

SESSION DE 1999**concours externe
de recrutement de professeurs agrégés****section : génie mécanique**

composition sur les technologies de fabrication

Durée : 8 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris programmable et alphanumérique - à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 86-228 du 28 juillet 1986.

Tout document et tout autre matériel électronique interdits.

DOCUMENTS REMIS AUX CANDIDATS

THÈME DE L'ÉTUDE.

PREMIÈRE PARTIE : **Élaboration du brut.**

- Dossier I.A : Sujet.
- Dossier I.B : Données techniques.
- Dossier I.C : Document-réponse.

DEUXIÈME PARTIE : **Assemblage de la couronne dentée sur le boîtier.**

- Dossier II.A : Sujet.
- Dossier II.B : Données techniques.
- Dossier II.C : Documents-réponses.

TROISIÈME PARTIE : **Étude de la phase 70 Tournage : Finition de la sphère.**

- Dossier III.A : Sujet.
- Dossier III.B : Données techniques.
- Dossier III.C : Documents-réponses.

IMPORTANT

Après avoir complété les en-têtes, le candidat remettra en fin d'épreuve ses copies paginées et ses documents-réponses insérés à plat, l'en-tête détachable placé en haut, regroupés dans **trois chemises distinctes** :

Première partie. - **Élaboration du brut.**

Deuxième partie. - **Assemblage de la couronne dentée sur le boîtier.**

Troisième partie. - **Étude de la phase 70 Tournage : Finition de la sphère.**

Tournez la page S.V.P.

THÈME DE L'ÉTUDE

BOÎTIER DE DIFFÉRENTIEL

Ce dossier comprend :

- DOCUMENT 1. - Situation d'un boîtier de différentiel dans une boîte de vitesses.
- DOCUMENT 2. - Dessin de définition du boîtier de différentiel destiné au montage fretté-collé de la couronne dentée.
- DOCUMENT 3. - Gamme de fabrication du boîtier et d'assemblage avec la couronne dentée.

Présentation

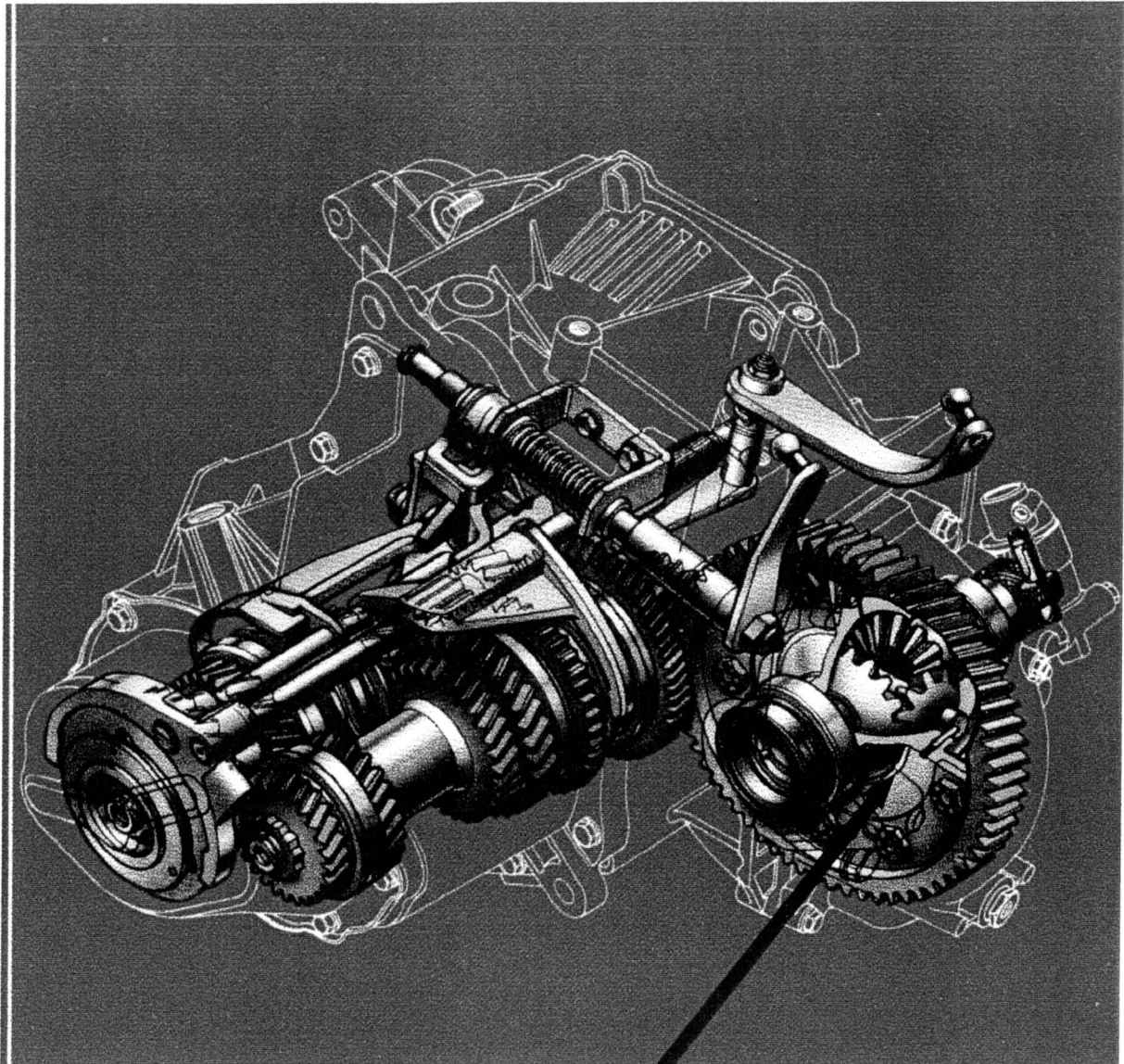
La boîte de vitesses d'un véhicule automobile est un ensemble de sécurité et à forte valeur ajoutée.
Ces 2 caractéristiques ont des conséquences sur la qualité requise à sa production.

Le boîtier de différentiel est, dans la chaîne de transmission, le dernier élément avant la liaison avec les arbres de roue, il est soumis à des sollicitations variables pouvant atteindre des valeurs très au-dessus de celles des conditions normales, aussi est-il un composant vital dans la vie de la boîte de vitesses.

On se propose d'étudier une partie de la réalisation de l'ensemble boîtier+couronne du différentiel.

L'épreuve porte sur :

- la fabrication du boîtier de différentiel
- l'assemblage du boîtier et de la couronne dentée



**Boîtier de différentiel
(version couronne boulonnée)**

SITUATION DU BOÎTIER DE DIFFÉRENTIEL DANS UNE BOÎTE DE VITESSES

DOCUMENT 1

NOTA:

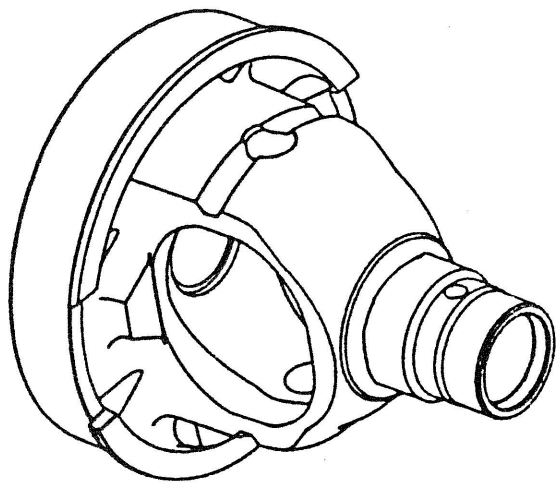
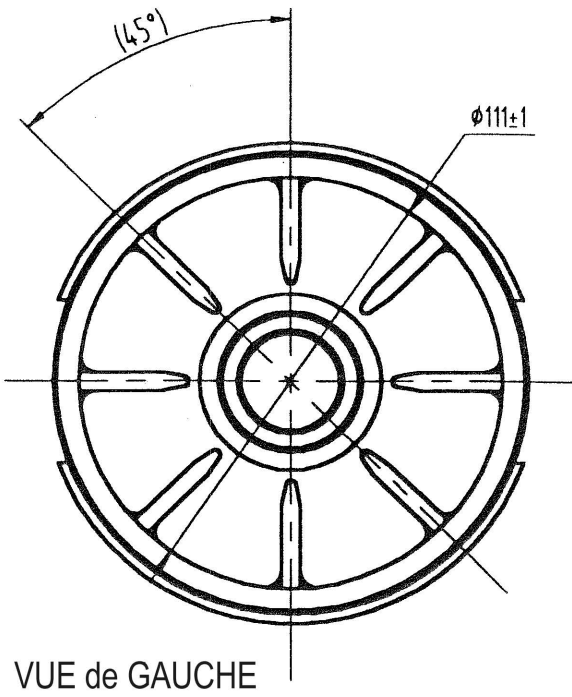
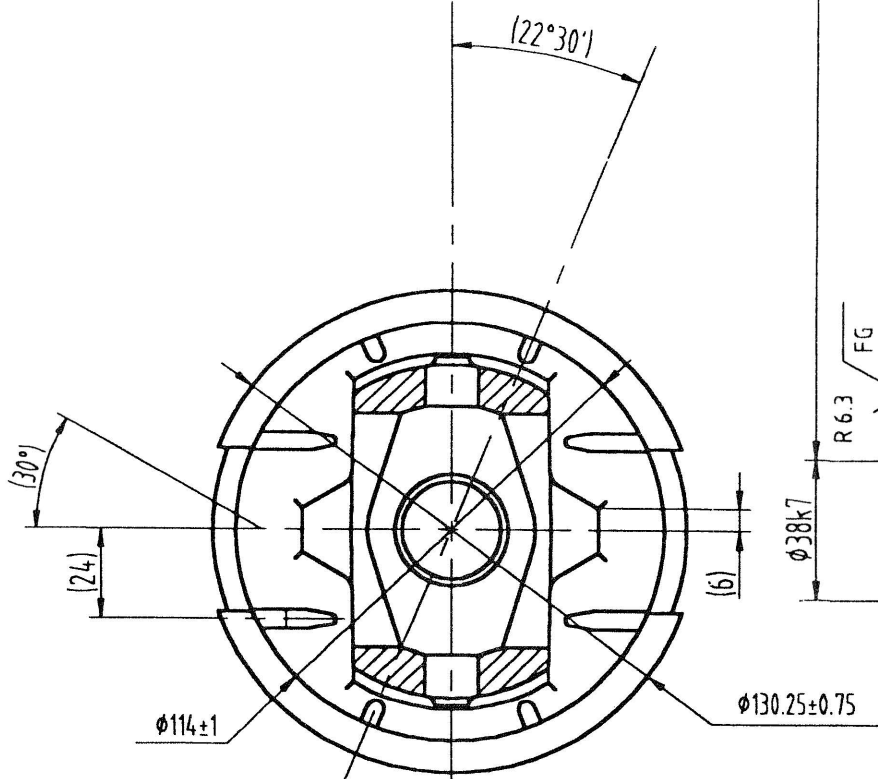
Déouille générale 2° sur formes restées brutes

Tolérances générales ISO 2768-mK

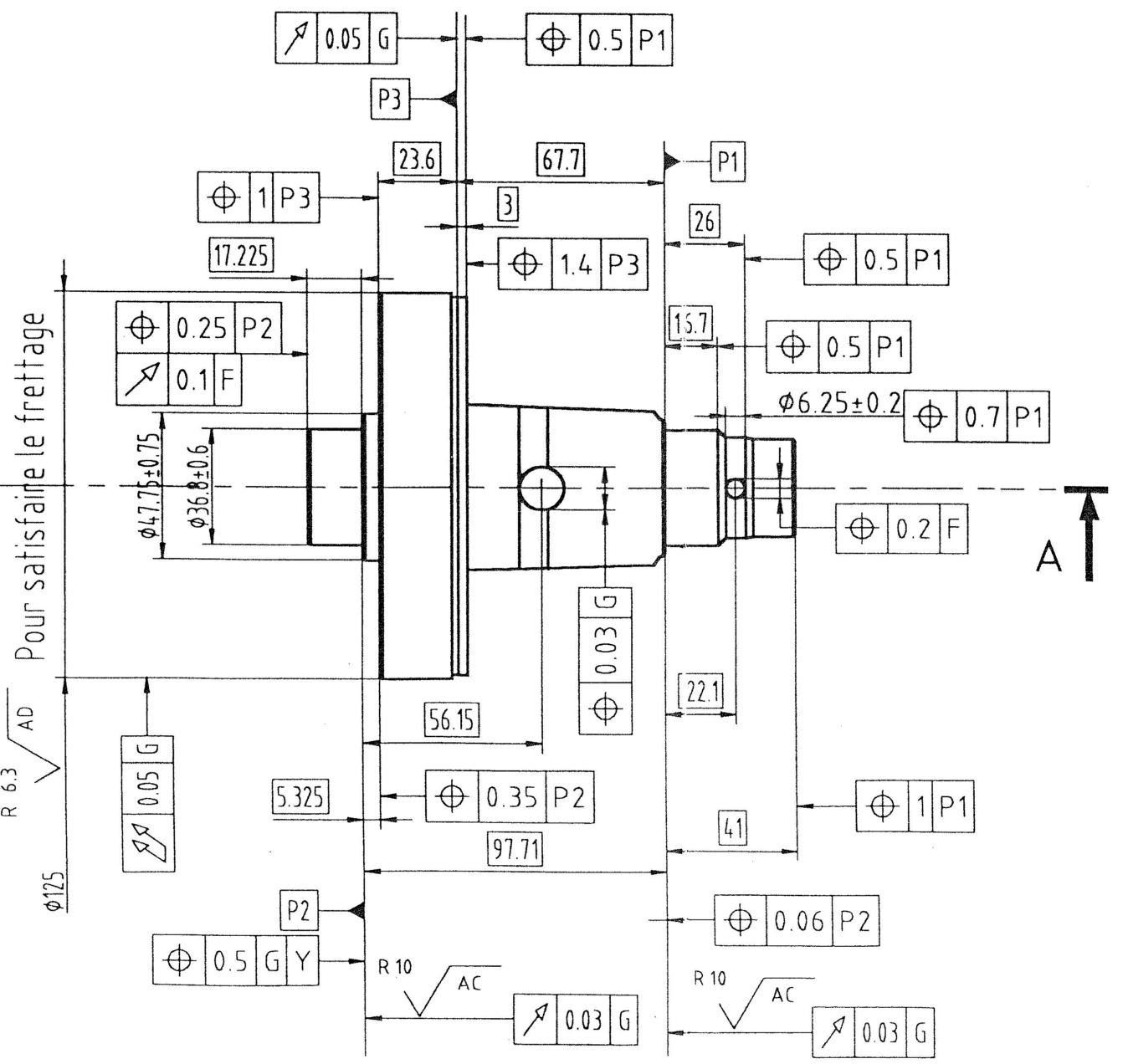
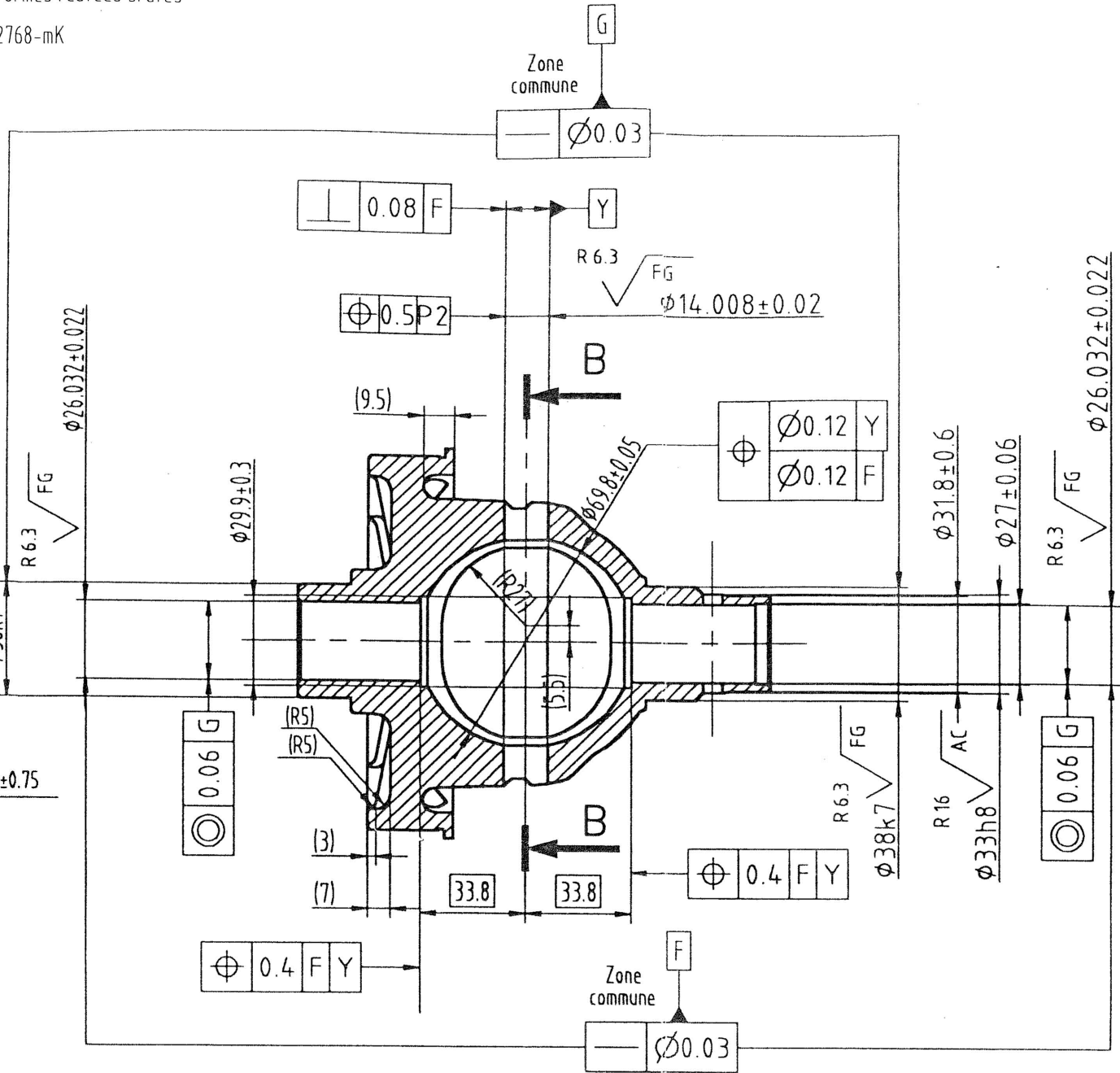
Ch 0.5 à 1 maxi à 45° admis

