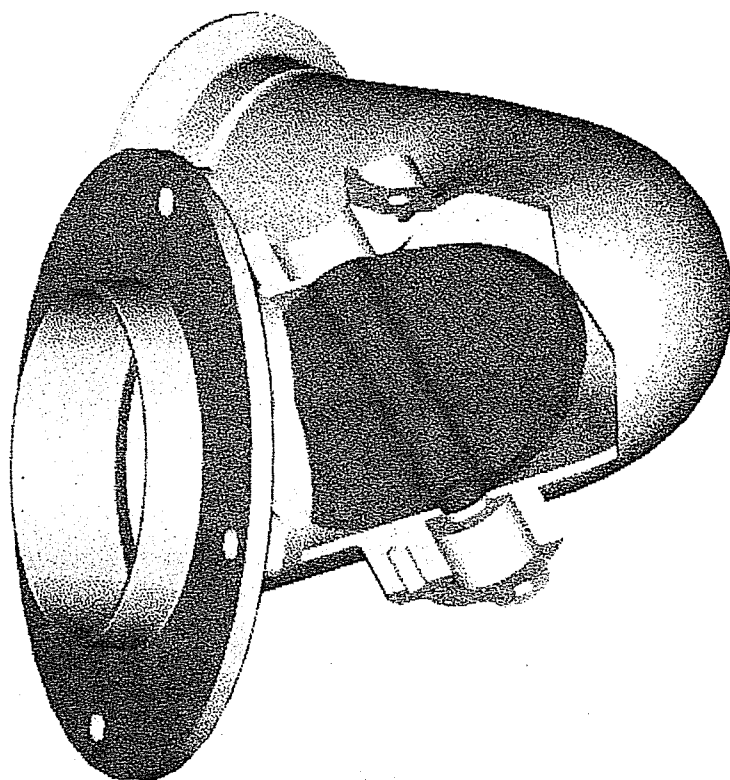


Épreuve

Composition sur les technologies de fabrication

Éléments de correction



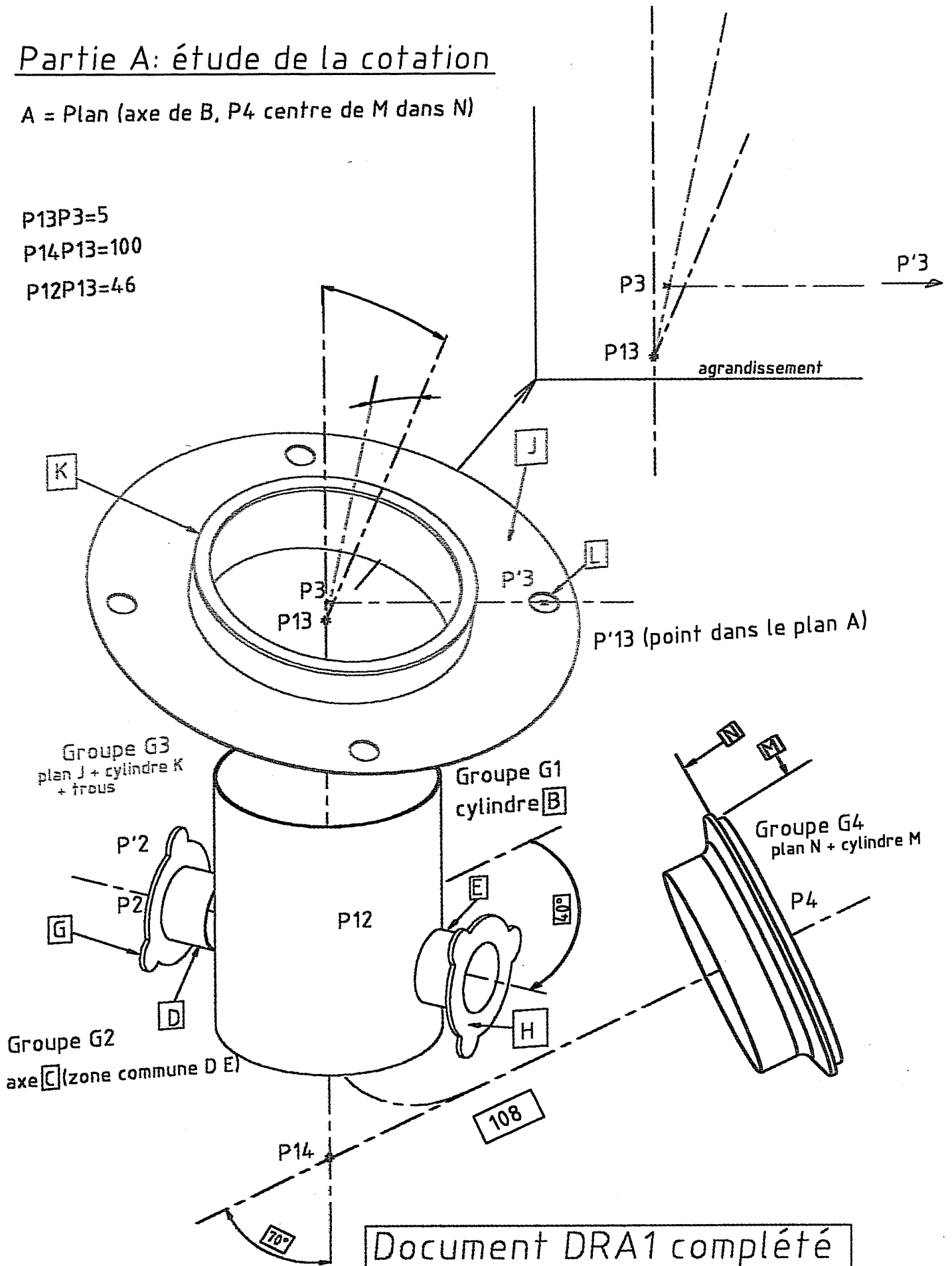
Partie A: étude de la cotation

A = Plan (axe de B, P4 centre de M dans N)

P13P3=5

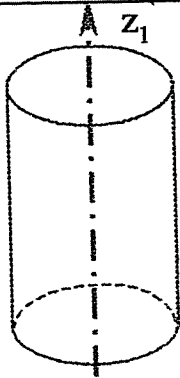
P14P13=100

P12P13=46

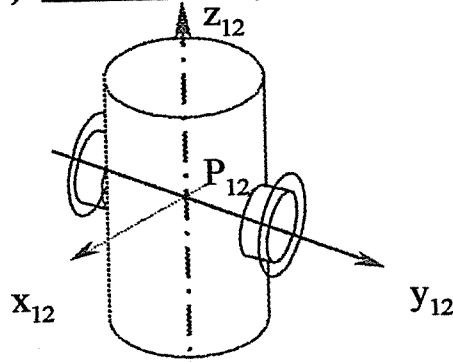


QA1 - Etapes de définition

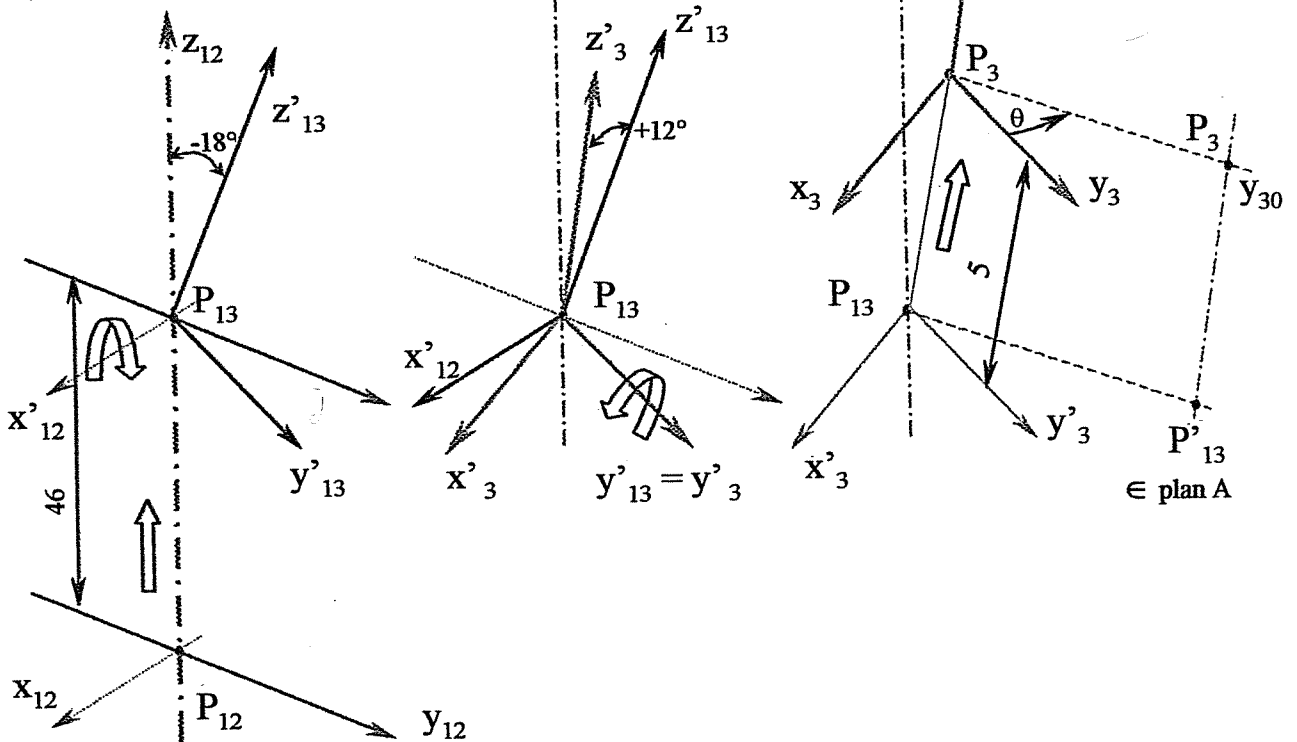
1) Construction (G1)



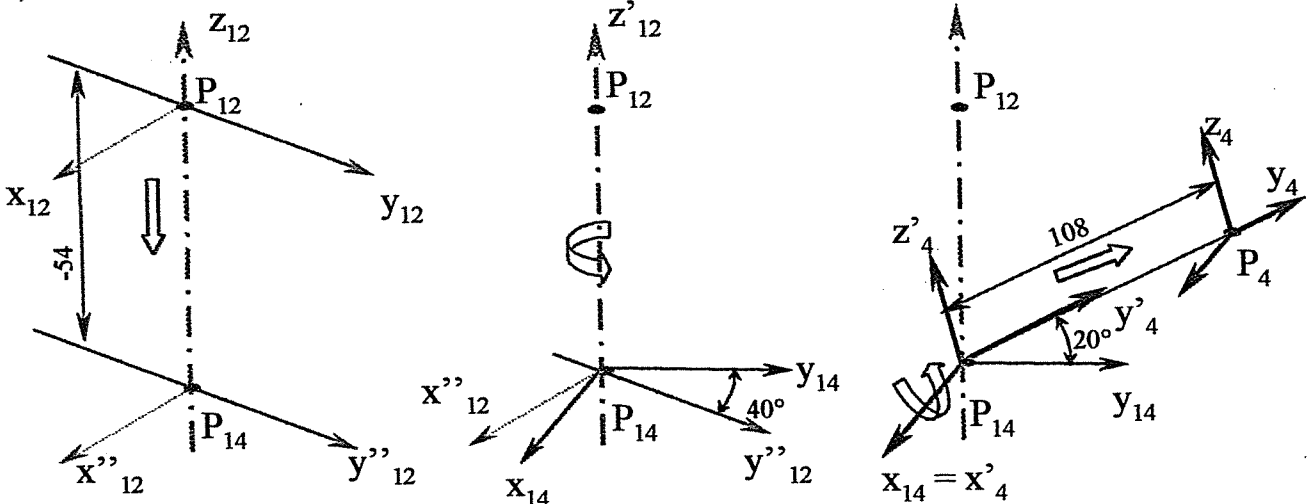
2) Construction (G2)



3) Construction (G3)



4) Construction (G4)



QA2 : Analyse du tolérancement

La lecture des spécifications de position et d'orientation intergroupes fait apparaître les liens suivants :

Spécifications relatives au groupe G1 :

Aucune (pris en référence pour la suite)

Spécifications relatives au groupe G2 :

Axe C : - position : tolérancement en symétrie en référence à B (G1).

interprétation : l'écart de position tolérancé est la distance entre les deux axes (nominalement concourants).

- orientation : tolérancement en perpendicularité en référence à B (G1).

Remarque : ces deux spécifications sont issues de la condition fonctionnelle : étanchéité papillon / vanne

Spécifications relatives au groupe G3 :

- **J** et **K** tolérancés en position en référence aux surfaces du groupe G1 (B) et du groupe G2 (C).

Remarque : En effet pour l'aspect construction la démarche la plus simple est, dans ce cas, de partir d'un trièdre orthogonal « central » associé à B et C (R_{12}).

L'aspect « fonctionnel » induirait plutôt de prendre les surfaces de G3 (qui assurent le positionnement vanne / moteur) en référence pour localiser le groupe G1

- **4 trous dont L** tolérancés en position en référence :

- aux surfaces du même groupe G3 (J et K),

- le « calage » angulaire de leur position est donné en référence au plan A (plan de symétrie de la tubulure principale (G1 + G4))

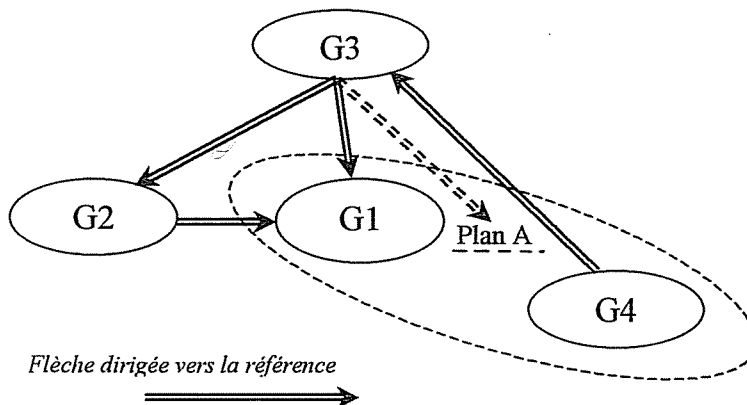
(voir figure ci-contre Construction (G3) – position du point P'3)

Remarque : il serait opportun de faire figurer sur la cotation l'angle théorique d'orientation θ .

