

Éléments de correction de la première épreuve de génie mécanique

PREMIERE PARTIE

Étude de la conception et de la fabrication du produit

ÉTUDE DU PONT DIFFÉRENTIEL D'UNE TRANSMISSION DE PUISSANCE D'UN VÉHICULE AUTOMOBILE ÉQUIPÉ D'UN MOTEUR THERMIQUE À COMBUSTION INTERNE

1 – Étude fonctionnelle de la transmission de puissance

Question 1

Fonction 2 : « Adapter les couples »

Fonction 3 : « Répartir les couples et les vitesses »

2 – Étude mécanique du pont différentiel

2.1 – Étude cinématique préalable

Question 2

$$N_0 = \frac{60\omega_0}{2\pi} = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{V_P}{r} \text{ avec } V_P = 36 \text{ km.h}^{-1} = 10 \text{ m.s}^{-1} \text{ et } r = 0,2 \text{ m}$$

$$N_0 = 477,5 \text{ tours.min}^{-1}$$

Question 3

$$L = 3,7 \text{ m ; } d = 1,6 \text{ m ; } a = 1,35 \text{ m}$$

$$\text{tg } \beta = \frac{d}{L + \frac{a}{2}} = 0,366 \quad \boxed{\beta = 20,09^\circ} \quad \text{tg } \alpha = \frac{d}{L - \frac{a}{2}} = 0,529 \quad \boxed{\alpha = 27,88^\circ}$$

Question 4

$$\overrightarrow{V_P \text{ véh/Rg}} = \overrightarrow{V_Q \text{ véh/Rg}} + \overrightarrow{PQ} \wedge \overrightarrow{\Omega \text{ véh/Rg}}$$

$$\overrightarrow{V_P X_V} = 0 + L \overrightarrow{Z_g} \wedge \omega_V \overrightarrow{Y_g} = -L \cdot \omega_V \overrightarrow{X_g}$$

$$\boxed{\omega_V = -\frac{V_P}{L}} = -\frac{10}{3,7} \quad \boxed{\omega_V = -2,7 \text{ rd.s}^{-1}}$$

Question 5

$$\overrightarrow{V_G \text{ véh/Rg}} = \overrightarrow{V_P \text{ véh/Rg}} + \overrightarrow{GP} \wedge \overrightarrow{\Omega \text{ véh/Rg}} = \overrightarrow{V_P X_V} - b \overrightarrow{X_V} \wedge \omega_V \overrightarrow{Y_g}$$

$$\boxed{\overrightarrow{V_G \text{ véh/Rg}} = \overrightarrow{V_P X_V} - b \cdot \omega_V \overrightarrow{Z_V}}$$

$$\left\| \overrightarrow{V_G \text{ véh/Rg}} \right\| = \sqrt{10^2 + (0,9 \times 2,7)^2} = 10,29 \text{ m.s}^{-1} \quad \boxed{\left\| \overrightarrow{V_G \text{ véh/Rg}} \right\| = 37,05 \text{ km.h}^{-1}}$$

Question 6

$$N_i = \frac{60 \cdot |V_i|}{2\pi \cdot r} \text{ avec } |V_i| = L_i \cdot |\omega_v|$$

$$N_{RAVG} = \frac{60 \times 2,7}{2\pi \times 0,2} \frac{d}{\sin \beta} = \frac{60 \times 2,7}{2\pi \times 0,2} \frac{1,6}{\sin 20,09^\circ} \quad \boxed{N_{RAVG} = 601,15 \text{ tours.min}^{-1}}$$

$$N_{RAVD} = \frac{60 \times 2,7}{2\pi \times 0,2} \frac{d}{\sin \alpha} = \frac{60 \times 2,7}{2\pi \times 0,2} \frac{1,6}{\sin 27,88^\circ} \quad \boxed{N_{RAVD} = 441,58 \text{ tours.min}^{-1}}$$

$$N_{RARG} = \frac{60 \times 2,7}{2\pi \times 0,2} \left(L + \frac{a}{2} \right) = \frac{60 \times 2,7}{2\pi \times 0,2} \left(3,7 + \frac{1,35}{2} \right) \quad \boxed{N_{RARG} = 564,63 \text{ tours.min}^{-1}}$$

$$N_{RARD} = \frac{60 \times 2,7}{2\pi \times 0,2} \left(L - \frac{a}{2} \right) = \frac{60 \times 2,7}{2\pi \times 0,2} \left(3,7 - \frac{1,35}{2} \right) \quad \boxed{N_{RARD} = 390,40 \text{ tours.min}^{-1}}$$

2.2 – Etude cinématique du pont différentiel

Question 7

$$\overrightarrow{\Omega_{4/1}} = \omega_{4/1} \cdot \vec{Z_0} \quad ; \quad \overrightarrow{\Omega_{5/1}} = \omega_{5/1} \cdot \vec{Z_0} \quad ; \quad \overrightarrow{\Omega_{2/1}} = \omega_{2/1} \cdot \vec{Y_1} \quad ; \quad \frac{\omega_{2/1}}{\omega_{4/1}} = \frac{Z_4}{Z_2} \quad ; \quad \frac{\omega_{2/1}}{\omega_{5/1}} = -\frac{Z_5}{Z_2}$$

$$\omega_{1/0} = \omega_{1/4} + \omega_{4/0} = -\frac{Z_2}{Z_4} \omega_{2/1} + \omega_{4/0} \quad (1) \quad \omega_{1/0} = \omega_{1/5} + \omega_{5/0} = \frac{Z_2}{Z_5} \omega_{2/1} + \omega_{5/0} \quad (2)$$

$$(1) + (2) \text{ et } (Z_4 = Z_5) \Rightarrow \boxed{\omega_{1/0} = \frac{1}{2} (\omega_{4/0} + \omega_{5/0})}$$

Relations	Valeurs (trajectoire rectiligne)	Valeurs (trajectoire circulaire)
$\omega_{1/0} = \frac{1}{2} (\omega_{4/0} + \omega_{5/0})$	- 477,5 tours.min ⁻¹	- 521,36 tours.min ⁻¹
$\omega_{6/0} = -\frac{Z_7}{2 \cdot Z_6} (\omega_{4/0} + \omega_{5/0})$	1713,4 tours.min ⁻¹	1870,76 tours.min ⁻¹
$\omega_{2/1} = \frac{Z_5}{2 \cdot Z_2} (\omega_{4/0} - \omega_{5/0})$	0	- 111,70 tours.min ⁻¹
$\omega_{3/1} = -\frac{Z_5}{2 \cdot Z_2} (\omega_{4/0} - \omega_{5/0})$	0	111,70 tours.min ⁻¹
$\omega_{4/1} = \frac{1}{2} (\omega_{4/0} - \omega_{5/0})$	0	- 79,78 tours.min ⁻¹
$\omega_{5/1} = -\frac{1}{2} (\omega_{4/0} - \omega_{5/0})$	0	79,78 tours.min ⁻¹

3 – Etude technologique du pont différentiel

Question 8

Les résultats de l'étude conduite à la question précédente permettent de montrer :

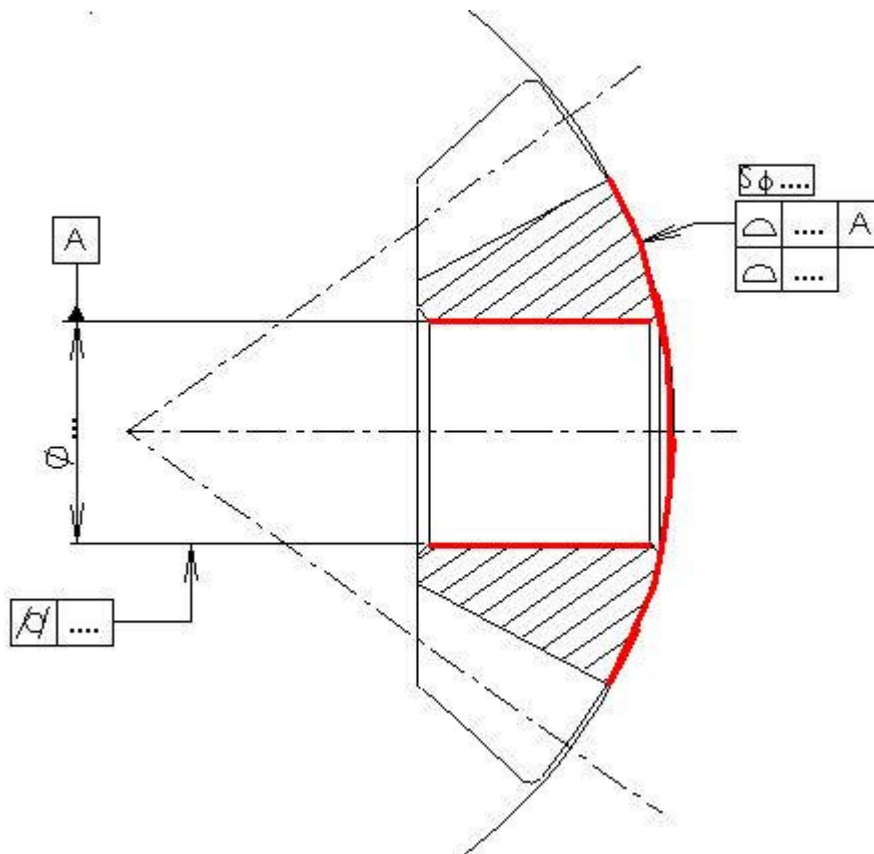
- que dans le cas où le véhicule circule en ligne droite, condition générale de fonctionnement d'un véhicule, la vitesse relative de rotation par rapport au boîtier des [arbres de roue + planétaires] ainsi que celle des satellites sont nulles ;
- que dans le cas où le véhicule suit une trajectoire circulaire de rayon 3,7 m à une vitesse de 36 km/heure, vitesse importante pour un virage aussi serré, la valeur de la vitesse relative de rotation par rapport au boîtier des [arbres de roue + planétaires] ainsi que celle des satellites sont faibles (respectivement 80 et 112 tours.min⁻¹).

En conséquence, les liaisons en rotation respectives des [arbres de roue + planétaires] et des satellites avec le boîtier sont réalisées par glissement.

Par contre, quelques soient les conditions d'évolution cinématique du véhicule étudiées, la valeur de la vitesse relative de l'arbre secondaire et celle du boîtier par rapport au carter sont nettement plus importantes. Les liaisons en rotation de l'arbre secondaire et du boîtier par rapport au carter sont donc conçues à l'aide d'éléments roulants.

Question 9

Les surfaces qui participent au guidage en rotation du satellite sont tracées en rouge sur le dessin ci-dessous. Y figurent, les spécifications dimensionnelles et géométriques (non chiffrées) nécessaires au bon fonctionnement du guidage.



ETUDE DE LA FABRICATION DU BOÎTIER DU PONT DIFFÉRENTIEL

4 – Etude de la gamme d'usinage du boîtier du pont différentiel

Question 10 - Désignation du matériau utilisé GJS 600-3

Désignation suivant la norme NF EN 1560 sur les produits de fonderie : Fonte à graphite sphéroïdal non alliée, résistance à la traction $R_m > 600 \text{ Mpa}$ et allongement $A > 3\%$. Elle est également connue sous le nom de fonte ductile et fait partie du groupe des fontes à graphite nodulaire, obtenue par un traitement spécifique du métal liquide qui provoque, au moment de la solidification, un graphite non lamellaire sous forme quasi sphérique (10 à 100 μm de diamètre). Le métal conserve ainsi ses propriétés de fonderie en s'approchant des caractéristiques des aciers (R_m pouvant dépasser 900 Mpa dans certains cas) avec un module d'élasticité élevé et une capacité à la déformation plastique importante par rapport aux fontes grises.