A-A

B-B



VUE ISOMETRIQUE



DOCUMENT 2

82.0.1

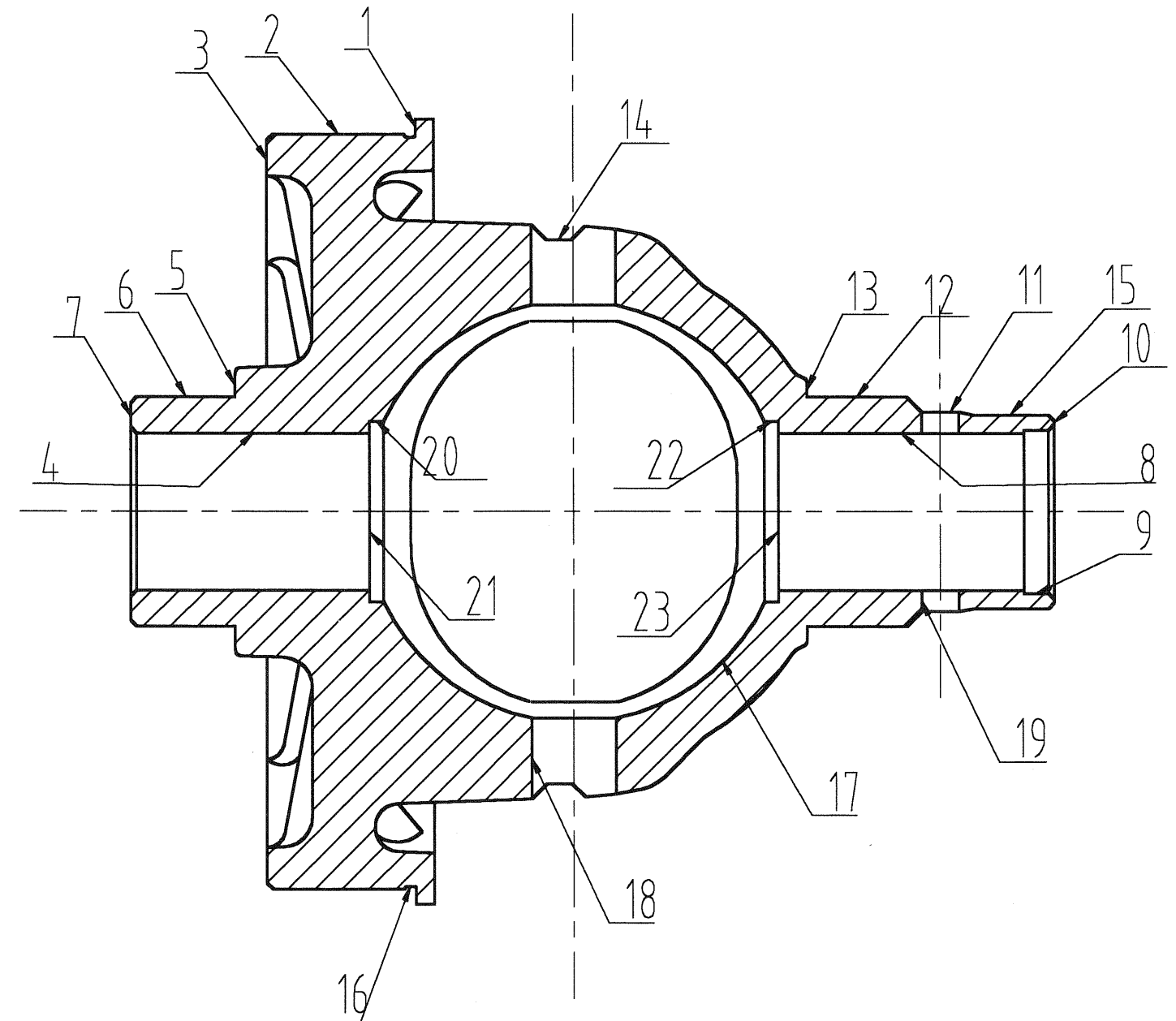
J. 6064-D

Echelle : 1:2	BOITIER DE DIFFERENTIEL	Dessiné par : AGM
		Le : 15/10/98
	Ensemble : BOITE DE VITESSES	
A2	AGREGATION DE GENIE MECANIQUE	

DOCUMENT 3

GAMME DE FABRICATION ET D'ASSEMBLAGE

Opérations		Principales Surfaces		Machines	
N°	Désignation	Posage	Usinage	Type	Marque
10	Tournage ébauche 1 ^{er} côté	Brut	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	Tour à cames multibroche	PITTLER
20	Tournage ébauche 2 ^{ème} côté	Brut	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	Tour à cames multibroche	PITTLER
30	Tournage 1/2 finition	4, 8, 7	15, 11, 12, 13, 5, 6, 7, 16	Centre de tournage	G.F.
40	Tournage ébauche sphère	6, 12, 7	17	Tour CN	SCULFORT
50	Usinages divers	6, 12, 7	18, 19, 20, 21, 22, 23	Machine transfert	VIGEL
60	Rodage	Auto-centré	4, 8	Rodeuse	CITROËN
70	Tournage finition sphère	6, 12, 7	17	Tour CN	SCULFORT
80	Tournage finition extérieur	4, 8, 7	5, 6, 2, 1, 16, 11, 12, 13, 15	Centre de tournage	G.F.
90	Lavage et refroidissement			Machine à laver	HAFROY
100	Assemblage boîtier+couronne			Machine spéciale	I.A.
110	Contrôle denture				E.A.M
Non systématique	Contrôle assemblage				ARMECA
Non systématique	Banc de torsion				MECALIX



I.PREMIÈRE PARTIE

Élaboration du brut

Cette partie comprend :

DOSSIER I.A : LE SUJET

- 1- Élaboration du matériau
- 2- Réalisation des pièces

DOSSIER I.B : LES DONNÉES TECHNIQUES

- 1- Dessin partiel du brut
- 2- Schéma de fabrication des bruts en fonte GS

Document I.B.1
Document I.B.2

DOSSIER I.C : DOCUMENT-RÉPONSE

- 1- Dessin partiel de la pièce brute

Document I.C.1

DOSSIER I.A

SUJET

I. ÉLABORATION DU MATÉRIAU

II. RÉALISATION DES PIÈCES

Tournez la page S.V.P.

PRÉLIMINAIRES :

Le boîtier de différentiel en FGS 600-3 figurant sur le dessin partiel du brut (**Document I.B.1**) est produit à raison de 3500 pièces par jour (pièces finies). C'est une pièce de sécurité, le processus doit être parfaitement maîtrisé.

La production des moules s'effectue sur une chaîne de moulage au sable à vert de type SPOMATIC à plateaux (secousses puis pression).

Cette chaîne mesure 450 mètres de long et comporte 400 plateaux supports de moule. Sa capacité de production est de 260 moules par heure, à raison de 23 heures par jour, 7 jours sur 7, 46 semaines par an.

La coulée a lieu dans des moules constitués de 2 châssis en acier (dimensions 800x900x250) superposés et convoyés, en boucle, par la chaîne automatique.

Cette chaîne permet évidemment la production d'autres pièces. L'ensemble du processus de production (de l'élaboration du matériau à l'expédition des pièces brutes) est exposé succinctement ci-dessous :

- moulage des châssis inférieurs sur plaque modèle
- moulage des châssis supérieurs sur plaque modèle
- mise en place des noyaux et "accessoires" en manuel
- remmoulage automatique
- coulée automatique
- "séparation" du sable + pièce par rapport aux châssis par "poinçonnement"
- décochage au tonneau et refroidissement jusqu'à 100°.

L'élaboration du matériau et une partie de la chaîne de moulage sont présentés sur le **Document I.B.2**.

I. ÉLABORATION DU MATÉRIAU

I.1. Désignation du matériau et propriétés

Travail à réaliser sur feuille de copie

I.1.1. Expliciter la désignation du matériau FGS 600-3 conformément à la norme française (NF A32-201) non fournie.

I.1.2. Comparer le comportement de ce matériau à celui d'une FGL pour les caractéristiques suivantes :

- module d'Young,
- résistance à la rupture en traction
- résistance à la rupture en compression
- résistance élastique

I.2. Observation microscopique

Une FGS 600-3 présente une structure ferrito-perlitique ou perlitique.

Travail à réaliser sur feuille de copie

I.2.1. Indiquer l'ensemble des opérations nécessaires à une observation microscopique, ainsi que les matériels ou réactifs employés pour ces différentes opérations et ceci du prélèvement à l'observation proprement dite.

I.2.2. Dessiner la micrographie correspondant à la structure ferrito-perlitique de la FGS 600-3, en indiquant les différents constituants.

I.3. Élaboration de la FGS

Sur le **Document I.B.2**, l'essentiel des différentes opérations nécessaires est succinctement exposé.

On élabore dans un four à arc, une fonte liquide à 3,6 % de carbone, ensuite on "affine" la composition dans un autre four en ajoutant des ferro-alliages (FeSi et FeMn) et éventuellement le complément de carbone tout en remontant la température du bain en fusion à 1500°C.

On vise une composition à 3,6 % de carbone, 2,05 % de Silicium et 0,35 % de Manganèse.

I.3.1. Analyse de la matière

Travail à réaliser sur feuille de copie

Expliciter comment procéder, à tout moment, à l'analyse instantanée des différents constituants de l'alliage (constituants présents et proportions) et avec quel(s) matériel(s). Expliquer succinctement le principe de fonctionnement de ce(s) matériel(s).

I.3.2. Rôles du magnésium

Travail à réaliser sur feuille de copie

Expliciter les différents rôles du magnésium dans l'élaboration de la FGS.

II. REALISATION DES PIECES

II.1. Position du plan de joint

Travail à réaliser sur feuille de copie et Document-réponse I.C.1

II.1.1. Indiquer sur le **Document-réponse I.C.1**, en couleur bleue, la position retenue pour le plan de joint. Justifier succinctement ce choix.

Tournez la page S.V.P.

II.1.2. Faire figurer en rouge, la partie de pièce coulée dans le châssis supérieur. Justifier ce choix.

II.2. Noyau

II.2.1. Dessin du noyau

Travail à réaliser sur feuille de copie et Document-réponse I.C.1

II.2.1.2. Dessiner sur le **Document-réponse I.C.1** sur les 2 vues, le noyau complet (en couleur verte), permettant d'obtenir les formes intérieures de la pièce, avec l'ensemble des détails permettant :

- de le mettre en position et de le maintenir dans le moule
- de limiter les bavures sur le bord de la sphère.

Mettre en évidence les dépouilles.

II.2.1.3. Justifier les formes dessinées à la question précédente (à **réaliser sur la copie**).

II.2.1.4. Lors de la coulée, quelles sont les forces s'exerçant sur le noyau? Y-a-t-il risque de rupture du noyau ?

II.2.2. Outillage de noyautage : boîte à noyau(x)

Le temps de cycle sur la machine à noyauter est de 0,93 minute.

La production hebdomadaire moyenne demandée par le moulage, pour le boîtier de différentiel, est de 24 500 pièces.

On réalise des campagnes de production de 49 000 pièces.

Travail à réaliser sur feuille de copie

Quels procédés d'obtention de noyaux permettent d'obtenir une telle cadence de production ?

II.2.3. Quantité économique :

WILSON a mis en place une formule régissant la taille du lot économique pour une production (en faisant abstraction des autres contraintes).

$$Q_{\text{économique}} = N_{\text{lot économique}} = \sqrt{\frac{2 \times L \times Q_d}{\tau \times C_f}}$$

- où :
- C_f : coût unitaire de production de la pièce (noyau) = 1,17 F
 - L : coût de lancement d'un lot = 267 F
 - τ : taux d'intérêt de l'argent immobilisé (stock et frais de stock) en pourcentage du coût du stock = 30%
 - Q_a : quantité annuelle produite

Travail à réaliser sur feuille de copie

- II.2.3.1. Calculer la quantité économique pour l'application considérée (fabrication des noyaux).
- II.2.3.2. En déduire le nombre de lots à lancer annuellement.
- II.2.3.3. Calculer le coût total de la série annuelle.
- II.2.3.4. Comparer avec le coût de la série annuelle si on produit un lot régulièrement toutes les 2 semaines pour satisfaire les besoins du moulage.
- II.2.3.5. Conclusions.

II.3. Tracé de la pièce

Travail à réaliser sur feuille de copie

- II.3.1. Énoncer succinctement les règles de tracé des pièces fondues.
- II.3.2. Que dire du tracé de cette pièce (voir **Document I.B.1**)?
- II.3.3. Quelle(s) partie(s) de la pièce est(sont) susceptible(s) de poser des problèmes et pourquoi ?
- II.3.4. Que faut-il réaliser pour résoudre ce(s) problème(s) ?

II.4. Alimentation

Travail à réaliser sur feuille de copie et Document-réponse I.C.1

- II.4.1. Dans quelles parties (massives ou minces) est-il recommandé de situer l'(es) attaque(s) sur une pièce en FGS. Appliquer à la pièce, en représentant l'(es) attaque(s) en couleur noire sur le **Document-réponse I.C.1**.
- II.4.2. Que signifie le terme « temps de gale » ou temps d'apparition de la gale employé par les fondeurs ? De quoi est-il fonction ?
- II.4.3. Que signifie avoir une mise au mille de 1,6 ?
- II.4.4. On prévoit un échelonnement 1-1-1; qu'est-ce que cela signifie ?

Tournez la page S.V.P.

DOSSIER I.B

DONNÉES TECHNIQUES

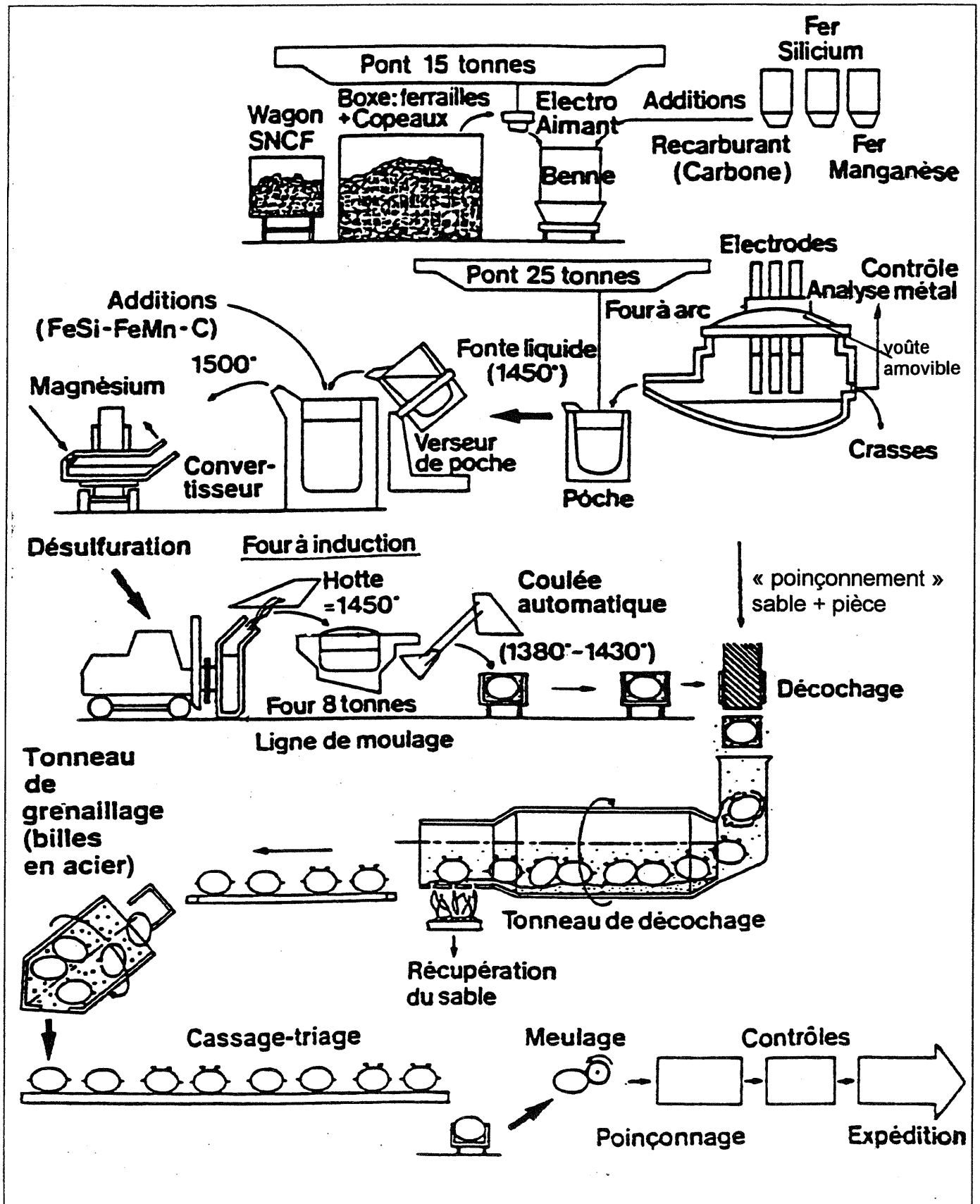
Document I.B.1 - Dessin partiel du brut

Document I.B.2 - Schéma de fabrication des bruts en fonte GS

Tournez la page S.V.P.