Spécifications relatives au groupe G4 :

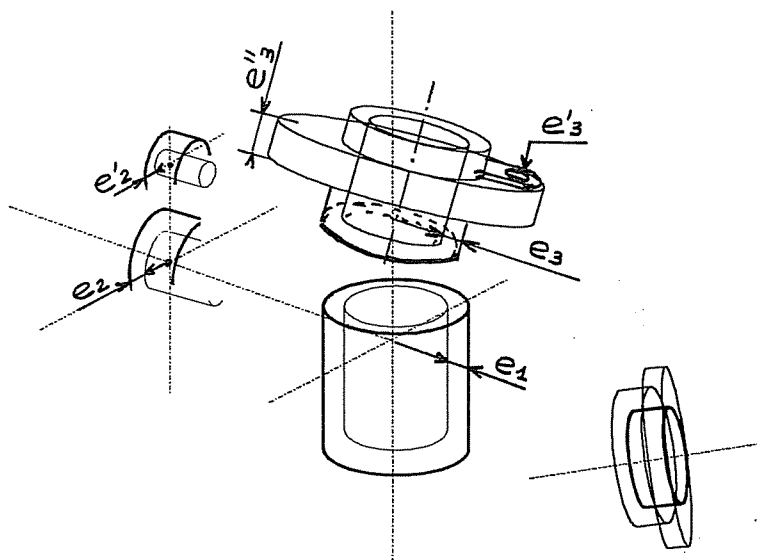
M et **N** tolérancés en position en référence aux surfaces du groupe G3 (J, K et L)

Remarque : on retrouve dans ce tolérancement l'aspect fonctionnel évoqué ci dessus.



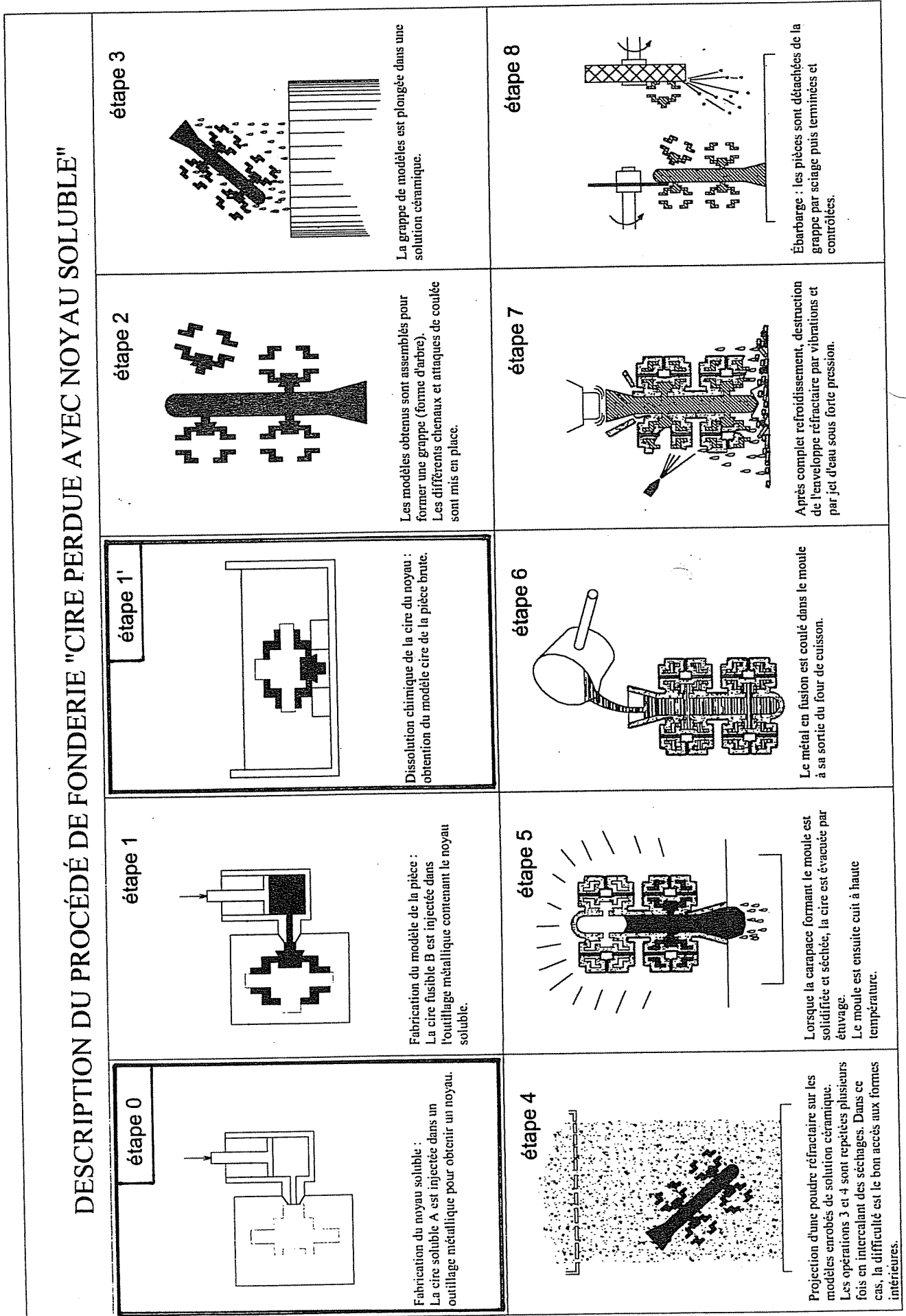
QA3 : Spécifications entre usiné et brut

Les contraintes e_1 , e_3 et e_4 induisent des coaxialités ou concentricités entre les surfaces usinées et les surfaces brutes correspondantes et sont donc les plus contraignantes compte tenu des épaisseurs de toile radiales.



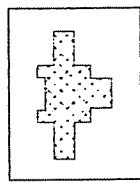
B – Etude de l'obtention et de la définition du brut

QB1 : Définition des étapes à rajouter au synoptique pour l'obtention des formes intérieures avec noyau (technique noyau cire soluble et technique noyau céramique)



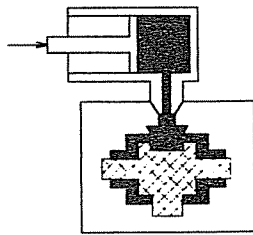
DESCRIPTION DU PROCÉDÉ DE FONDERIE "CIRE PERDUE AVEC NOYAU CÉRAMIQUE"

étape 0



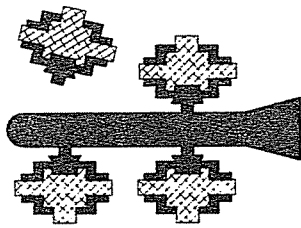
Fabrication du noyau céramique :
Le matériau céramique est moulé puis durci dans un outillage métallique pour obtenir un noyau très résistant, quelquefois creux.

étape 1



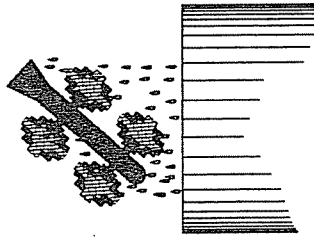
Fabrication du modèle de la pièce :
La cire fusible B est injectée dans l'outillage métallique contenant le noyau céramique.

étape 2



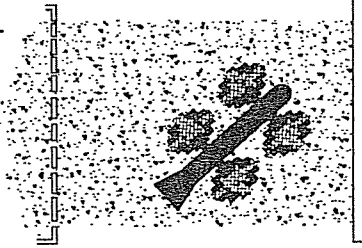
Les modèles obtenus contenant les noyaux sont assemblés pour former une grappe. Les différents chenaux et attaques de coulée sont mis en place.

étape 3



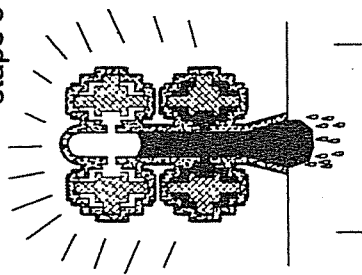
La grappe de modèles est plongée dans une solution céramique.

étape 4



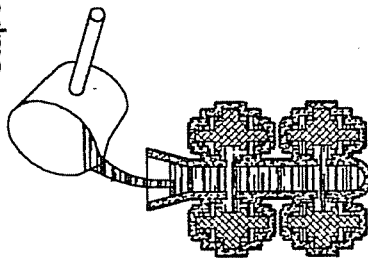
Projection d'une poudre réfractaire sur les modèles enrobés de solution céramique. Les opérations 3 et 4 sont répétées plusieurs fois en intercalant des séchages. Dans ce cas, aucune difficulté d'accès aux formes intérieures et noyau très rigide

étape 5



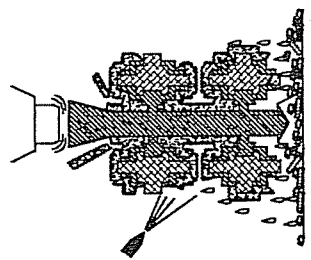
Lorsque la carapace formant le moule est solidifiée et séchée, la cire est évacuée par étuvage.
Le moule est ensuite cuit à haute température.

étape 6



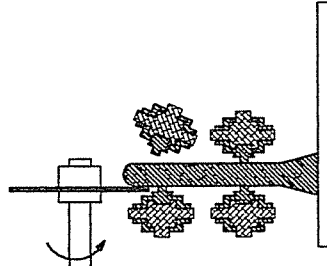
Le métal en fusion est coulé dans le moule à sa sortie du four de cuisson.

étape 7



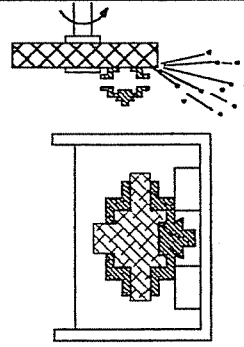
Après complet refroidissement, destruction de l'enveloppe réfractaire par vibrations et par jet d'eau sous forte pression.

étape 8



Ébarbage : les pièces sont détachées de la grappe par sciage.

étape 9



Dissolution chimique du noyau :
obtention finale de la pièce brute.
Opérations diverses de parçage

Obtention des FORMES INTÉRIEURES

QB12 : Définition des spécificités des outillages

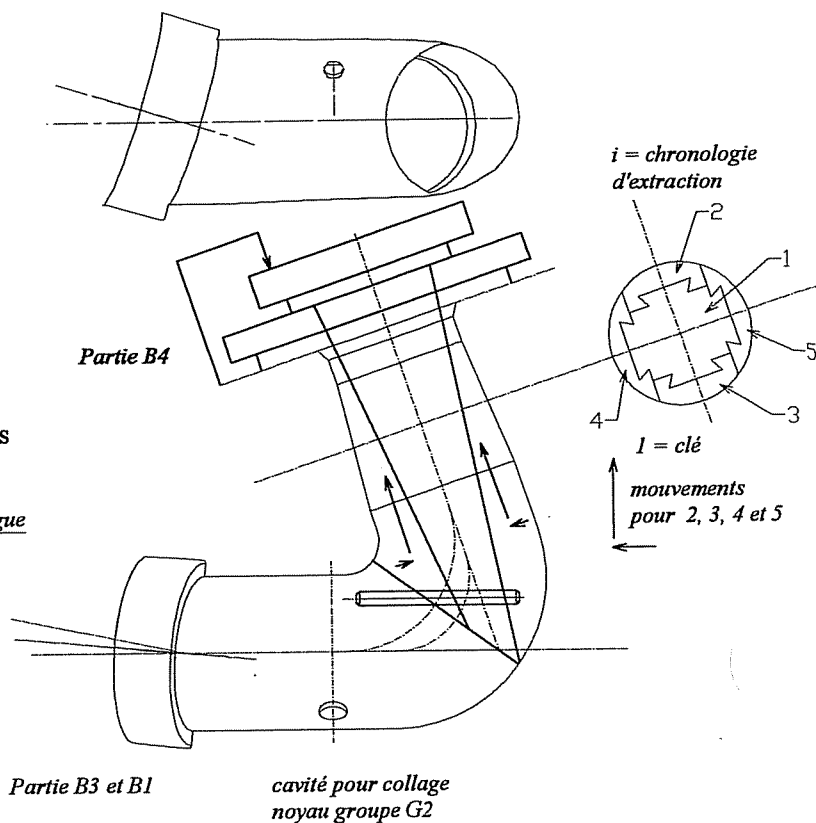
Technique 1 :

Document DRB2

Commentaires :

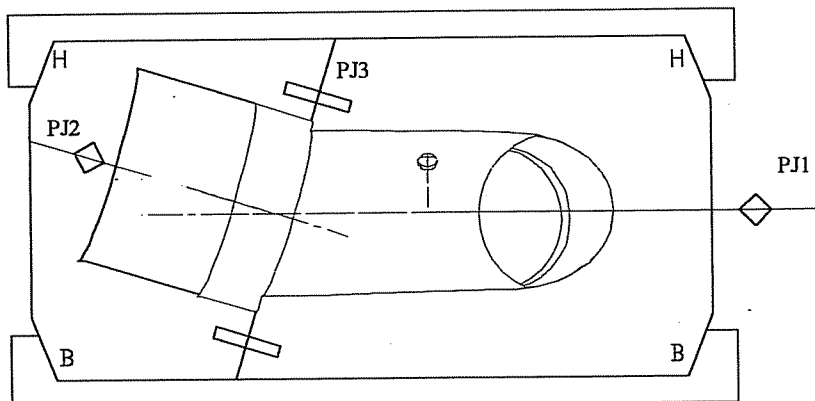
- coût d'outillage élevé
- plus de 10 pièces en tout positionnées entre-elles par glissière
- blocage en position des différents éléments lors de l'injection

*Technique analogue
1 clé + 4 parties
périphériques*

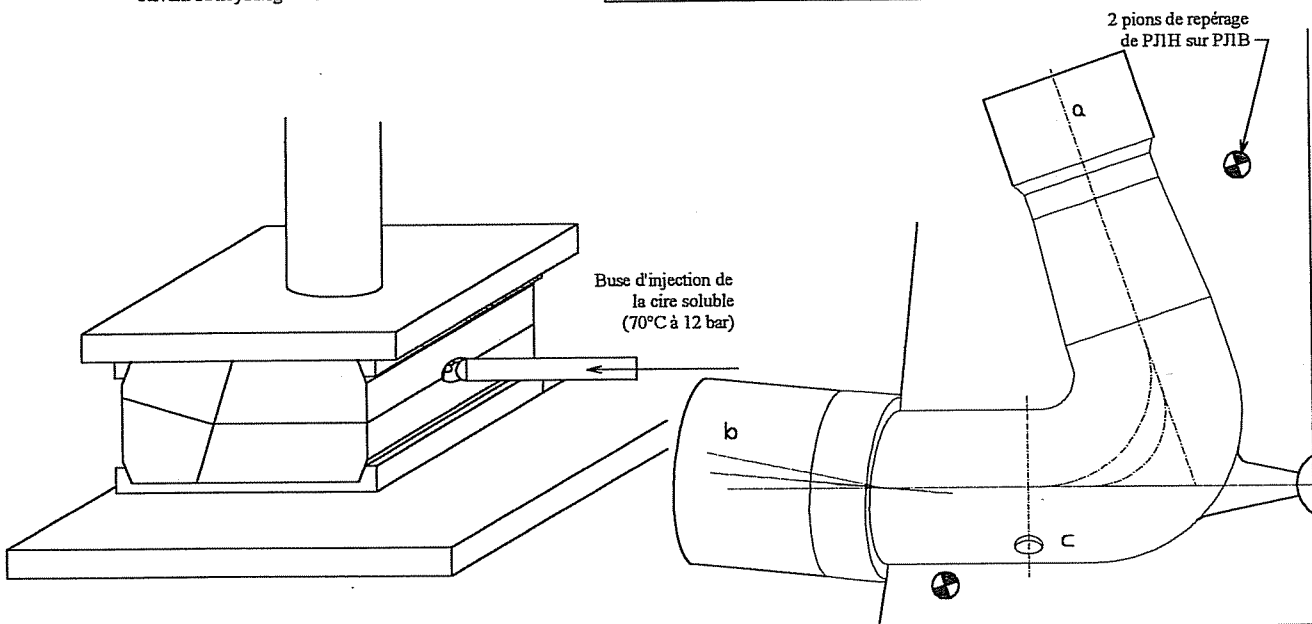


Technique 2 :