Question 11 - Description des liaisons pièce / porte-pièce

Voir document réponse DR-2.

4.1 – Analyse de la gamme et simulation d'usinage axiale

Question 12 - Simulation d'usinage unidirectionnelle axiale

Hypothèses :

Les spécifications fonctionnelles à prendre en compte suivant l'axe de la simulation sont :

Entre les surfaces 1 et 7 :	$\boxed{\text{Ø}} \boxed{0,6} \boxed{G}$	elle sera traduite par C_{17} avec $IT_{C_{17}} = 0,6$
Entre les surfaces 1 et 6 :	$100,05 \pm 0,05 \text{ (E)}$	elle sera traduite par C_{16} avec $IT_{C_{16}} = 0,1$
Entre les surfaces 1 et 4 :	$\boxed{53} \boxed{\text{Ø}} \boxed{0,6} \boxed{F}$	elle sera traduite par C_{14} avec $IT_{C_{14}} = 0,6$
Entre les surfaces 1 et 3 :	$\boxed{20,225} \boxed{\text{Ø}} \boxed{0,35} \boxed{G}$	elle sera traduite par C_{13} avec $IT_{C_{13}} = 0,35$
Entre les surfaces 0 et 1 :	$\boxed{19,4} \boxed{\text{Ø}} \boxed{0,2} \boxed{G}$	elle sera traduite par C_{01} avec $IT_{C_{01}} = 0,2$
Entre les surfaces 4 et 5 :	$\boxed{\text{D}} \boxed{0,04} \boxed{D-E} \boxed{F}$	elle sera traduite par C_{45} avec $IT_{C_{45}} = 0,04$
Entre les surfaces 2 et 3 :	$\boxed{10,3} \boxed{\text{Ø}} \boxed{1} \boxed{M}$	elle sera traduite par C_{23} avec $IT_{C_{23}} = 1$

Voir le tableau de simulation sur le document réponse 3.

Inventaire des cotes de fabrication :

Chaque cote de fabrication relie deux surfaces actives dans une phase.

Le parcours pour rejoindre deux surfaces reliées par une condition doit avoir le moins de maillons possibles et doit passer par l'intermédiaire des surfaces de mise en position à tout changement de phase.

Voir l'exemple du traitement de C_{14} sur le document réponse 3.

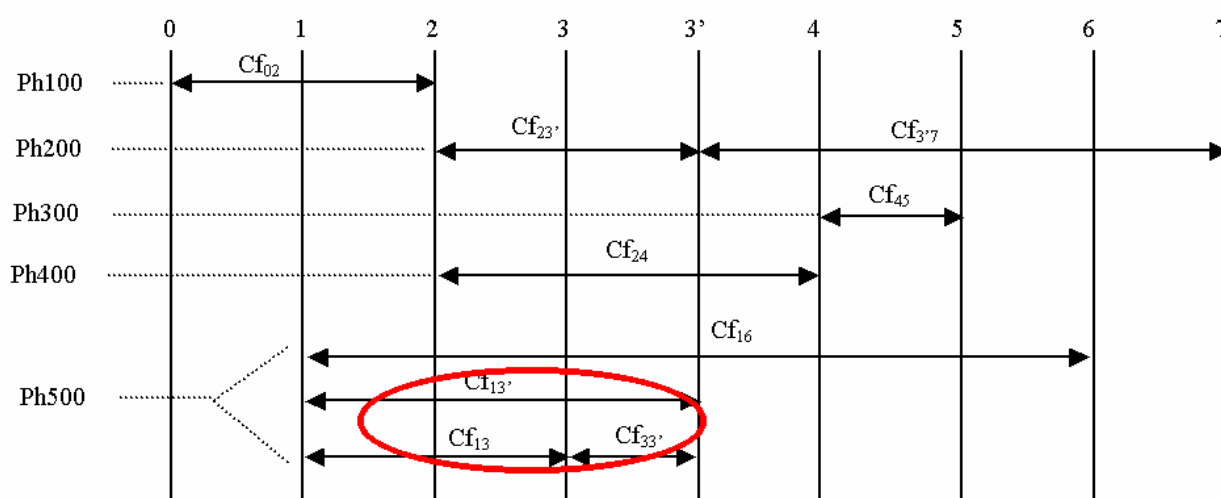
Cette condition est garantie par 3 cotes de fabrication : $C_{f_{23}}$, $C_{f_{24}}$ et $C_{f_{13}}$.

Bilan des cotes de fabrication pour chaque cote condition :

	Ph000	Ph100	Ph200	Ph300	Ph400	Ph500	IT
C_{23}			$Cf_{23'}$			$Cf_{33'}$	1
C_{17}			$Cf_{3'7}$			$Cf_{13'}$	0,6
C_{14}			$Cf_{23'}$		Cf_{24}	$Cf_{13'}$	0,6
C_{13}						Cf_{13}	0,35
C_{01}		Cf_{02}	$Cf_{23'}$			$Cf_{13'}$	0,2
C_{16}						Cf_{16}	0,1
C_{45}				Cf_{45}			0,04

Bilan graphique des Cf phase par phase :

En phase 500, on constate que les trois cotes de fabrication Cf_{13} , $Cf_{33'}$ et $Cf_{13'}$ sont dépendantes. Pour garder des Cf indépendantes, il faudra en abandonner une des trois.



Question 13 - Calcul des intervalles de tolérances des cotes de fabrication

Le tableau de répartition des intervalles de tolérances est le suivant :

La colonne IT/n correspond à une équirépartition de l'IT de la condition divisé par le nombre de Cf à répartir.

	Cf_{02}	$Cf_{23'}$	$Cf_{3'7}$	Cf_{45}	Cf_{24}	$Cf_{13'}$	Cf_{16}	Cf_{13}	$Cf_{33'}$	IT	IT/n	Eq.
C_{23}		X							X	1	0,33	A
C_{17}			X			X				0,6	0,3	B
C_{14}		X			X	X				0,6	0,2	C
C_{13}								X		0,35	0,35	D
C_{01}	X	X				X				0,2	0,066	E
C_{16}							X			0,1	0,1	F
C_{45}				X						0,04	0,04	G

A propos des trois cotes de fabrication dépendantes, $Cf_{33'}$ est la moins contrainte des trois puisqu'elle participe à une seule condition C_{23} dont l'intervalle de tolérance (1mm) à répartir est le plus large. Donc $Cf_{33'}$ sera remplacée par Cf_{13} et $Cf_{13'}$.

Le tableau devient :

	Cf ₀₂	Cf _{23'}	Cf _{3'7}	Cf ₄₅	Cf ₂₄	Cf _{13'}	Cf ₁₆	Cf ₁₃	IT	IT/n	Eq.
C ₂₃		X				X		X	1	0,33	A
C ₁₇			X			X			0,6	0,3	B
C ₁₄		X			X	X			0,6	0,2	C
C ₁₃								X	0,35	0,35	D
C ₀₁	X	X				X			0,2	0,066	E
C ₁₆							X		0,1	0,1	F
C ₄₅				X					0,04	0,04	G

En partant de IT/n le plus faible, on peut proposer une répartition des tolérances fabriquées suivantes :

Equation G : $IT_{Cf45} = 0,04$

Equation F : $IT_{Cf16} = 0,1$

Equation E : $IT_{Cf23'} = 0,066$

$IT_{Cf02} = 0,066$

$IT_{Cf13'} = 0,066$

Equation C : $IT_{Cf24} = 0,6 - 2.(0,066) \approx 0,45$

Equation B : $IT_{Cf3'7} = 0,6 - 0,066 \approx 0,5$

Equations A et D : $IT_{Cf13} = \text{Min} \{(1 - 2.(0,066)) ; 0,35\} = 0,35$

Nota : vu le procédé de rectification employé, les tolérances IT_{Cf13} et IT_{Cf16} sont du même ordre de grandeur, puisque ce sont deux surfaces réalisées entre les deux coulisseaux de la rectifieuse.

Question 14 - Justification du palpé de la face M'

Le palpé de la surface M' (3') est justifié par la cote de fabrication Cf_{13'} dont l' $IT_{Cf13'}$ (0,066) est très faible. La valeur de cet IT est conditionnée par la cote fonctionnelle C₀₁. Sans palpé de cette surface, on pourrait choisir 0 comme surface d'appui de la phase 500. Mais suite à une rapide simulation, dans ce cas, on constate que la tolérance du copeau de rectification entre 3 et 3' devient trop importante vis à vis du procédé.

Question 15 - Surépaisseurs de rectification 1-1' et 6-6'

$IT_{Cp1-1'}$ est fonction des cotes de fabrication de trois phases :

Phase 500 : Cf_{1-3'} 0,066

Phase 200 : Cf_{23'} 0,066

Phase 100 : Cf_{1'2} qui est une Cf entre appui et face usinée en tournage

Donc le copeau 1-1' est fonction de trois Cf.

$IT_{Cp6-6'}$ est fonction des cotes de fabrication de deux phases :

Phase 500 : Cf_{3'6}, mais Cf_{3'6} ne peut pas exister indépendamment, car Cf₁₆ ($IT_{Cf16} = 0,1$) et Cf_{13'} ($IT_{Cf13'} = 0,066$) sont déjà définies et contraintes par des conditions fonctionnelles.

Phase 200 : Cf_{3'6} qui est une Cf entre deux faces usinées en tournage

Donc le copeau 6-6' est aussi fonction de trois Cf.

L'ordre de grandeur des surépaisseurs sera comparable, bien ce dernières soient issues d'un nombre de phases différents.

4.2 Etude de la phase de taraudage de la phase 300

Questions 16,17 - Technologie du taraudage (Données et images Titex)

Taraudage rigide

Le coût du taraudage le moins élevé des trois.

Couple d'usinage relatif faible.



Durée de vie : 4000 filetages, $V_c = 30$ m/min, lubrifiant par émulsion.

Analyse du cycle :

(Pointage-Perçage)-Taraudage

L'option taraudage rigide sur la machine outil permet une synchronisation avance / rotation broche suivi d'une inversion de rotation avec cycle de décélération, un arrêt broche et une accélération en sens inverse. Cette discontinuité de mouvement de broche est une source d'usure prématurée du moteur de broche. En usinage grande vitesse (qui n'est pas le cas pour la fonte) les temps de changements de sens sont très pénalisants.

On peut utiliser un porte-outil à compensation axiale muni d'un inverseur de sens qui ménage le moteur de broche (rotation

uniforme sans décélération). Ce type d'outillage n'est pas encore dimensionné (fiabilité) pour accepter la cadence de production du boîtier.

Fraisage de filets



La technologie du fraisage de filets permet de réduire sensiblement les coûts d'outils, étant donné qu'un seul outil permet d'usiner pratiquement toutes les matières, de fraiser différents diamètres de filetages à toute position de tolérance.

