}{c} + \frac{PC_e}{c} + \frac{AC_s}{c}$$
 avec  $c$  la cadence,  $P$  la puissance,  $A$  la surface utilisée et  $Cl$  comprenant les frais généraux de base et l'amortissement sur une durée déterminée.

Le coût peut donc s'écrire sous la forme :

$$C = mC_m + \frac{C_t}{n} + \frac{C_{\text{généraux}}}{c}$$

**A33** Pour cette question il n'a pas été tenu compte de la réalisation du taraudage. La nomenclature devient donc :

Phase 10 : moulage sous pression

Phase 20 : Lavage – peinture

**A34** La décision finale à prendre, puisque le résultat sur les coûts est identique, est lié au contexte, c'est à dire à l'utilisation de la maîtrise du savoir faire de l'entreprise.

La solution à retenir est donc la continuité dans le couple injection – PA6.6 chargé.

#### **A4- Recherche d'une protection anticorrosion**

Nous ne donnerons ici que la solution industrielle utilisée : le brunissage.

#### **A5- Recherche d'une solution permettant l'obtention d'une dureté superficielle**

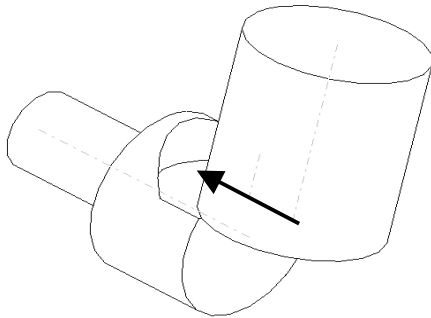
Le matériau donné, la zone limitée et localisée de traitement permettait de choisir la solution par trempé superficielle.

## PARTIE B Analyse et optimisation de processus

### B.1 Etude de la réalisation des embrèvements

**B11** Le tour Biglia a une structure de tour 3 axes : un axe rotatif C sur la broche et les axes conventionnels longitudinal Z et transversal X. La tourelle peut être équipée d'outils rotatifs dont les axes de rotation sont longitudinaux ou transversaux.

L'obtention d'une surface plane peut être obtenue en dehors des opérations usuelles de dressage en tournage par des outils rotatifs.

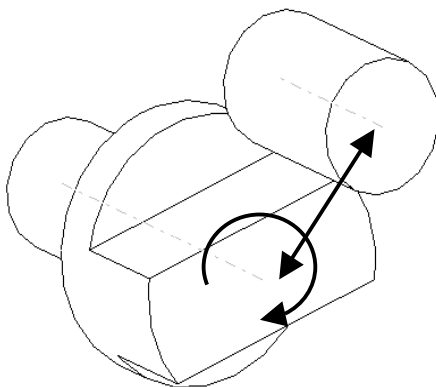


Mouvement d'avance longitudinal avec un outil rotatif d'axe transversal.

Par construction de la machine l'axe de l'outil est nominale-ment perpendiculaire et concourant à l'axe de broche.

La deuxième surface générée par cet usinage est une portion de cylindre.

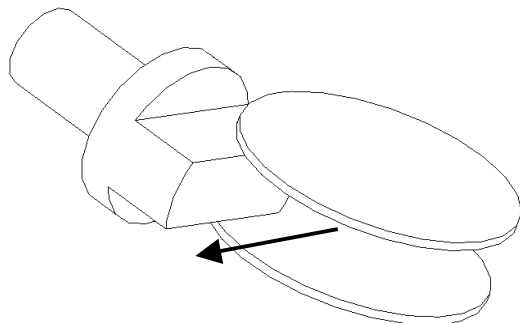
Ce cas de figure ne convient pas à l'usinage des embrèvements.



La surface plane parallèle à l'axe de la pièce est obtenue par combinaison d'un déplacement radial de l'outil (axe X) et d'une rotation de la pièce (axe C).

Dans ce cas les embrèvements peuvent être usinés. Par contre l'intégralité de la matière doit être transformée en copeau ce qui nécessite un usinage en plusieurs passes.

La dernière solution évite de transformer toute la matière à enlever en copeau par l'utilisation d'un train de fraises scie.



Les deux plans sont usinés simultanément pendant l'opération 107 par un déplacement transversal du train de fraises.

Les surfaces perpendiculaires à l'axe de la pièce sont obtenues par l'opération 108 avec une fraise scie dont l'axe de rotation est parallèle à l'axe de la broche. Les mouvements sont ceux de la description précédente.