- On veillera à définir clairement :
- les incidences du changement d'orientation entre les zones du noyau correspondant aux groupes G1 et G3
 - les dispositifs de positionnement du "noyau" dans le moule d'injection du modèle



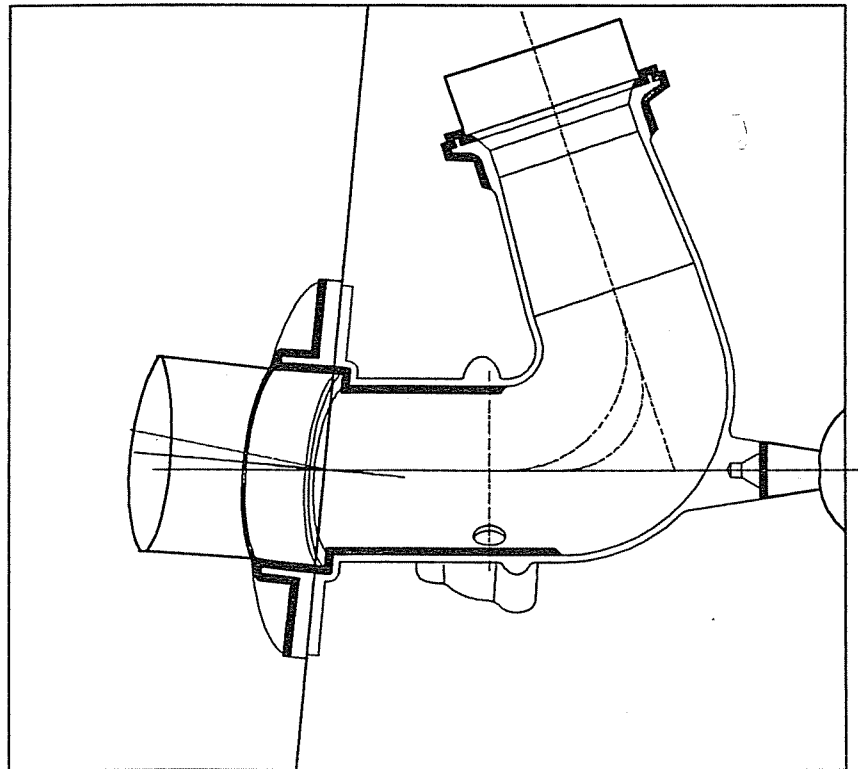
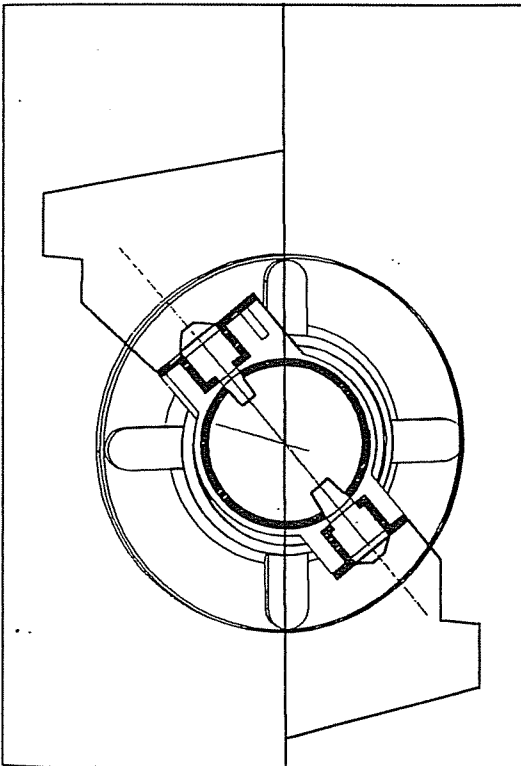
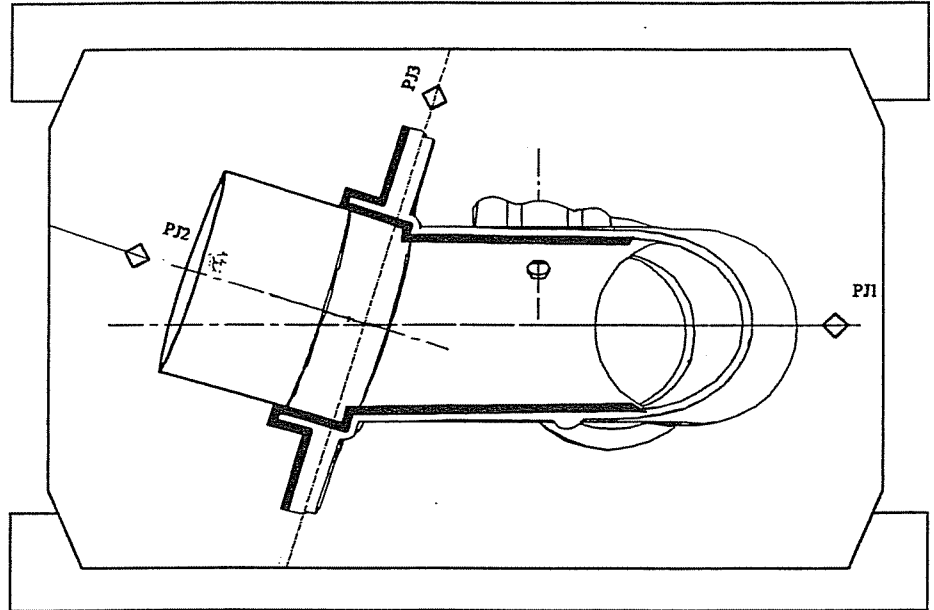
- Commentaires:
- a et b : 2 portées de noyaux (environ une fois le Ø)
 - c : venue de 2 logements en creux pour collage ultérieur d'appendices servant au noyautage de D et E



Utiliser les silhouettes ci-dessous sur lesquelles vous ajouterez les surépaisseurs d'usinage et compléter par toute autre vue jugée utile

Commentaires :
 Suépaisseurs d'usinage fixée à 2 mm

Remarque :
 la partie du modèle concernant le groupe G3b pourrait être rapportée collée sur le reste du modèle. Ceci aurait pour intérêt de réduire et simplifier l'outillage au détriment cependant de la précision géométrique du modèle.



	Avantages	Inconvénients
Technique 1	<ul style="list-style-type: none"> Précision dans l'obtention du positionnement relatif intérieur / extérieur Obtention directe du modèle en une seule opération 	<ul style="list-style-type: none"> Coût de l'outillage Temps et précautions nécessaires pour le démontage des parties intérieures au démoulage du modèle cire
Technique 2	<ul style="list-style-type: none"> Simplicité relative des outillages (par rapport à la technique 1) 	<ul style="list-style-type: none"> Problèmes liés au positionnement relatif intérieur / extérieur et déformation du noyau sous la poussée de la cire à l'injection Nécessite une opération de dissolution du noyau cire (rapide si volume cire réduit par utilisation d'« armatures ») Formation de la carapace dans l'intérieur du coude nécessitant une attention de la part de l'opérateur chargé d'effectuer le dépôt de la poudre réfractaire.
Technique 3	<ul style="list-style-type: none"> Simplicité des outillages (idem technique 2) Rigidité du noyau permettant un bon positionnement relatif par rapport aux formes extérieures. Dispersion réduites face à la poussée due à l'injection de la cire 	<ul style="list-style-type: none"> Coût de réalisation du noyau plus élevé Temps de dissolution du noyau beaucoup plus long

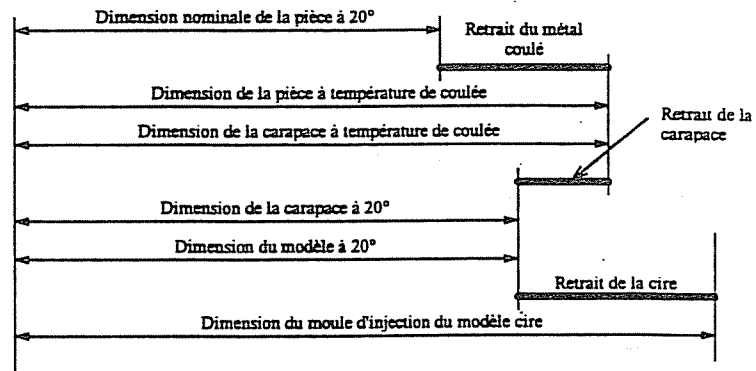
QB6 : Causes de variations dimensionnelles et géométriques du brut

1 – Causes liées au problème de maîtrise des retraits

La figure ci-contre illustre les retraits successifs intervenant dans le processus d'obtention du brut.

Ici le retrait de la cire est à considérer pour :

- l'obtention du noyau en cire soluble ; ce noyau sera « armé » dans le but de
 - limiter le volume de cire à injecter et donc à dissoudre,
 - ainsi que pour augmenter sa rigidité et donc limiter ses déformations lors de l'injection de la cire dans la phase d'obtention du modèle. Ces déformations entraînent des variations d'épaisseur des épaisseurs de paroi.



- l'obtention du modèle cire

Ici, du fait que l'on a une forme avec des épaisseurs de paroi sensiblement constantes, il n'y a pas de risque de « retassure » lors de l'injection du modèle cire, par contre on peut craindre une déformation globale (« fermeture » du coude), si le démoulage du modèle est effectué avant refroidissement complet de la cire.

Retrait du métal

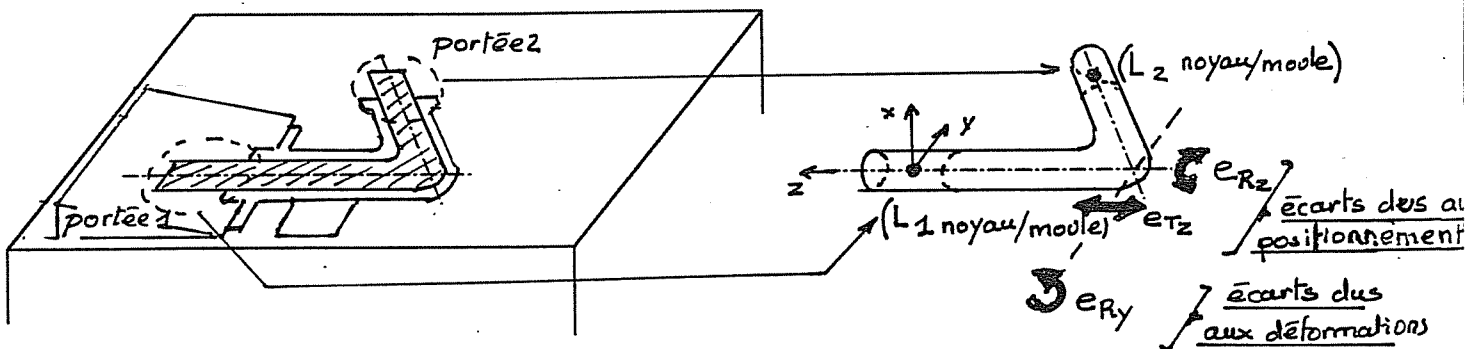
Même remarque concernant la déformation globale par effet de « fermeture » plus ou moins prononcé du coude.

On pourra pour uniformiser la vitesse de refroidissement placer des « refroidisseurs » ou des « réchauffeurs » sur la périphérie de la carapace (éléments emprisonnés avec le modèle ou rapportés après obtention de la carapace)

Cette démarche associée aux modifications éventuelles du système de coulée fait partie de la mise au point du processus.

2 – Causes liées au positionnement relatif noyau / moule d'injection du modèle

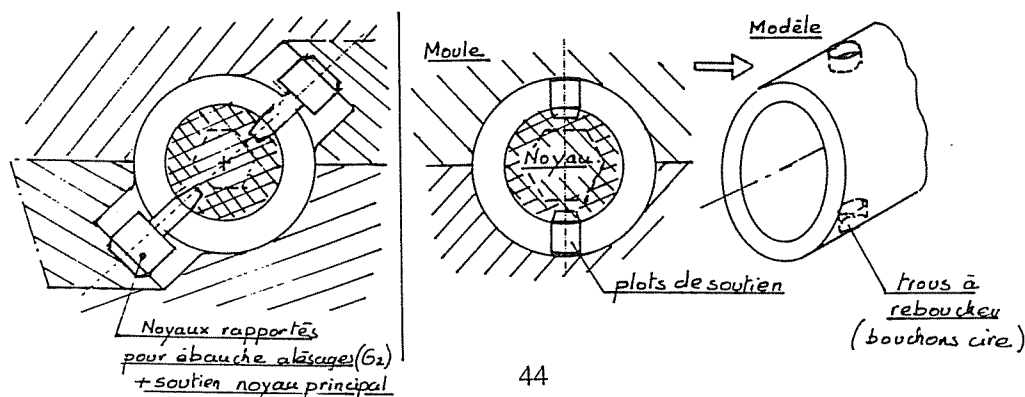
La cause essentielle de variation d'épaisseur des parois est liée aux écarts de positionnement du noyau dans le moule d'injection



La précision du positionnement initial dépend des formes et des étendues des portées, qui doivent être dimensionnées pour assurer des centrages longs et précis.

La stabilité et la minimisation des déformations (sous l'action de la poussée de la cire à l'injection) seront assurées en rajoutant des éléments de maintien radiaux :

- « appendices » rapportés (par collage sur le modèle) pour ébaucher les alésages du groupe G2
- plots de soutien additionnels (les trous qu'ils occasionnent sur le modèle sont bouchés après obtention de ce dernier).



QB7 : Cotation du brut

Deux démarches sont envisageables tant du point de vue «construction-dimensionnement» que du point de vue «tolérancement».