Les avantages du fraisage de filets sont :

- filetages borgnes et débouchants, à droite comme à gauche avec la même fraise à fileter,
- différents diamètres de même pas avec une fraise à fileter,
- toute position de tolérance du filetage avec le même outil,
- filetages presque jusqu'au fond du trou, les fraises à fileter ne possédant pas d'entrée, et la profondeur de filetage pouvant être programmée de façon très précise,
- utilisation universelle dans pratiquement toutes les matières à

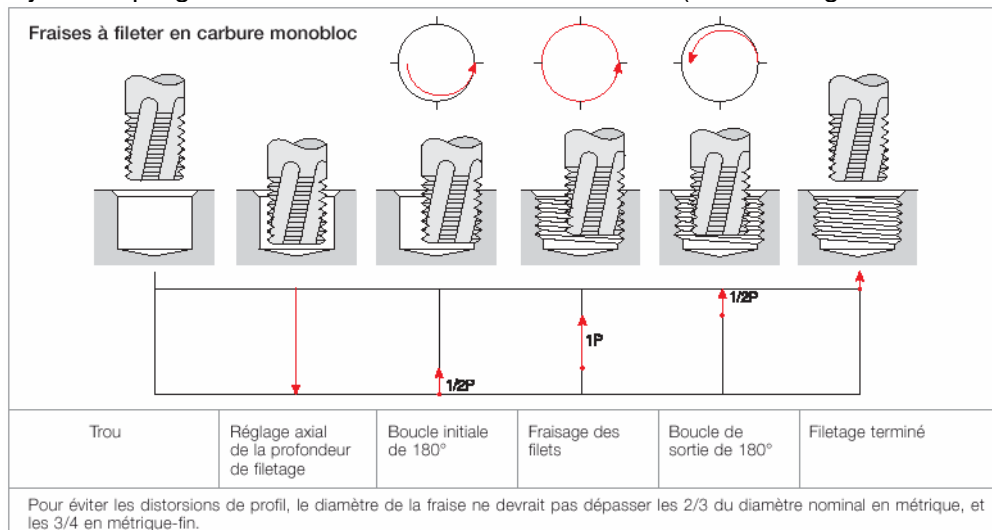
copeaux longs et courts de faible à haute résistance,

- sécurité d'usinage optimale grâce aux copeaux courts,
- vitesses de coupe et d'avance élevées (grande productivité),
- couples réduits, même dans les gros diamètres.

Conditions de coupe proposées pour le matériau $V_c = (35 \text{ à } 90 \text{ m/mn})$ pour un outil sans revêtement (120 m/mn avec revêtement) avance f_z de $0,05 - 0,15 \text{ mm/dent}$.

Cycle de filetage intérieur :

- Pointage
- Perçage
- Cycle et trajectoire programmée avec rotation outil constante (sans changement de sens)



Tarauds à refouler

Dans le taraudage par déformation, le taraud à refouler est vissé dans l'avant-trou. La matière à usiner est refoulée entre les filets de l'outil pour générer le profil du filetage sans formation de copeaux.



Le profil du filetage est généré par déformation de la matière. Le diamètre de l'avant-trou est de ce fait différent du diamètre utilisé en taraudage classique.

Une lubrification suffisante contribue en grande partie aux bons résultats obtenus en taraudage par déformation.

Avantages par rapport au taraudage coupant:

utilisation universelle, longue durée de vie, grande sécurité d'usinage, filetages précis.

La matière à usiner doit être ductile à froid, ce qui est le cas pour 70% des matières (les aciers jusqu'à env. 1000 N/mm, les aciers inoxydables austénitiques, les alliages Al-Si jusqu'à env. 12% de Si, les alliages d'aluminium de corroyage, les alliages de cuivre doux).

Ce procédé ne convient pas à la fonte à graphite sphéroïdal qui n'a pas la propriété de ductilité nécessaire.

Inconvénients : en taraudage débouchant une déformation de la face arrière peut localement se déformer.

Analyse du cycle :

Pointage-Perçage calibré-Taraudage (Inversion de rotation avec cycle de décélération et arrêt broche et accélération, même réflexion que pour le taraudage rigide).

Dans le taraudage par déformation, un avant-trou adapté est déterminant pour le résultat. Il influence la formation du filetage, le couple pendant l'usinage, la durée de vie du taraud et la formation du filetage.

Le choix portera donc sur le taraudage rigide, qui est adapté à la grande série car il n'y a pas besoin de polyvalence, le couple est faible, il est compatible avec la machine utilisée (Umane 5 axes) et le coût minimal.

4.3 – Etude de la phase de tournage-alésage 400

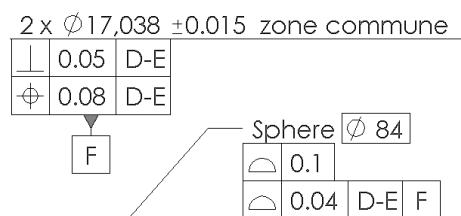
Question 18

Il est à noter que la décision de faire la finition des portées $\phi 17$ sur le tour est liée à des raisons d'équilibrage des temps de cycle des phases. Les surfaces de mise en position sont les portées extérieures A' et B', la joue J et le plan N.

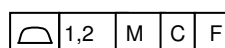
En revenant sur le document de la simulation axiale, les surfaces réalisées sont les portées dont « l'axe » est repérée 4 et la sphère dont le centre est repéré 5. Le plan d'appui N est repéré 2.

Les cotes fonctionnelles impactées par ces surfaces sont :

- Les spécifications géométriques qui touchent les surfaces usinées :



- La spécification est de liaison au brut qui relie les surfaces actives de J' et F.



- La cote fonctionnelle axiale qui positionne l'axe des portées est C_{14} : $\boxed{53} \quad \boxed{\phi 0,35} \quad \boxed{G}$

Comme N (2) est la surface d'appui et qu'il n'y a pas de spécification fonctionnelle entre 4 (ou 5) et 2, le tableau de simulation fait apparaître la cote de fabrication axiale Cf_{24} de la phase 400. Mais en reprenant le tableau du respect des cotes conditions : C_{14} est une condition pour Cf_{23} , Cf_{24} et Cf_{13} .

Ces cotes de fabrication sont également impliquées dans d'autres conditions qui sont : C_{23} ; C_{13} et C_{01} .

Donc les spécifications impactées sont :

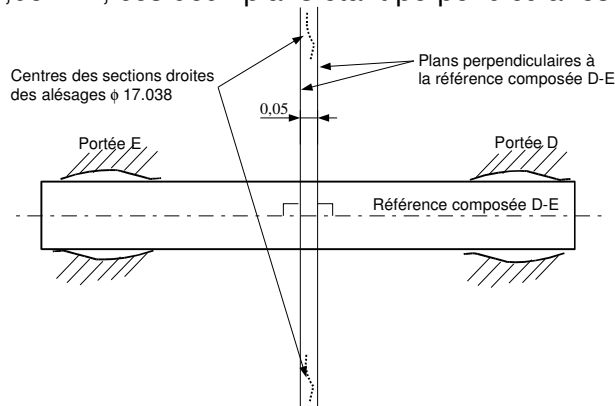
C_{23} : $\boxed{10,3}$ $\boxed{\oplus 1 M}$ C_{13} : $\boxed{19,4}$ $\boxed{\oplus 0,6 G}$ C_{01} $\boxed{20,225}$ $\boxed{\oplus 0,2 G}$

Voir sur le document réponse 4 une proposition de cotation de fabrication.

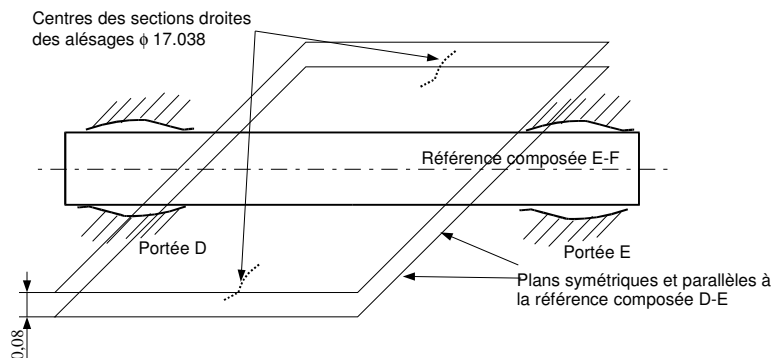
Question 19

Analyse des spécifications des portées de l'axe des satellites :

Les éléments spécifiés sont les centres des sections droites des deux portées $\phi 17,038$. La référence composée D-E est l'axe théorique du cylindre enveloppe des deux alésages D et E. La spécification de perpendicularité impose à l'élément tolérancé d'être compris entre deux plans parallèles et distants de 0,05 mm, ces deux plans étant perpendiculaires à la référence D-E.



La spécification de localisation impose à l'élément tolérancé d'être compris entre deux plans parallèles distants de 0,08 mm, ces deux plans sont symétriquement positionnés autour de l'axe de la référence.



Analyse des spécifications de la sphère :

La cotation porte à interprétation puisque la cote de 84 est encadrée.

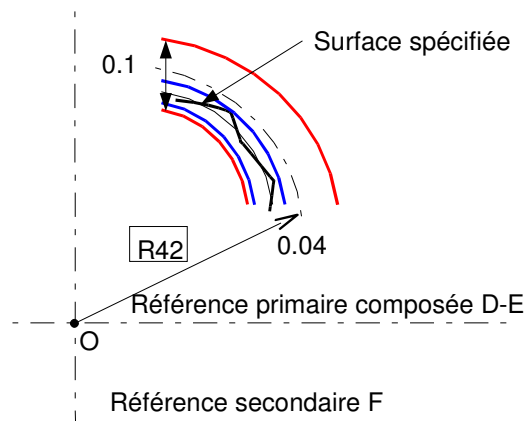
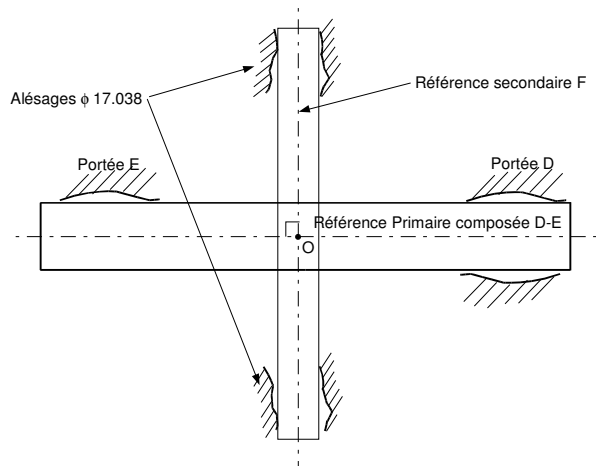
L'élément spécifié est la surface usinée de la sphère.

Le système de référence est composé :

- d'une référence primaire (l'axe théorique du cylindre enveloppe des deux alésages D et E) ;
- d'une référence secondaire (l'axe théorique d'un cylindre concourant et perpendiculaire à la référence primaire enveloppe des deux portées $\phi 17,038$).

Le point O est l'intersection de ces deux éléments de référence.

La surface spécifiée doit se trouver entre les deux surfaces sphériques de tolérance indiquées sur la figure ci-dessous.



Question 20

Les sources de défauts de fabrication proviennent soit de l'usinage des surfaces, soit de la mise en position de la pièce, soit de la machine.