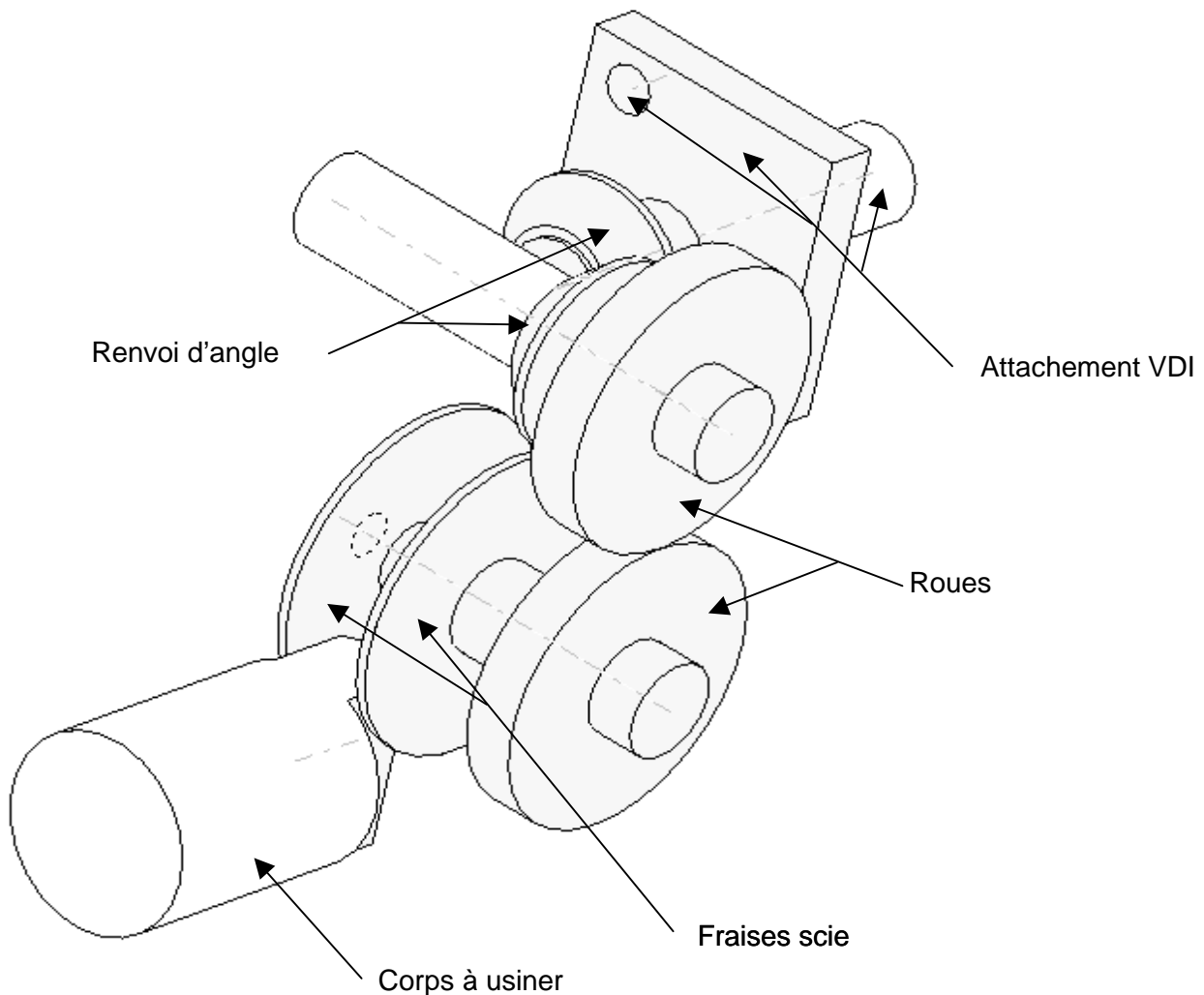
**B12** Les outillages standard offrent des axes de rotation des outils rotatifs parallèles à l'axe Z ou parallèles à l'axe X. Dans le cas de l'opération 107, l'axe de rotation des fraises est perpendiculaire à X et Z. Il est donc nécessaire de construire un mécanisme de renvoi d'angle dans le porte-outil du train de fraises.

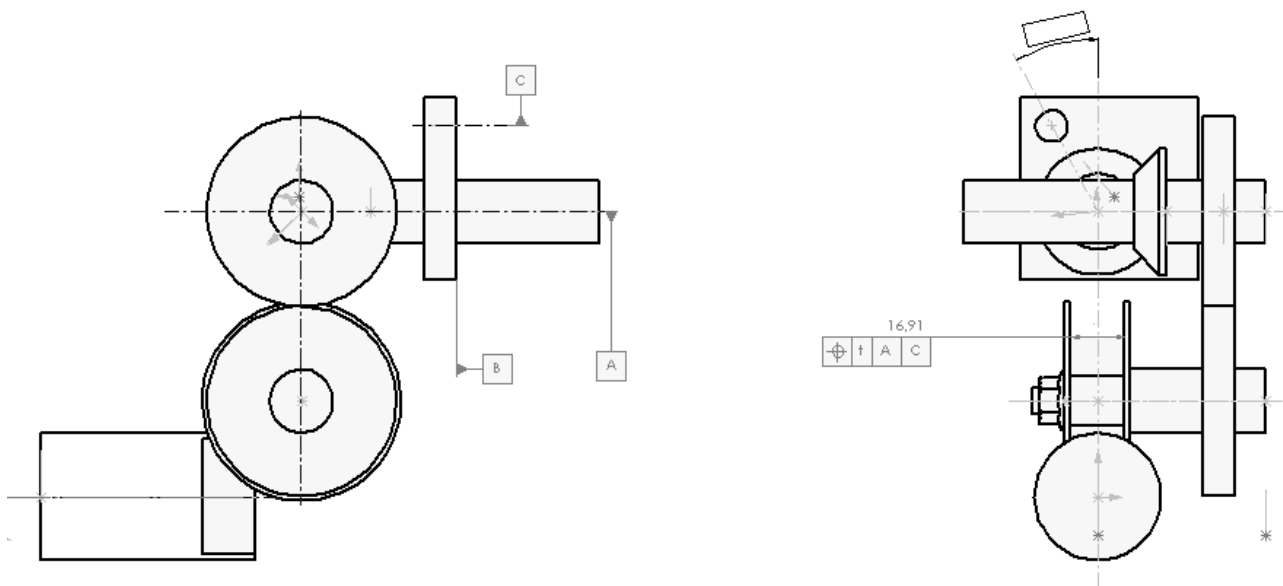
**B13** Le mouvement d'avance étant assuré par un déplacement le long de l'axe transversal X de la machine la structure du programme devra comporter les commandes suivantes :

- Indexage de la broche porte pièce dans une position quelconque choisie
- Mise en route de l'outil rotatif
- Déplacement transversal X en avance travail
- Dégagement des outils en Z
- Arrêt de l'outil rotatif
- Retour au point de dégagement transversal

**B14**

La tourelle principale dispose d'un système d'attachement VDI parallèle à l'axe de broche.