Point de vue «construction – dimensionnement »

1^{ère} démarche :

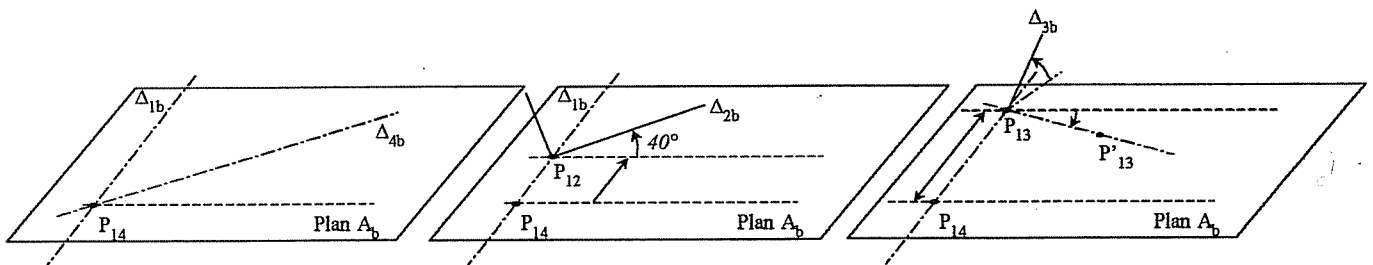
- départ d'un trièdre analogue à celui du dessin de définition pièce finie $\Rightarrow (R_{12b})$
- construction à partir de ce trièdre de G_{3b} et G_{4b} .

avantages : le trièdre de départ est «central » par rapport au brut et la cotation associée permettra donc de «répartir » les écarts (souhait principal des fondeurs pour les pièces complexes)

inconvénients : le groupe G_2 définit une direction d'orientation autour de G_1 par un axe d'étendue limitée et n'est pas dans le plan de joint principal de l'outillage.

2^{ème} démarche :

- départ d'un trièdre associé au plan principal de la pièce qui contient les axes théoriques des deux parties tubulaires principales G_{1b} et G_{4b} : (plan A_b) $\Rightarrow (R_{14b})$
- construction à partir de ce trièdre de G_{2b} et G_{3b} avec positionnement de P'_{13b} dans ce plan A_b .



avantages :

- le trièdre de départ est également «central » par rapport au brut.
- le groupe G_4 définit une direction d'orientation autour de G_1 par un axe d'étendue importante et est dans le plan de joint principal de l'outillage ; la cotation servira donc directement à la réalisation de l'outillage.
- le trièdre de départ est associé aux surfaces qui servent à la mise en position en phase 10, ce qui garantit au mieux le respect ultérieur des cotes de liaison au brut.

inconvénients : les 2 angles de définition du groupe G_3 ne correspondent pas directement à ceux du dessin de définition pièce finie (18° et 12°), et sont donc à calculer

Conclusion : cette deuxième démarche est préférable à la première

Point de vue «tolérancement».

1^{ère} démarche

comme sur le dessin de définition, tolérancement spécifique en Localisation de A_{4b} , A_{2b} , A_{3b} , F_{3b} et des 4 bossages de G_3 en prenant en références ordonnées A_{1b} A_{4b} (ou lettres associées)

Les cotes de construction définissant la position théorique de ces éléments étant portées en cotes encadrées.

Le tolérancement des autres surfaces est défini par une indication de tolérancement général.

2^{ème} démarche : définition de la géométrie nominale totale en côtes théoriques (encadrées) et tolérancement global de l'ensemble des éléments (réunis en un seul) avec une spécification de forme quelconque ou par le tolérancement général précisé.

Conclusion : la première démarche est préférable car elle permet de différencier les tolérancements serrés des autres.

Partie C : Étude du processus d'usinage

Question QC1 : Raisonnement conduisant au choix des surfaces à usiner en premier.

Critères de comparaison des solutions possibles :

Critère 1 : qualité de posage et de maintien en position associé pour la reprise sur le groupe usiné en 1^{er}

Critère 2 : stabilité et facilité de réalisation de la mise en position et maintien associé sur le brut pour effectuer le 1^{er} usinage.

Critère 3 : respect des cotes de liaison au brut. (C.L.B.)

	Critère 1	Critère 2	Critère 3
Usinage du groupe G1	Qualité correcte (pivot glissant) mais la mise en position est à compléter. Attention au risque de détérioration du $\varnothing 49H7$	Mise en position sur G1b exter. nécessitant un porte-pièce spécifique avec serrage localisé (risque de déformations)	C.L.B. G1/G1b réalisée de façon directe.
Usinage du groupe G2	Plan d'étendue faible d'où nécessité de réaliser un pivot glissant sur les 2 $\varnothing 16,9H7$. Bonne rigidité de cette partie centrale en compression assurant des déformations minimales au serrage	Mise en position aisée sur G1b inter. plus G2b ou G3b. G3b sera retenu du fait de son plus grand éloignement.	Réalisation de façon indirecte mais avec dispersions minimales des C.L.B. G1/G1b et G4/G4b
Usinage du groupe G3	Très bonne qualité de posage (plan d'étendue importante) mais repère de positionnement « non central »	Mise en position sur G3b exter. Nécessitant un porte-pièce spécifique avec serrage délicat.	Réalisation de façon directe des C.L.B. G3/G3b mais cumul de dispersions sur la réalisation de G4/G4b
Usinage du groupe G4	Ne permet pas d'envisager une reprise	_____	_____

Justification de la solution retenue :

Compte tenu des formes de la pièce et de la finesse des parois, le critère 3 met en avant la solution « usinage de G2 en premier ».

Les critères 1 et 2 confirment la possibilité et l'intérêt de ce choix.

Question QC2 : Procédure de mise en œuvre de la phase 10

Commentaires sur la mise en position réalisée :

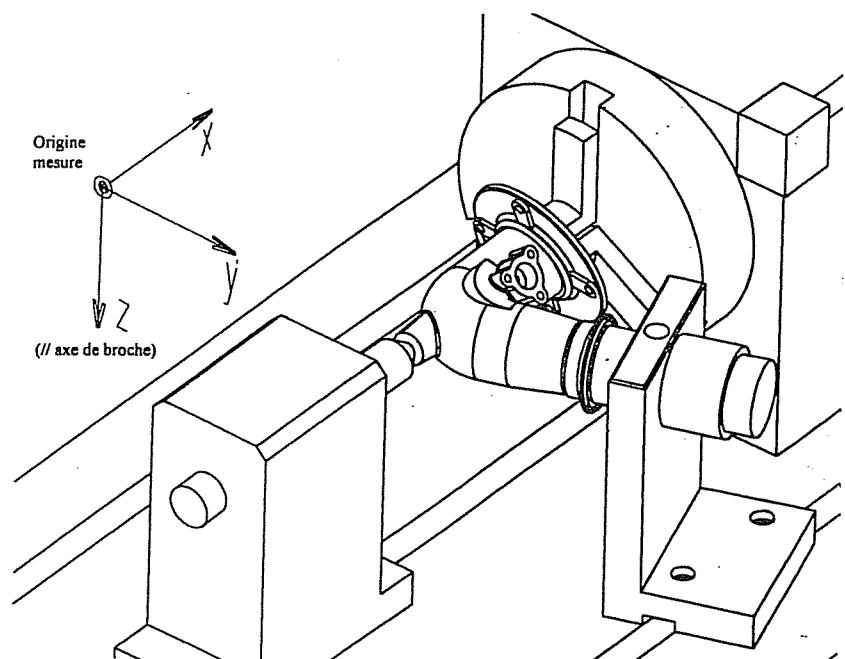
Centrage long sur G1b inter. par mors d'intérieur enveloppants = liaison pivot glissant + serrage

Mobilités restantes : T_x et R_x annulées par liaison linéaire annulaire dans G4b inter.

Remarque : cette mise en position permet de privilégier comme indiqué en QC1 le positionnement relatif des surfaces usinées, par rapport au groupe G1b exter. (position + orientation) d'une part, par rapport au groupe G4b inter. (position) d'autre part.

Ceci permet de minimiser les écarts de position obtenus ultérieurement entre ces deux groupes bruts et les groupes usinés G1 et G4 correspondants.

Le respect conjoint des C.L.B. les plus « délicates » e_1 et e_4 est ainsi assuré de façon optimale.



Étapes de mise en œuvre du poste de travail

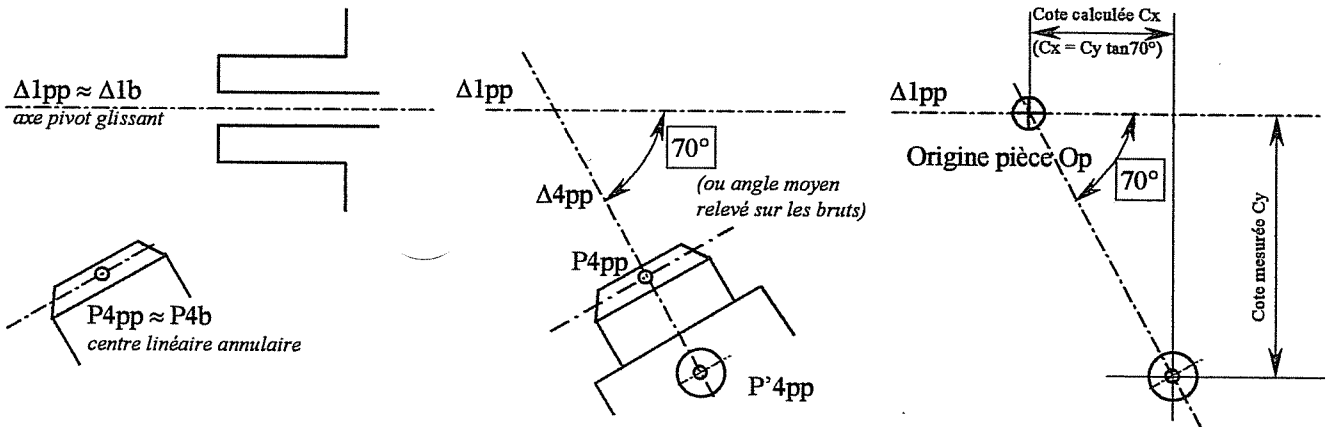
- prises de référence pour situer l'origine pièce dans le repère machine

- déclaration de l'Origine Programme

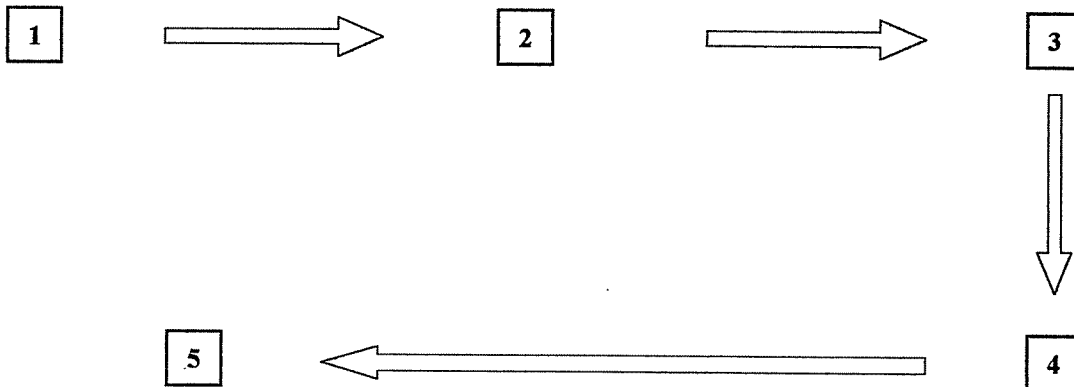
Éléments installés par la mise en position

Positionnement de Op dans le repère machine

$$Op = \Delta 1pp \cap \Delta 4pp$$

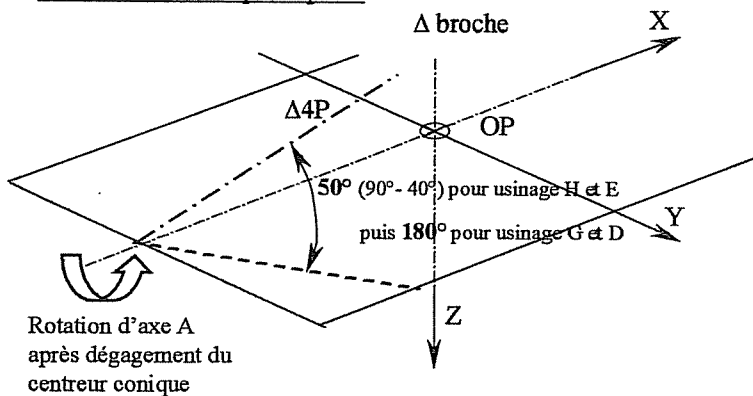


- 1) prise de référence pour localiser $\Delta 1pp$
voir surfaces prévues à cet effet sur les éléments de porte-pièce
 - 2) prise de référence pour localiser $\Delta 4pp$
 - $\Delta 4pp$ défini par $P4pp$ et angle de $70^\circ / \Delta 1pp$
 - $P4pp$ étant difficile à acquérir, prise de référence sur $P'4pp$
- (l'orientation de 70° est donnée par la mise en position de l'équerre sur la table)

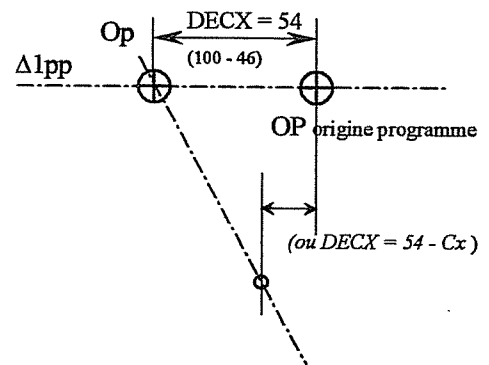


Rotations mandrin porte-pièce

Déclaration de l'origine programme



50° ($90^\circ - 40^\circ$) pour usinage du 1^{er} côté (H et E)
puis 180° pour usinage du 2^e côté (G et D)



Question QC3 : Étude de la phase 20 Tournage : usinage des surfaces du groupe G3

QC31 : définition des paramètres nécessaires à la conception du porte-pièce :

voir représentation des repères associés, à la pièce, au porte-pièce et à la machine (figure QC31)

Conditions à réaliser pour installer la pièce en position d'usinage :

Amener le vecteur unitaire \bar{z}_{p3} colinéaire à l'axe de rotation broche \bar{z}_M et connaître dans le repère machine la position d'une origine pièce choisie : point P3 par exemple.

Pour réaliser ces conditions il faut :

- 1) définir les angles d'orientation relative des éléments de mise en position du porte-pièce (éléments de liaison porte-pièce/pièce par rapport à porte-pièce/machine)
- 2) définir les coordonnées relatives des points caractéristiques des éléments de mise en position (coordonnées de P2 et P'2 dans le repère R_{pp1})
- 3) Situer l'origine pièce dans le repère porte-pièce R_{pp1} pour permettre la prise de référence en \bar{z}_M (coordonnées en z de P3 dans le repère R_{pp1})

1) définition des angles d'orientation

1^{ère} étape : caractérisation de l'orientation de \bar{y}_{p12} dans R_{p3} (éléments pièce)

$$\begin{pmatrix} \bar{x}_{p12} \\ \bar{y}_{p12} \\ \bar{z}_{p12} \end{pmatrix} \xrightarrow{-18^\circ} \begin{pmatrix} \bar{x}_{p2} \\ \bar{y}'_{p2} \\ \bar{z}'_{p2} \end{pmatrix} \xrightarrow{12^\circ} \begin{pmatrix} \bar{x}_{p3} \\ \bar{y}_{p3} \\ \bar{z}_{p3} \end{pmatrix} \quad (\text{voir QAI})$$

$$\bar{y}_{p12} \begin{matrix} | \\ -\sin 18 \cdot \sin 12 \\ | \\ \cos 18 \\ | \\ \sin 18 \cdot \cos 12 \end{matrix} \quad \bar{y}_{p12} \text{ a 3 composantes d'orientation dans } R_{p3}$$

2^{ème} étape : caractérisation de l'orientation de \bar{y}_{pp2} dans R_{pp1} (éléments porte-pièce)

Pour dessiner puis réaliser le porte-pièce, il faut définir :

un plan caractéristique contenant l'axe \bar{z}_{pp1} et parallèle à l'axe \bar{y}_{pp2} .