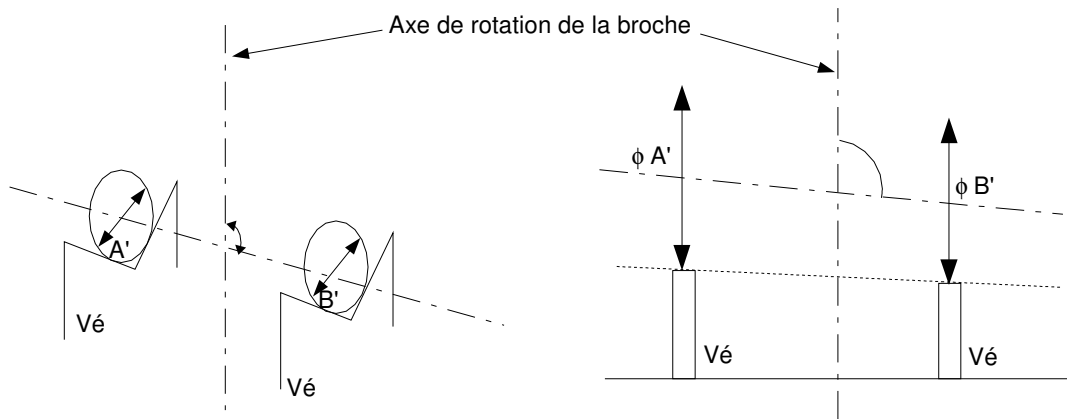
Parmi les écarts, certains sont systématiques et d'autres sont variables et aléatoires.

Concernant l'usinage :

- Sources des défauts systématiques :
 - Sur l'outil de contournage intérieur de la sphère :
 - Une erreur de jauge radiale et la flexion d'outil affecteront le diamètre de la sphère,
 - Une erreur de jauge axiale affectera la position de la sphère par rapport à D-E,
 - l'usure de l'arête de l'outil affectera la rugosité.
 - Sur l'outil de la barre à grain des portées $\phi 17,038$:
 - Un défaut de réglage des barres et/ou une usure radiale et la flexion d'outil (sources de second ordre) affecteront le diamètre des portées.
- Sources des écarts aléatoires :
 - Principalement les vibrations des outils pour l'usinage :
 - de la sphère (usinage discontinu présentant des chocs),
 - des portées (variations d'épaisseur de section de copeau puisque les portées ont été ébauchées dans une phase précédente).

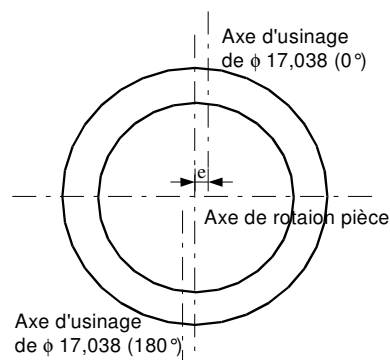
Concernant la mise en position :

- Sources des défauts systématiques :
 - Les défauts de positionnement du porte pièce :
 - La perpendicularité du plan de symétrie des Vés par rapport à l'axe de la broche.
 - L'intersection de l'axe des Vés par rapport à l'axe de rotation de la pièce.
- Sources des écarts aléatoires :
 - Les défauts géométriques et dimensionnels des surfaces de mise en position de la pièce dans son état géométrique intermédiaire en début de phase (variables car fonction de la série produite). C'est-à-dire les diamètres $\phi A'$ et $\phi B'$, le battement axial de N' par rapport à A'- B', la localisation de N' par rapport à M'.



Concernant la machine :

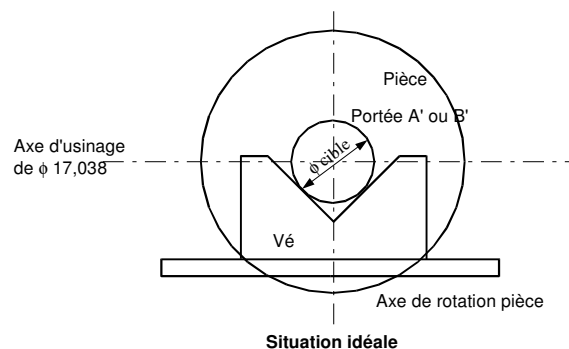
- Sources des défauts systématiques :
 - La géométrie de la machine, par exemple le défaut de positionnement de l'axe des outils tournants des alésages $\phi 17,038$ par rapport à l'axe de rotation de la pièce. Sur la figure suivante, on constate pour une excentration e entre l'axe de rotation de la pièce (qui est un plateau tournant) par rapport à l'axe de travail de la barre à grain, l'écart généré pour l'indexation 0° et 180° .
- Sources des écarts aléatoires :
 - La résolution de commande du déplacement sur les axes, les asservissements en position, le comportement dynamique.

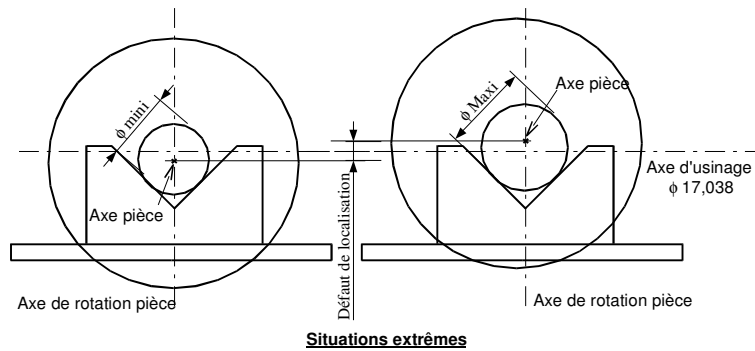


Tous ces défauts sont indépendants et se combinent.

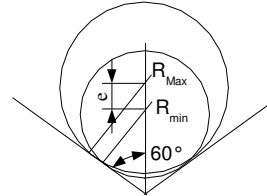
Question 21

En orientant le plan de symétrie des Vés parallèlement à l'axe des alésages $\phi 17,038$, l'effet des variations des diamètres n'a pas d'influence sur la localisation par rapport à D-E (c'est à dire. A'-B'). Pour des raisons de réduction du balourd du porte pièce, l'entreprise a choisi de mettre le plan de symétrie des Vé perpendiculaire à l'axe des portées $\phi 17,038$. C'est le cas le plus défavorable, puisque en fonction des variations des diamètres de A' et B', la pièce ne sera pas à la même altitude.





Suivant le paramétrage de la figure ci-dessous le défaut de localisation de l'axe des portées $\phi 17,038$ et l'axe de la pièce (A'-B') est :



$$e = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{\sin(60)} = \frac{IT}{4 \cdot \sin(60)} = \frac{0.03}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0.009 \text{ mm}.$$

A lui, seul ce défaut représente 11% de la tolérance à respecter.

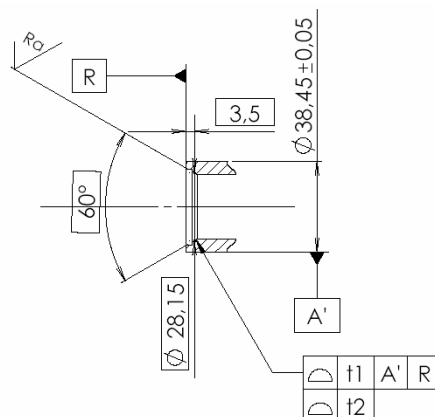
4.4 – Etude de la phase de rectification cylindrique 500

Question 22 Cotation des portées coniques auxiliaires de reprise

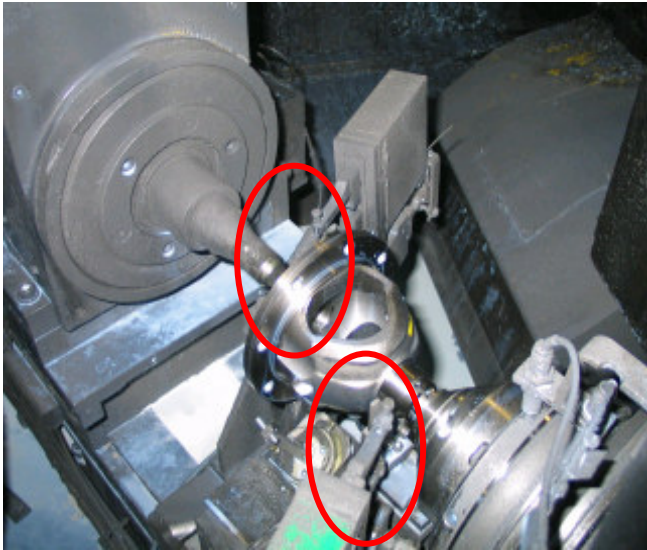
Les spécifications des portées coniques doivent respecter les points suivants :

- L'étendue de la surface de contact avec le cône de la contre-pointe doit être le plus grand possible. Donc l'état de surface doit être adapté à une fonction d'adhérence ($R_a 0,8$ et $R_{sk} < 0$) et le défaut de forme du cône doit être spécifié.
- La liaison cône sur cône avec la pointe tournante assure le positionnement axial de la pièce, les cônes doivent représenter les axes des portées A' et B' qui sont $\frac{1}{2}$ finies à ce stade de la fabrication. Il faut spécifier la position du cône par rapport à A.
- La reprise sur les surfaces coniques n'est pas fortement contrainte suivant l'axe de la pièce puisque celle-ci est palpée sur la surface demie-finie M'. Compte tenu des phases 100 et 200 où sont réalisées les portées coniques, les extrémités de la pièce (notée R) et les portées A' et B', le positionnement axial des cônes peut se traduire par une spécification de localisation par rapport à R.

Nota : Dans la proposition de cotation ci-dessous, la tolérance de localisation des portées coniques est unique par rapport à un système de référence composé de A' et R. Il est possible de découpler les spécifications (radiale et axiale) par deux tolérances de localisation, celle sur R étant moins serrée que celle sur A'.



Question 23



Un «stop-cote» est un dispositif utilisé pour interrompre l'usinage dès que la dimension souhaitée est atteinte. Sur chaque portée, un capteur (entouré en rouge sur la photo) mesure le diamètre de la pièce en rotation pendant l'usinage. La mesure est faite en deux points diamétralement opposés. Le matériau des patins du capteur est le diamant pour minimiser les usures. La sensibilité de la mesure est inférieure au micron, le système doit-être étalonné en condition d'usinage pour prendre en compte les effets de la signature vibratoire de la machine en cycle et les effets de la lubrification. Une fois la dimension cible atteinte, un signal est envoyé à la commande numérique qui travaille sur un cycle en mode interruption afin de stopper la trajectoire

d'usinage puis de dégager la meule de la pièce.
Voir le site www.marposs.com

Question 24 - Rodage



La technique de rodage utilisée a pour but de finir les portées E et F. Le rodage (ou honage) tient à la fois de l'alésage et de la rectification. L'outil -ou rodoir- peut être expansé sur quelques dixièmes de millimètres. Il peut avoir un mouvement de battement axial avec une sortie progressive des lames. Lorsqu'il est réglé, la répétabilité reste inférieure au micron, avec un état de surface supérieur à celui obtenu en rectification. Outre la rugosité, le rodage améliore le taux de portance en éliminant les crêtes laissées par les outils coupants. Les outils de rodage peuvent être utilisés sur des centres d'usinage. Grâce à un préréglage micrométrique, ils calibrent un alésage en un seul passage. Par ailleurs, un outil diamanté autorise le rodage de trous coniques entre 8 mm et 70 mm. Le rodoir utilisé (voir photo ci-joint) est composé de deux fois six lames dont l'expansion est réglée hydrauliquement. La correction d'un diamètre peut être faite directement en cours de programme automatique, par pas de 1 μ m. Les rodoirs au diamant

ne nécessitent ni entretien, ni réglage de battement. La lubrification en rodage est faite avec de l'huile entière. Elle doit être abondante, filtrée et contrôlée, son niveau de qualité est prépondérant dans l'aptitude du procédé.