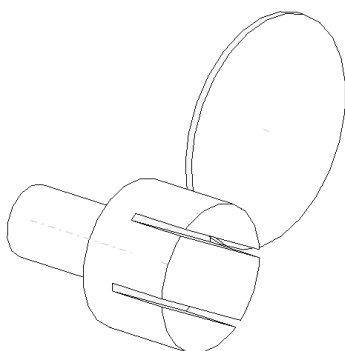




Par ailleurs les fraises doivent être disposées symétriquement par rapport à l'axe de la pièce ce qui conduit à exiger le positionnement du plan de symétrie du train de fraises par rapport au système d'attache.

La partie inférieure de l'outillage et des fraises doit se trouver à l'intérieur d'un cylindre de 535mm centré sur l'axe de rotation de la tourelle.

**B15** L'opération 108 consiste au sciage du restant de matière à enlever pour réaliser l'embrèvement. Il s'agit d'une opération typique de fraisage sur tour 3 axes où la trajectoire est obtenue par combinaison d'un déplacement transversal (axe X) de l'outil et d'un déplacement en rotation (Axe C) de la pièce.

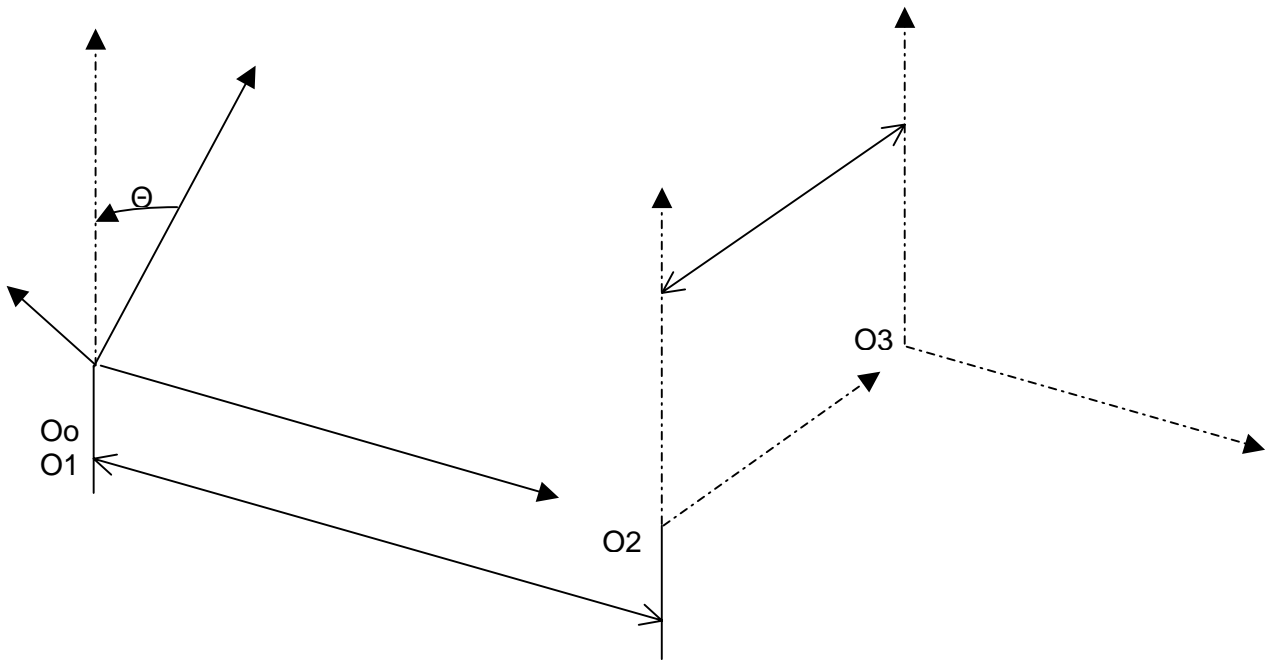


Soient les repères

- $R_0(O_0, X_0, Z_0)$  lié au mandrin,  $Z_0$  axe de rotation C
- $R_1(O_1, X_1, Z_1)$  lié au bâti,  $Z_1$  direction de l'axe numérique Z
- $R_2(O_2, X_2, Z_2)$  lié au chariot longitudinal,  $Z_2$  direction de l'axe numérique X
- $R_3(O_3, X_3, Z_3)$ ,  $O_3$  extrémité de l'outil

Dans le paramétrage retenu les coordonnées articulaires sont  $\theta_1$ ,  $d_2$  et  $d_3$ .





Les coordonnées  $(x,y,z)$  du point O3 dans le repère lié au mandrin, c'est à dire à la pièce, s'expriment par le modèle géométrique direct :

$$x = d_3 \sin \theta_1 \quad y = -d_3 \cos \theta_1 \quad z = d_2$$

Le modèle géométrique inverse qui exprime les coordonnées articulaires en fonction des coordonnées de la tâche s'écrit :

$$\theta = \text{Arctg}\left(\frac{x}{d_3}, -\frac{y}{d_3}\right) \quad d_2 = z \quad d_3 = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Le modèle cinématique direct est obtenu par dérivation du modèle géométrique :

$$\dot{x} = \dot{d}_3 \sin \theta_1 + \dot{\theta} d_3 \cos \theta_1 \quad \dot{y} = -\dot{d}_3 \cos \theta_1 + \dot{\theta} d_3 \sin \theta_1 \quad \dot{z} = \dot{d}_2$$

Le modèle cinématique inverse est très simple à écrire :

$$\dot{\theta} = (\dot{x} \cos \theta + \dot{y} \sin \theta) / d_3 \quad \dot{d}_2 = \dot{z} \quad \dot{d}_3 = \dot{x} \sin \theta - \dot{y} \cos \theta$$