Soit \bar{x}_{pp1} le vecteur normal à ce plan, porté par la perpendiculaire commune aux axes \bar{y}_{pp2} et \bar{z}_{pp1} (obtenu par produit vectoriel).

Nous pouvons maintenant définir ce plan caractéristique comme étant (04, \bar{y}_{pp1} , \bar{z}_{pp1})

Pour situer ce plan par rapport au repère pièce initial R_{p12} (ou au repère porte-pièce correspondant R_{pp12}), il faut calculer l'angle α qui définit l'orientation de \bar{y}_{pp2} par rapport à ce plan (autour de \bar{z}_{pp1}).

Remarque : pour simplifier la réalisation du montage et le repérage inhérent à l'utilisation de l'axe C, l'axe de l'alésage de positionnement angulaire porte-pièce/machine Δ_1 sera situé dans ce plan.

détermination de l'angle α

$$\begin{pmatrix} \bar{x}_{pp12} \\ \bar{y}_{pp12} \\ \bar{z}_{pp12} \end{pmatrix} \xrightarrow{-18^\circ} \begin{pmatrix} \bar{x}_{pp2} \\ \bar{y}'_{pp2} \\ \bar{z}'_{pp2} \end{pmatrix} \xrightarrow{12^\circ} \begin{pmatrix} \bar{x}_{pp3} \\ \bar{y}_{pp3} \\ \bar{z}_{pp3} \end{pmatrix} \xrightarrow{\alpha} \begin{pmatrix} \bar{x}_{pp1} \\ \bar{y}_{pp1} \\ \bar{z}_{pp1} \end{pmatrix}$$

1. démarche : expression de \bar{y}_{pp12} dans R_{pp1} et calcul de α pour que la composante de \bar{y}_{pp12} sur \bar{x}_{pp1} soit nulle

$$\bar{y}_{pp12} \begin{matrix} | \\ -\sin 18 \cdot \sin 12 \cdot \cos \alpha + \cos 18 \cdot \sin \alpha \\ | \\ \sin 18 \cdot \sin 12 \cdot \sin \alpha + \cos 18 \cdot \cos \alpha \\ | \\ \sin 18 \cdot \cos 12 \end{matrix}$$

$$-\sin 18 \cdot \sin 12 \cdot \cos \alpha + \cos 18 \cdot \sin \alpha = 0 \Rightarrow \alpha = 3,86^\circ$$

3° étape : détermination de l'angle d'inclinaison de \vec{y}_{pp12} dans le « plan caractéristique » ($\vec{y}_{pp1}, \vec{z}_{pp1}$) : β

la composante de \vec{y}_{pp2} sur \vec{z}_{pp1} représente le cos de l'angle β , $\beta = \arccos(\sin 18 \cos 12) \Rightarrow \beta = 72,4^\circ$

4° étape : détermination de l'angle d'orientation de \vec{z}_{pp12} dans le plan d'appui de la surface G : θ

$$\cos \theta = \sqrt{(\vec{z}_{pp2} \cdot \vec{z}_{pp1})^2 + (\vec{z}_{pp2} \cdot \vec{y}_{pp1})^2} \Rightarrow \theta = 12,6^\circ$$

Remarque :

- si la réalisation du porte-pièce est effectuée sur machine-outil non numérisée, l'usinage du logement du pion P'2 nécessite la connaissance de cet angle θ et du rayon d'inscription (15,5 mm).
- si la réalisation du porte-pièce est effectuée sur machine-outil numérisée, l'usinage du logement du pion P'2 requiert plutôt la connaissance des coordonnées du point P'2 dans une base R'_{pp1} , obtenue par rotation d'angle ($90^\circ - \beta$) autour de \vec{x}_{pp1} correspondant au repère d'usinage.

2) définition des coordonnées de P2 et P'2

pour la définition du porte-pièce, il faut connaître les coordonnées de P2 et P'2 dans le repère R_{pp1} d'origine O_1 .

Choix d'origine pièce : point P3.

Affectation d'une distance (fonction des conditions d'encombrement et de porte-à-faux minimal) $O_1P_3 = 170$ mm.

Expression de \vec{P}_3P_2 dans R_{pp1}

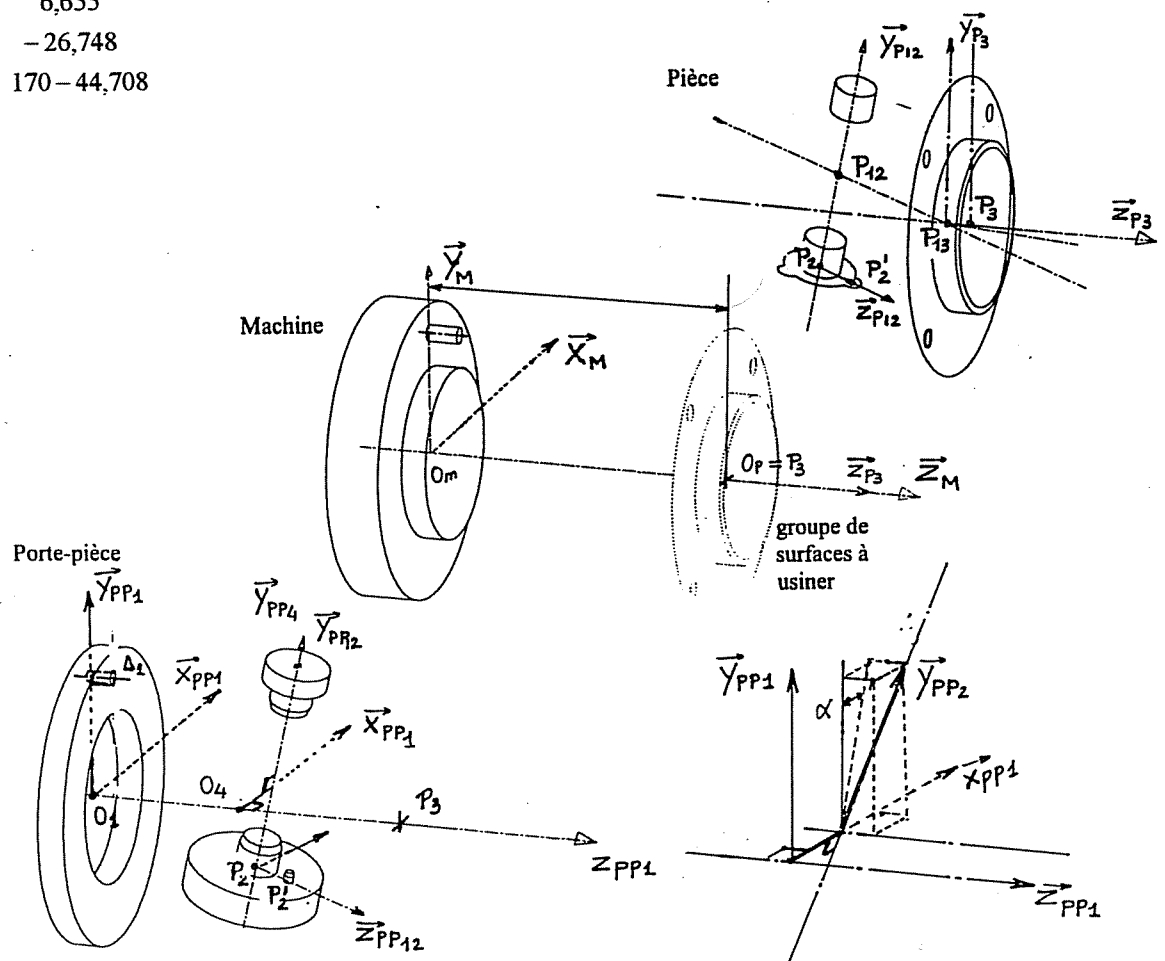
$\vec{P}_3P_2 = \vec{P}_3P_{13} + \vec{P}_{13}P_{12} + \vec{P}_{12}P_2 = -5\vec{z}_3 - 46\vec{z}_2 - 37,5\vec{y}_2$ exprimés à partir de la cotation de la pièce (voir QA1)
après écriture des vecteurs unitaires dans R_{pp1} et calculs on obtient :

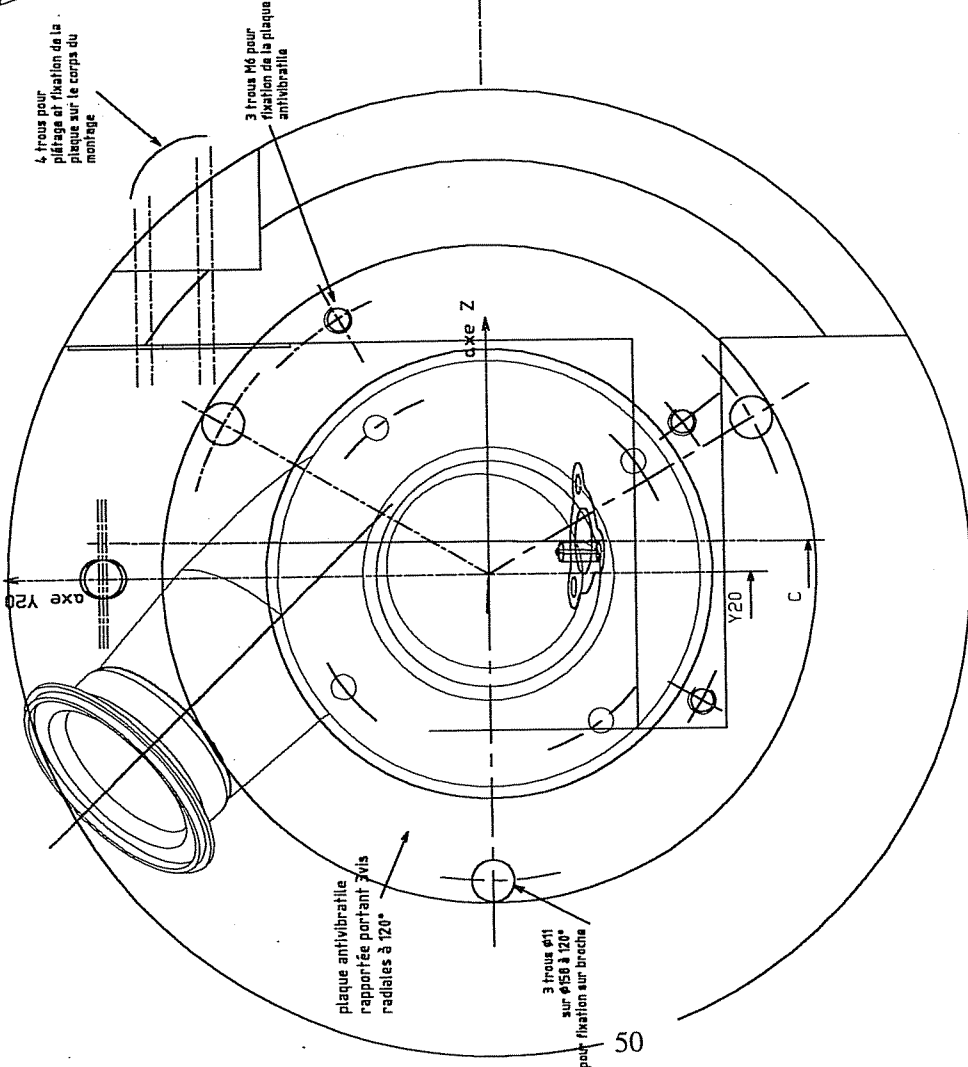
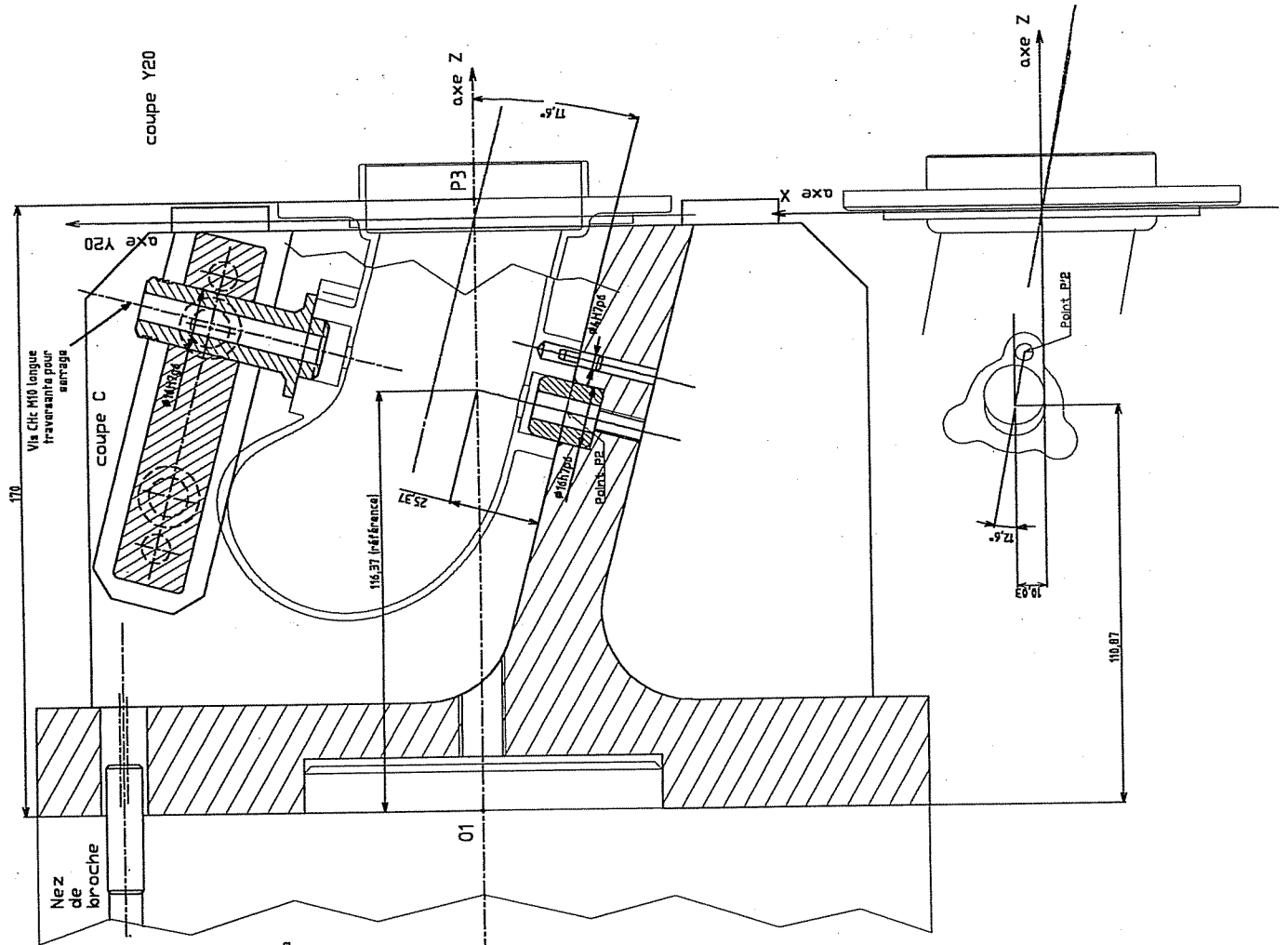
$$P_2 \begin{vmatrix} 10,035 \\ -22,176 \\ 170 - 59,127 \end{vmatrix}_{R_{pp1}}$$

Expression de $\vec{P}_3P'_2$ dans R_{pp1}

$\vec{P}_3P'_2 = \vec{P}_3P_{13} + \vec{P}_{13}P_{12} + \vec{P}_{12}P_2 + \vec{P}_2P'_2 = -5\vec{z}_3 - 46\vec{z}_2 - 37,5\vec{y}_2 + 15,5\vec{z}_2$
après écriture des vecteurs unitaires dans R_{pp1} et calculs on obtient :

$$P'_2 \begin{vmatrix} 6,655 \\ -26,748 \\ 170 - 44,708 \end{vmatrix}_{R_{pp1}}$$





DRC33 : éléments de corrigé

Fonctions à traiter :

- mise en position pièce sur porte-pièce
- maintien en position pièce sur porte-pièce
- mise en position porte-pièce sur machine
- système antivibratile
- prise de référence

QC41 : Méthode générale de détermination des paramètres géométriques d'orientation et de position

1^{ère} étape : lier un repère R_u au groupe de surfaces à usiner dont on privilégie un vecteur de base \vec{n}_u (axe d'un alésage long ou droite perpendiculaire à un plan).