DOCUMENT I.B.2

Schéma de fabrication des bruts en fonte GS

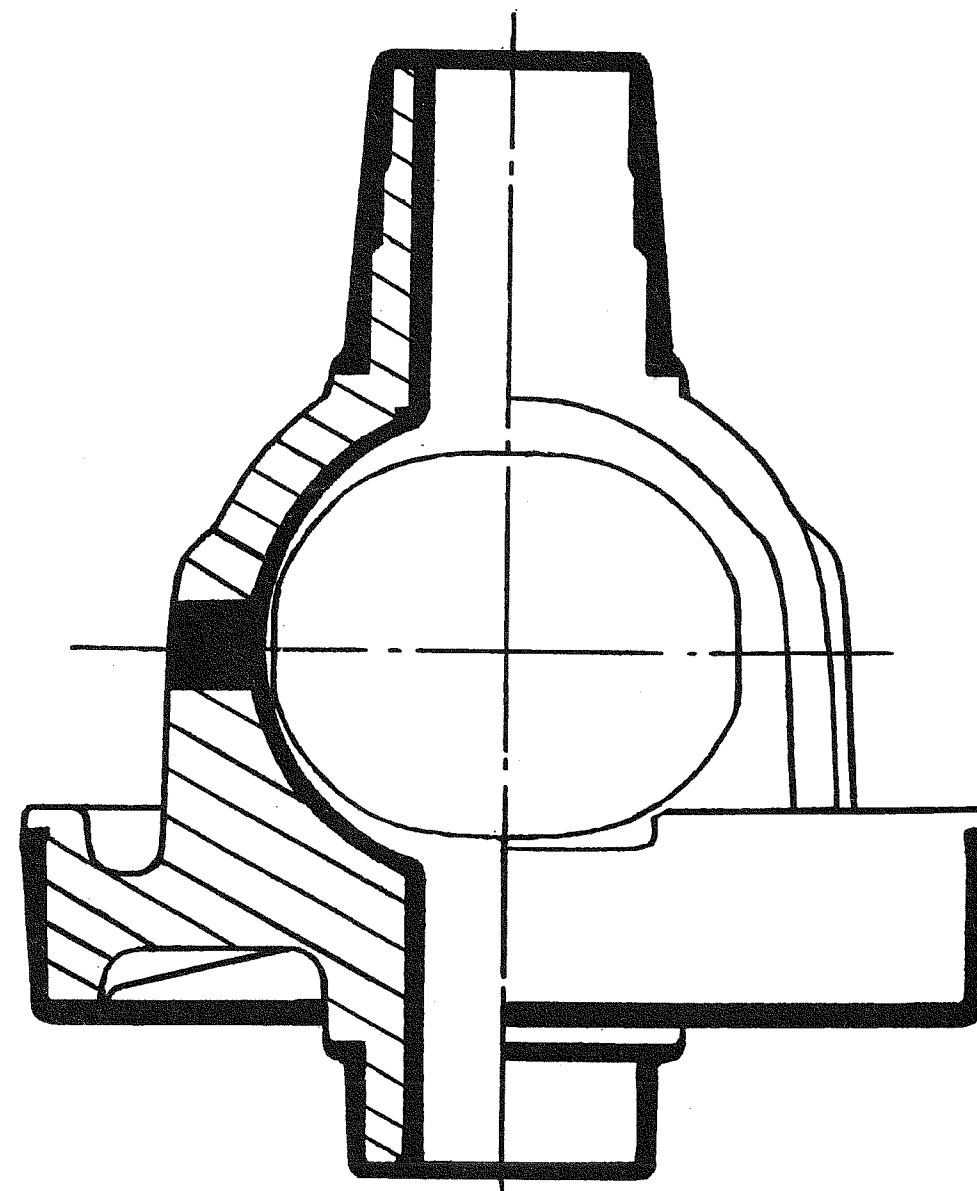
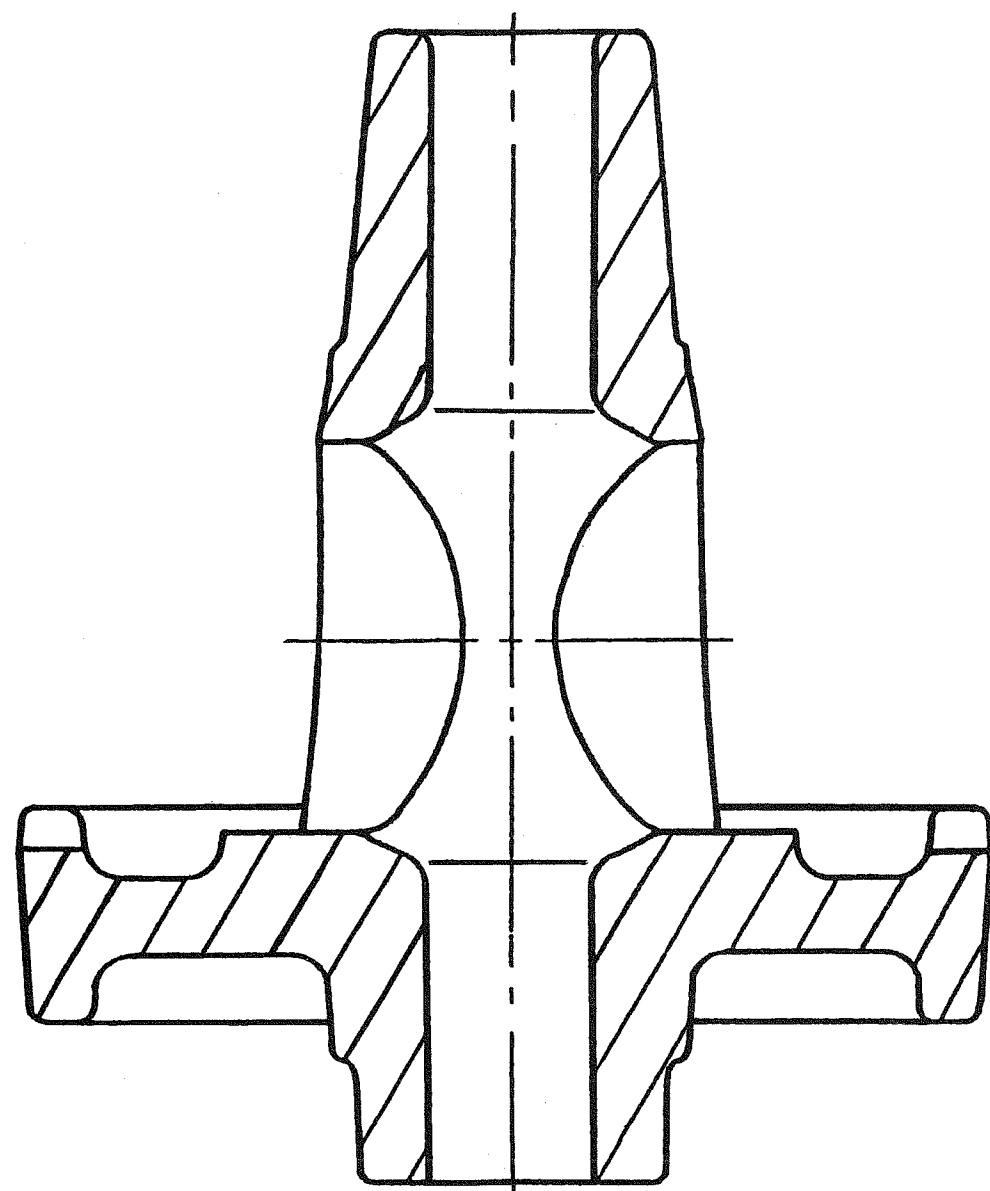


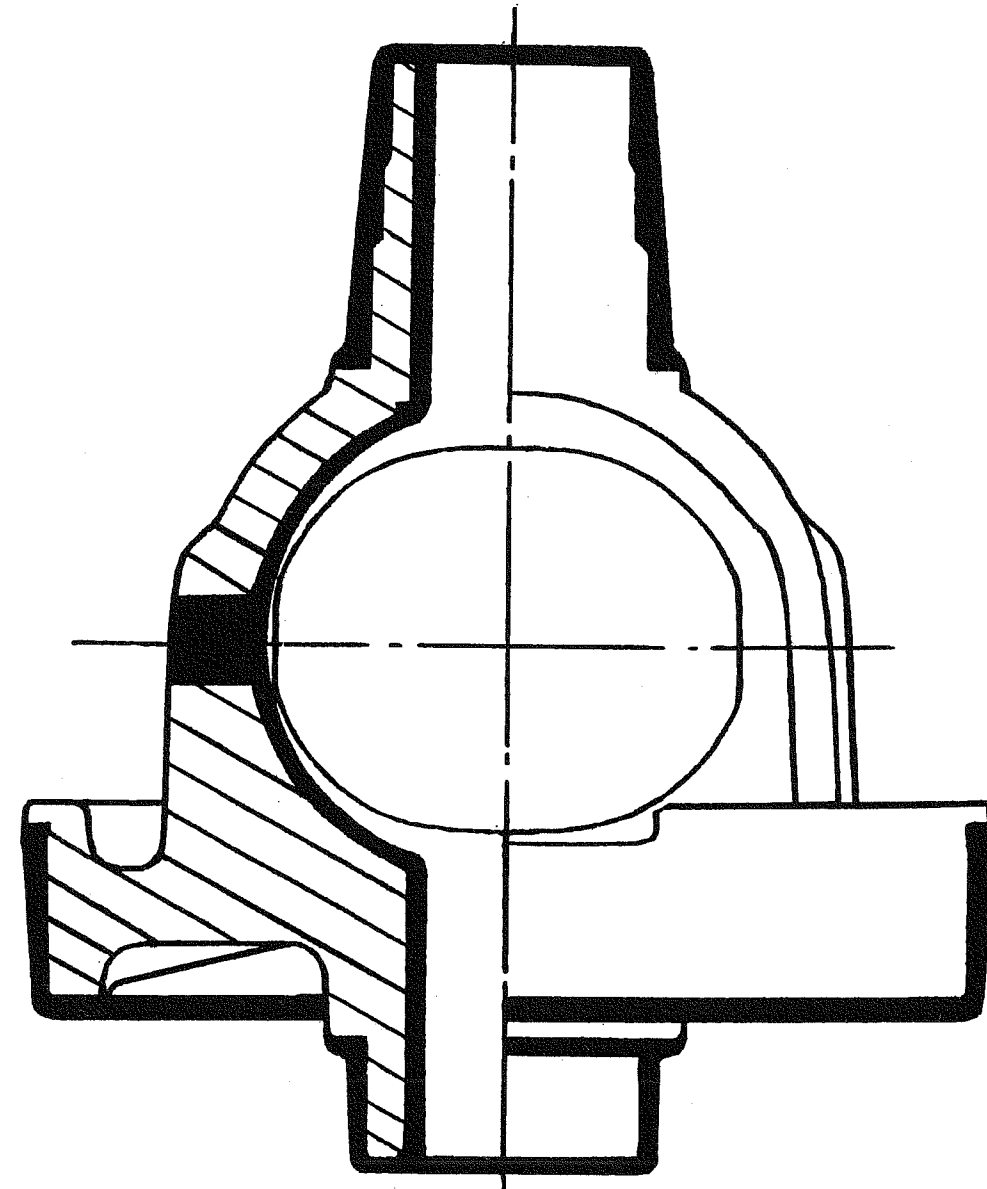
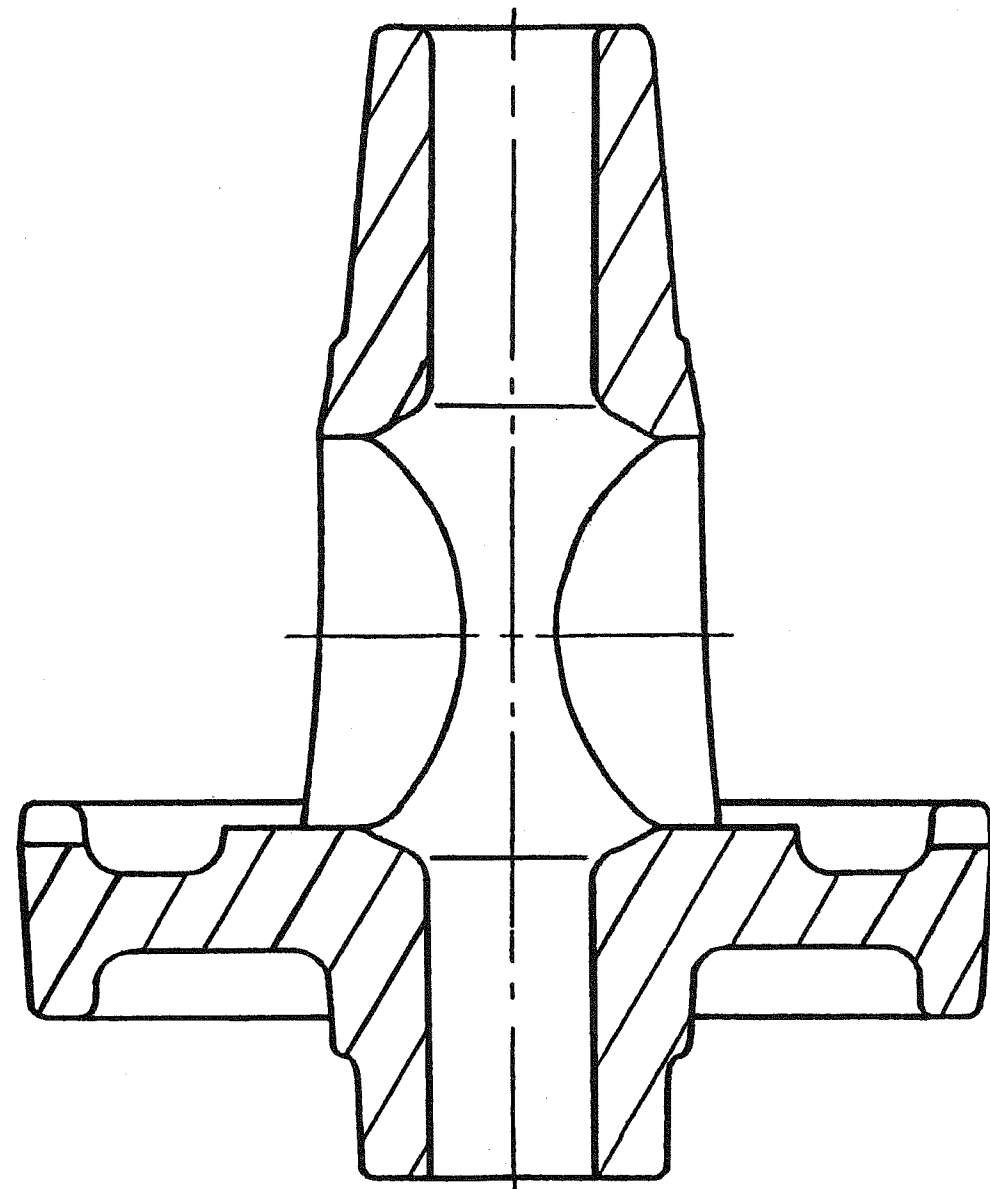
DOSSIER I.C

DOCUMENT-RÉPONSE

Document I.C.1 - Dessin partiel de la pièce brute

Tournez la page S.V.P.





II. DEUXIÈME PARTIE

Assemblage de la couronne dentée sur le boîtier

Cette partie comprend :

DOSSIER II.A : LE SUJET

- 1- Assemblage de la couronne par frettage-collage
- 2- Métrologie de la couronne boulonnée

DOSSIER II.B : LES DONNÉES TECHNIQUES

- | | |
|---|------------------------------|
| 1- Extrait de la norme NF X 06-031-1
relative aux cartes de contrôle de Shewhart aux mesures | Documents II.B.1a/b |
| 2- Extrait de la norme NF X 06-033
relative à l'aptitude des moyens de production
et des processus de fabrication | Document II.B.2 a/b/c |
| 3- Extrait de la norme NF X 06-050
relative à l'étude de la normalité d'une distribution | Document II.B.3 |
| 4- Abaque de la loi normale centrée réduite | Document II.B.4 |
| 5- Dessin de définition partiel de la couronne boulonnée | Document II.B.5 |

DOSSIER II.C : DOCUMENTS-RÉPONSES

- | | |
|--|------------------------|
| 1- Carte de contrôle aux mesures \bar{X} / S | Document II.C.1 |
| 2- Test de normalité par la droite de Henry | Document II.C.2 |

Tournez la page S.V.P.

DOSSIER II.A

SUJET

I. ASSEMBLAGE DE LA COURONNE PAR FRETTAGE-COLLAGE

II. MÉTROLOGIE DE LA COURONNE BOULONNÉE

Tournez la page S.V.P.

I. ASSEMBLAGE DE LA COURONNE PAR FRETTAGE-COLLAGE

PRÉLIMINAIRES :

Sur les versions précédentes, les couronnes dentées étaient boulonnées sur le boîtier du différentiel. L'ajustement entre le boîtier et la couronne était :

$$\phi 125 \text{ H7 g6}$$

Ce qui donnait :

$$\begin{aligned} & \text{- pour la couronne } \phi 125 \begin{matrix} +40 \mu\text{m} \\ 0 \end{matrix} \\ & \text{- pour le boîtier } \phi 125 \begin{matrix} -14 \mu\text{m} \\ -39 \mu\text{m} \end{matrix} \end{aligned}$$

Actuellement, cette solution n'est plus utilisée que sur les véhicules de grosse cylindrée et sur les véhicules utilitaires. Dans les autres cas, pour des considérations de coût, les couronnes sont frettées-collées sur les boîtiers.

Le frettage-collage est moins contraignant, au niveau dimensionnel, que le seul frettage, néanmoins l'exigence sur le jeu entre la couronne et le boîtier est :

$$J_{CB} = -0,1 \pm 20 \mu\text{m} \quad (J_{CB} \text{ jeu Couronne-Boîtier}) \text{ soit : } -0,12 \leq J_{CB} \leq -0,08 \text{ mm}$$

Les deux limites étant fixées par la valeur du couple transmissible, d'une part, et par le montage à faible température (150 °C), d'autre part, conséquence du collage.

On se propose de vérifier que les procédés d'obtention, des couronnes et des boîtiers, utilisés pour les versions boulonnées sont aptes à répondre aux nouvelles exigences du montage fretté-collé de la couronne sur le boîtier.

I.1. Étude de l'obtention du $\phi 125 \text{ H7}$ de la couronne

Le procédé de tournage de la couronne dentée est suivi par MSP (Maîtrise Statistique du Procédé).

Le $\phi 125 \text{ H7}$ étant une caractéristique critique, il est surveillé par carte de contrôle de Shewhart aux mesures \bar{X} / S conformément à la NF X 06-031-1, les aptitudes (capabilités dans l'ancienne appellation communément usitée) sont régulièrement calculées conformément à la NF X 06-033.

Le prélèvement de 30 échantillons de 5 couronnes sur 1 journée de production a donné, pour l'opération de finition de l'alésage, les résultats suivants :

- Cam = 2,18
- Cap = 2,04
- Cpk = 1,74

Travail à réaliser sur feuille de copie

I.1.1. En supposant la distribution des valeurs individuelles des diamètres des couronnes normale, calculer :

- σ_i (écart type de la distribution des diamètres) relatif à D_i (Dispersion intrinsèque)
- σ_p relatif à D_p (Dispersion de production)

Accompagner les calculs de figures explicatives faisant apparaître :

- les distributions des valeurs individuelles
- les dispersions intrinsèques ou de production

Se référer à :

- l'extrait de norme NF X 06-033 (**Document II.B.2 a/b/c**)
- l'abaque de la loi normale centrée réduite (**Document II.B.4**)

I.1.2. Justifier, d'une manière générale, la « perte d'aptitude » traduite par $Cap < Cam$.

I.1.3. Justifier, comme précédemment, que $Cpk < Cap$.

I.1.4. Déterminer l'indice de dérèglement δ_p à partir de Cap et Cpk sachant que la NF X 06 031-0 (non fournie) définit :

- δ_i indice de dérèglement tel que $m_i = CIBLE + \delta_i \sigma_i$
- δ_p indice de dérèglement tel que $m_p = CIBLE + \delta_p \sigma_p$

I.1.5. À partir de la Figure 5 de la NF X 06-031-1 (**Document II.B.2 b**), de n et de δ_p (précédemment déterminé), justifier la non détection d'un tel dérèglement sachant que la carte utilisée avait un risque $\alpha = 0,27\%$.

On précise que le risque β est le risque, de ne pas détecter un dérèglement, à tort.

I.1.6. En se fixant $Cpk_{\text{mini}} = 1,66$ (correspondant à des δ_p parfois positifs, parfois négatifs), déterminer D_g (Dispersion globale) de l'ensemble des diamètres des couronnes produites due à D_p et aux δ_p , pour ce faire :

- mettre en place sur une figure les 2 distributions extrêmes possibles relatives à :

- D_p et δ_p positif
- D_p et δ_p négatif

- exprimer littéralement D_g en fonction de L_s , L_i et σ_p
- faire l'application numérique si $Cap_{\text{mini}} = 2$ pour la production étudiée.

Tournez la page S.V.P.

I.1.7. Si on suppose l'ensemble de la population des diamètres des couronnes produites normale, déterminer σ_g (écart type global) de cette population si D_g est définie au risque $\alpha = 0,27\%$.

I.2. Étude de l'obtention du ϕ 125 g6 du boîtier

Le procédé de tournage du boîtier est également suivi par MSP, le ϕ 125 g6 est surveillé par carte de contrôle de Shewhart aux mesures \bar{X} / S .

Le **Document II.C.1** présente une telle carte de contrôle incomplète, relative au suivi de la production d'une journée de boîtiers destinés au montage boulonné.

Travail à réaliser sur feuille de copie

I.2.1 Justifier, que pour $n \geq 3$ (n étant l'effectif des échantillons prélevés), la carte S est plus efficace que la carte de l'étendue R ou W , sachant que :

$$S = \sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}$$

$$R = W = X_{\max i} - X_{\min i}$$

I.2.2. Détermination des lignes de contrôle de la carte \bar{X} .