Pour décrire un segment de droite AB faisant un angle alpha avec la direction Xo, il suffit de vérifier à chaque instant la relation :

$$\dot{y} = \dot{x} \text{tg} \alpha$$

Pour que cette trajectoire s'effectue à vitesse constante V, il faut :

$$\dot{x}^2 + \dot{y}^2 = V^2 \quad \text{soit} \quad \dot{x} = \frac{V}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha}}$$

Le directeur de commande numérique doit donc imposer, à chaque instant sur les trois axes, les vitesses articulaires suivantes :

$$\dot{\theta} = V(\cos \theta + \text{tg} \alpha \sin \theta) / d_3 \sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha}$$

$$\dot{d}_2 = 0$$

$$\dot{d}_3 = V(\sin \theta - \text{tg} \alpha \cos \theta) / \sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha}$$



**B23** En considérant que la première opération sur chaque tourelle occupe le poste 1 et en notant qu'un poste sur deux peut accueillir une unité motorisée (donc poste de numéro pair) nous obtenons le tableau de montage des outils ci-dessous :

TOURELLE SUPERIEURE	
Opération 101	Poste 1
Opération 102	Poste 2
Opération 103	Poste 3
Opération 104	Poste 4
Opération 105	Poste 5
Opération 107 Fraisage	Poste 6
Opération 108 Fraisage	Poste 8
Opération 110 Perçage	Poste 10
Opération 111	Poste 11
Opération 112	Poste 12

TOURELLE INFERIEURE	
Opération 106	Poste 1
Opération 109	Poste 2
Opération 111	Poste 3
Opération 201	Poste 4
Opération 202	Poste 5
Opération 203	Poste 6
Opération 204	Poste 7
Opération 205 Perçage	Poste 8

### B.3 Position angulaire du filetage

**B31** Il s'agit de réaliser un filetage M40-6g , 3 filets à gauche au pas de 9mm. L'indication 6g n'intervient que dans le tolérancement du filetage. Les différents modes de pénétration sont applicables. Selon les possibilités du directeur de commande les trois filets peuvent être obtenus :

- Par programmation du nombre de filets si le cycle de filetage le prévoit.
- Par programmation successive de trois cycles de filetage au pas de 9mm en prévoyant entre chaque cycle un décalage du point de départ de 3mm. Les points d'arrivée restent les mêmes.

**B32** L'intention du concepteur est ici d'avoir un système orienté pour que la poignée occupe une position particulière par rapport au siège de façon à en assurer la manoeuvre. Les normes de spécification ne prévoyant pas d'indication permettant de définir l'orientation d'une hélice il ne reste plus qu'à exprimer en clair le besoin.

Du point de vue du contrôle l'option la plus directe est d'assembler la pièce de réglage dans un système de verrouillage et de vérifier la position angulaire.

Après évaluation de l'écart angulaire et connaissance du pas, il est aisé de déterminer le décalage axial à donner au filetage.

L'ajustage de la production peut être obtenu par l'insertion d'un décalage programmé en Z avant le ou les cycles de filetage. Il faut ensuite l'annuler après le filetage.

### B.4 Configuration d'un nouveau moyen de production

**B41** Afin de réduire les outillages spécifiques il est souhaitable d'envisager l'usinage des embrèvements à la fraise deux tailles en utilisant les possibilités de déplacement selon un axe Y du chariot supérieur.

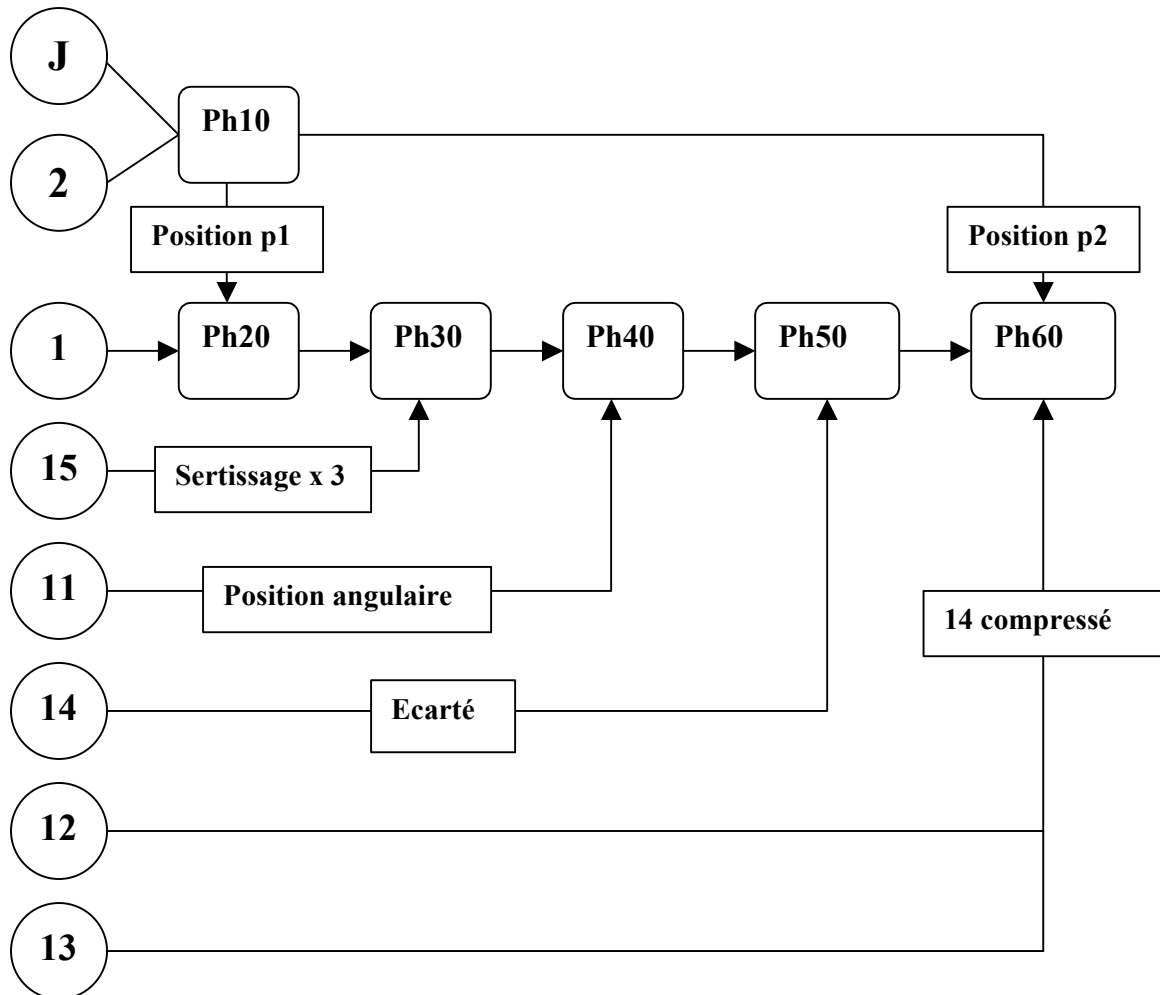
En ce qui concerne les vérifications de puissance ce n'est pas tant en tournage qu'il convient de faire une vérification qu'en fraisage et en particulier pour l'usinage des embrèvements. En considérant un coefficient de coupe de l'ordre de  $2500\text{N/mm}^2$  , une avance par dent de 0.2mm, une fraise de 20mm et 4 dents travaillant à la vitesse de 100m/min pour une largeur de coupe de 16mm et une profondeur de 16mm (valeurs prises au maxi), on obtient une puissance de coupe de l'ordre de 20kW.