Ici G_4 étant constitué de surfaces de révolution, on a un seul vecteur caractéristique \vec{z}_{p4} , (vecteur unitaire de $\overline{P_{14}P_4}$).

2^e étape : lier un repère caractéristique $R_{p/pp}$ au groupe de surfaces participant à la mise en position de la pièce sur la porte-pièce. On utilisera $\vec{n}_{p/pp}$ comme normale caractéristique de cette mise en position.

Ici, on retient $\vec{z}_{p3} = \vec{n}_{p/pp}$ et \vec{y}_{p30} comme deuxième vecteur caractéristique.

3^e étape : lier un repère $R_{pp/m}$ aux surfaces de positionnement porte-pièce / machine.

Le deuxième vecteur unitaire de ce repère sera choisi comme étant la normale commune à \vec{n}_u et à $\vec{n}_{p/pp}$.

Ici, on retient $\vec{x}_{pp/m} = \frac{\vec{z}_{p3} \wedge \vec{z}_{p4}}{\|\vec{z}_{p3} \wedge \vec{z}_{p4}\|} = \vec{x}_{34}$

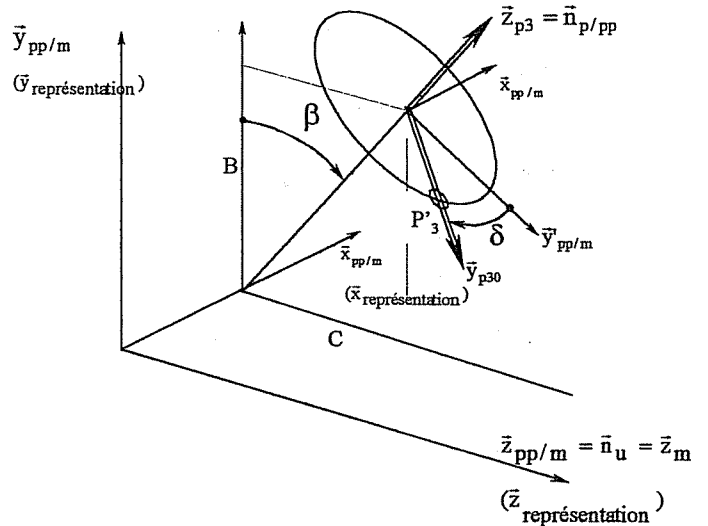
On gagnera en simplicité de représentation et de réalisation à positionner les surfaces complémentaires de mise en position pp/m sur cet axe ou son orthogonal.

Ici alésage d'indexage angulaire d'axe Δ_1 positionné sur $\vec{y}_{pp/m}$

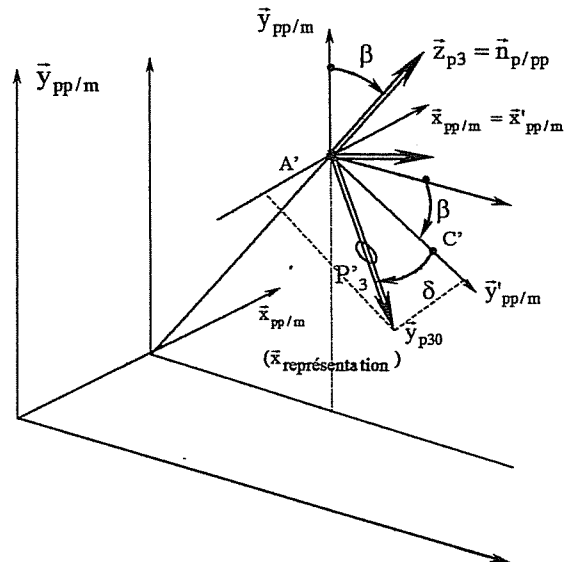
Problématique : pour définir puis réaliser le porte-pièce, il faut déterminer les paramètres de position et d'orientation de $R_{p/pp}$ par rapport à $R_{pp/m}$

1) détermination des paramètres d'orientation : β et δ

on peut exprimer : $(\vec{n}_{p/pp})_{R_{pp/m}} = \begin{pmatrix} 0 \\ B \\ C \end{pmatrix} \quad \beta = \arctan(B/C)$



et $(\vec{y}_{p/pp})_{R_{pp/m}} = \begin{pmatrix} A' \\ 0 \\ C' \end{pmatrix} \quad \delta = \arctan(A'/C')$



Pour déterminer les composantes B et C, A' et C', il faut définir les changements de bases pour passer de $R_{p/pp}$ à $R_{pp/m}$. Soit, en se ramenant aux repères liés à la pièce, passer de R_{30} à R_{34} (repère défini par $\bar{n}_u = \bar{z}_4$ et la norm. commune \bar{x}_{34}).

1^{ère} étape : changements de bases directement issus de la cotation pièce

$$\begin{array}{c}
 (R_{30}) \qquad (R'_3) \qquad (R'_{13}) \qquad (R_{12}) \qquad (R_{14}) \qquad (R_4) = (R_u) \\
 \begin{array}{l} x_{30} \\ y_{30} \\ z_{30} = z_3 \end{array} \xrightarrow{\theta^*} \begin{array}{l} x'_3 \\ y'_3 \\ z'_3 \end{array} \xrightarrow{-12^\circ} \begin{array}{l} x'_{13} \\ y'_{13} \\ z'_{13} \end{array} \xrightarrow{+18^\circ} \begin{array}{l} x_{12} \\ y_{12} \\ z_{12} \end{array} \xrightarrow{-40^\circ} \begin{array}{l} x_{14} \\ y_{14} \\ z_{14} \end{array} \xrightarrow{-20^\circ} \begin{array}{l} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{array}
 \end{array}$$

2^e étape : changements de repères associés à la définition du porte-pièce ($R_{pp/m}$) (« perpendiculaire commune »)

$$\begin{array}{c}
 (R_4) \qquad (R_{34}) \\
 \begin{array}{l} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{array} \xrightarrow{\alpha^*} \begin{array}{l} x_{34} \\ y_{34} \\ z_{34} = z_4 \end{array}
 \end{array}$$

3^e étape : changements de repères sur le porte-pièce

$$\begin{array}{c}
 (R_{pp/m}) \qquad (R'_{pp/m}) \\
 \begin{array}{l} x_{34} \\ y_{34} \\ z_{43} \end{array} \xrightarrow{\beta} \begin{array}{l} x_{pp/m} \\ y_{pp/m} \\ z_{pp/m} \end{array}
 \end{array}$$

On peut maintenant exprimer les vecteurs \bar{z}_3 et \bar{y}_{30} respectivement dans $R_{pp/m}$ et dans $R'_{pp/m}$ pour obtenir les composantes B, C, A' et C' et donc β et δ .

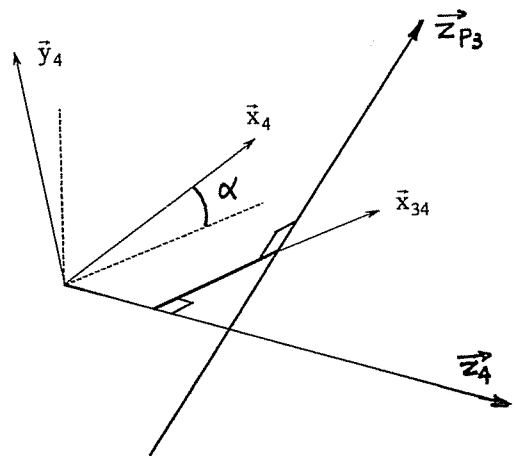
* détermination de α : angle de passage de (R_4) à (R_{34})

- 1^{ère} méthode : on peut exprimer $\bar{n}_{p/pp}$ (ici \bar{z}_{p3}) dans $R_{pp/m}$ et calculer α pour que la composante de $\bar{n}_{p/pp}$ sur $\bar{x}_{pp/m}$ soit nulle (voir QC31)

- 2^e méthode : on peut également écrire

$$\bar{x}_{pp/m} = \bar{x}_{34} = \frac{\bar{z}_{p3} \wedge \bar{z}_{p4}}{\|\bar{z}_{p3} \wedge \bar{z}_{p4}\|}$$

puis $\cos \alpha = \bar{x}_{34} \cdot \bar{x}_4$



Remarque : particularité par rapport aux questions précédentes

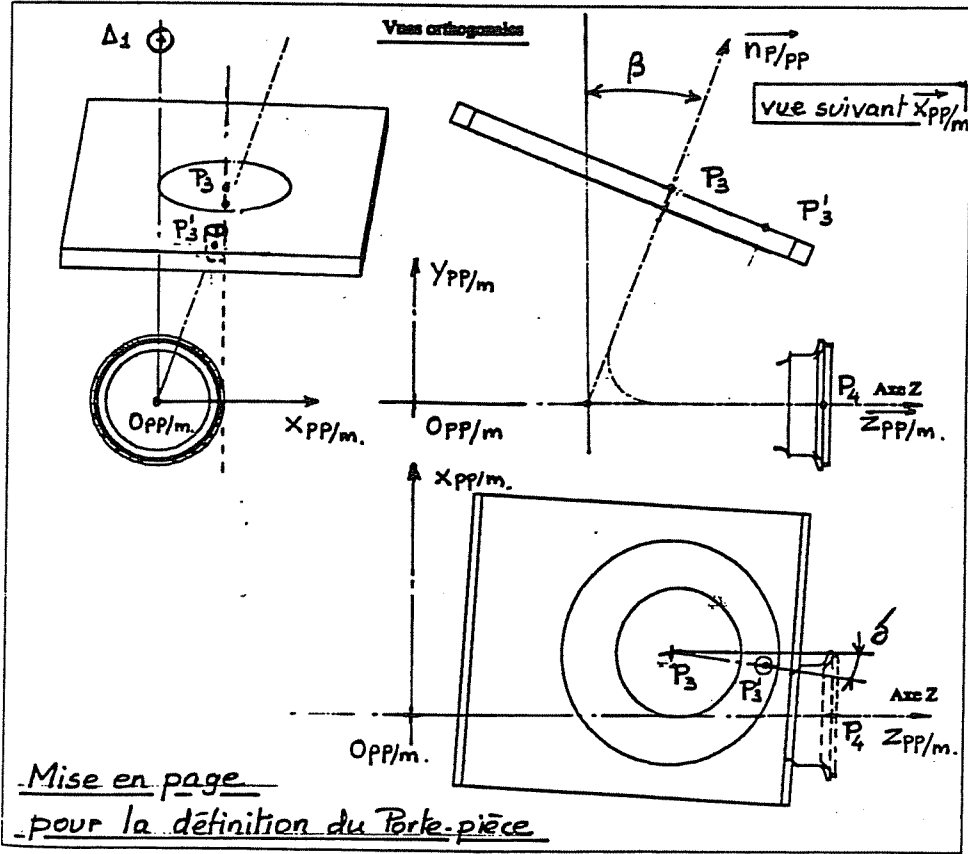
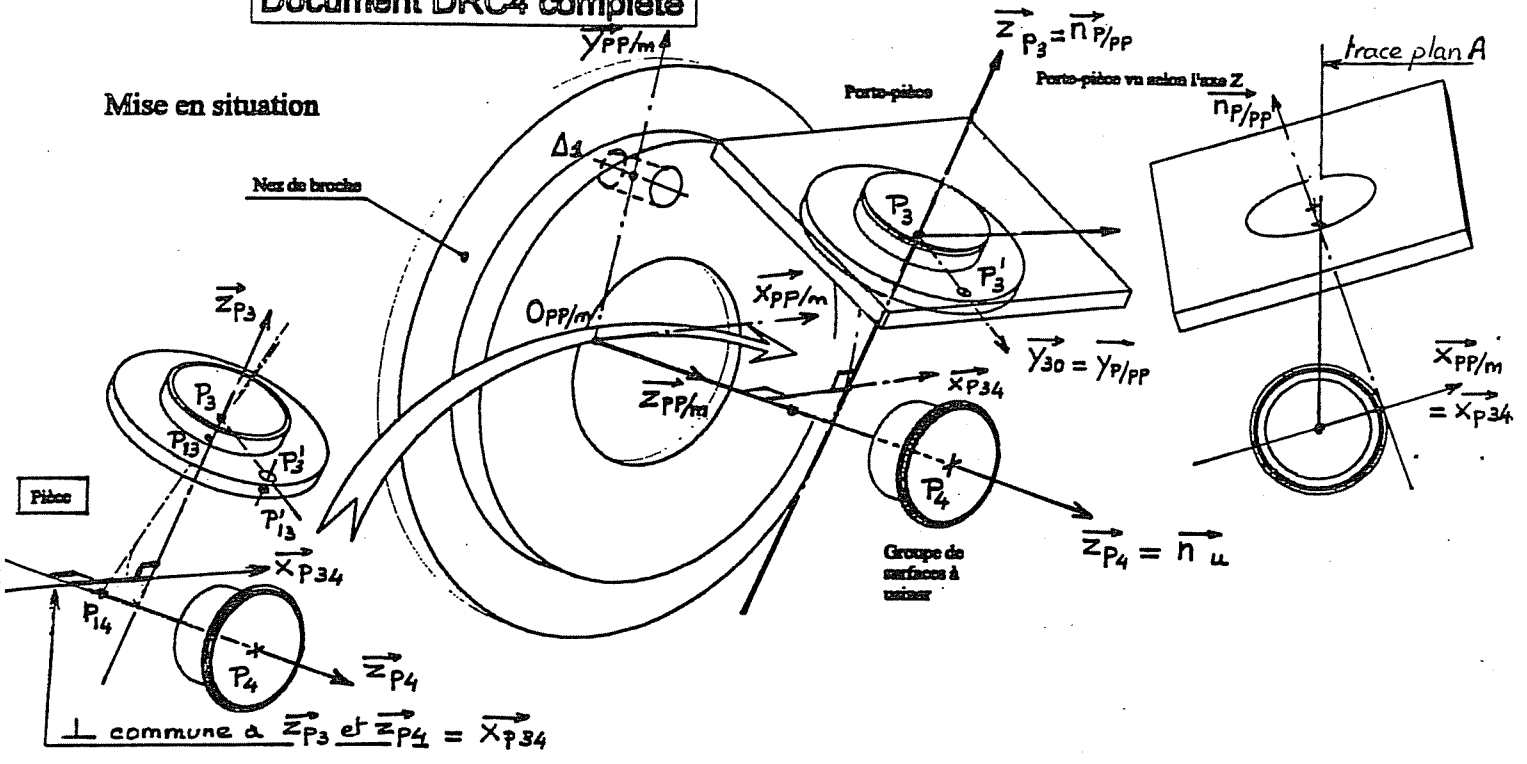
Pour effectuer les changements de bases on a besoin de θ qui n'est pas porté sur le dessin de définition.