5 – Maîtrise statistique des procédés

5.1 – Mise au point de la production

Question 25 - Moyen de mesure de la caractéristique $100,05 \pm 0,05$

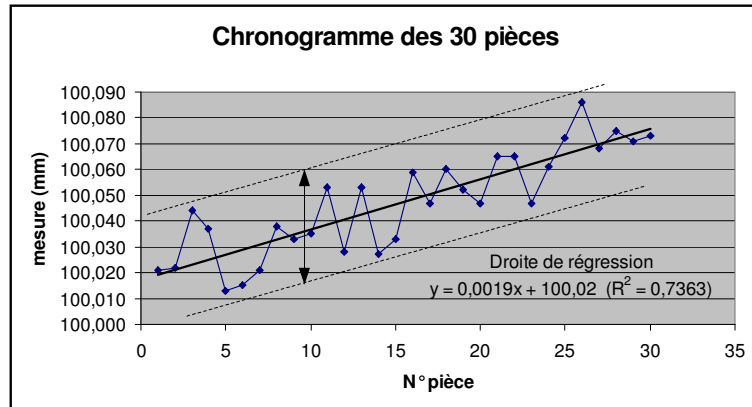
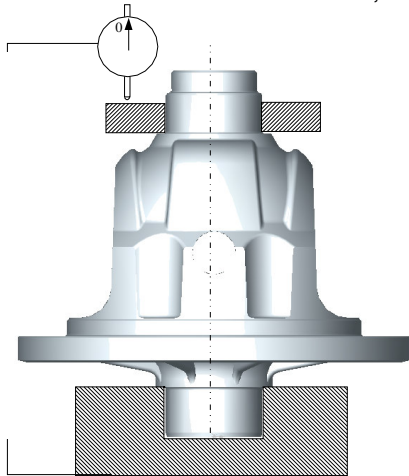
Dans le contexte industriel de grande série, il ne peut s'agir que d'un montage de contrôle. L'exigence de l'enveloppe peut-être satisfaite en effectuant la mesure par comparaison sur une bague en appui sur une portée. D'un point de vue pratique, la dépose de la bague sur la pièce doit-être rapide et facile. L'étalonnage doit également être aisé.

Les sources d'erreurs peuvent provenir de :

- dérives lors de l'utilisation (protocole d'étalonnage à fixer),
- parallélisme des flancs de la bague,
- usure prématurée des portées de réception de la pièce,
- utilisation en environnement de production (température, propreté,...).
- l'utilisateur.....

L'incertitude de mesure du procédé est fonction du cumul des écarts de répétabilité (sur des mesures successives sur l'étalon et sur la pièce lorsque l'opérateur manipule), de la résolution du comparateur et de l'écart justesse lors de l'étalonnage.

Un procédé de mesure capable doit avoir une incertitude (calculée statistiquement) inférieure au $\frac{1}{4}$ de la tolérance à surveiller soit 0,025mm.



Question 26

La définition du coefficient d'aptitude machine est le rapport entre la tolérance demandée (0,1) et la dispersion observée sur l'échantillon produit.

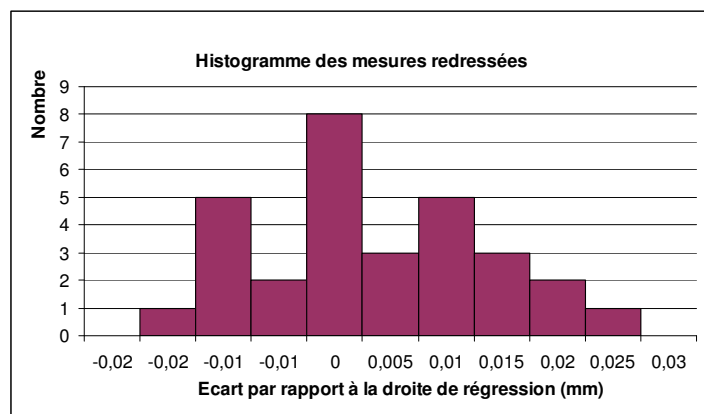
L'échantillon représente les performances de la machine puisque les principales sources de dispersions du procédé ont été éliminées ou réduites. La dispersion peut-être identifiée soit par l'étendue des valeurs, soit par la grandeur $6\sigma_{n-1}$ où σ_{n-1} est l'écart type estimateur des 30 valeurs produites.

On peut noter que si la distribution n'est pas normale (ce qui semble être le cas vu la dérive des valeurs) $6\sigma_{n-1}$ représentera de manière pessimiste la dispersion produite.

En fixant $Cam = IT / 6\sigma_{n-1}$, l'indicateur sera minoré.

En observant le chronogramme, on constate une dérive sur les 30 pièces produites. En faisant passer une droite de régression linéaire (qui peut être tracée à la main) par ces points et en reprenant chaque écart par rapport à cette droite, on constate qu'une analyse de la distribution des mesures corrigées répond favorablement à une hypothèse de normalité (voir test du Khi-deux ou de Komolgorov-Smirnof).

Analyse	Mesures brutes	Mesures corrigées
Min	100,013	-0,0166
Max	100,086	0,0213
Etendue	0,01042	0,0054
Moyenne	100,0473	0,00091
σ_{n-1}	0,01992	0,0102
$6\sigma_{n-1}$	0,11956	0,0614
Cam	0,84	1,63



Il est possible d'évaluer l'aptitude de la machine compte tenu de cette correction de dérive.

La dérive constatée sur les trente pièces produites peut, si elle est corrigée en permanence, fournir une production (au regard des trente pièces) normalement distribuée et capable (bien que $CAM = 1,63$ soit une limite basse pour accepter la capabilité machine).

5.2 Suivi de la production

Question 27 - Carte de contrôle de type Shewhart :

Cette carte suit dans le temps un paramètre de position et un paramètre de dispersion des échantillons prélevés.

Le paramètre de position est la moyenne. Le suivi de la moyenne va permettre de piloter la production et d'opérer les différents réglages par rapport à la cible visée.

Le paramètre de dispersion est l'étendue ou l'écart type estimateur. Le suivi de la dispersion va informer l'opérateur de la variabilité instantanée du procédé (qui est l'image de la machine) et donc de suivre l'aptitude du procédé.

Le théorème central limite qui caractérise la distribution des moyennes des échantillons \bar{x}_i démontre que pour un échantillon de taille n issu d'une population de moyenne μ et d'écart type

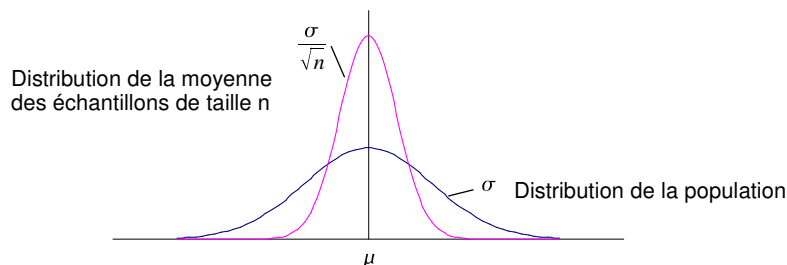
σ , les moyennes des échantillons ont un écart type $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ (voir figure ci-dessous). De plus si n est

grand (>30) où et si l'échantillon est issu d'une production normale alors la distribution de \bar{x}_i est également normale.

Les lignes de contrôle et de surveillance des moyennes sont des bornes associées à une probabilité de voir la moyenne dans un certain intervalle de confiance. Ces limites dépendent de la probabilité recherchée, de la taille de l'échantillon n et de l'écart type de la population produite. Ce dernier est rarement connu, il peut-être estimé par l'écart type des toutes les valeurs des échantillons observés.

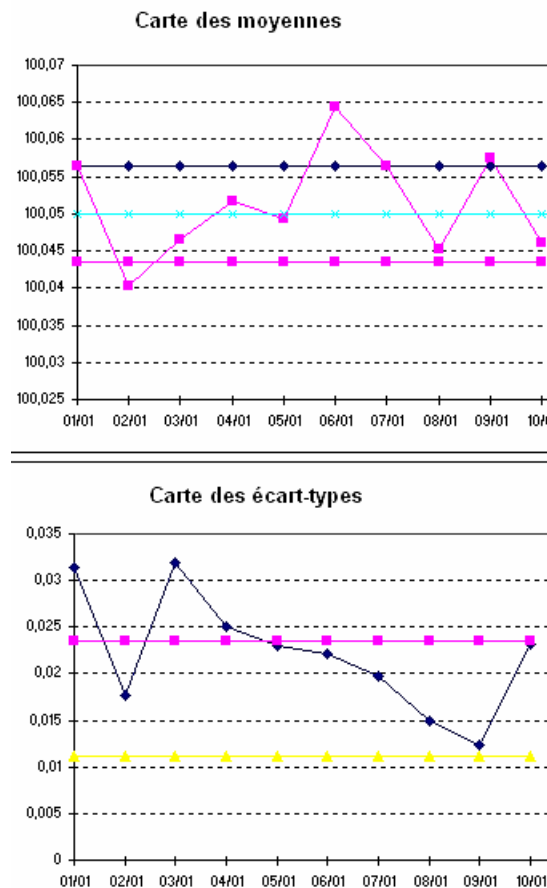
La ligne de contrôle est associée à une probabilité de 99,73%

La ligne de surveillance est associée à une probabilité de 95%.



Il en est de même pour la distribution des écart types des échantillons qui suit un loi de probabilité un peu plus sophistiquée.

Si les paramètres observés sont au delà des lignes de contrôle, alors il est probable que les distributions des moyennes et des écart types des échantillons ne respecte plus l'hypothèse de normalité et laissent apparaître une « anomalie » nécessitant une intervention (par exemple re-réglage (pour les moyennes) ou arrêt de la production (pour les écarts types))



Parmi les règles d'action de pilotage par carte de contrôle :

Tendance croissante ou décroissante de 7 points consécutifs

Pour la moyenne : régler le procédé si le point approche un limite de contrôle.

Pour l'écart type :

- série croissante : la capabilité se détériore, il faut intervenir et trouver l'origine
- série décroissante : la capabilité s'améliore, il faut trouver l'origine pour la maintenir

Point hors d'une limite de contrôle

Pour la moyenne : régler le procédé

Pour l'écart type :

- limite supérieure : intervenir sur le procédé dont la capabilité se détériore
- limite inférieure : la capabilité s'améliore mais le système de mesure est peut-être bloqué.

Tendance supérieure ou inférieure à la moyenne de 7 points consécutifs par rapport à la moyenne

Pour la moyenne : régler le procédé en le décalant d'une valeur égale à l'écart moyen des 7 points.