## PARTIE C Etude du processus d'assemblage, contrôle du produit

### C.1 Etude de la gamme d'assemblage

#### C11



**C12**      **Ph 10** : Montage du joint sur 2

**Ph 20** : Introduction de 2 dans 1 (gabarit)

**Ph 30** : Introduction des 3 billes 15 dans 2 et sertissage

**Ph 40** : Vissage de la poignée 11 (gabarit de position angulaire)

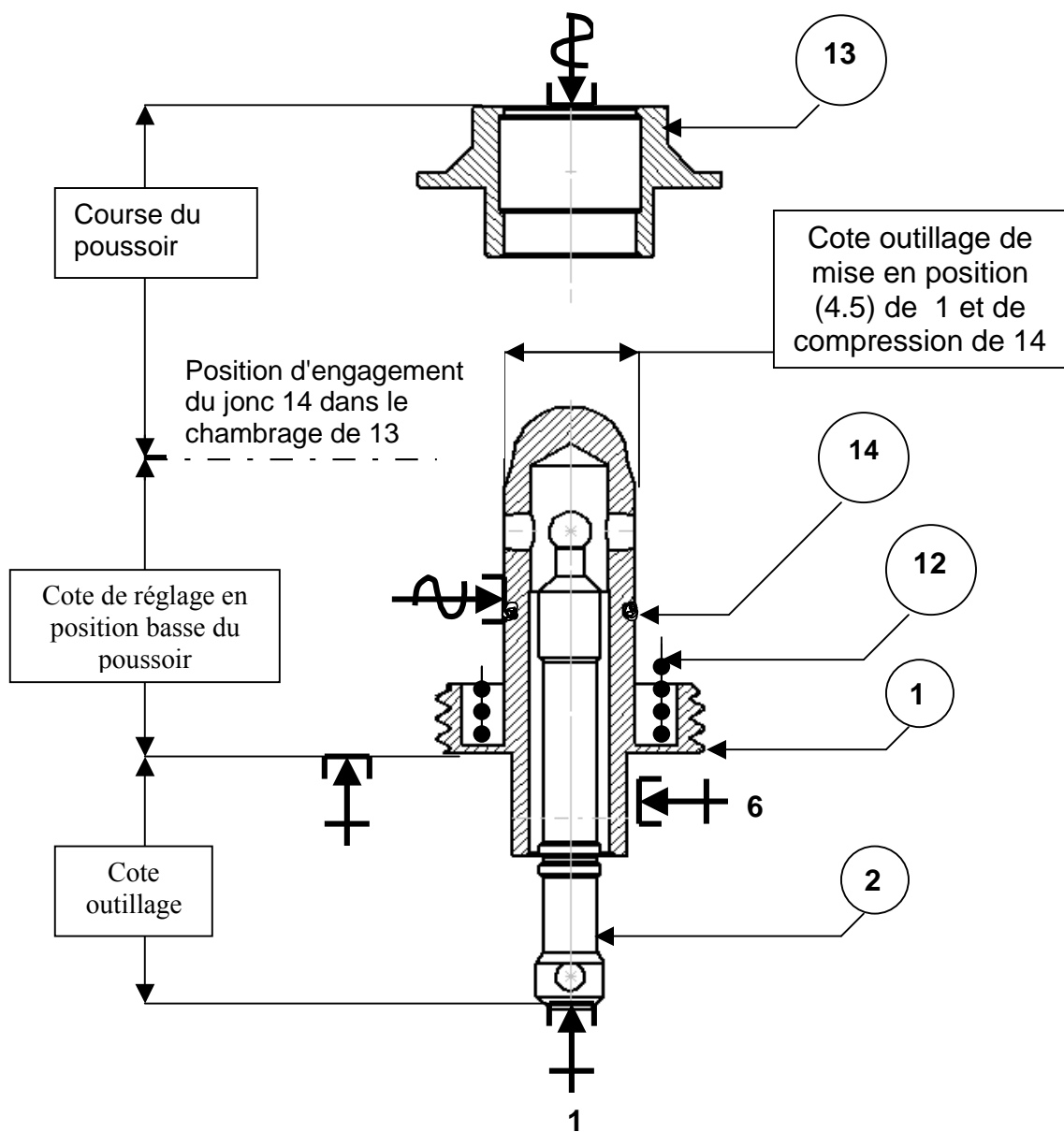
**Ph 50** : Introduction du jonc 14 dans la rainure (pince à écarter)