Méthode : expression de \bar{z}_{p3} dans (R_{14}) (repère caractéristique du plan A) et calcul de θ pour que la composante de

\bar{y}_{30} sur \bar{x}_{14} soit nulle.

Document DRC4 complété

Mise en situation



QC42 : Obtention des paramètres recherchés à partir du fichier DAO 3D

Hypothèse : on dispose du logiciel ayant permis de définir la géométrie de la pièce ou on dispose du fichier DXF.

- ouverture du fichier 3D
- extraction de tous les points caractéristiques P4, P14, P13, P3, P'13, P'3 (P12, P2 et P'2 ne sont pas utiles pour la phase 40 mais ils aident à la vision 3D)
- création d'un nouveau fichier « MGM » pour modèle géométrique minimal
- affectation d'étiquettes *nom des points* à chaque point
- tracé d'un cercle de $\varnothing 95$, centré en P3, de normale P3P13 (permet de mieux visualiser)
- ajout d'informations si nécessaire pour la lisibilité en 3D
- tracé des segments (P14, P4), (P14, P13), (P13, P3), (P13, P'13), (P'13, P'3).
- **création d'un repère tel que :**
 - a) le point P14 soit origine
 - b) (P14, P4) soit pris comme direction \bar{z} du trièdre de dessin (correspond à \bar{n}_{gn} de QC41)

Ce choix est justifié par la correspondance à établir avec l'axe de broche.

- c) le point P13 soit contenu dans le plan (\bar{y}, \bar{z}) équivalent du plan A de la pièce

Nota : ces 3 actions correspondent aux 3 questions posées par la plupart des logiciels.

- demande d'affichage en vue 2D dans le plan (\bar{x}, \bar{y})
(voir figure 1 obtenue)
On remarque que la projection du segment (P13, P3) n'est pas parallèle à \bar{y} du trièdre de dessin
- interrogation sur les propriétés du segment (P13, P3)
Réponse : angle dans le plan $(\bar{x}, \bar{y}) = A$
(orientation angulaire par rapport à \bar{x})
Réponse : angle par rapport au plan $(\bar{x}, \bar{y}) = C$
(inclinaison angulaire par rapport au plan (\bar{x}, \bar{y}))
- Rotation d'angle $B = A - \pi/2$ du repère $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ autour de l'axe \bar{z}
(pour amener l'axe du cylindre K dans le plan « vertical »)
- demande d'affichage d'une nouvelle vue 2D dans le plan (\bar{x}, \bar{y}) de représentation (voir figure 2 obtenue)
- choix du point P4 comme nouvelle origine (correspond en principe à l'origine pièce pour le programme C.N.)
- recherche des **propriétés du point P3**
(point appartenant à l'axe du centreur dans le plan d'appui)
On obtient ses coordonnées dans le repère de représentation actuel dont P4 est origine
- recherche des **propriétés du point P'3**
(point appartenant à l'axe du centreur dégagé dans le plan d'appui)
- Rotation d'angle $-\pi/2$ du repère $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ autour de l'axe \bar{y} pour obtenir la « vue de face » du porte-pièce
- demande d'affichage de la vue 2D dans le plan (\bar{x}, \bar{y})

(voir figure 3 obtenue)

On voit dans cette représentation les angles en « vraie grandeur » caractéristiques du montage porte-pièce exemple : angle entre le plan d'appui sur la surface de reprise J et l'axe de broche \bar{z} (= axe \bar{x} sur la vue)

Remarque : sur les figures ci-contre certaines des étiquettes sont restées dans leur plan de création

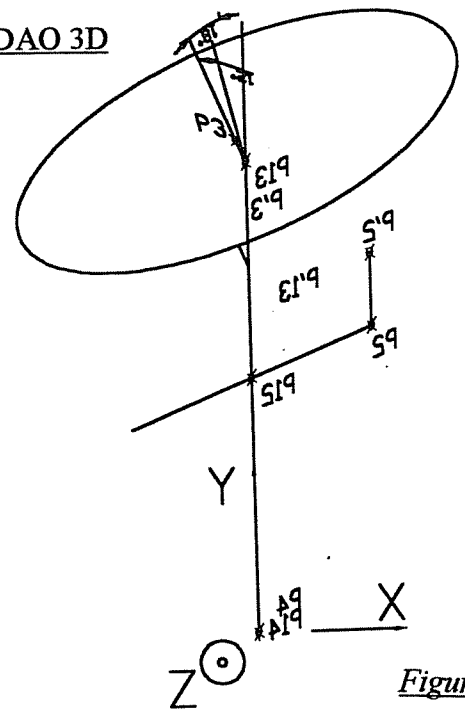


Figure 1

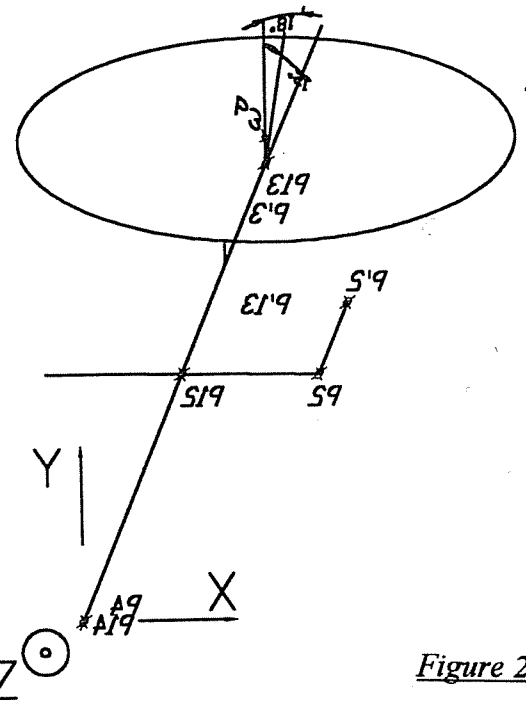


Figure 2

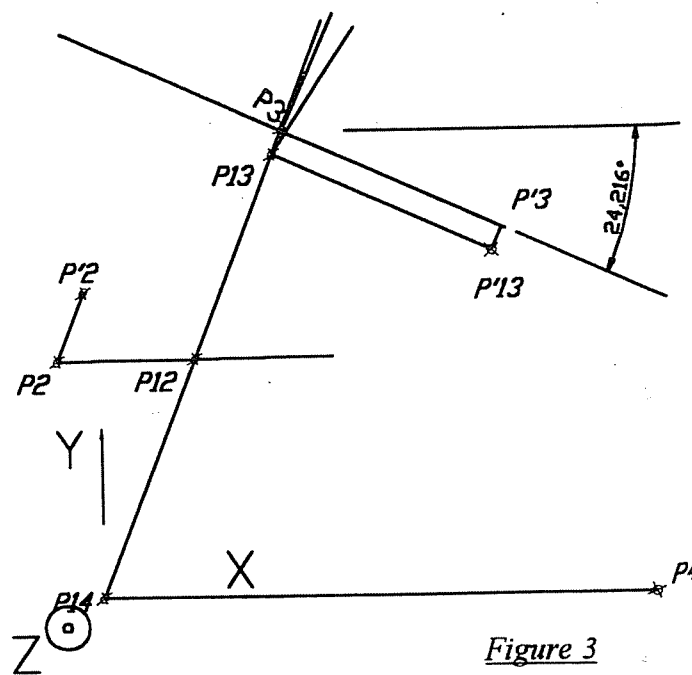
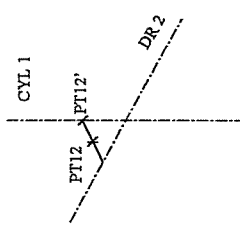


Figure 3

Question QD1 – Détermination des écarts de position et analyse
QD11 : Détermination des écarts de position entre (G3) et (G1, G2)

	Opérations de mesure	Opérations de construction	Figures et explications
1	<i>Voir Opérations préliminaires DOC. 3</i>	1^{ère} étape : création d'un repère pièce associé aux références de spécifications à vérifier	 <p>Point milieu de la perpendiculaire commune à l'axe du cylindre et à la droite DR2</p> <p>Repère associé aux surfaces prises en Référence dans la cotation B C</p>
2	CYL 1	DROITE 2	
3	CER 21*	POINT 12 = « intersection » CYL 1 / DR 2	
4	CER 22*	POINT 12' = projection POINT 12 / CYL1	
5		Création Repère Pièce (R₁₂)	
6	<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> *la mesure d'un cercle (en mode 2D) implique le relevé et la déclaration préliminaire d'un plan de projection </div>	1 ^{er} axe : CYL 1 2 ^{ème} axe DR 2 origine : POINT 12'	
7		2^{ème} étape : création des éléments théoriques (ici axe du cylindre K ₃ et plan J _{th}) première méthode : création du Repère (R ₃) _{th} par translations et rotations successives à partir de (R ₁₂) en utilisant les paramètres de la cotation de définition (voir Q41) $(R_{1,2}) \xrightarrow{Tz(46)} (R'_{1,2}) \xrightarrow{Rx(-18^\circ)} (R'_{1,3}) \xrightarrow{Ry(+12^\circ)} (R'_{1,3}) \xrightarrow{Tz(5)} (R_{3,3})_{th}$	
8	CER 3 *	3^{ème} étape : détermination de l'écart de position entre élément réel et élément théorique	
9	(K cylindre « court » relevé en cercle)	détermination distance CER 3 / DR 3 = écart de position – (vérifier si ≤ 0,1)	
10	PL3 (plan J)	détermination distance PT4 / DR 3 = écart de position – (vérifier si ≤ 0,1)	
11	Relevé de points périphériques sur J (PT4, PT5, PT6, PT7 par exemple)	distance PT5 / DR 3 idem	
12		distance PT6 / DR 3 idem	
13		distance PT7 / DR 3 idem	
14			
15			
16			
17			
18			

: Détermination des écarts de position entre (G3) et (G1, G2)

Opérations de mesure		Opérations de construction		Figures et explications	
19	CER 5 (trou Ø7H7 repéré L)	<p>1^{ère} étape :</p> <p>POINT 30= projection CER3 / PL3 POINT 31= projection CER5 / PL3 DR 30= droite passant par POINT 30 , POINT 31</p> <p>Création Repère Pièce (R₃₀) « réel »</p> <p>1^{er} axe : PL 3 2^{ème} axe DR 30 origine : POINT 30</p>			
20		<p>2^{ème} étape : Création des éléments théoriques (ici axe du cylindre M_{th} et plan N_{th})</p> <p><u>première méthode :</u> création du Repère (R₄)_{th} par translations et rotations successives à partir de (R₃₀) en utilisant les paramètres de la cotation de définition (voir QAI - Attention : par rapport au repère R3 créé précédemment, R30 a une orientation différente autour de z3 puisque définie à partir du trou L)</p>		$(R_{30}) \xrightarrow{Rz(\theta)} (R_3) \xrightarrow{Tz(-5)} (R'_3) \xrightarrow{Ry(-12^\circ)} (R'_{13}) \xrightarrow{Rx(18^\circ)} (R'_{12}) \xrightarrow{Tz(-100)} (R'_{14}) \xrightarrow{Ry(20^\circ)} (R'_{4})$ $(R'_{4}) \xrightarrow{Tz(-108)} (R_{4})_{th}$	
21		<p>Le passage de (R₃₀) à (R₃) nécessitant la détermination de l'angle associé θ.</p> <p>- dans (R₄)_{th} création de DR 4 = axe du cylindre M_{th} en déclarant ses éléments caractéristiques : point (0,0,0) – vecteur (0,1,0)</p> <p>- dans (R₄)_{th} création de PL3 = plan théorique correspondant à N en déclarant ses éléments caractéristiques</p>			
22		<p><u>deuxième méthode :</u> dans (R₃₀), création des points P_{1,4} et P₄ par déclaration de leurs coordonnées (à calculer en préliminaire en utilisant les changements de base ou à récupérer avec DAO), puis création de la droite DR 4 passant par les points P_{1,4} , P₄.</p> <p>3^{ème} étape : détermination de l'écart de position entre élément réel et élément théorique</p>			
23	CER 4 *	<p>détermination distance CER 4 / DR 4 = écart de position – (vérifier si $\leq 0,1$)</p>			
24	(M cylindre « court » relevé en cercle)	<p>détermination distance PT8 / DR 4= écart de position – (vérifier si $\leq 0,1$)</p>			
25	PL4 (plan N)	<p>distance PT9 / DR 4</p>			
26	Relevé de points périphériques sur N	<p>distance PT10 / DR 4</p>			
27	(PT8,PT9, PT10, PT11 par exemple)	<p>distance PT11 / DR 4 – (vérifier si $\leq 0,1$)</p>			
28					
29					
30					
31					
32					
33					

QD12 – Vérification des conditions d'épaisseur de toile mini

Cette vérification peut se faire à partir du relevé de points sur les surfaces brutes G3b_{exter} et G4b_{inter}, puis en demandant les distances POINT / CERCLE (fonction intégrant la prise en compte du rayon mesuré du cercle)

Remarque :

- les points (relevés sur le brut) et le cercle (relevés sur l'usiné) doivent être coplanaires pour que la distance calculée soit significative.