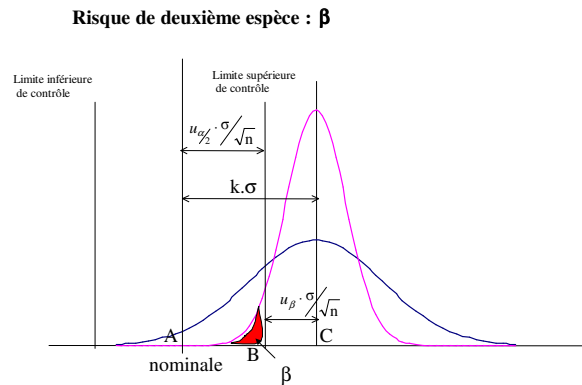
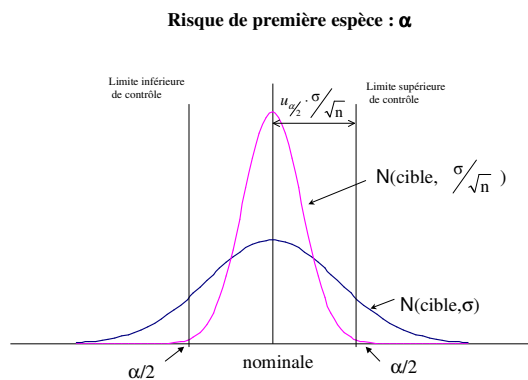
Pour l'écart type :

- limite supérieure : intervenir sur le procédé dont la capabilité se détériore
- limite inférieure : la capabilité s'améliore, il serait bon de savoir pourquoi afin de la maintenir

Question 28

Au niveau du suivi des moyennes des échantillons, le risque de première espèce α est le risque de détecter un dérèglement alors qu'il n'y en a pas. Ce risque est illustré sur la figure de gauche.

Le risque de seconde espèce β est le risque de ne pas détecter un dérèglement (illustré par $k.\sigma$). Ce risque est illustré sur la figure de droite.



Question 29

A partir des 50 pièces des 10 échantillons, on peut évaluer la moyenne \bar{x}_p et l'écart type estimateur σ_p .

$$\text{Cap} = \text{IT} / 6 \cdot \sigma_p \text{ et } \text{Cpk} = \text{Min} \left(\frac{100.1 - \bar{x}_p}{3 \cdot \sigma_p} ; \frac{\bar{x}_p - 100}{3 \cdot \sigma_p} \right)$$

Cap = 1,5 et Cpk = 1,46.

Le procédé est capable et bien réglé car l'ensemble de la production échantillonnée est dans l'intervalle de tolérance.

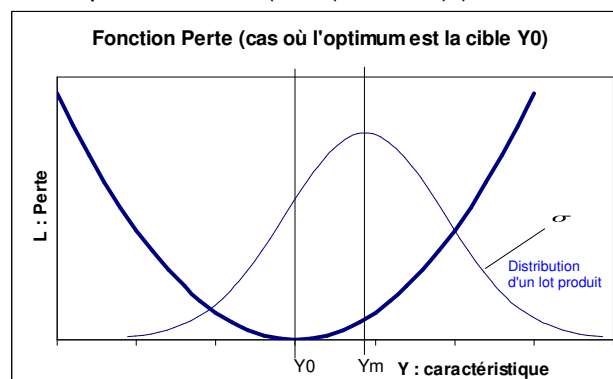
Question 30

La fonction Perte de Taguchi est une fonction qui exprime la perte financière pour l'entreprise en fonction de la dimension obtenue (Y) de la caractéristique par rapport à la cible visée Y0. Cette fonction est parabolique pour une cible fixée. Taguchi traduit par cette forme, que plus on s'éloigne de la cible plus on perd d'argent. En d'autres termes, pour des raisons fonctionnelles, il faut produire dans la tolérance mais le plus massivement sur la cible. Par exemple, une production qui se distribue normalement et qui est centrée sur la cible sera plus économique qu'une distribution uniforme de dispersion équivalente centrée sur la cible.

Le coefficient K n'est pas à déterminer, c'est la forme de la fonction qui va permettre de créer des indicateurs de performance pertinents.

$$L = K \cdot (Y - Y_0)^2$$

La perte moyenne pour un lot produit $L = K \cdot (\sigma^2 - (Y_m - Y_0)^2)$ où Ym est la moyenne du lot produit.



Dans l'étude proposée, compte tenu de la dérive permanente du procédé, il se traduit de cette fonction perte qu'il est préférable de corriger en permanence (à chaque pièce) la dérive suivant la droite de régression, plutôt que de laisser la production couvrir l'intégralité de la tolérance et de ne re-régler qu'à proximité de la borne de la tolérance. Dans les deux cas, les pièces sont toutes bonnes, mais le second cas génèrera une perte plus importante.

Ce type de stratégie de compensation permanente n'est pas contraignant avec l'utilisation de machines à commande numérique dans le cas où la compensation est automatisée.

Parmi les indicateurs pertinents issus de la fonction Perte, Cpm est défini par :
$$\frac{IT}{6 \cdot \sqrt{\sigma_p^2 + (\bar{y} - y_0)^2}}$$

Dans cet indicateur l'écart par rapport à la cible et la dispersion sont pris en compte. Cpm = 1,49.

Dans le cas étudié, les trois indicateurs convergent vers 1,5, le procédé est capable et bien réglé.

Question 31

Pour retrouver Cam avec les données de la carte de contrôle, il faut retrouver des informations propres à la machine, c'est à dire la dispersion à court terme (ou instantanée). On peut, dans une première approximation, estimer que l'écart type instantané σ_i de la machine est la moyenne des écarts types des échantillons.

Alors $\sigma_i = 0,0092$ donc Cam = $IT/6 \cdot \sigma_i = 1,81$.

La machine est donc capable. On constate donc une amélioration depuis l'observation faite à la question 26.

Question 32 - Analyse critique

L'échantillon prélevé est de taille 1, statistiquement les risques α et β sont maxima.

La première règle est équivalente à la conduite d'une carte de contrôle des moyennes.

La seconde règle propose un suivi chronologique instantané des prélèvements.

La troisième règle est corrective et curative minimisant le nombre de pièces non conformes.

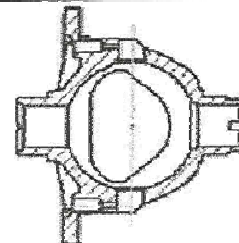
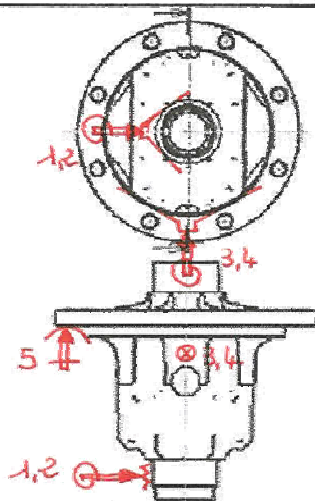
On constate qu'aucune analyse de dispersion statistique n'est faite suivant ce protocole de pilotage et de surveillance.

Aucune information sur la variabilité du procédé n'est disponible. Les capacités ne peuvent pas être surveillées pour un prélèvement. En revanche, au bout d'une journée de production (c'est-à-dire après plusieurs prélèvements), on peut les calculer et les suivre.

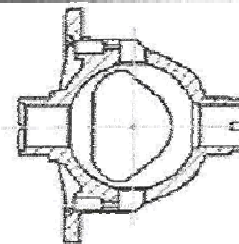
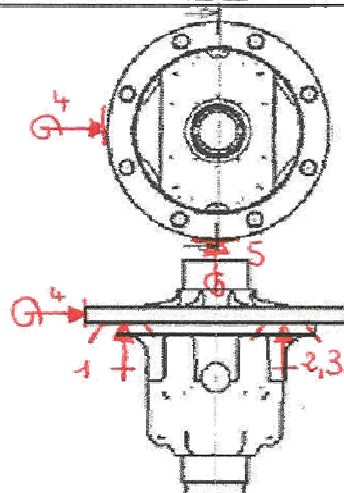
Un tel comportement, effectivement adopté dans l'entreprise, fait état d'une grande confiance dans la capacité de son procédé. Ceci lui a permis de réduire la fréquence et le nombre de pièces à prélever. Pour en arriver là, il a fallu progressivement démontrer la stabilité du procédé et de son pilotage.

LIAISONS PIECE / PORTE-PIECE QUESTION 11

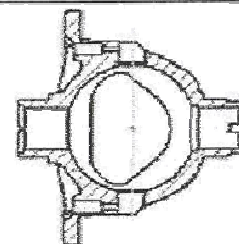
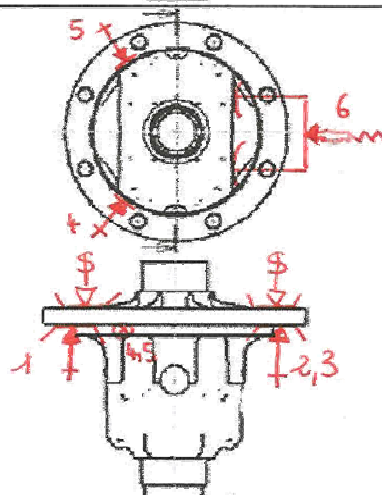
Phase 100