On montre que :

- Si une variable X est distribuée par une loi normale de moyenne m ($m = E(X)$ Espérance mathématique de X) et d'écart type σ ($\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} (X_i - m)^2}$), ce que l'on notera, $X \sim N(m, \sigma)$ (N comme Normale), alors la variable aléatoire \bar{X} est distribuée par une loi normale de moyenne m et d'écart type $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ce que l'on notera

$$\bar{X} \sim N\left(m, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) \text{ avec } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} X_i.$$

(Nota : le symbole \sim signifie « est distribué par une loi »)

- $E(S) = c_4 \sigma_i$ par conséquent, dans notre cas, on peut estimer σ_i par $\frac{\bar{S}}{c_4}$ avec :

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
c_4	0.7979	0.8862	0.9213	0.94	0.9515	0.9594	0.9650	0.9693	0.9727

Travail à réaliser sur feuille de copie et Document II.C.1

Déterminer et construire les $Lcs_{\bar{X}}$ et $Lci_{\bar{X}}$ (Lignes de contrôle supérieure et inférieure de \bar{X}) au risque $\alpha = 0,27\%$, on pourra pour ce faire soit :

- utiliser la Figure A.1 de la NF X 06-031-1 (**Document II.B.1a**):

- déterminer POM_0 pour le risque d'avoir une fausse alarme $\alpha = 0,27\%$
- déterminer u_1 à partir de l'abaque
- déterminer $Lcs_{\bar{X}}$ et $Lci_{\bar{X}}$

- exploiter l'abaque de la loi normale centrée réduite (**Document II.B.4**) après avoir fait apparaître, sur une figure, le risque $\alpha = 0,27\%$ sur la distribution des \bar{X} .

I.2.3. On montre que :

- l'écart type de la distribution des S, noté $\sigma_S = \sigma_i \cdot \sqrt{1 - c_4^2}$

par ailleurs $E(S) = c_4 \sigma_i$, par conséquent, au risque $\alpha = 0,27\%$:

$$Lci_S = c_4 \sigma_i - 3 \sigma_i \sqrt{1 - c_4^2} \text{ avec } \sigma_i \text{ estimé par } \frac{\bar{S}}{c_4} \text{ on obtient}$$

$$Lci_S = \frac{1}{c_4} \bar{S} (c_4 - 3 \sqrt{1 - c_4^2}) = B_3 \bar{S}$$

$$\text{de même on obtiendrait } Lcs_S = \frac{1}{c_4} \bar{S} (c_4 + 3 \sqrt{1 - c_4^2}) = B_4 \bar{S}$$

Travail à réaliser sur feuille de copie et Document II.C.1

À partir du tableau suivant, déterminer et construire Lcs_S .

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B_3					0.03	0.118	0.185	0.239	0.284
B_4	3.267	2.568	2.266	2.089	1.97	1.882	1.815	1.761	1.716

I.2.4. Justifier que le procédé était sous contrôle statistique.

I.2.5. Le tableau fourni à la question I.2.3. ne fait pas apparaître B_3 pour $n \leq 5$.

Travail à réaliser sur feuille de copie

Calculer B_3 pour $n = 5$ à partir des relations apparaissant en I.2.3. et commenter le signe de B_3 .

En remarquant que S est une variable aléatoire positive contester l'hypothèse qui est à l'origine de l'écriture de la relation suivante : $Lci_s = c_4 \sigma_i - 3 \sigma_i \sqrt{1 - c_4^2}$.

I.2.6. En fait, on montre que la variable aléatoire $\left((n-1) \frac{S^2}{\sigma_i^2} \right)$ suit une loi $\chi_{\nu=n-1}^2$

Travail à réaliser sur feuille de copie

Proposer une méthode de détermination plus rigoureuse de Lcs_s et Lci_s au risque α .

On s'en tiendra à des expressions littérales.

I.2.7. Vérification de la normalité de la distribution des diamètres.

Travail à réaliser sur feuille de copie

I.2.7.1. Expliquer l'importance de l'hypothèse de normalité.

I.2.7.2. On donne à titre indicatif, un tableau de classement des 150 écarts par rapport à la CIBLE des diamètres des boîtiers prélevés durant la journée.

<i>Écarts en microns</i>	<i>Fréquence</i>
-6	4
-4	14
-2	34
0	44
2	28
4	15
6	8
8	3
Somme	150

Travail à réaliser sur feuille de copie et Document II.C.2

A partir de l'extrait de norme NF X 06-050 (**Document II.B.3**) et de l'abaque de la loi normale centrée réduite (**Document II.B.4**), procéder, sur le **Document II.C.2**, au test de normalité de la population totale à partir des 150 boîtiers prélevés dans la journée.

Remarque :

Dans le traitement de grands échantillons, ce qui est le cas (150 observations), la norme recommande de ne prendre que quelques points régulièrement répartis, nous conviendrons de prendre 3 points par classe dimensionnelle d'écart :

- le premier point dans la classe
- un point sensiblement au milieu de la classe
- le dernier point dans la classe

ce qui fera 24 points au total.

I.2.7.3. Estimer graphiquement à partir de la droite de Henry la moyenne et l'écart type de l'ensemble des diamètres des boîtiers.

Comparer les résultats graphiques aux valeurs estimées par calcul à partir des 150 prélèvements :

- $\hat{m} = \bar{X} = 124,9738 \text{ mm}$
- $\hat{\sigma} = \sigma_{n-1} = 2,99 \mu\text{m}$

I.2.8. Calculer :

- Cap
- Cpk

I.3. Assemblage frettés-collés

Dans la suite du sujet nous adopterons les notations suivantes :

- σ_{gC} : écart type de la population totale des diamètres des couronnes
- σ_{gB} : écart type de la population totale des diamètres des boîtiers
- $\sigma_{J_{CB}}$: écart type de la population totale des jeux couronne-boîtier
- m_C : moyenne de la population totale des diamètres des couronnes
- m_B : moyenne de la population totale des diamètres des boîtiers
- X_C : diamètre d'une couronne
- X_B : diamètre d'un boîtier

On montre que :

si $X_C \sim N(m_C, \sigma_{gC})$ et $X_B \sim N(m_B, \sigma_{gB})$, alors $(X_C - X_B) \sim N(m, \sigma_{J_{CB}})$

Travail à réaliser sur feuille de copie

I.3.1. Exprimer $\sigma_{J_{CB}}$ en fonction de σ_{gC} et σ_{gB}

I.3.2. Par calcul on obtient :

- $\sigma_{gC} = 4,44 \mu\text{m}$
- $\sigma_{gB} = 3,12 \mu\text{m}$

déterminer la proportion d'assemblages ne respectant pas les exigences sur le serrage $J_{CB} = -0.1^{\pm 20\mu\text{m}}$.

Tournez la page S.V.P.

I.3.3. Sachant que, dès qu'un composant d'un ensemble à forte valeur ajoutée et de sécurité atteint un taux de défectueux de 100 ppm (partie par million), cela entraîne un contrôle à 100% et que dans notre exemple, le contrôle de l'ensemble boîtier+couronne est destructif, préconiser des solutions.

I.3.4. La société concernée par cette production a choisi de travailler par appairage en fabriquant le boîtier qui va s'assembler avec la couronne déjà produite (adaptation de la valeur CIBLE du boîtier à la dimension de la couronne).

Le choix aurait pu être de fabriquer la couronne qui s'assemble le mieux avec le boîtier déjà produit. Justifier le choix qui a été fait.

I.3.5. La couronne subit un traitement thermique avant montage, elle est donc déformée. Proposer une technique permettant de déterminer le diamètre de la portée de chaque boîtier à produire pour permettre un assemblage idéal avec la couronne associée.

I.3.6. Le tour à commande numérique qui finit la portée d'assemblage avec la couronne, produit donc des « séries » de 1 pièce, la CIBLE étant mobile. Proposer une carte de contrôle aux valeurs individuelles que l'on pourrait appeler carte X_B , permettant de surveiller les éventuelles dérives.

Pour ce faire on pourra s'intéresser au comportement de la variable aléatoire $\frac{X_B - CIBLE}{\sigma_{IB}}$.

II. MÉTROLOGIE DE LA COURONNE BOULONNÉE

On se propose d'étudier les méthodes permettant de réaliser le contrôle et les mesures relatifs à la spécification de localisation des 10 trous comme indiqué sur l'extrait du dessin de définition de la couronne dentée à destination d'un assemblage boulonné.

Travail à réaliser sur feuille de copie

II.1. Interpréter la spécification de localisation multiple (**Document II.B.5**).

On explicitera clairement :

- les entités assujetties à cette spécification
- la définition des éléments constituant le ou les systèmes de références à partir des éléments réels
- la ou les zones de tolérance

Les mettre en place sur une figure en perspective.

II.2. Proposer et dessiner succinctement un outillage permettant de contrôler les pièces relativement à cette spécification en précisant :

- les spécifications géométriques (sans les quantifier) en terme d'aptitude à l'emploi
- les mobilités éventuelles entre les différents composants
- le mode opératoire d'utilisation de cet équipement

II.3. Cette couronne est percée sur une perceuse équipée de 10 broches, le seul contrôle de la pièce ne suffit pas à régler cet équipement, aussi on est amené à procéder à la mesure des écarts de position des 10 trous .

On fera les hypothèses suivantes :

- compte tenu de l'équipement et des outils utilisés, on supposera le problème plan
- les outils étant affûtés dans les mêmes conditions et en même temps, on supposera que les trous ont le même rayon

On dispose d'une MMT trois axes équipée d'un palpeur à déclenchement.

Cette machine est dotée d'un logiciel de traitement possédant toutes les fonctions classiques de palpé, de construction et de calcul d'angle et de distance.

Le logiciel disponible ne possède pas le traitement des localisations multiples.

II.3.1. La gamme de mesure (non décrite) a permis d'obtenir les coordonnées des centres des trous percés dans un repère de dégauchissage relatif au système de référence de la localisation multiple.

On conviendra d'adopter les notations suivantes.

- R_p : repère de dégauchissage $R_p (O_p, X_p, Y_p)$, on rappelle que le problème est supposé plan
- C_i : centre réel du trou n°i de coordonnées X_{C_i} et Y_{C_i} dans le repère R_p
- T_i : centre théorique du trou n°i de coordonnées X_{T_i} et Y_{T_i} dans le repère R_p
- T_i^* : centre théorique du trou n°i (ayant subi un petit déplacement) de coordonnées $X_{T_i^*}$ et $Y_{T_i^*}$ dans le repère R_p

R_p a été construit de telle sorte que C_1 et T_1 soient sur l'axe X_p , c'est à dire que $Y_{C_1}=Y_{T_1}=0$

Travail à réaliser sur feuille de copie

Après avoir déterminé la (ou les) mobilité(s), permettant d'optimiser la position de l'ensemble des points théoriques T_i par rapport à l'ensemble des points réels C_i , représenter sur une figure :

- le repère R_p
- un point C_i
- un point T_i
- un point T_i^* , point T_i ayant subi la (ou les) mobilité(s)
- e_i écart entre C_i et T_i^*

II.3.3. Exprimer littéralement, par l'intermédiaire d'un torseur de petits déplacements (relatif à la (ou aux) mobilité(s)), la relation liant e_i à $\{ X_{C_i}, Y_{C_i}, X_{T_i}, Y_{T_i}, \text{la (ou les) mobilité(s)} \}$.

II.3.4. Déterminer, en retenant le critère de Gauss, la (ou les) mobilités optimales.

II.3.5. Dédire, à partir des e_i optimisés, l'écart de localisation des trous, relatif à la spécification apparaissant sur le dessin de définition partiel.

II.3.6. Préciser l'importance de l'hypothèse concernant la constance du diamètre des trous percés.

DOSSIER II.B

DONNÉES TECHNIQUES

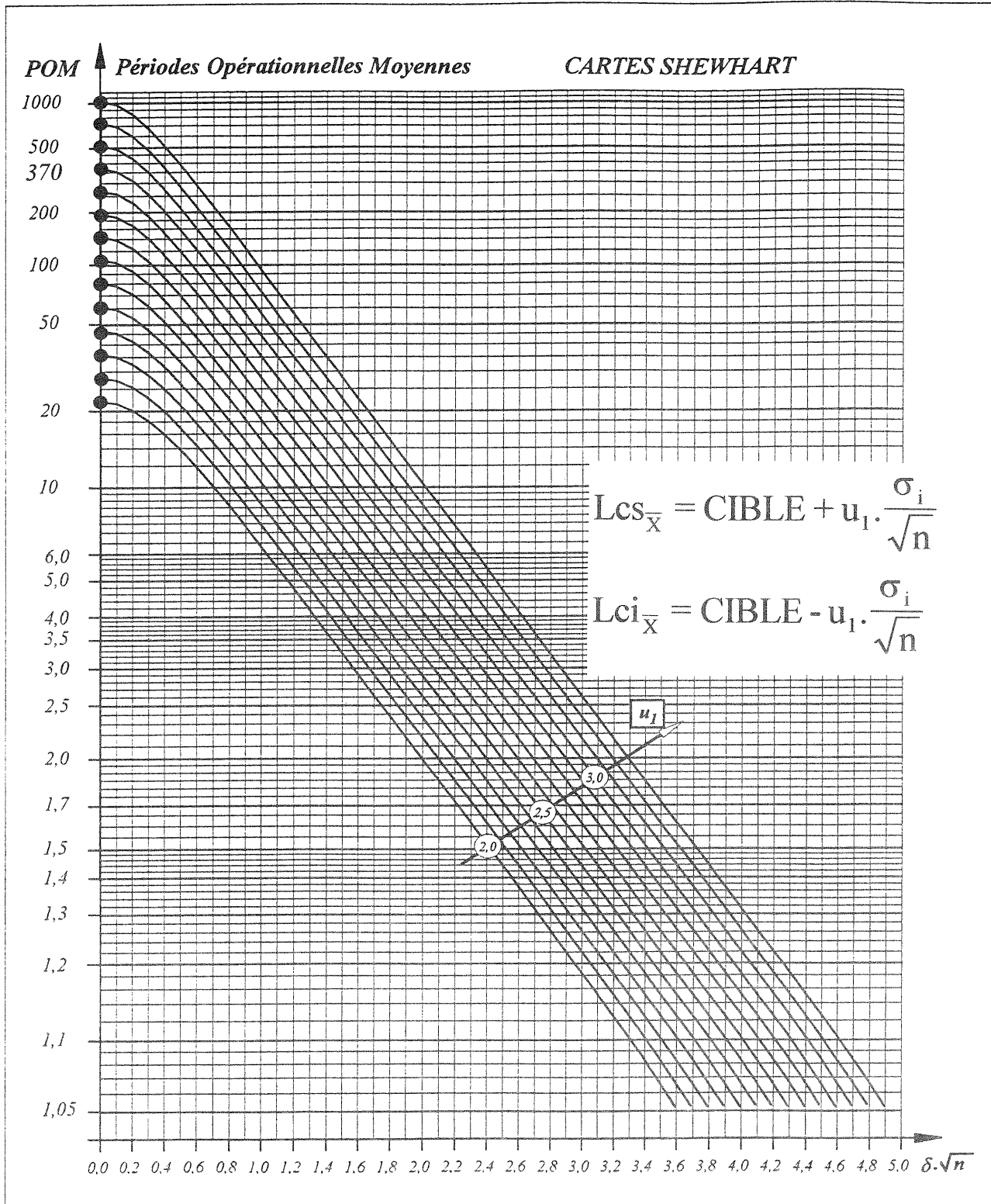
Document II.B.1a/b - Extrait de la norme NF X 06-031-1

Document II.B.2a/b/c - Extrait de la norme NF X 06-033

Document II.B.3 - Extrait de la norme NF X 06-050

Document II.B.4 - Abaque de la loi normale centrée réduite

Document II.B.5 - Dessin de définition partiel de la couronne boulonnée



δ = déplacement de la moyenne en nombre d'écart-types et n = effectif des échantillons
 ● = POM_0 (risque α d'avoir une fausse alarme quand $\delta = 0$: $\alpha = 100/POM_0$, en %)
 — = POM_i (risque β de ne pas déceler un dérèglement δ : $\beta = 100 \cdot (POM_i - 1)/POM_i$, en %)

**POM étant le nombre moyen de prélèvements
nécessaire à la détection d'un dérèglement**

Figure A.1 : Abaque 1

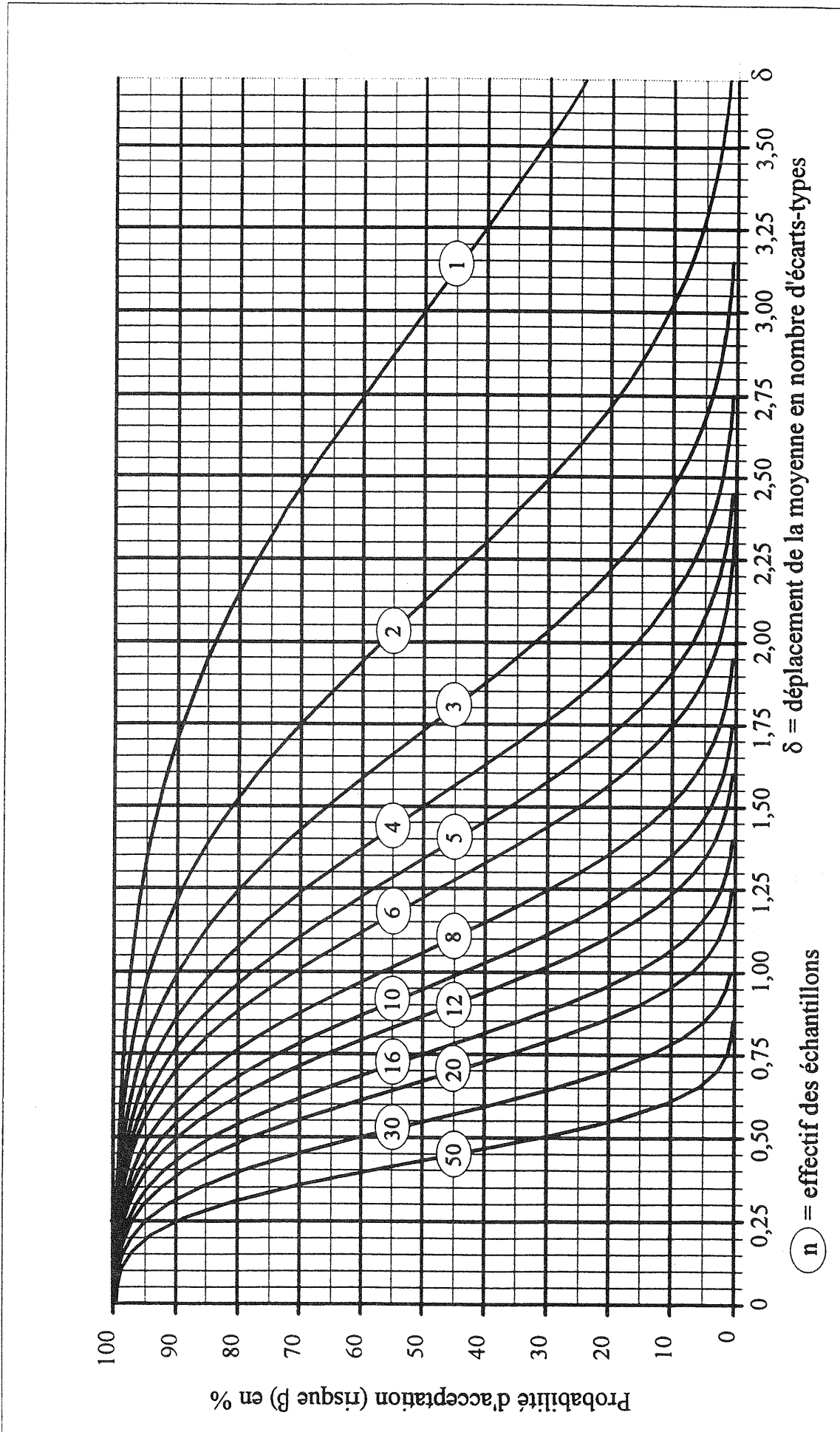


Figure 5 : Courbes d'efficacité de cartes de type Shewhart (risque $\alpha = 0,27\%$)

4 Notations

L_i	Limite de tolérance inférieure.
L_s	Limite de tolérance supérieure.
m_i	Moyenne de la distribution intrinsèque (figure 1).
m_p	Moyenne de la distribution de production (figure 2).
\bar{x}_i	Moyenne estimée de la distribution intrinsèque.
\bar{x}_p	Moyenne estimée de la distribution de production.
D_i	Largeur de la dispersion intrinsèque (figure 1).
D_p	Largeur de la dispersion de production (figure 2).
$D_{i,i}$	Largeur de l'intervalle compris entre la borne inférieure de la dispersion intrinsèque et m_i (figure 1).
$D_{i,s}$	Largeur de l'intervalle compris entre m_i et la borne supérieure de la dispersion intrinsèque (figure 1).
$D_{p,i}$	Largeur de l'intervalle compris entre la borne inférieure de la dispersion de production et m_p (figure 2).
$D_{p,s}$	Largeur de l'intervalle compris entre m_p et la borne supérieure de la dispersion de production (figure 2).
σ	Écart-type d'une distribution.
s	Écart-type estimé d'une distribution.
$m_{i \min}$	Position minimum de la moyenne de la distribution intrinsèque (figure 4).
$m_{i \max}$	Position maximum de la moyenne de la distribution intrinsèque (figure 4).
$D_{i \min,i}$	Largeur de l'intervalle compris entre la borne inférieure de la dispersion intrinsèque, lorsque m_i vaut $m_{i \min}$, et $m_{i \min}$ (figure 4).
$D_{i \max,s}$	Largeur de l'intervalle compris entre la borne supérieure de la dispersion intrinsèque, lorsque m_i vaut $m_{i \max}$, et $m_{i \max}$ (figure 4).