Pour satisfaire cette condition, une méthode simple peut consister à utiliser lors du relevé de ces éléments la fonctionnalité « élément 2D » en déclarant au préalable le plan de projection retenu (PL3 pour les éléments du groupe (G3), PL4 pour les éléments du groupe (G4)).

- le relevé des points ne doit pas induire d'erreur de compensation de rayon de touche.

Pour satisfaire cette condition, on peut :

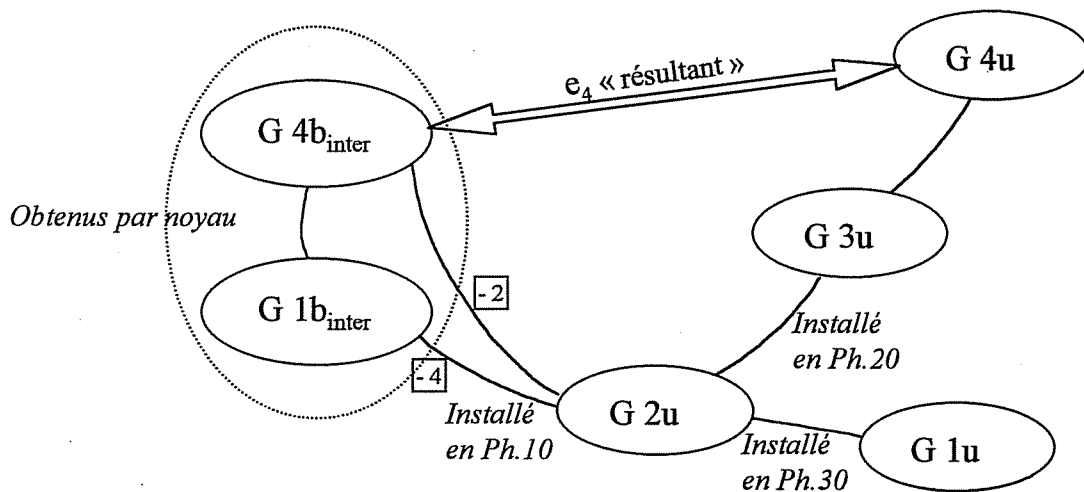
- positionner ces points de façon à ce que la direction d'accostage soit radiale par rapport au cercle associé
- déclarer par leurs coordonnées et leur « normale » théoriques, les points à relever en utilisant les fonctionnalités de relevé de point en mode automatique (« point coordonnées » ou « point vecteur ») si elles existent sur le logiciel en mode C.N.

QD13 – Causes de variation possibles des épaisseurs de paroi (exemple : e₄)

- e₄ moyen résulte des diamètres moyens réalisés sur le Ø_{4binter} et sur le Ø_{4uexter} (Ø49)

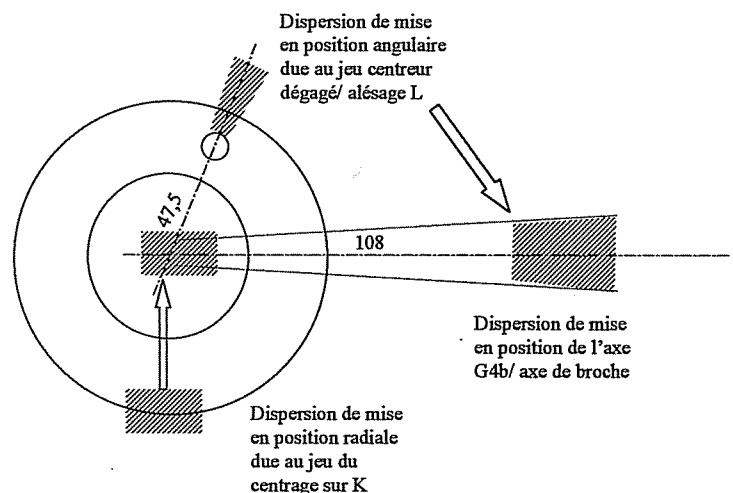
- les variations de e₄ (Δe₄) résultent des écarts de positionnement relatifs entre ces deux diamètres.

Bilan des causes (visualisation des liens installés par le processus de réalisation retenu) :



$$\Delta e_4 = \Delta_{G4/G3} + \Delta_{G3u/G2u} + \Delta_{G2u/G4binter}$$

- 1) $\Delta_{G4/G3}$ correspond essentiellement à la dispersion de mise en position angulaire due au jeu du centreur dégagé dans l'alésage L + défauts du porte-pièce + erreurs sur les prises de référence en ph40
- 2) $\Delta_{G3u/G2u}$ cause d'écart du même type car analogie entre les modes de positionnement phase 40 et phase 20
- 3) $\Delta_{G2u/G4binter}$ correspond essentiellement à la dispersion de mise en position centreur conique / alésage brut liée aux écarts de circularité de G4b_{inter} (forme noyau et déformations à la solidification)



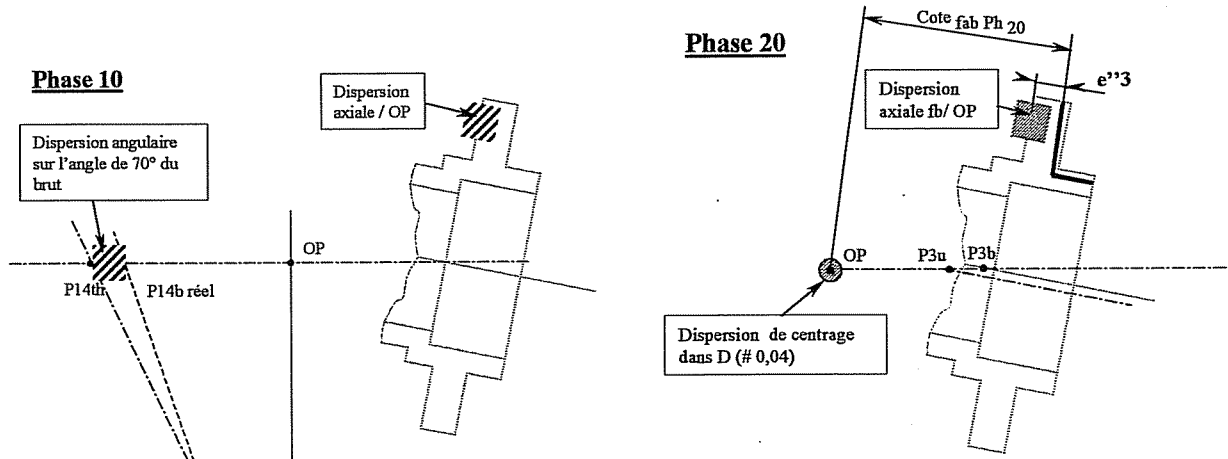
Remarque : pour les variations d'épaisseur des parois radiales e_1 et e_3 , les dispersions de position relative entre surfaces intérieures et extérieures du brut, viennent s'ajouter à la « chaîne » précédente.. (voir étude de moulage partie B)

$$\Delta e_3 = \Delta_{G3u/G2u} + \Delta_{G2u/(G1b+G4binter)} + \Delta_{(G1b+G4binter)/G3b}$$

$$\Delta e_1 = \Delta_{G1u/G2u} + \Delta_{G2u/G1binter} \quad (\text{chaîne très courte} \Rightarrow \text{variations minimales})$$

variations d'épaisseur « axiales »

Pour la variation d'épaisseur « axiale » e''_3 , les dispersions sur l'angle du « coude » (dues à un effet de « fermeture » plus ou moins prononcé à la solidification) auront également une influence . (voir figure ci-dessous)



Remarque : bien que la variation résultante sur e''_3 soit importante, le respect de toile mini (3mm) ne sera pas difficile à tenir car contrairement aux précédentes, cette condition est « unidirectionnelle ».

QD2 : Optimisation du « balançage » (voir tableau Document3)

Les écarts obtenus en 1, permettent de quantifier et visualiser, les différences entre géométrie réelle et nominale du brut.

Cette comparaison est effectuée en « calant » le repère DAO sur un repère pièce associé aux surfaces brutes des groupes $G1_b$ et $G2_b$: (R_{12b}).

Ce choix est dicté par le repère associé au modèle DAO du brut, lui même induit par la démarche de création et cotation du brut (voir QB7)

Les écarts optimisés, obtenus en 2, après « balançage »(priviliégiant les trois éléments cylindriques (CYL1, CER3, CER4) dans l'optique de minimiser les variations sur les épaisseurs de toile « radiales » étudiées précédemment) permettent de constater l'amélioration possible du positionnement relatif usiné / brut si l'on décale le repère d'usinage / repère brut en phase 10

	Ecarts de position sans « balançage » du Rep. pièce	Ecarts de position après « balançage » du Rep. Pièce
CERcle 3	0,66 mm	0,08 mm
CERcle 4	0,57 mm	0,16 mm
CYLindre 1	0 (axe du repère initial)	0,19 mm

Ce décalage peut être effectué en introduisant des DECAlages d'origine (valeurs associées à chaque pièce issues du PV de contrôle) à rentrer par l'opérateur à chaque début de programme.

Les valeurs de ces décalages sont données par les coordonnées du point P12 obtenues après balançage

($X = 0,33 - Y = -0,13 - Z = 0,44$) à rapporter aux axes correspondant du repère machine

($Z_{pièce} = X_{machine}$ $Y_{pièce} = Z_{machine}$ $X_{pièce} = Y_{machine}$)

d'où **DEC X = 0,44**

DEC Y = 0,33

DEC Z = -0,13

Remarque : ces valeurs étant obtenues dans le repère associé à ($G1_b + G2_b$), et la mise en position pièce étant effectuée par ($G1_b + G4_b$), il conviendrait de faire la Prise de REFérence en X sur l'alésage D_{brut} du groupe $G2$.

Cette opération serait à réaliser par palpeur type Renishaw.

Commentaires relatifs à la partie A

Analyse de la cotation

L'approche induite par les questions devait permettre une compréhension progressive de la géométrie de la pièce avant d'aborder les questions relatives au processus d'élaboration du brut et des surfaces usinées.

Le « dessin fonctionnel » proposé sur les documents réponses DRA1 permettait de dégager l'essentiel du secondaire dans la constitution de la pièce et donc de faciliter la lecture du dessin de définition.

Les étapes de la définition de la pièce (aspect dimensionnel et mode de tolérancement) ont été dans l'ensemble bien comprises mais seuls quelques candidats ont pensé à utiliser des repères liés aux groupes de surfaces et donc à associer les étapes de construction à des changements de base par rotation ou translation.

Parmi les candidats qui n'ont pas traité de façon satisfaisante cette première partie, il est surprenant de constater que certains ont pourtant su aborder la partie D portant sur le contrôle qui nécessitait dans une optique analogue la compréhension de ces étapes de construction.

Commentaires relatifs à la partie B

Cette partie englobait toute la démarche d'obtention et de définition du brut par un procédé de moulage à modèle perdu et devait permettre d'évaluer la capacité de transposition des connaissances générales sur le moulage à un procédé particulier (choix de plan(s) de joint, portées de noyau, dépouille, sens de démoulage, noyau extérieur,....).

Elle permettait en outre de déboucher sur une sensibilisation aux écarts de géométrie du brut et notamment aux variations d'épaisseur de paroi traitée dans la suite de l'étude.

L'analyse rapide de 3 techniques d'obtention du modèle a été en général bien traitée. Il était ensuite demandé de tracer avec rigueur les éléments constitutifs :

- d'une solution d'injection du modèle complet (extérieur et intérieur)
- de la boîte d'injection du noyau pour la technique utilisant un noyau en cire soluble.

Quelques candidats ont traité ces recherches graphiques en utilisant des couleurs et en se souciant du dimensionnement des éléments de mise en position du noyau.

On devait retrouver ce même souci dans l'étude du moule complet d'injection du modèle.

L'utilisation de plans de joints multiples permettait d'aboutir au modèle de la pièce autour de son noyau. Il était facile à ce moment là de se rendre compte de certaines causes de variations des épaisseurs de paroi.

La recherche concernant les causes de variations dimensionnelles des empreintes d'injection a été bien abordée, en remarquant toutefois que toutes ces variations dimensionnelles étaient plus faciles à représenter graphiquement qu'à décrire.

Un nombre faible de candidats a su établir la liste de ces causes de variations de géométrie en analysant, une à une, toutes les phases pouvant engendrer des dispersions.

De même, peu nombreux sont ceux qui, même de façon synthétique, ont proposé des éléments pour la cotation du brut.

Commentaires relatifs à la partie C

La justification du choix des surfaces à usiner en premier a dans l'ensemble été bien abordée avec méthode en comparant les différentes solutions envisageables en regard de critères définis.

Le poids prédominant à accorder dans ce cas au critère [respect des toiles mini] exprimé par les cotes de liaison au brut a été bien perçu par 50% des candidats.

Par contre la question relative à la mise en œuvre de cette phase n'a été traitée que très superficiellement.

Peu de candidats ont su identifier le problème lié à la prise de référence compte tenu de la mise en position retenue.

Il ne s'agissait pas de ressortir des livres une formule générale donnant sous forme vectorielle le passage de l'origine machine à l'origine programme, mais de mettre en œuvre un sens pratique permettant de situer l'origine Porte-Pièce et donc l'origine Pièce compte tenu des choix techniques arrêtés.

Cette lacune traduit une approche trop superficielle des aspects pratiques associés aux processus de réalisation des pièces.

C'est pourtant dans le traitement concret de ces problèmes que se situent les compétences d'un technicien en production.

Conception du porte-pièce de tournage Phase 20

La démarche permettant de situer les surfaces de mise en position p / pp par rapport aux surfaces de liaison pp / m nécessitait d'associer une référence au porte-pièce et donc une « origine angulaire » autour de l'axe de broche, également caractéristique d'un élément pièce.

Cette contrainte a été rarement perçue et on trouve donc peu de réponses satisfaisantes à cette question. Il s'agit pourtant d'un problème incontournable associé à l'usinage des surfaces « inclinées ».

Dessin du porte-pièce

La mise en page proposée permettait de visualiser le positionnement relatif en question même s'il n'avait pas pu être établi en question précédente. Malgré cela, seulement la moitié environ des candidats a consacré du temps à cette partie. Parmi eux, un nombre réduit propose une définition cohérente des éléments constitutifs du porte-pièce. L'expression graphique rapide (même à main levée !) d'une solution semble devenir une compétence rare.

Commentaires relatifs à la partie D

Définition des écarts de position entre G_3 et (G_1, G_2)

Cette détermination nécessitait de créer les éléments théoriques associés aux surfaces à contrôler à partir des éléments de référence (G_1, G_2).

Environ la moitié des candidats a atteint cet objectif mais souvent sans dégager clairement la démarche suivie.

Les gammes de mesure proposées sur le document réponse ne font que rarement apparaître les étapes essentielles (construction, création et changements de repères,) et sont donc difficiles à comprendre.

L'aspect structuration d'une gamme de contrôle est donc à améliorer.

L'optimisation du balançage n'a été abordée que par 1/5 seulement des candidats. Pour ceux-ci, l'interprétation du P.V. de contrôle et l'exploitation proposée en terme d'optimisation sont satisfaisantes.