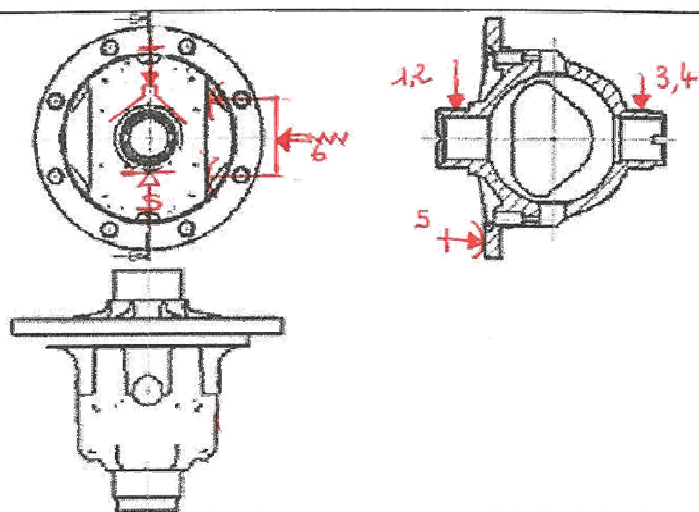
Phase 200



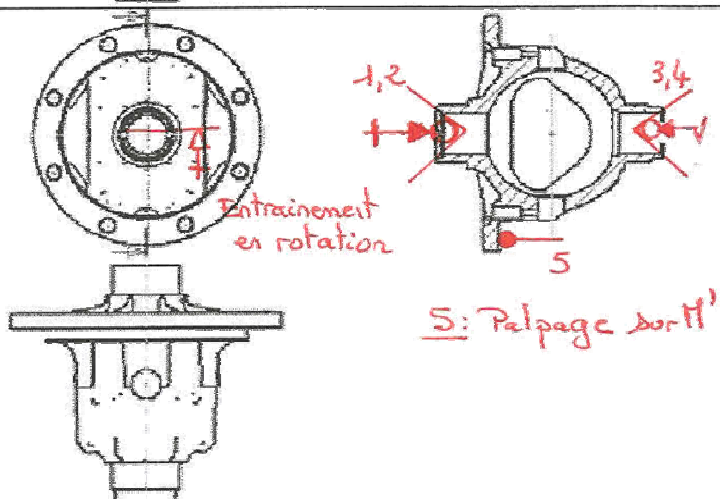
Phase 300



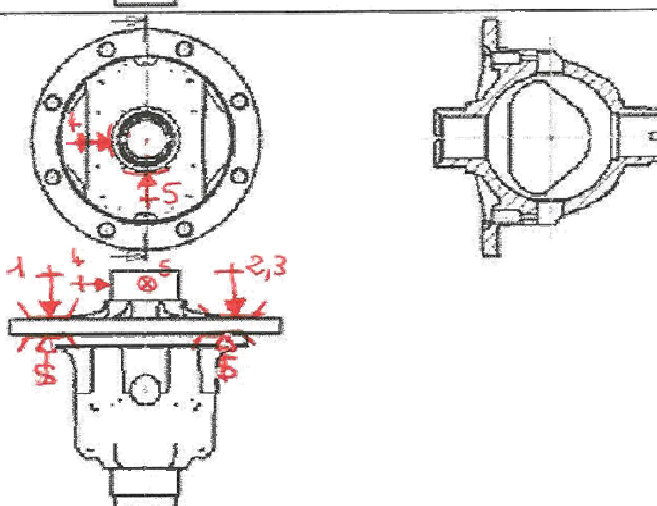
Phase 400



Phase 500

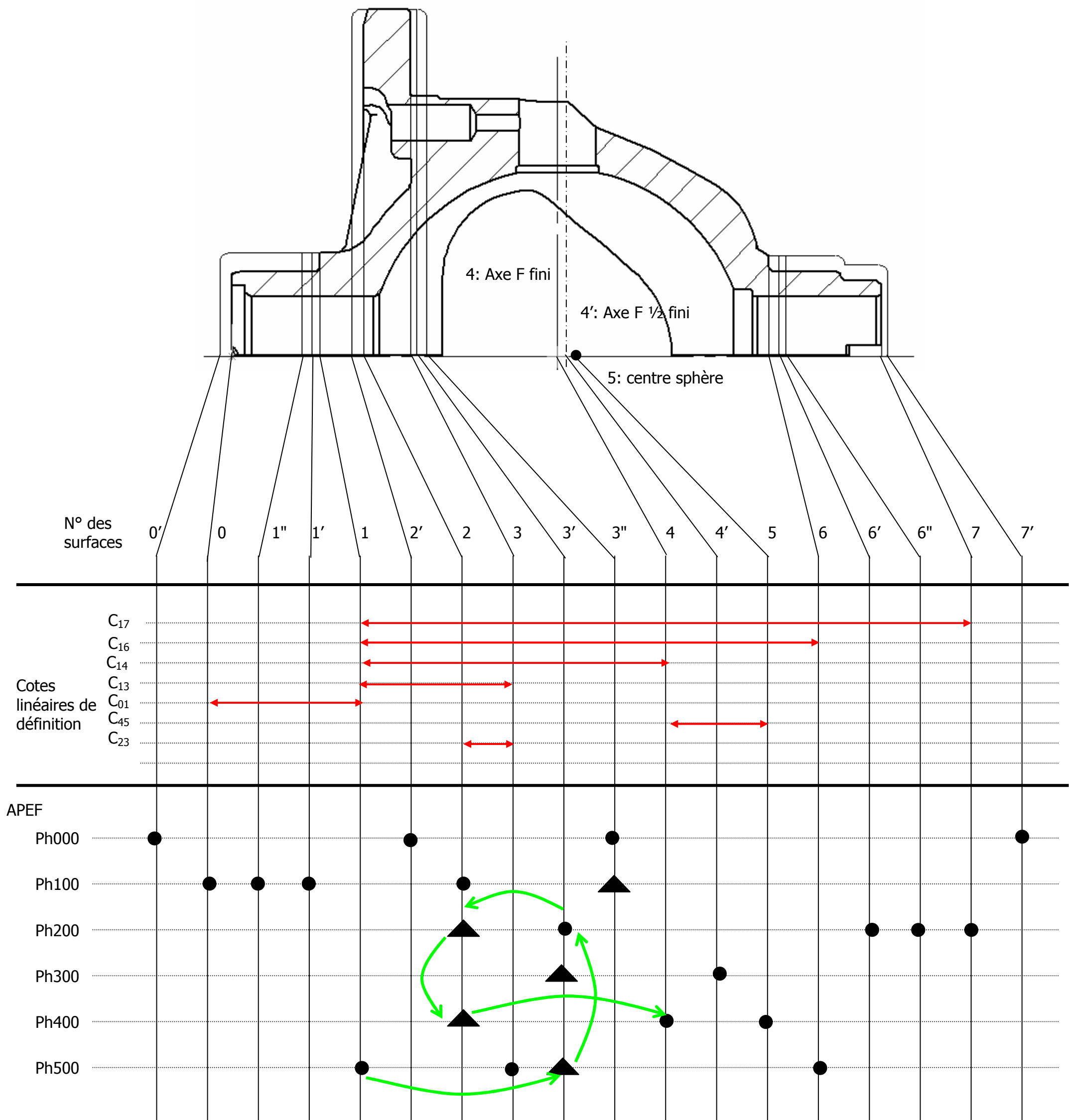


Phase 600



DOCUMENT REPONSE 2

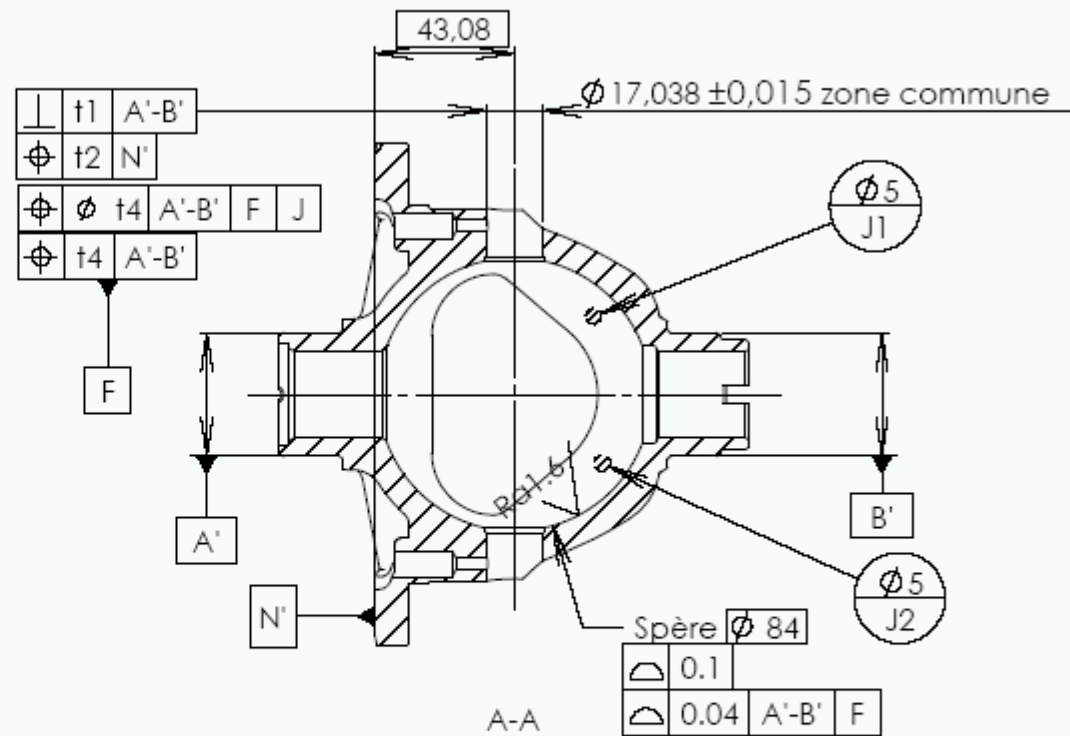
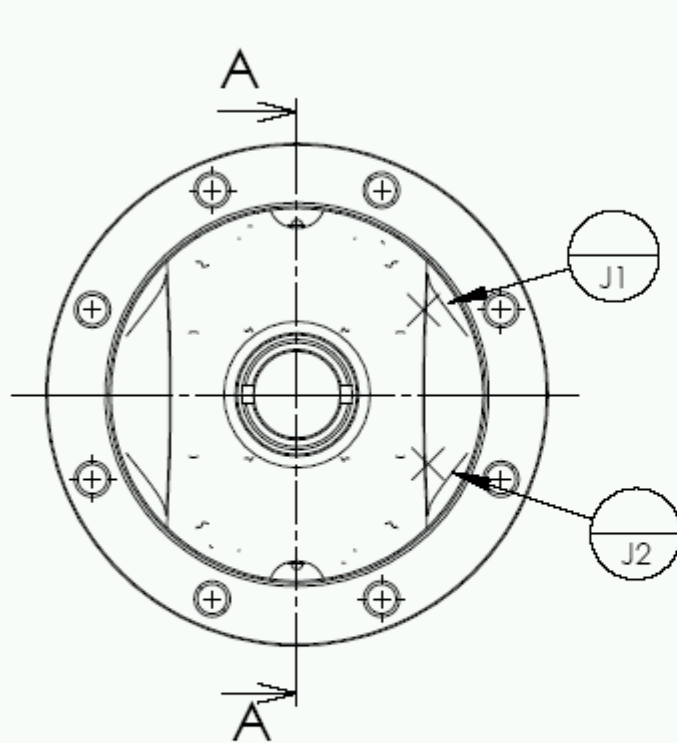
SIMULATION D'USINAGE AXIALE



Protocole graphique : A l'intersection d'une verticale concernant une surface et d'une horizontale concernant une phase:

Mettre ▲ pour une surface de mise en position

Mettre ● pour une surface usinée



COTATION DE FABRICATION PHASE 400
DOCUMENT REPONSE 4

DEUXIEME PARTIE

Exercice pédagogique

(durée : 2 heures)

En s'appuyant sur des éléments du dossier de fabrication du boîtier du pont différentiel, étudié en première partie, il s'agit d'élaborer un exercice d'évaluation des connaissances et méthodes acquises dans le domaine de la cotation de fabrication.

Cet exercice s'adresse à des étudiants d'une section de technicien supérieur Productique Mécanique de lycée ou d'un département Génie Mécanique Productique d'Institut Universitaire de Technologie.

Cet exercice d'évaluation concernera :

- l'étude et la mise en place des cotes fabriquées,
- le calcul des cotes fabriquées et, éventuellement, des cotes de brut,
- la vérification des avant-projets de fabrication par une méthodologie basée sur l'exploitation de l'aptitude des moyens de production.

Question 33

Pré-requis à l'exercice (connaissances préalablement acquises) :

- exigences fonctionnelles (relation entre fonctions du produit et spécifications des pièces constitutives du produit) ;
- décodage des spécifications dimensionnelles et géométriques des pièces mécaniques ;
- exigences manufacturières liées à la coupe ou au procédé (copeau maxi, copeau mini, ...) ;
- aptitude des procédés « primaires » d'obtention des pièces brutes ;
- méthodes d'affectation et de calcul des spécifications de fabrication ;
- aptitude des procédés de production « secondaires ».

Organisation de la séquence (succession des séances d'enseignement qui précèdent l'exercice) :

- Deux travaux pratiques :
 - TP1 – Identification et caractérisation des écarts dimensionnels et géométriques des pièces usinées en série et identification de leur(s) source(s) ;
 - TP2 – Détermination de l'aptitude des moyens de production.
- Quatre séances de cours ou synthèses associées à des travaux dirigés :
 - 1 – Définition des spécifications de fabrication (méthodologie) ;
 - 2 – Choix d'un système de spécification de fabrication ;
 - 3 – Vérification des exigences fonctionnelles et manufacturières (calcul des spécifications de fabrication) ;
 - 4 – Validation des avant-projets de fabrication à partir de la capacité des moyens de production.