5 Indicateurs d'aptitude

5.1 Coefficient d'aptitude du moyen : Cam

C'est le rapport de l'intervalle de tolérance à la largeur de la dispersion intrinsèque. Cet indicateur permet de mesurer si potentiellement le moyen est apte à réaliser la caractéristique pour laquelle il est mis en œuvre.

Lorsqu'il n'existe qu'une limite de tolérance spécifiée, cet indicateur n'est pas défini.

La position de la dispersion intrinsèque par rapport à l'intervalle de tolérance n'intervient pas dans cet indicateur.

$$\text{Cam} = \frac{L_s - L_i}{D_i}$$

où :

- L_i est la limite de tolérance inférieure ;
- L_s est la limite de tolérance supérieure ;
- D_i est la largeur de la dispersion intrinsèque.

5.2 Coefficient d'aptitude du processus : Cap

C'est le rapport de l'intervalle de tolérance à la largeur de la dispersion de production. Cet indicateur permet de mesurer si potentiellement le processus est apte à réaliser la caractéristique pour laquelle il est mis en œuvre, moyennant recentrage éventuel.

Lorsqu'il n'existe qu'une limite de tolérance spécifiée, cet indicateur n'est pas défini.

La position de la dispersion de production par rapport à l'intervalle de tolérance n'intervient pas dans cet indicateur.

$$\text{Cap} = \frac{L_s - L_i}{D_p}$$

où :

L_i est la limite de tolérance inférieure ;

L_s est la limite de tolérance supérieure ;

D_p est la largeur de la dispersion de production.

5.3 Coefficient ou indice de performance du moyen : Cmk

Afin d'introduire la position de la dispersion intrinsèque par rapport à la tolérance à un moment donné, la notion du Cmk est introduite :

$$\text{Cmk} = \text{Mini}(\text{Cmk}_i, \text{Cmk}_s)$$

avec :

$$\text{Cmk}_i = \frac{m_i - L_i}{D_{i,i}} \quad \text{et} \quad \text{Cmk}_s = \frac{L_s - m_i}{D_{i,s}}$$

où :

L_i est la limite de tolérance inférieure ;

L_s est la limite de tolérance supérieure ;

m_i est la moyenne de la distribution intrinsèque ;

$D_{i,i}$ et $D_{i,s}$ sont les distances définies sur le graphique ci-dessous.

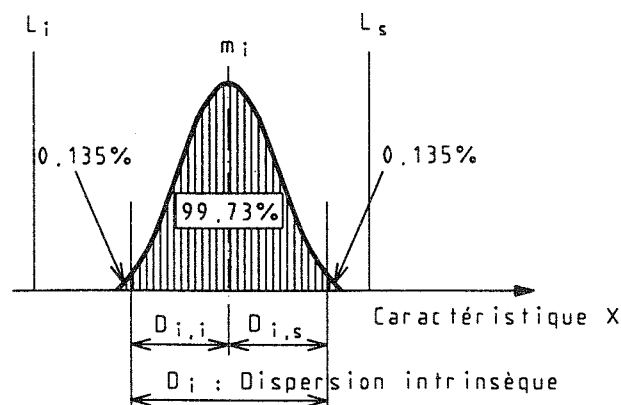


Figure 1

Lorsqu'il n'existe qu'une limite de tolérance spécifiée, l'indicateur est égal selon le cas à Cmk_i ou Cmk_s .

Dans le cas où la loi suivie est la loi normale, les distances $D_{i,i}$ et $D_{i,s}$ sont égales et valent 3 écarts-types.

Tournez la page S.V.P.

5.4 Coefficient ou indice de performance du processus : Cpk

Afin d'introduire la position de la dispersion de production par rapport à la tolérance, la notion du Cpk est introduite :

$$Cpk = \text{Mini} (Cpk_i, Cpk_s)$$

avec :

$$Cpk_i = \frac{m_p - L_i}{D_{p,i}} \quad \text{et} \quad Cpk_s = \frac{L_s - m_p}{D_{p,s}}$$

où :

L_i est la limite de tolérance inférieure ;

L_s est la limite de tolérance supérieure ;

m_p est la moyenne de la distribution de production ;

$D_{p,i}$ et $D_{p,s}$ sont les distances définies sur le graphique ci-dessous.

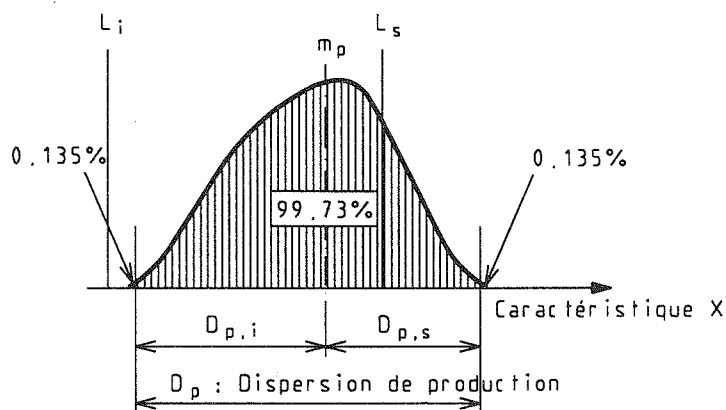


Figure 2

Lorsqu'il n'existe qu'une limite de tolérance spécifiée, l'indicateur est égal selon le cas à Cpk_i ou Cpk_s .

Dans le cas où la loi suivie est la loi normale, les distances $D_{p,i}$ et $D_{p,s}$ sont égales et valent 3 écarts-types.

Utilisation des fréquences cumulées (graphique de Henry ²⁾)

Les n observations rangées par valeur croissante (ou non décroissante si plusieurs observations sont égales) seront notées :

$$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$$

avec :

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$$

Diverses estimations des fréquences cumulées correspondantes $F(x_{i,n})$ peuvent être envisagées (elles sont pratiquement équivalentes du point de vue graphique).

Les plus fréquemment utilisées sont :

- $F_i = \frac{i}{n+1}$, espérance mathématique de la fonction de répartition de la loi normale au point $X = x_i$;
- $F_i = \frac{i-0,5}{n}$, moyenne des fréquences cumulées jusqu'à x_i avec les valeurs x_{i-1} et x_i comprises ;
- $F_i = \frac{i-3/8}{n+1/4}$, souvent rencontré dans des logiciels ;
- $F_i = \frac{i-0,3}{n+0,4}$, rang médian quand $n > 20$.

Dans ce qui suit, on utilisera $F_i = \frac{i}{n+1}$, sans que ceci constitue une règle impérative.

Utilisation d'un papier quadrillé et d'une table de la fonction de répartition de la loi normale réduite

Calculer les fréquences cumulées $F_i = \frac{i}{n+1}$ pour $i = 1, 2, \dots, n$, puis rechercher dans une table de la loi normale réduite la valeur u_i correspondant à chaque F_i , c'est-à-dire telle que la fonction de répartition au point u_i soit égale à F_i :

$$P(u_i) = \int_{-\infty}^{u_i} \frac{e^{-t^2/2}}{\sqrt{2\pi}} dt = F_i$$

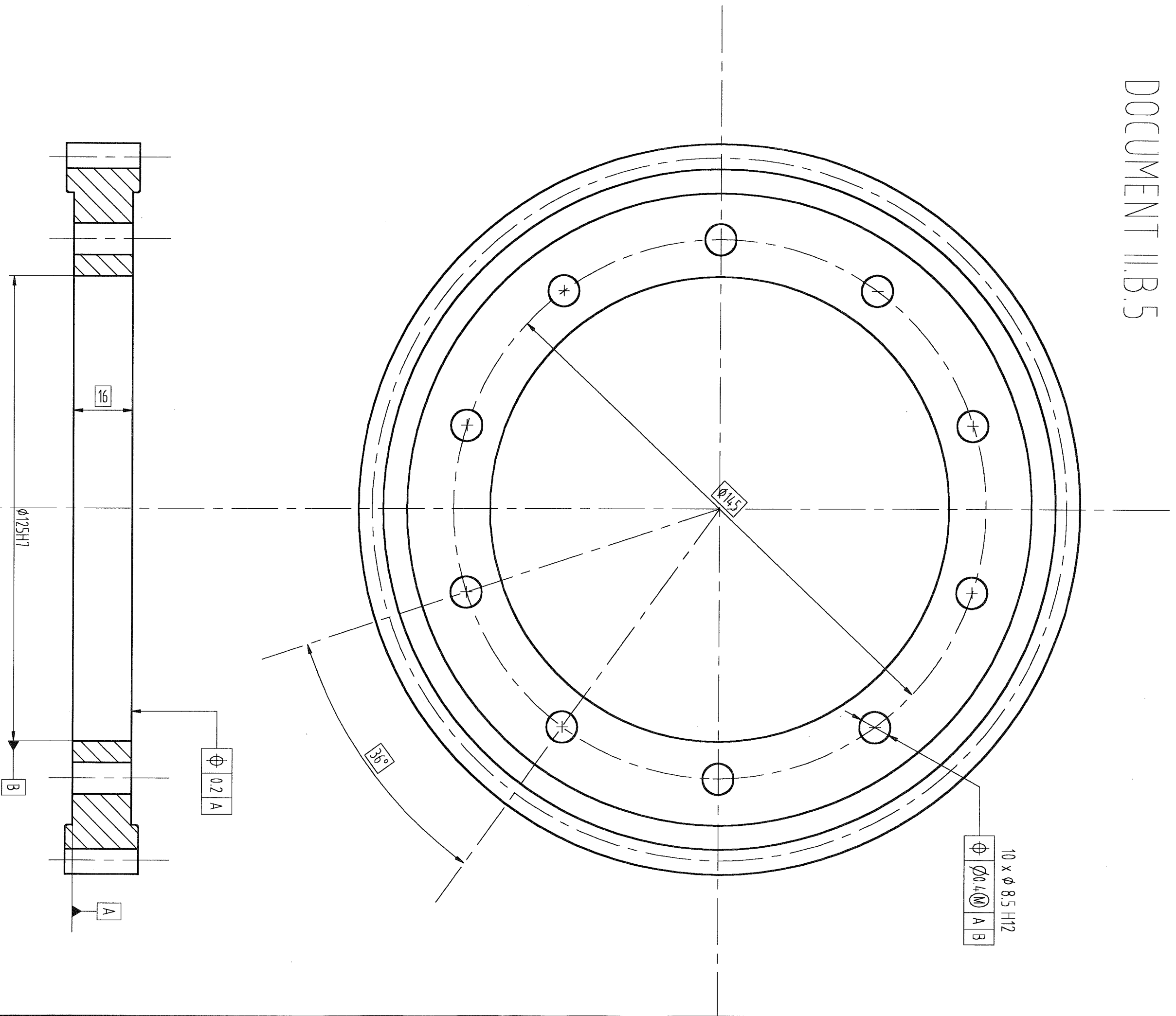
(aux approximations numériques près sur u_i et F_i).

NOTE : Les tables usuelles donnent u_i pour $P(u_i) \geq 0,5$. Pour $P(u_i) < 0,5$, il faut chercher la valeur de u_i correspondant à $1 - F_i$ (qui est alors $> 0,5$) et la faire précéder d'un signe $-$.

Placer sur le papier quadrillé les n points d'abscisse x_i et d'ordonnée u_i (même observation qu'en 3.2.1.1-2) : si plusieurs points ont la même abscisse $x_i = x_{i+1} = \dots$, leurs ordonnées u_i, u_{i+1}, \dots , seront croissantes).

Dans le cas où cet ajustement paraît convenable, l'hypothèse de normalité sera acceptée. On pourra alors estimer graphiquement la moyenne m et l'écart-type σ de la façon suivante, à partir de la droite ajustée :

- m abscisse du point d'ordonnée $u = 0$ de la droite ;
- σ demi-différence des abscisses des points d'ordonnées $u = -1$ et $u = 1$ de la droite, ou quart de la différence des abscisses des points d'ordonnées $u = -2$ et $u = 2$.



Φ 10 x ϕ 8.5 H12
 Φ 0.4 (M) A B

Φ 0.2 A

B

16

ϕ 125H7

ϕ 57.0

30°

82.0.1

J. 6064-Fb1

Echelle : 1:1		COURONNE DE DIFFERENTIEL		Dessiné par : AGM	
Ensemble : BOITE DE VITESSES		AGREGATION DE GENIE MECANIQUE		Le : 15/10/98	
A3					

DOSSIER II.C

DOCUMENTS - RÉPONSES

Document II.C.1- Carte de contrôle aux mesures \bar{X} / S

Document II.C.2- Test de normalité par la droite de Henry

Tournez la page S.V.P.

Document II.C.1

CARTE DE CONTRÔLE MOYENNE ECART TYPE

Date : 25/05/98

USINE :
 ATELIER :
 LIGNE :
 OPERATION :

MACHINE/POSTE :
 CARACTERISTIQUE :
 EQUIPE :
 EVENEMENT :

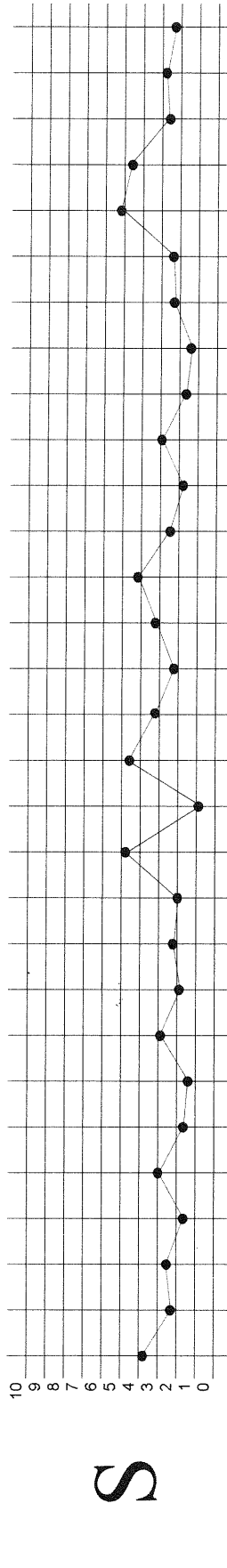
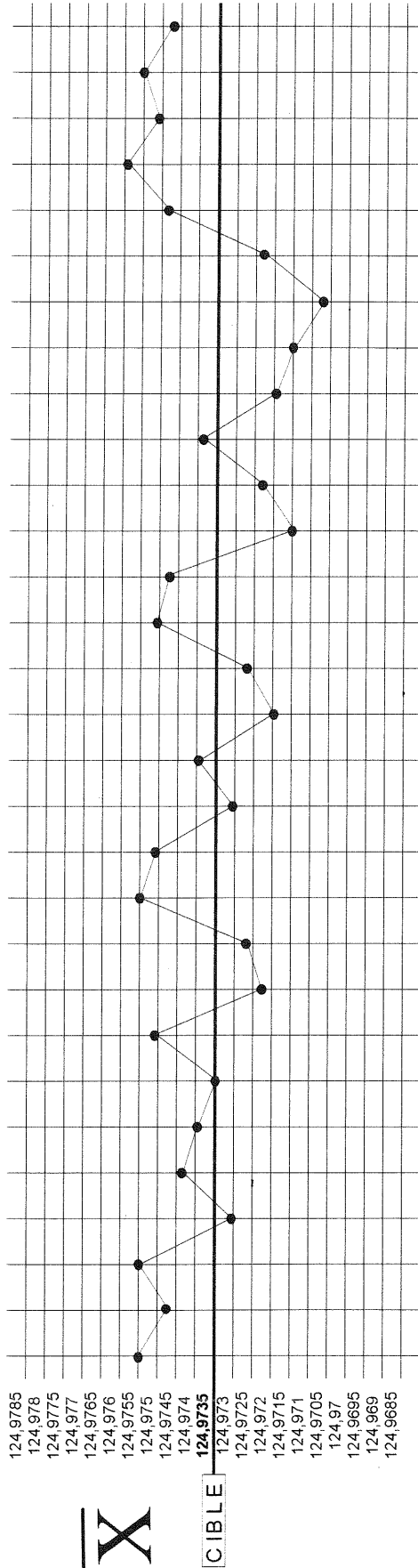
Moyenne :
 Cible :
 Lcs :
 Lci :

Ecart type :
 Lcs :
 Lci :

APTITUDES

Cam :
 Cap :
 Cpk :