**Ph 60** : Montage de 12 et 13 (poste avec compression du jonc)

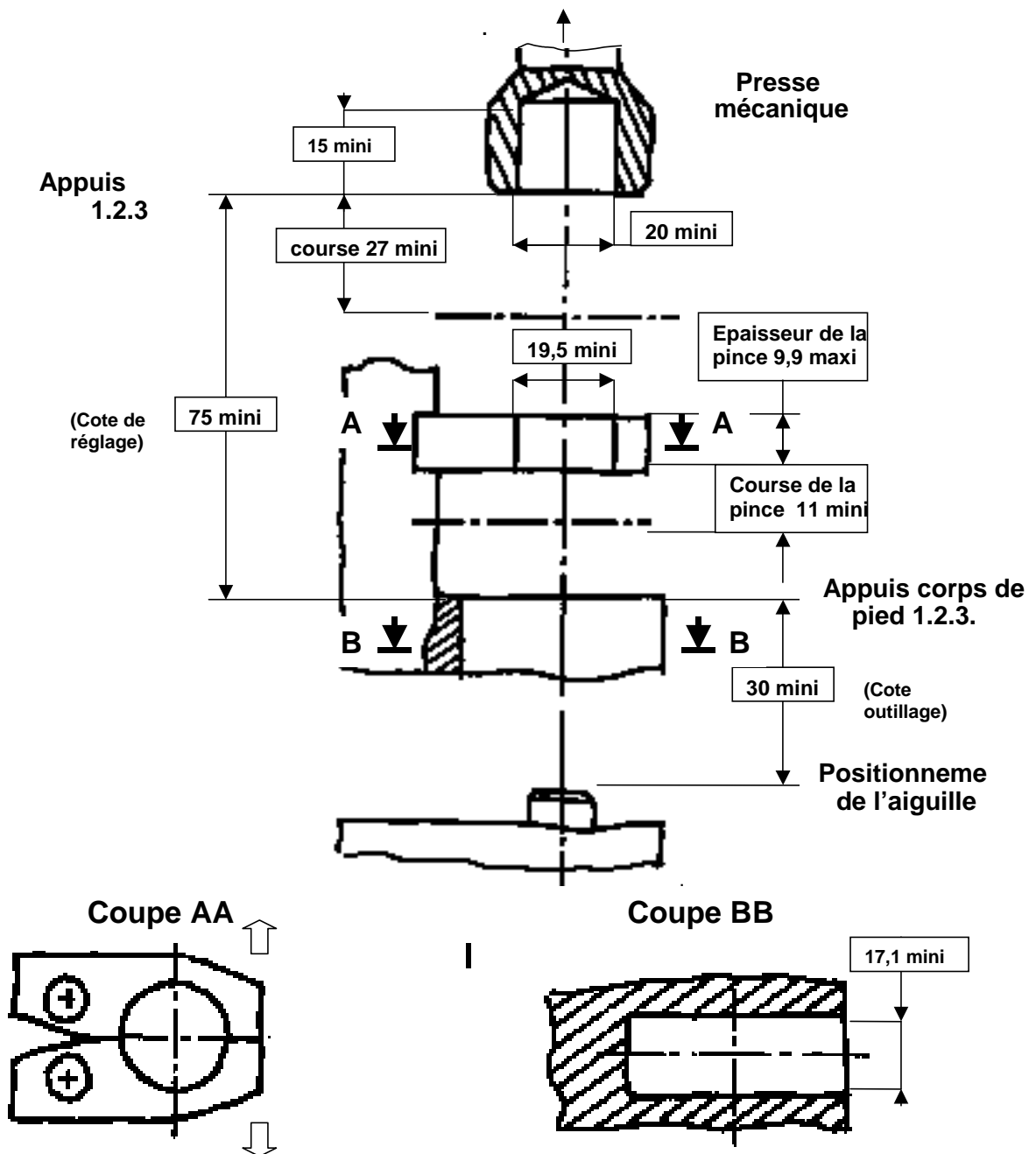
## C.1 Etude de la phase d'assemblage

C21-22 Ph 60 : Montage du ressort 12 et de la douille 13 sur le corps 1

- 61 - mettre en position l'ensemble 1+2 ;
- 62 - compresser 14 à l'aide de la pince ;
- 63 - poser 12 ;
- 64 - introduire 13 à l'aide de la presse ;
- 65 - chasser la pince (qui glisse sur 1 en compressant 14) jusqu'à l'introduction de 14 dans 13 ;
- 66 - remonter le poussoir de la presse et ouvrir la pince.



Elément d'outillage de la phase 60



Pince coulissant selon y, ouverture pneumatique  
Centrage corps de pied 4.5.