Question 34

L'exercice portera sur une simulation d'usinage axiale unidirectionnelle.

Liste des documents fournis aux étudiants :

Documents ressources : documents issus des cours, TP et TD listés à la question 33.

Documents techniques :

- dessin de définition du boîtier du pont différentiel ;
- la nomenclature des phases d'usinage indiquant les surfaces actives par phase ;
- les exigences manufacturières (conditions de fabrication) ;
- les indicateurs de performance des moyens de production mis à disposition (capabilités).

Documents réponses :

- le document de simulation axiale (document-réponse 3 du sujet) ;
- les tableaux de choix et de calcul des spécifications de fabrication (voir corrigé du sujet : questions 12 et 13).

Travail demandé :

La première partie de l'exercice peut être construite d'une manière identique aux questions 11 à 15 du sujet de l'agrégation. La deuxième partie, qui concerne la validation de l'avant-projet d'étude de fabrication, exploite les performances des moyens de production prévus pour réaliser le boîtier afin de vérifier l'ensemble des exigences fonctionnelles et manufacturières.

Question 35

Voir corrigé du sujet de l'agrégation.

Question 36

Grille d'aide à l'évaluation de la valeur des copies :

<i>Critères</i>	<i>Appréciations</i>	<i>Notes</i>
Exactitude de l'identification des surfaces actives par phase		
Respect des exigences fonctionnelles et manufacturières (conditions chaînes de côtes)		
Pertinence du choix du système de spécification de fabrication		
Pertinence de l'argumentaire justifiant le choix des intervalles de tolérance		
Exactitude du calcul des spécifications de fabrication		
Maîtrise de la méthode de validation de l'avant-projet de fabrication		
Qualité des documents		

Commentaires de la première épreuve de génie mécanique

Remarque préalable sur le corrigé : Les éléments de correction sont volontairement plus documentés que ce qui était attendu des candidats.

Première Partie

Etude de la conception et de la fabrication du produit

Etude du pont différentiel d'une transmission de puissance d'un véhicule automobile équipé d'un moteur thermique a combustion interne (98% des candidats ont répondu à cette partie)

Question 1 (98%)

Cette question a été traitée par la quasi totalité des candidats. Toutefois, le jury est surpris de constater que très peu de candidats ont été capables de donner un intitulé acceptable à la fonction assurée par un organe mécanique aussi répandu qu'une boîte de vitesses d'automobile.

Questions 2 (93%) et 3 (83%)

Ces questions ont, dans l'ensemble, bien été traitées.

Question 4 (79%), question 5 (73%) et question 6 (66%)

Les réponses apportées à ces questions sont, globalement, satisfaisantes. Toutefois, certains candidats ne se sont pas étonnés de l'aberrance de leurs résultats (questions 5 et 6).

Question 7 (48%)

Peu de candidats ont conduit une étude cinématique rigoureuse du pont différentiel.

Question 8 (58%)

Bon nombre des candidats qui ont traité cette question se sont contentés de décrire les solutions constructives apportées aux différents guidages en rotation présents au sein du pont différentiel sans chercher à justifier les choix opérés.

Question 9 (86%)

Les candidats ont correctement repérés les surfaces participant au guidage en rotation du satellite. En revanche, le codage des spécifications leur a posé beaucoup de difficultés. Il est à noter que des éléments de réponse, concernant les spécifications attendues, figuraient comme exemple sur le dessin de définition du boîtier.

Etude de la fabrication du boîtier différentiel

Question 10 (80%)

La connaissance de la désignation des matériaux est connue.

Question 11 (84%)

La connaissance de la norme est correcte. La liaison axile et le palpement ont été moins bien traités.

Question 12 (72%)

Peu de candidats ont émis les hypothèses sur la traduction des spécifications en unidirectionnel. Quelques spécifications « BE » ont été oubliées, générant ainsi des oublis dans les contraintes à respecter.

En phase 600, la surface 3' n'a pas été systématiquement désignée comme surface de reprise de la phase.

Le protocole d'écriture du tableau de simulation n'a pas toujours été respecté. La correction a été d'autant plus délicate que la règle graphique décidée par certains candidats n'était pas expliquée ni commentée.

Le choix des cotes de fabrication a été peu argumenté. Plus de 40% des candidats ayant répondu à cette partie ont choisi systématiquement des cotes de fabrication entre surface usinée et surface de reprise.

Questions 13 (32%), 14 (39%) et 15 (28%)

Des difficultés ont été observées sur la méthode de répartition des tolérances sur les différentes cotes de fabrication.

89% des candidats ont répondu à la partie cotation de fabrication de la Q11 à Q16.

Questions 16 (58%) et 17 (47%)

Le comparatif cinématique entre les procédés a été bien analysé. Le taraudage par refoulement est connu dans son principe mais beaucoup de candidats ont fait le choix de ce procédé alors qu'il est incompatible avec la fonte à graphite sphéroïdal.

Question 18 (64%)

Peu de candidats ont rebouclé cette question avec la simulation axiale et le choix des cotes de fabrication (Q12-13-14).

Question 19 (79%)

La cotation a été correctement interprétée par les candidats qui ont eu une approche méthodique des interprétations des spécifications.

Question 20 (57%)

Peu de graphiques (pourtant demandés dans le sujet) ont argumenté les longs paragraphes explicatifs.

Question 21 (29%)

La mise en place géométrique du problème n'a été faite que par trop peu de candidats.

Questions 22 (30%) et 23 (22%)

Ces deux questions ont été très peu abordées alors que les difficultés étaient mineures (cotation fonctionnelle et technologie de production).

Partie cotation de cône et stop cote (Q22- Q23) : 35% des candidats ont répondu.

Question 24 (69%)

Le rodage a été souvent confondu avec le galetage.

Question 25 (61%)

Des propositions très correctes ont été faites par la majorité des candidats, bien que certains aient opté pour une machine à mesurer tridimensionnelle installée sur une ligne de production pour ne mesurer qu'une longueur.

Question 26 (62%)

Les chronogrammes ont été tracés. La droite de régression a rarement été évaluée, alors que l'on aurait pu prendre l'initiative de l'interpoler à la main pour évaluer la dérive et les performances attendues de la machine après compensation.

Question 27 (39%)

Les cartes Shewhart sont connues, mais leur fondement statistique et leur utilisation ne sont pas toujours correctement assimilés.

Question 28 (14%)

Les risques α et β ont inspiré très peu de candidats. Il est étonnant de constater une telle faiblesse sur les fondements de la statistique, car ces risques sont systématiquement présents lors de tout prélèvement et analyse d'échantillon (contrôle de réception, métrologie, analyse de données,).

Question 29 (20%)

Le calcul des coefficients d'aptitude à partir des cartes de contrôles a été fait par la plupart des candidats qui ont traité cette question.

Question 30 (4%)

La fonction Perte est un concept qui a maintenant plus de 25 ans. Elle doit faire partie de la culture des personnes dont l'intérêt professionnel est la production industrielle.

Question 31 (5%)

Le coefficient Cam a été correctement estimé par les trop rares candidats qui ont répondu à cette question.

Question 32 (73%)

La stratégie proposée est réellement celle de l'entreprise. Elle sort des habitudes traditionnelles de la MSP. Il fallait admettre que les procédés sont fortement maîtrisés et que la confiance sur leur variabilité est très importante ($C_p > 5-6$).

Deuxième Partie
Exercice pédagogique

(59% des candidats ont répondu à cette partie)

Question 33 (59%)

Peu de candidats ont envisagé, de débiter la succession des séquences d'enseignement qui permettent de préparer l'étudiant à cet exercice, par des activités pratiques sur la caractérisation du niveau de qualité des pièces usinées en série et sur la détermination de l'aptitude des moyens de production (démarche inductive).

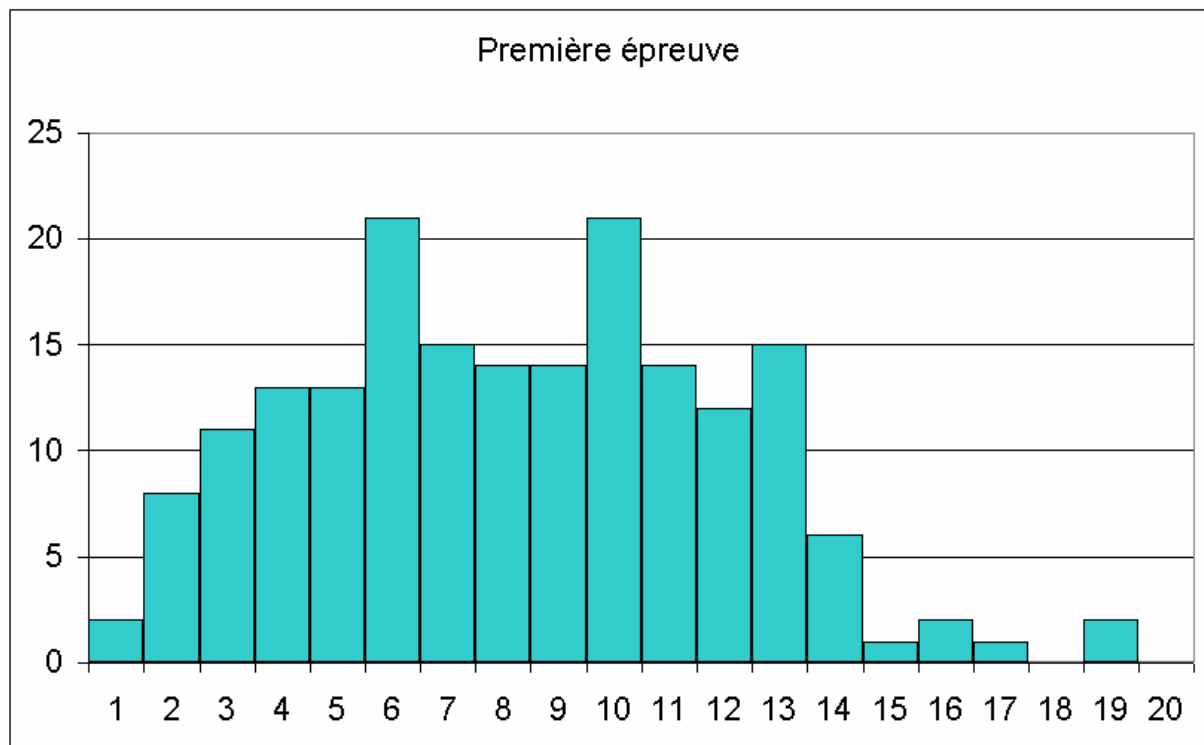
Lorsqu'il a été traité, le repérage des connaissances a souvent été incomplet.

Question 34 (46%)

Les maladresses que le jury a observées sont :

- Pas de simplification de l'étude par rapport au sujet proposé dans le cadre de l'épreuve (réduction à un problème unidirectionnel) ;
- Exercice de simulation d'usinage construit à partir d'une seule phase d'usinage alors qu'elle ne peut être issue que d'un avant-projet de fabrication pris dans sa globalité.
- Peu de candidats ont prévu dans l'exercice un bouclage permettant la validation de l'avant projet de fabrication vis à vis des capacités des moyens de production envisagés.
- Des exercices pédagogiques hors sujet (moulage, spécification des dessins de définition,...).

Histogramme des notes



Moyenne générale de la première épreuve : 8/20