Numéro de l'échantillon	MOYENNE																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Pièce n°1	-4	2	-2	-2	-4	-2	0	-2	-4	-4	-2	-4	-4	-4	-6	-4	-2	2	2	-6	-2	-4	-4	-4	-6	-4	-3	-2	0	0	0
Pièce n°2	-2	-2	2	-2	2	0	-2	0	-2	-4	-2	0	-4	-4	-4	-2	0	2	0	-2	-2	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	2
Pièce n°3	2	0	2	0	2	0	0	2	0	0	4	8	0	0	0	0	0	4	-2	-2	0	-2	-2	-4	-4	-2	-2	8	0	4	2
Pièce n°4	4	2	4	0	4	2	2	2	0	0	4	2	0	4	0	0	6	4	4	0	-2	2	0	-2	0	8	2	2	6	4	4
Pièce n°5	6	4	4	2	0	2	0	6	0	2	0	4	0	6	2	2	4	4	-6	0	2	4	0	0	-2	2	6	6	0	-2	
Moyenne	2,00	1,20	2,00	-0,40	0,80	0,40	0,00	1,60	-1,20	-0,80	2,00	1,60	-0,40	0,40	-1,60	-0,80	1,60	1,20	-2,00	-1,20	0,40	-1,60	-2,00	-2,80	-1,20	1,40	2,40	1,60	2,00	1,20	
Ecart type	3,74	2,28	2,45	1,67	3,03	1,67	1,41	2,97	1,79	2,28	2,00	4,77	0,89	4,56	3,29	2,28	3,29	4,15	2,45	1,79	2,97	1,67	1,41	2,28	2,28	5,18	4,56	2,61	2,83	2,28	



Document II.C.1

CARTE DE CONTRÔLE MOYENNE ECART TYPE

Date : 25/05/98

USINE :
ATELIER : Boitier de différentiel
LIGNE : Tournage OP
OPERATION : Tournage OP

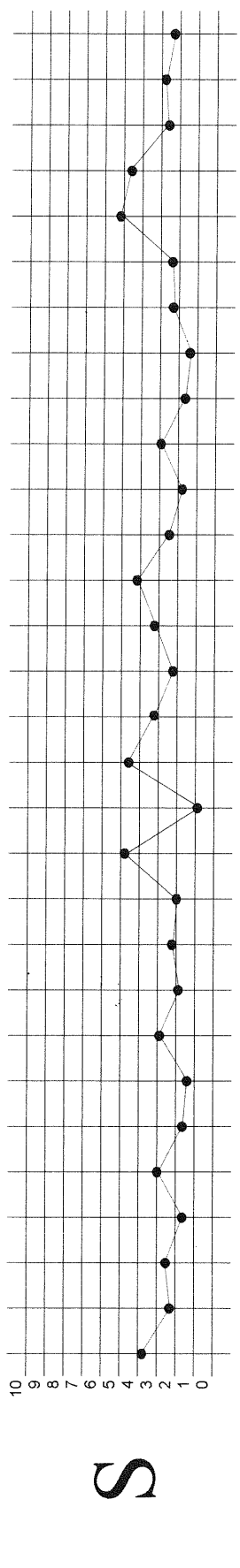
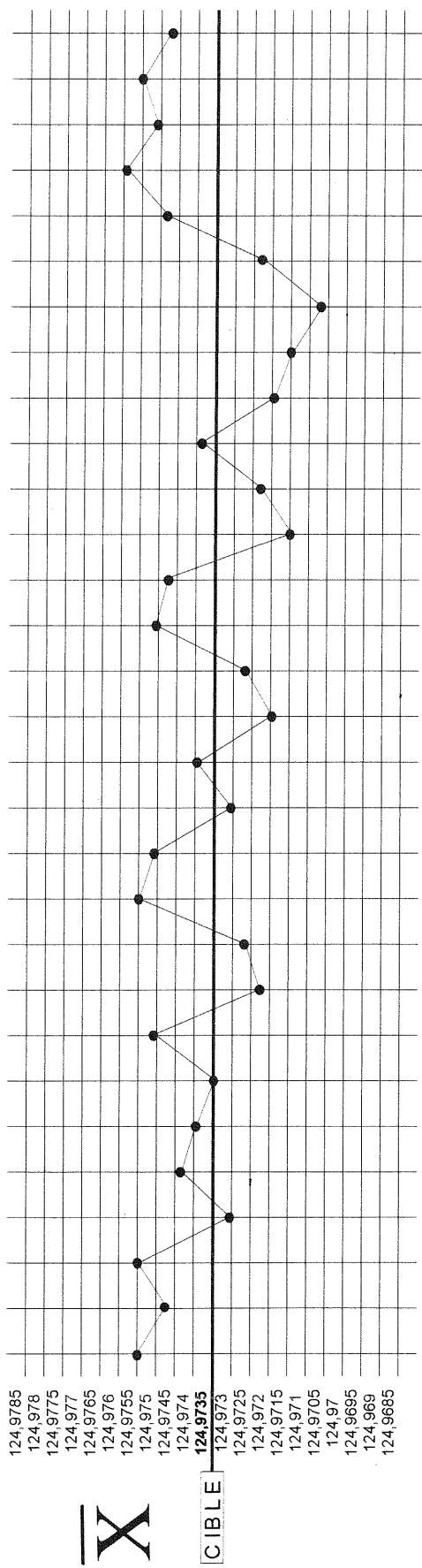
MACHINE/POSTE :
CARACTERISTIQUE : DIAMETRE DE LA PORTEE DE COURONNE
EQUIPE : TOUTES
EVENEMENT : TOUS

Moyenne
Cible : 124,9735
Lcs :
Lci :

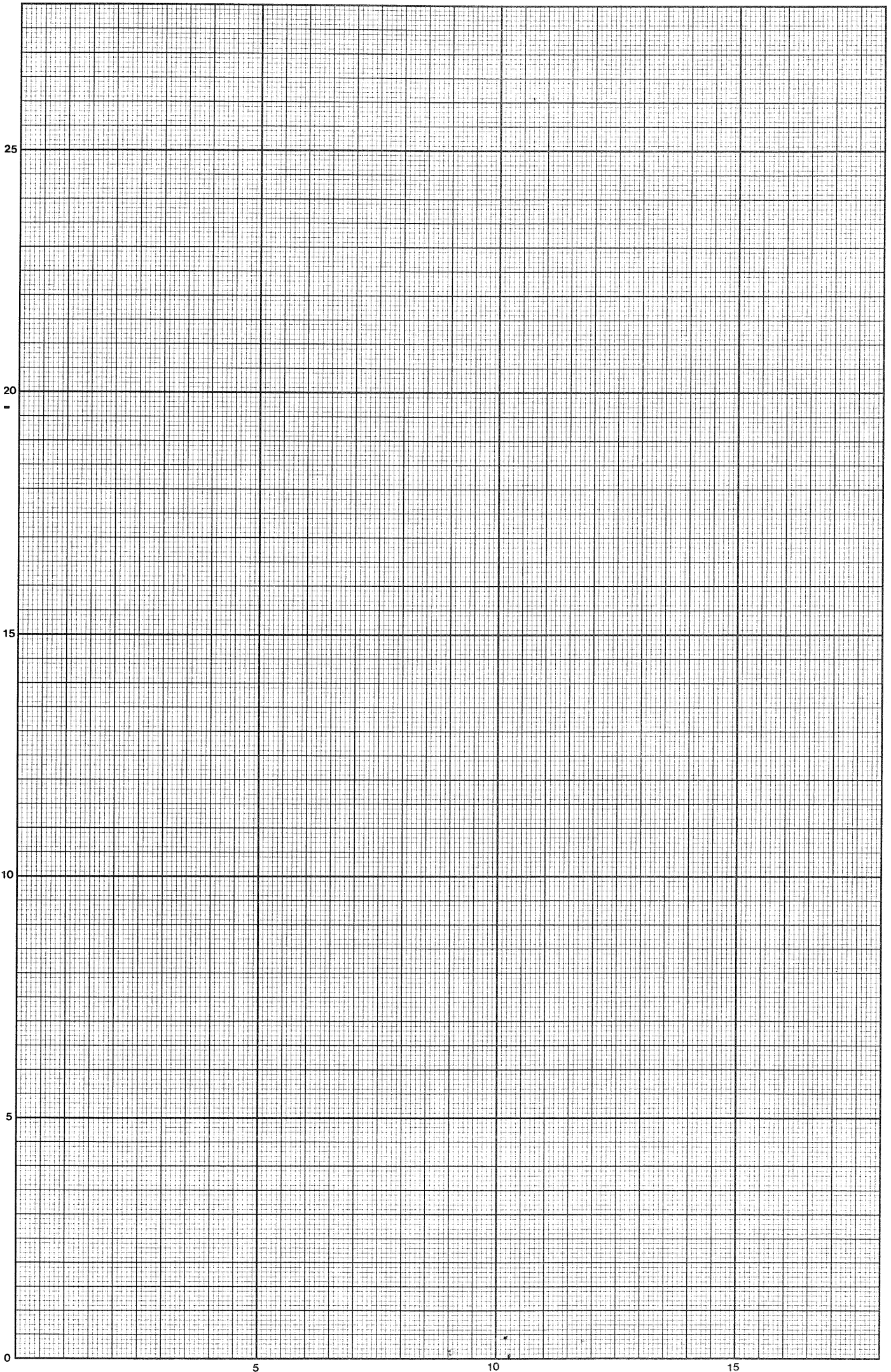
Ecart type
Lcs :
Lci :

APTITUDES
Cam :
Cap :
Cpk :

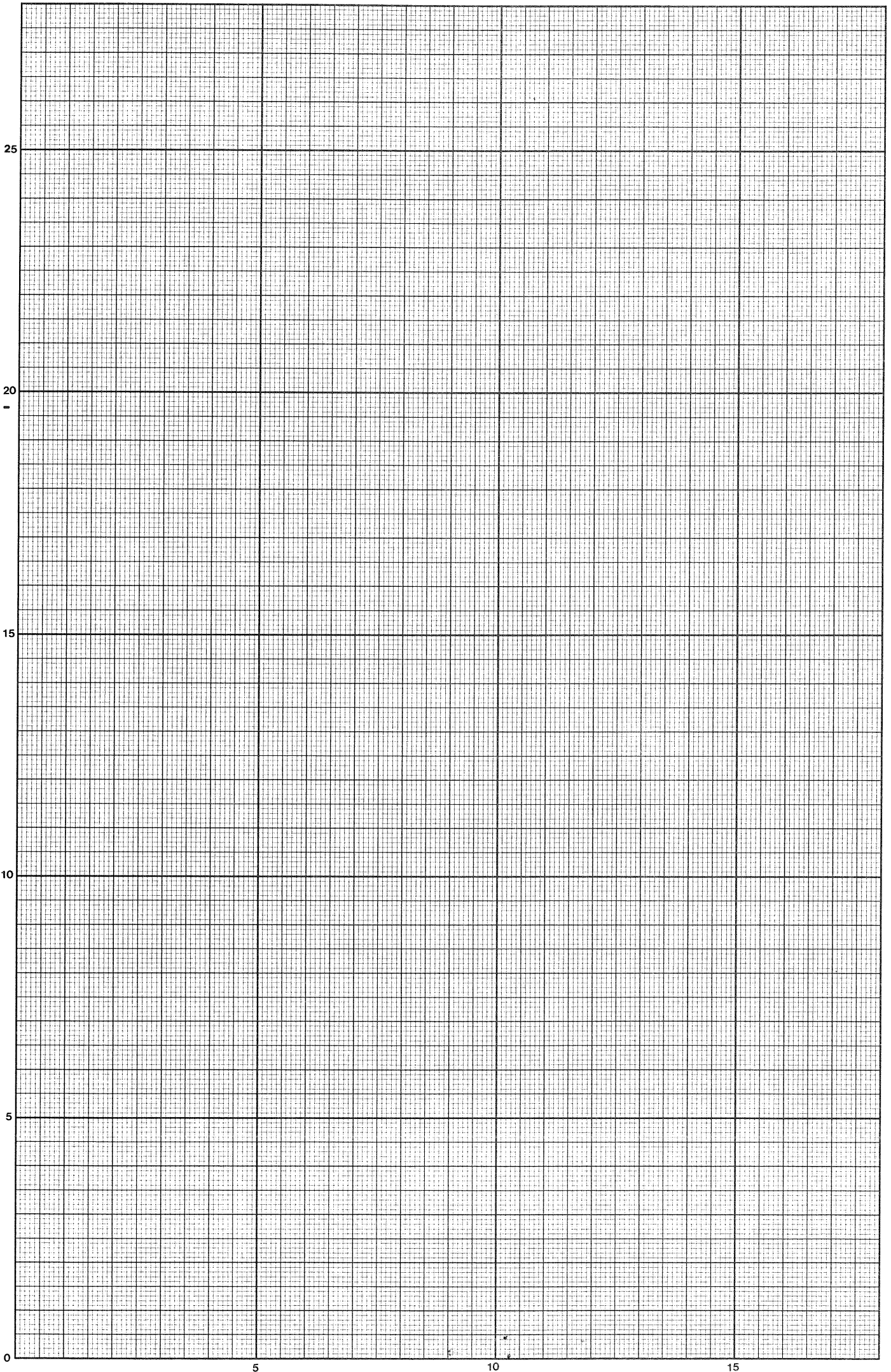
Numéro de l'échantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	MOYENNE
Pièce n°1	-4	2	-2	-2	-4	-2	0	-2	-4	-4	-2	-2	2	2	-6	-2	-4	-4	-4	-4	-6	-4	-4	-6	-4	-3	-2	0	0	0	0
Pièce n°2	-2	-2	2	-2	2	0	-2	0	-2	-2	2	0	-4	-4	-2	0	-2	0	-2	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	0	2
Pièce n°3	2	0	2	0	2	0	0	2	0	0	4	8	0	0	0	0	4	0	-2	0	-2	-2	-4	-4	-2	8	0	4	2	2	
Pièce n°4	4	2	4	0	4	2	2	2	0	0	4	2	0	4	0	0	6	4	0	-2	2	0	-2	-2	0	8	2	2	6	4	
Pièce n°5	6	4	4	2	0	2	0	6	0	2	0	4	0	6	2	2	4	0	0	2	4	0	0	0	-2	2	6	6	0	-2	
Moyenne	2,00	1,20	2,00	-0,40	0,80	0,40	0,00	1,60	1,10	-1,20	-0,80	2,00	1,60	-0,40	0,40	-1,60	-0,80	1,60	1,20	-2,00	-1,20	0,40	-1,60	-2,00	-2,80	-1,20	1,40	2,40	1,60	2,00	1,20
Ecart type	3,74	2,28	2,45	1,67	3,03	1,67	1,41	2,97	1,79	2,28	2,00	4,77	0,89	4,56	3,29	2,28	3,29	4,15	2,45	1,79	2,97	1,67	1,41	2,28	2,28	5,18	4,56	2,61	2,83	2,28	2,69



Document II.C.2



Document II.C.2



III. TROISIÈME PARTIE

Étude de la phase 70 Tournage : Finition de la sphère

Cette partie comprend :

DOSSIER III.A : LE SUJET

- 1- Chaîne vectorielle caractérisant l'usinage
- 2- Posage de la pièce en phase 70
- 3- Défauts liés à l'outil

DOSSIER III.B : LES DONNÉES TECHNIQUES

- | | |
|---|-------------------------|
| 1- Schéma des différents composants de la chaîne caractéristique de l'usinage | Document III.B.1 |
| 2- Surfaces d'appui du porte-pièce de la phase 70 | Document III.B.2 |
| 3- Schéma du porte-pièce de la phase 70 | Document III.B.3 |
| 4- Interpolation circulaire | Document III.B.4 |
| 5- Ouverture pour usinage sphère | Document III.B.5 |
| 6- Modèles d'actions mécaniques en tournage | Document III.B.6 |

DOSSIER III.C : DOCUMENTS-RÉPONSES

- | | |
|--|-------------------------|
| 1- Montage en vé | Document III.C.1 |
| 2- Actions mécaniques pendant l'usinage de la sphère | Document III.C.2 |

Tournez la page S.V.P.

DOSSIER III.A

SUJET

I. CHAÎNE VECTORIELLE CARACTÉRISANT L'USINAGE

II. POSAGE DE LA PIÈCE EN PHASE 70

III. DÉFAUTS LIÉS À L'OUTIL

Tournez la page S.V.P.

PRÉLIMINAIRES

Le boîtier de différentiel équipant différents types de véhicules de moyenne gamme est fabriqué à raison de 3500 pièces par jour.

Le dessin de définition figure sur le **Document 2**.

La gamme d'usinage figure sur le **Document 3**.

La productivité et la qualité exigées requièrent l'emploi de machines automatisées. Les tours multibroches utilisés en phases d'ébauches sont des tours à cames. Toutes les manipulations (transferts, montages, démontages) sont assurées par des systèmes automatiques. Les usinages les plus précis (tournage) sont réalisés sur machines à commandes numériques 4 axes (2 tourelles) ou 2 axes.

On se propose d'étudier en détail la réalisation de la phase 70 : Finition de la sphère en tournage.

I. CHAÎNE VECTORIELLE CARACTÉRISANT L'USINAGE

Le **Document III.B.1** présente de façon schématique les différents constituants intervenant dans la position du point générateur de l'outil par rapport à la pièce pendant l'usinage. On considère dans un premier temps les liaisons parfaites.

I.1. Chaîne vectorielle caractérisant l'usinage

Travail à réaliser sur feuille de copie

Etablir la chaîne vectorielle caractérisant l'usinage, P en contact avec M donc $\vec{PM} = \vec{0}$.

I.2. Chaîne vectorielle simplifiée

Lors du paramétrage de la machine, à l'installation, le constructeur a fait en sorte que lorsque O_T et O_B sont confondues, les "compteurs" donnant les coordonnées du point courant par rapport à l'origine mesure (Pt courant/Om) indiquent $X = 0$ et $Z = 0$.

On conviendra par la suite de confondre l'origine broche O_B avec l'origine Om, donc le vecteur $O_B \vec{O}_m = \vec{0}$, et d'appeler O_T (Origine Tourelle) le point courant.

Travail à réaliser sur feuille de copie

I.2.1. Expliciter les différences entre l'origine machine O_M et l'origine mesure Om.

I.2.2. Réécrire la chaîne vectorielle simplifiée.

I.3. Caractérisation des différents vecteurs

Travail à réaliser sur feuille de copie

I.3.1. Expliciter ce que représentent réellement les différents vecteurs de la chaîne vectorielle simplifiée, sur une machine-outil à commande numérique de tournage.

I.3.2. Proposer un mode opératoire pour caractériser chaque composante de chaque vecteur et estimer l'**incertitude de mesure** associée à leur détermination.

II. POSAGE DE LA PIÈCE EN PHASE 70

Solutions retenues : Montage en Vés fixes

II.1. Étude des diamètres réalisés en PH30

Les surfaces extérieures ont été 1/2 finies sur tour à commande numérique en phase 30. La cote fabriquée voulue sur les diamètres ϕ_1 et ϕ_2 des cercles C1 et C2 (voir **Document III.B.3** et **Document III.B.2**) est $C_f = \phi 30,015^{+0,015}$.

Le coefficient d'aptitude du procédé Cap vaut 1,33.

La distribution des diamètres réalisés est normale.

Le coefficient de performance du procédé Cpk vaut 1,33.

La dimension visée est la cote moyenne $C_{f_{\text{moy}}} = \phi 30,015$.

Travail à réaliser sur feuille de copie

Montrer qu'au risque $\alpha = 5\%$, le diamètre réalisé est tel que :

$$30,008 < \phi \text{ réalisé} < 30,022$$

II.2. Écart de position dans un montage en vé

La figure du **Document-réponse III.C.1** montre un des deux vés à 90° servant à la mise en position de la pièce.

Le trait fort médian représente la surface du vé supposée parfaite. Les 2 traits parallèles fins représentent les positions extrêmes possibles au contact ou écarts au contact dus aux écrasements locaux, aux défauts de forme... leur distance est appelée Δl_c .