Orientation corps de pied butée 6

### C.3 Mise en place d'un contrôle de conformité

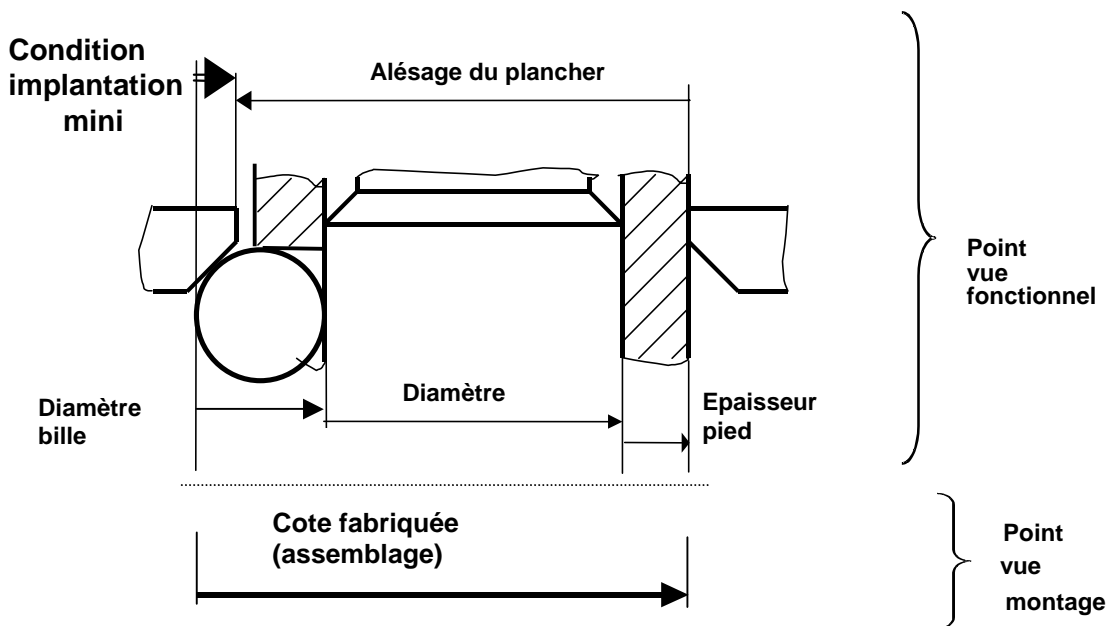
**C31** La station est constituée d'une table à déplacements numériques XY sur laquelle est posée la pièce. Cet ensemble est associé à un système optique (caméra haute résolution, zoom, éclairage par LED programmable) et à un système de traitement de l'image et de la mesure. Le contrôle s'effectue à partir des points relevés par analyse de l'image de la pièce, ces informations sont traitées par le logiciel. Ce logiciel permet de définir la position de ces points et calcule les écarts par rapport aux géométries de référence. Comme sur une machine à mesurer tri-dimensionnelle le contrôle est automatisé.

Les principaux avantages sont la rapidité et la précision de la mesure, le procédé éliminant les dispersions dues au palpement par contact. La parfaite intégration dans la chaîne numérique d'un tel procédé est également un atout.

Les inconvénients sont surtout liés aux difficultés optiques qui limitent la mesure 3D à des profils parfaitement définissables par le système d'éclairage.

**C32** Mise en place de la condition formulée par le concepteur :

Une première solution serait de faire l'hypothèse défavorable pour l'ancrage que le système n'est pas centré (efforts non répartis, les billes n'étant pas à 120°)

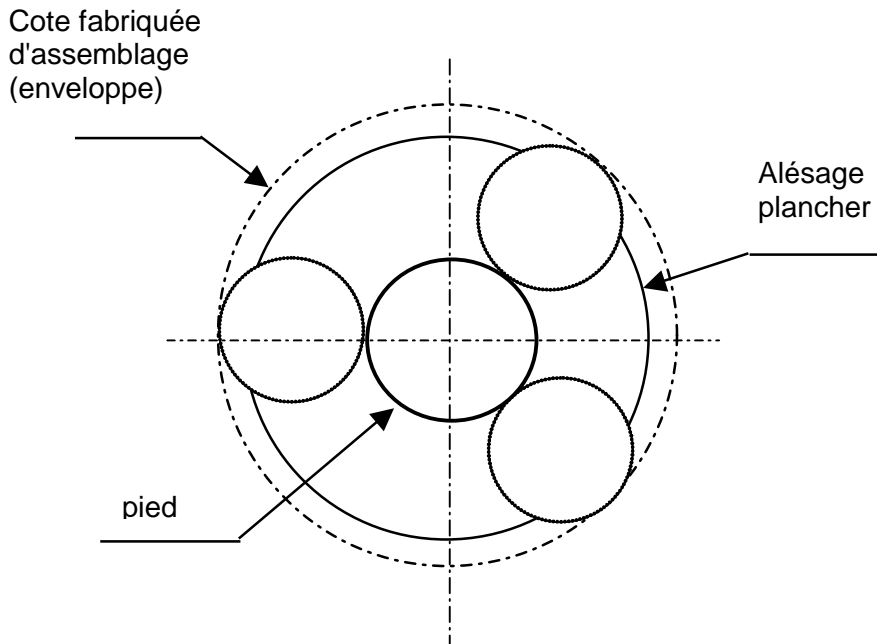


Comme le montre le schéma ci-dessus, la principale grandeur à mesurer sur le sous-ensemble intègre plusieurs composantes: le diamètre de bille, le diamètre de l'aiguille, le rayon de pied et l'épaisseur de pied (laquelle sera appréhendée à partir de l'alésage de pied, de l'écart maxi dû au défaut de coaxialité et du rayon extérieur de pied).

Le contrôle de cette grandeur peut alors s'effectuer en trois mesurages dans le plan des billes et selon des directions passant par le centre de chacune des billes et le centre du corps. Un dispositif permettra pour chacun des mesurages de rattraper les jeux entre la bille et le point de contact opposé du corps de pied (par exemple une bague plastique déformable en appuis sur la bille dont on mesure la position).