Le cylindre (ou section circulaire) mis en position est considéré sans défaut de forme.

Travail à réaliser sur feuille de copie et sur Document-réponse III.C.1

II.2.1. Dessiner sur le **Document-réponse III.C.1**, le domaine des **positions possibles du centre de la section** mise en position dans ce vé, en tenant compte des différences de diamètres possibles pour cette section (voir question précédente II.1) et de l'écart au contact.

II.2.2. Calculer la valeur maxi de l'écart de position du centre de la section suivant les axes Y et Z du vé.

II.3. Ecarts de posage de la pièce par rapport au porte-pièce

Les surfaces d'appui pièce-porte-pièce sont schématisées **Document III.B.2**. Les axes X et Y sont tournants par rapport à Z, axe de broche.

On ne se préoccupera pas des points 5 et 6.

Le torseur caractérisant les écarts de position de la pièce dans le porte-pièce (pp) en un point M sera noté :

$$\left\{ T_{\text{pièce/pp}} \right\}_M = \left\{ \begin{array}{l} \bar{\Omega}_{\text{pièce/pp}} = 0\bar{X}_{pp} + \beta\bar{Y}_{pp} + \gamma\bar{Z}_{pp} \\ \bar{D}_{M \text{ pièce/pp}} = 0\bar{X}_{pp} + v\bar{Y}_{pp} + w\bar{Z}_{pp} \end{array} \right\}$$

On notera les écarts de position des points M_1 et M_2 , centres des sections mises en place dans les vés 1 et 2 respectivement :

- ξ_{1y} : écart de position de M_1 suivant l'axe Y,
- ξ_{1z} : écart de position de M_1 suivant l'axe Z,
- ξ_{2y} : écart de position de M_2 suivant l'axe Y,
- ξ_{2z} : écart de position de M_2 suivant l'axe Z.

écarts par rapport à la position théorique souhaitée pour la pièce de rayon R tel que $R = R_{\text{moyen}}$ et pour $\Delta lc = 0$.

Soit O_s , le centre nominal de la sphère positionné par rapport aux surfaces C1, C2 et PL5 suivant les cotes moyennes du dessin de définition.

Travail à réaliser sur feuille de copie

II.3.1. Exprimer les différentes composantes du torseur d'écarts $\left\{ T_{\text{pièce/pp}} \right\}_{O_s}$ en fonction de ξ_{1y} , ξ_{1z} , ξ_{2y} , ξ_{2z} et des paramètres géométriques l_1 et l_2 .

II.3.2. Exprimer le domaine de variation de ξ_{1y} et ξ_{1z} , à partir du domaine défini dans la question II.2.2.

II.3.3. Les écarts possibles maximaux ξ_{1y} et ξ_{1z} sont liés (ils ne peuvent pas être maximaux ensembles).

Exprimer la relation liant les **valeurs absolues** de $\xi_{1y_{\text{Maxi}}}$ et $\xi_{1z_{\text{Maxi}}}$.
Procéder de même pour le Vé2.

II.3.4. Calculer l'intervalle de variation possible de ξ_{1z} en fonction de Δlc et $\Delta \phi_{\text{pièce}}$.

En déduire, en tenant compte de la question précédente, l'intervalle de variation de l'écart ξ_{1y} .

Procéder à l'application numérique pour $\Delta lc = 0,01\text{mm}$ et $\Delta \phi_{\text{pièce}} = 0,015\text{mm}$.

II.4. Mesure de la position axe pièce (M1-M2) par rapport aux éléments de mise en position du porte-pièce sur la machine-outil (broche)

Le schéma du porte-pièce est représenté **Document III.B.3**.

La mise en position du porte-pièce sur la broche est assurée par un appui plan (PLO) et un centrage conique court (CONE1).

L'entraînement en rotation s'effectue par adhérence et par obstacle.

Les Vés sont représentés par 4 petits plans notés PL1 et PL2 pour le V_{é1}, PL3 et PL4 pour le V_{é2}.

La butée 5 est représentée par un petit plan PL5.

On supposera une "boîte à outils mathématiques" complète disponible sur la machine à mesurer utilisée :

- intersections de plans, de droites, plan-droite possibles...
- toute construction raisonnable...
- possibilité de construire une bissectrice
- possibilité de construire un point à condition de créer un repère de dégauchissage.

Nota : On adoptera le protocole suivant pour la désignation des éléments palpés et construits

Point PT	Droite DR	Cercle C
Plan PL	Cylindre CY	Cône CONE
Sphère SP	Repère de dégauchissage RP	

Par exemple l'élément plan n° 10 sera désigné PL10

Travail à réaliser sur feuille de copie

II.4.1. Proposer une gamme de mesurage du porte-pièce permettant de quantifier le vecteur $Opp\vec{O}s$ (avec Opp : origine porte-pièce et Os : centre nominal de la sphère à usiner).

Le vecteur $Opp\vec{O}s = d_1\vec{X}_{pp} + d_2\vec{Y}_{pp} + d_3\vec{Z}_{pp}$ a 3 composantes.

II.4.2. Quelle exploitation peut-on faire de la connaissance de ces 3 composantes ?

II.4.3. Quel est l'ordre de grandeur de l'incertitude de mesure de ces 3 composantes ?

II.4.4. Que faire pour minimiser les défauts inhérents à la fabrication du montage.

Tournez la page S.V.P.

II.5. Écarts de position entre le centre de sphère et la broche

Ces écarts font intervenir les écarts de posage au niveau de la liaison du porte-pièce et de la broche. Cette liaison peut-être représentée par un torseur d'écart

$$\left\{ T_{pp/Broche} \right\}_{Om} = \begin{cases} \vec{\Omega}_{pp/Broche} = \alpha_2 \vec{X} + \beta_2 \vec{Y} + 0\vec{Z} \\ \vec{D}_{Omp/Broche} = 0\vec{X} + 0\vec{Y} + 0\vec{Z} \end{cases}$$

exprimé dans le repère (Om, X, Y, Z) lié à la machine et avec $\begin{cases} \alpha_2 = \pm 2.10^{-5} \text{ rd} \\ \beta_2 = \pm 2.10^{-5} \text{ rd} \end{cases}$

Travail à réaliser sur feuille de copie

II.5.1. Situer le point idéal Os (position souhaitée du point Os) dans le repère mesure lié à la machine (Om, X, Y, Z).

II.5.2. Exprimer le déplacement \vec{D}_{Os} de ce point Os, lié aux différents écarts répertoriés précédemment :

- écarts de posage pièce/porte-pièce (ou pièce /appuis)
- position axe pièce (M1-M2) par rapport aux éléments de posage du porte-pièce sur la machine-outil (broche)
- écarts de mise en position au niveau de la liaison du porte-pièce avec la broche.

REMARQUES :

- on ne considère aucun autre défaut (lié à l'outil...)
- on supposera les différentes bases d'expression des torseurs ou vecteurs, parallèles entre elles, donc il n'est pas nécessaire de procéder à des changements de base.

II.5.2. Exprimer littéralement l'écart de position possible entre Os_{réel} et Os idéal, lié au déplacement \vec{D}_{Os} :

- suivant $Z = Z_{\text{machine}}$
- dans le plan XY

II.5.3. Proposer une méthode de quantification du maximum possible de cet écart.

III. DÉFAUTS LIÉS À L'OUTIL

III.1. Conséquence de l'écart de position du centre sphère programmé par rapport à l'axe de broche

Le **Document III.B.4** représente l'interpolation circulaire de forme parfaite (sans défaut de trajectoire ni flexion d'outil) non centrée sur l'axe de broche (cas le plus fréquent : écart dû aux difficultés de mesurage de la position de l'axe sur la machine, et/ou aux écarts sur les jauges outil).

Soit δ l'écart entre le centre d'interpolation programmé et l'axe réel de broche.

Travail à réaliser sur feuille de copie

III.1.1. Exprimer l'écart de forme e_f sur la "sphère" usinée (différence des rayons usinés) en fonction de l , R_p (rayon programmé) et δ .

III.1.2. Calculer la valeur de cet écart de forme si :
 $l = 40 \text{ mm}$, $R_p = 34,9 \text{ mm}$ et $\delta = 0,015 \text{ mm}$.

III.2. Influence des actions mécaniques sur l'outil

III.2.1. Détermination des actions mécaniques

Le **Document III.B.5** représente l'ouverture d'accès à la sphère dont les dimensions minimales vérifiées sur montage figurent au cahier des charges des fondeurs.

On prévoit, néanmoins, au Bureau d'Outillage, pour prévenir tout aléa, une garde supplémentaire sur le pourtour.

La plaquette employée est une plaquette ronde de diamètre 12,7 mm et la vitesse de coupe $V_c = 150 \text{ m/min}$, eu égard aux problèmes d'équilibrage du plateau tournant ainsi qu'aux conséquences de la coupe interrompue.

L'avance f est de 0,55 mm/tr, $f = 0,55 \text{ mm/tr}$.

L'engagement arrière de l'arête a_p est de 0,4 mm, $a_p = 0,4 \text{ mm}$.

On prendra pour le matériau usiné (FGS 600-3) un $K_{c_{0,4}} = 1800 \text{ MPa}$.

Travail à réaliser sur feuille de copie et sur le Document-réponse III.C.2

III.2.1.1. Mettre en place sur le **Document-réponse III.C.2** les actions mécaniques pièce \rightarrow outil \vec{F}_c , \vec{F}_p et \vec{F}_f au sens de la norme, dans les 3 positions A, B et C de l'outil, pendant l'usinage de la sphère, si le déplacement s'effectue de A vers C.

III.2.1.2. Déterminer les modules des 3 composantes de la force de coupe s'appliquant sur l'outil en employant les modèles couramment utilisés (voir **Document III.B.6**.)

On pourra prendre comme épaisseur moyenne de copeau $h_m = \frac{S_{\text{copeau}}}{l_{\text{arêteenprise}}}$

III.2.1.3. Comparer les valeurs trouvées aux résultats obtenus en réalisant des essais dans les mêmes conditions de coupe en chariotage présentés en bas du **Document III.B.6** (compte-rendu d'essais).

III.2.1.4. Conclure.

III.2.2. Déformée de l'outil

On néglige :

- la déformée en torsion induite par la force de coupe \vec{F}_c
- l'influence de la coupe interrompue
- l'influence de la section de coupe non constante, liée aux défauts de reprise

Travail à réaliser sur feuille de copie

III.2.2.1. Exprimer les projections de la résultante des actions mécaniques sur les axes X et Z dans le plan ZX en fonction de F_f , F_p et ceci pour toute valeur de θ .
(**déplacement de A vers C**)

III.2.2.2. Écrire, littéralement, l'expression de la déformée de l'outil poutre suivant l'axe X de la machine pour toute valeur de θ .

On pourra négliger :

- la variation de position du point d'application des forces sur la plaquette et considérer la poutre comme sollicitée à l'extrémité E (**Document III.C.2**).
- la portion HE est supposée indéformable.

III.2.2.3. Faire l'application numérique pour $\theta = 0$, $\theta = +35^\circ$ et $\theta = -35^\circ$ (θ orienté positif dans le sens trigonométrique), et pour les valeurs des forces résultats des essais figurant **Document III.B.6**.

La barre est en acier et son module d'Young $E_{acier} = 200\,000\text{ MPa}$.

III.2.2.4. Conclure quant au défaut de forme induit sur la sphère.

III.2.2.5. Proposer une solution pour minimiser le défaut.

III.2.3. Influence des défauts de caractérisation de l'outil sur la forme et la position de la sphère

On utilise un banc de pré-réglage ayant un défaut d'exactitude et de répétabilité.

On détermine de ce fait les jauges en X et Z avec une erreur.

On suppose la jauge mesurée au point M. (voir **Document-réponse III.C.2**)

Travail à réaliser sur feuille de copie

III.2.3.1. Quelle est l'influence de l'écart de jauge en Z ?

III.2.3.2. Quelle est l'influence de l'écart de jauge en X ?

III.2.3.3. Quelle est l'influence d'un écart sur le rayon R_ϵ ?

III.2.3.4. Quels sont les remèdes à apporter ?

DOSSIER III.B

LES DONNÉES TECHNIQUES

Document III.B.1 - Schéma des différents composants de la chaîne caractéristique de l'usinage

Document III.B.2 - Surfaces d'appui du porte-pièce de la phase 70

Document III.B.3 - Schéma du porte-pièce de la phase 70

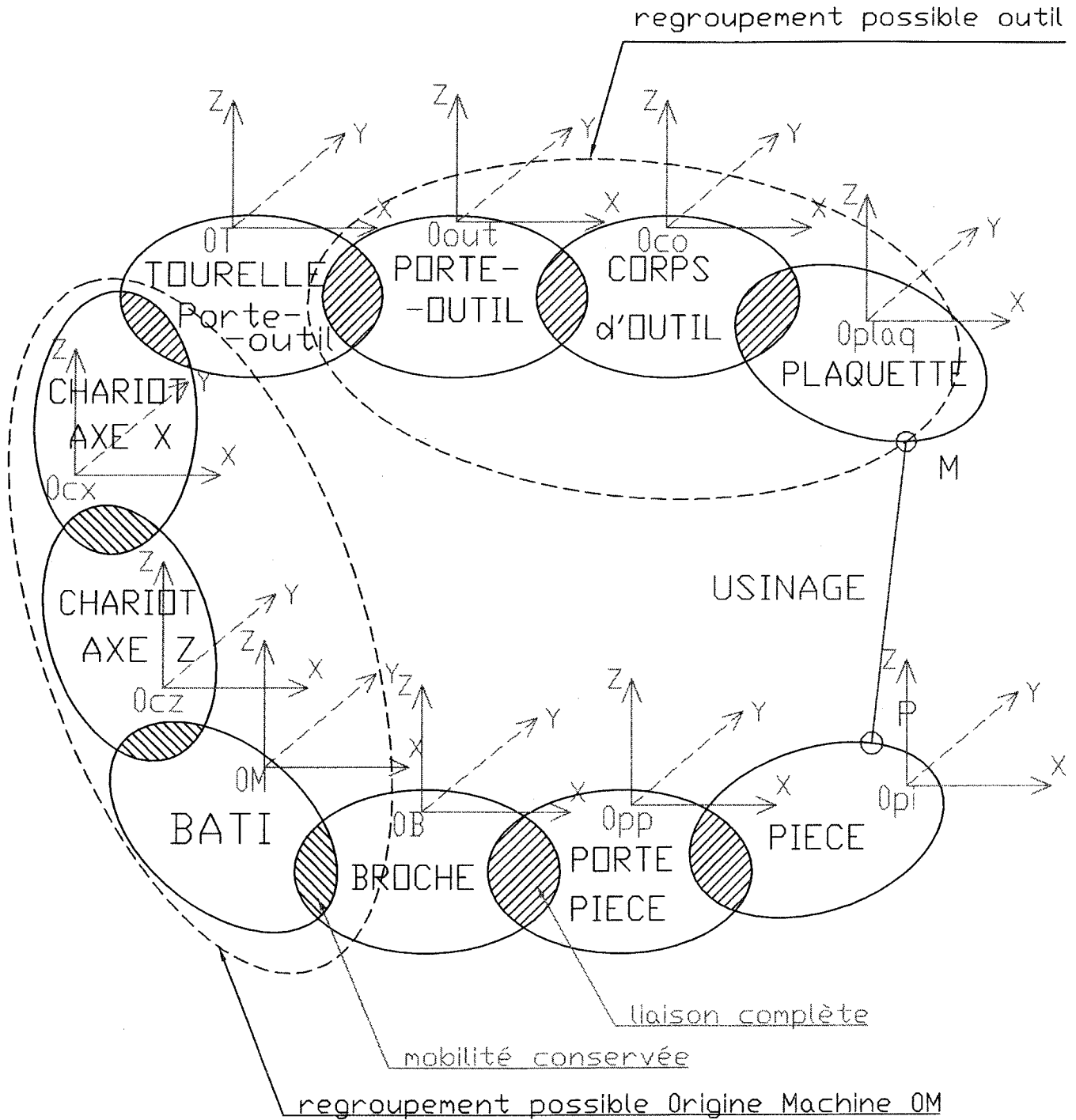
Document III.B.4 - Interpolation circulaire

Document III.B.5 - Ouverture pour usinage sphère

Document III.B.6 - Modèles d'actions mécaniques en tournage

DOCUMENT III.B.1

Schéma des différents composants de la chaîne caractéristique de l'usinage

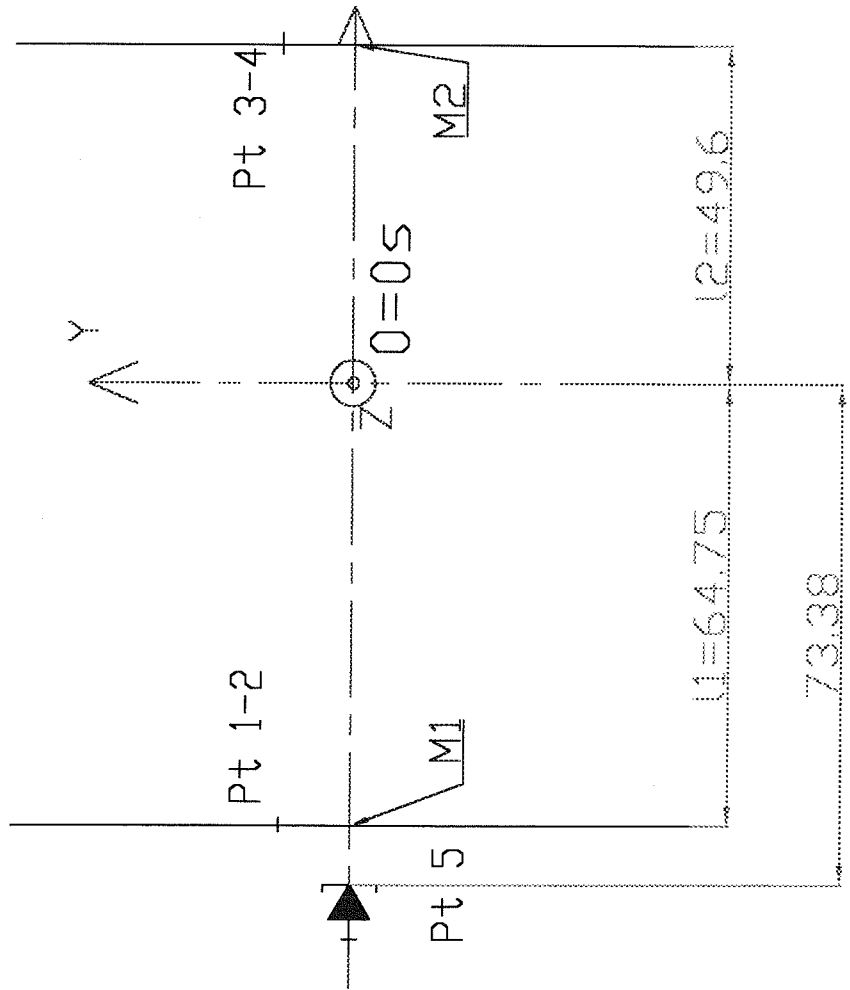


DOCUMENT III.B.2

Surfaces d'appui du porte-pièce de la phase 70

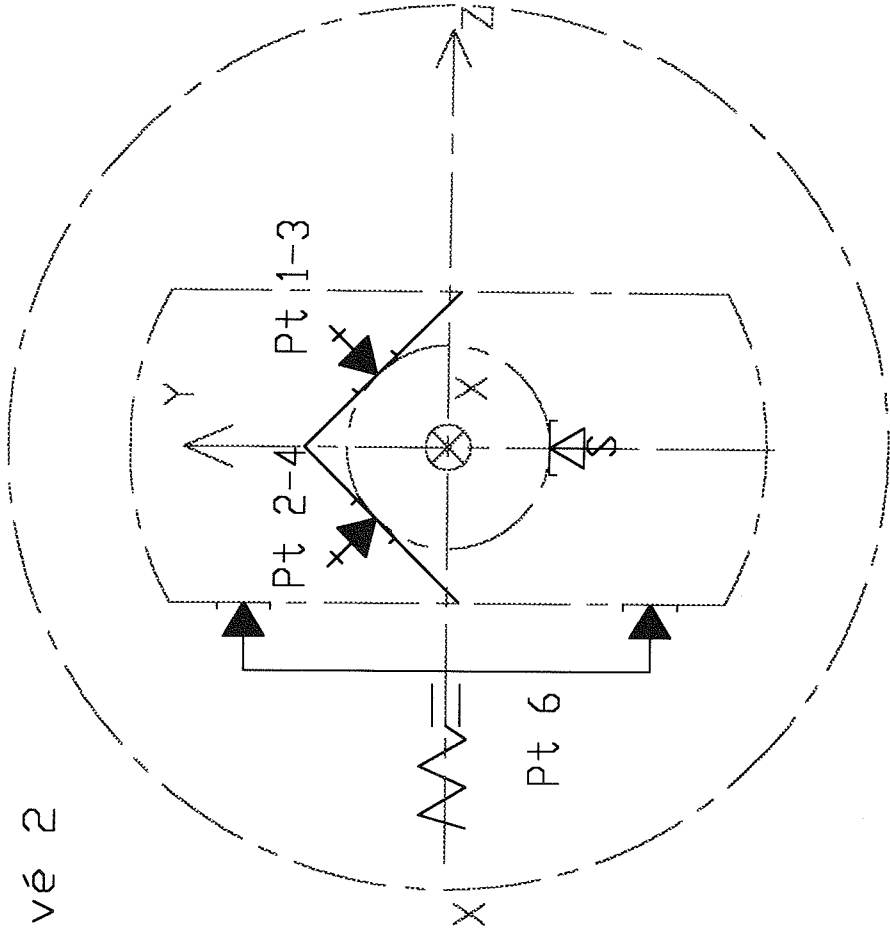
Vue de face
(Pt 6 non représenté)

Plan du vé 1



Vue de gauche

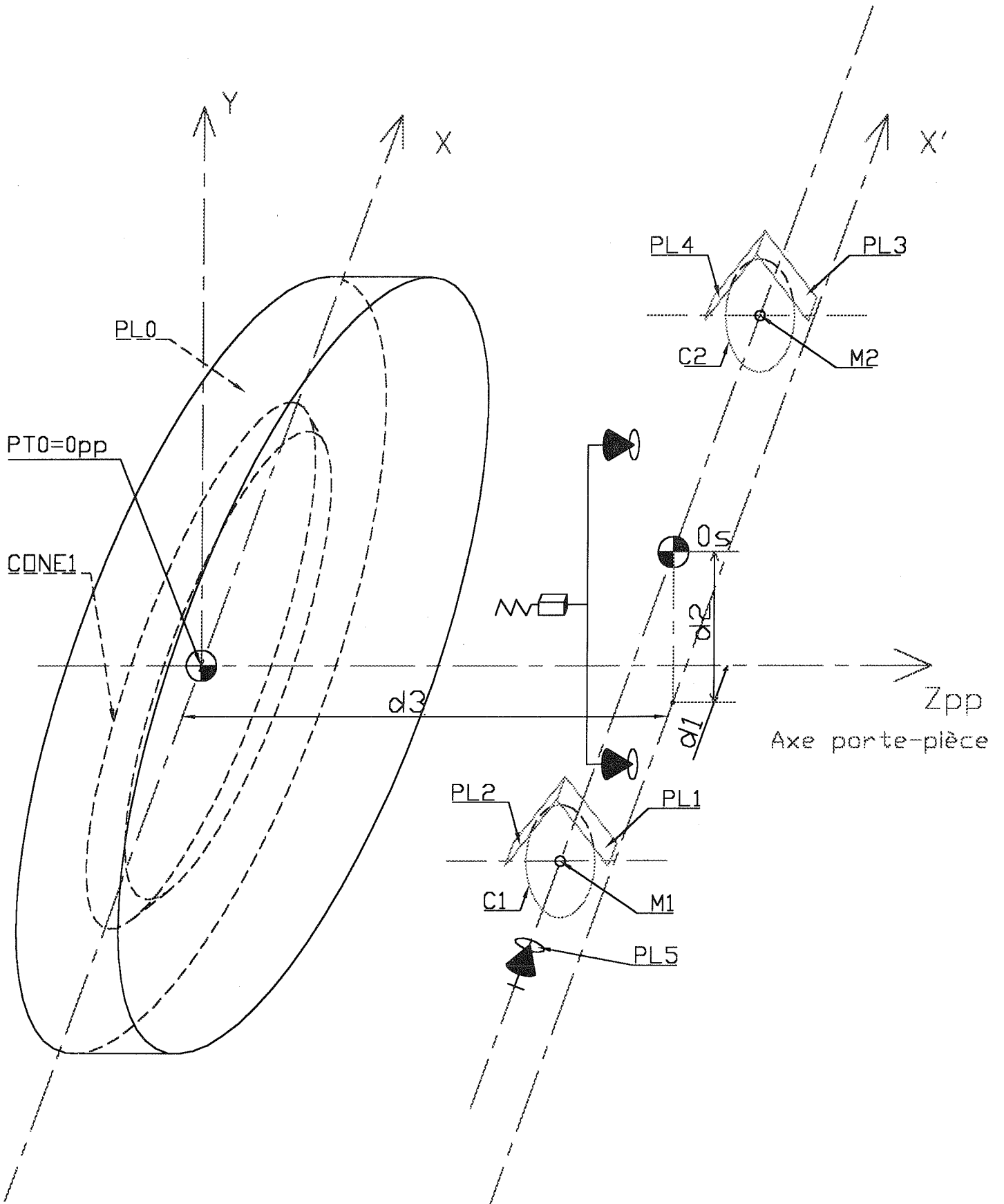
Plan du vé 2



Tournez la page S.V.P.

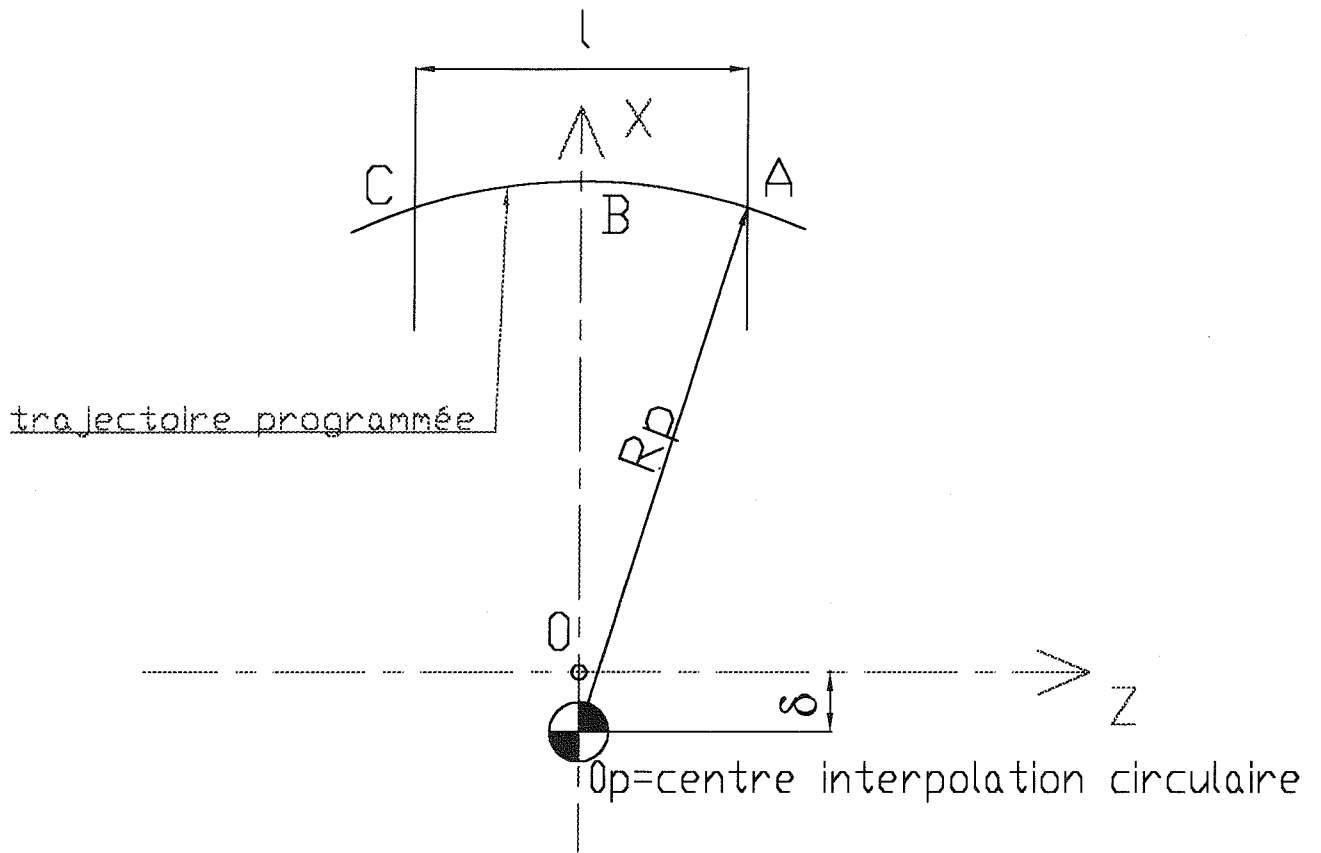
DOCUMENT III.B.3

Schéma du porte-pièce de la phase 70



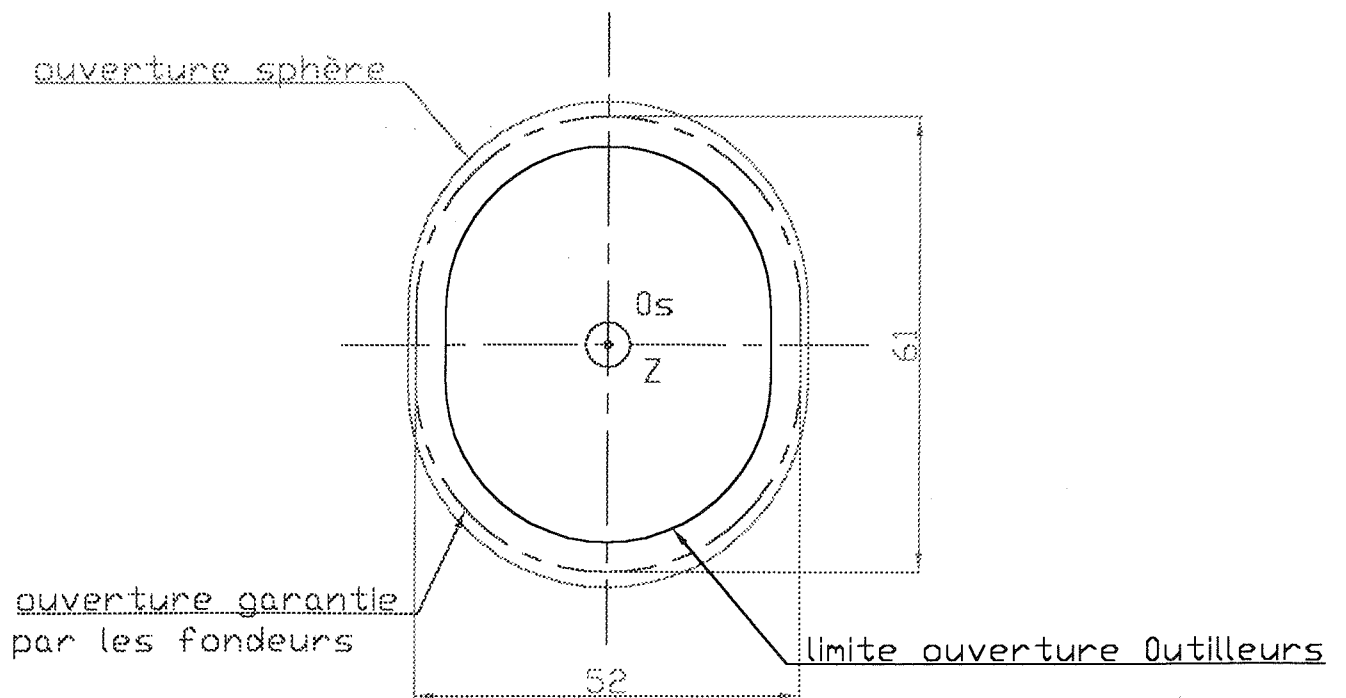
DOCUMENT III.B.4

Interpolation circulaire



DOCUMENT III.B.5

Ouverture pour usinage sphère



Tournez la page S.V.P.

DOCUMENT III.B.6

MODELES D' ACTIONS MECANIQUES EN TOURNAGE

Fc : force de coupe

$$F_c = K_c \times A_D$$

avec $K_c = K_{c,0.4} \left(\frac{0.4}{h_m} \right)^{0.29}$: Force de coupe corrigée par unité de surface

h_m : épaisseur moyenne du copeau

$K_{c,0.4}$: Force de coupe par unité de surface pour une épaisseur de copeau $e_{\text{copeau}} = 0.4\text{mm}$

A_D : Section transversale du copeau

Ff : Force d'avance

$$\begin{aligned} F_f &= 0.5 \times F_c \text{ si } \kappa_{re} < 90^\circ \\ F_f &= 0.6 \times F_c \text{ si } \kappa_{re} \geq 90^\circ \end{aligned}$$

Fp : Force de pénétration

$$F_p = \left(\frac{K_1}{\left(\frac{a_p}{R_e} \right)^{K_2}} \right) \times F_c$$

$K_1 = 0.65$ et $K_2 = 0.3$ si $0 < \kappa_{re} \leq 60^\circ$

avec $K_1 = 0.50$ et $K_2 = 0.4$ si $60^\circ < \kappa_{re} < 90^\circ$

$K_1 = 0.37$ et $K_2 = 0.56$ si $\kappa_{re} \geq 90^\circ$

a_p : engagement arrière de l'arête

R_e : rayon de plaquette

κ_{re} : angle d'inclinaison d'arête de l'outil en travail

COMPTE-RENDU D'ESSAI DE COUPE SUR FGS 600-3

Conditions	Résultats
Plaquette : RNMG 12 06 00-55	
Tour : CAZENEUVE	
Mesure : platine KISTLER	$F_c = 601\text{N}$
Matériau : FGS 600-3	$F_p = 479\text{N}$
Avance : 0.55 mm/tr	$F_f = 237\text{N}$
Passe : 0.4 mm	
Vitesse : 150 m/min	
Opérateur : -	

DOSSIER III.C

DOCUMENTS-RÉPONSES

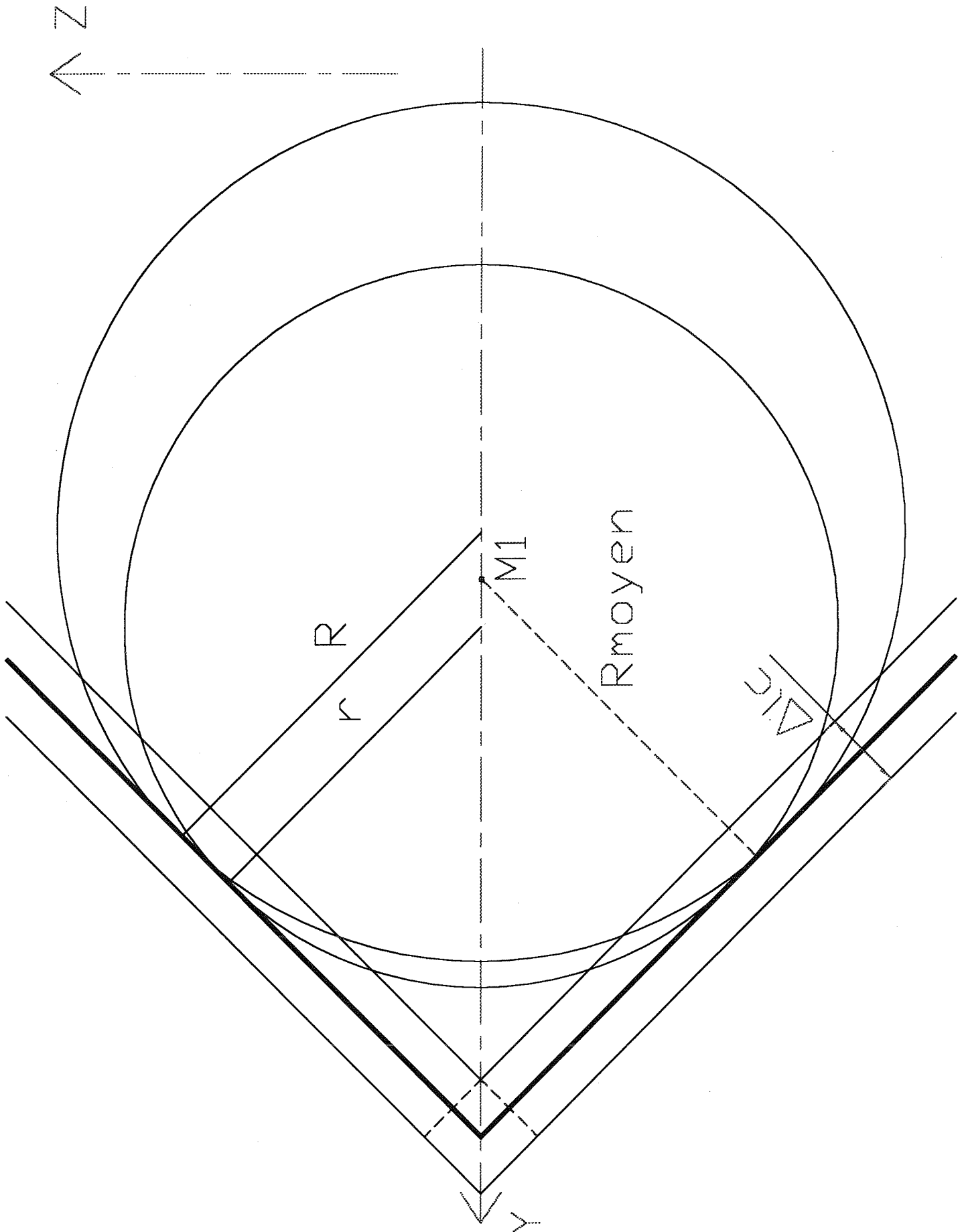
Document III.C.1 - Montage en vé

Document III.C.2 - Actions mécaniques pendant l'usinage de la sphère

Tournez la page S.V.P.

DOCUMENT III.C.1

Montage en vé



DOCUMENT III.C.1

Montage en vé