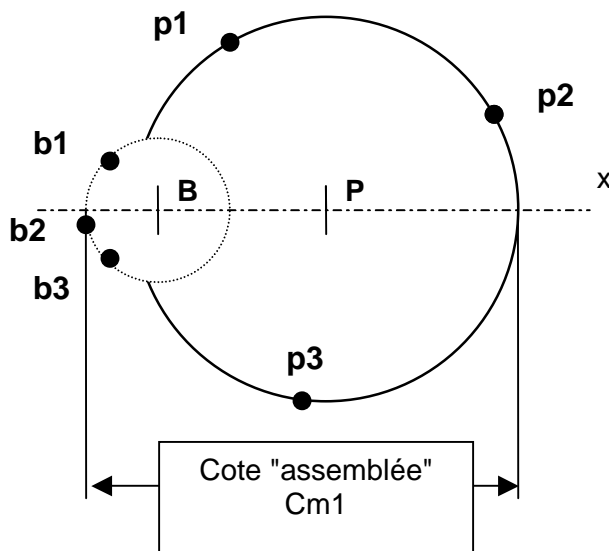


Une autre solution serait de faire l'hypothèse plus favorable (et sans doute réaliste si l'écart entre les diamètres de pied et d'alésage plancher est suffisant) selon laquelle le système se centre dans l'alésage.



La grandeur à mesurer serait alors le diamètre du cercle enveloppe des trois billes. Son contrôle s'effectuera en un seul mesurage (détermination du cercle circonscrit aux trois billes).

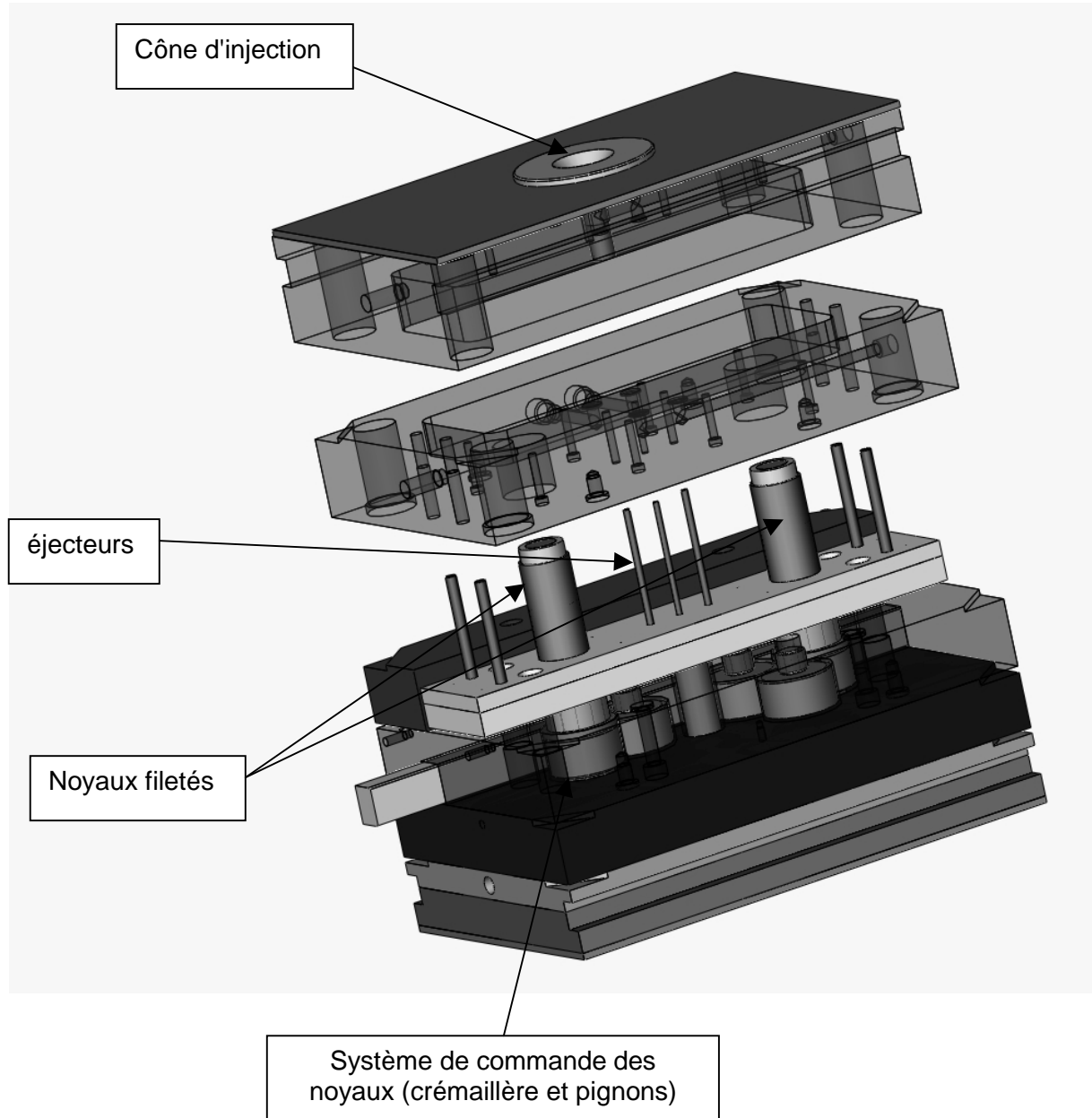
### C33 Procédure de contrôle (1<sup>er</sup> cas : jeux rattrapés dans la direction X)



1. Reconnaissance par caméra (palpage sans contact) de trois points  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  appartenant à la bille.
2. Calcul du diamètre de la bille et de la position du centre  $B$ .
3. Reconnaissance par caméra (palpage sans contact) de trois points  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  appartenant au pied.
4. Calcul du diamètre de pied et de la position de  $P$ .
5. Définition de l'axe passant par  $B$  et  $P$  et des points extrêmes d'intersection avec le diamètre de bille et le diamètre de pied.
6. Affichage de la grandeur  $c_{m1}$  et comparaison avec les valeurs limites calculées.
7. Si conforme, procéder de la même manière avec la bille 2 puis la bille 3.

Annexe Partie A

Outillage sans la partie moulante



Extrait de la solution industrielle

