Concours Centrale-Supélec, France

Session 2014, filière TSI

Sciences industrielles 2

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : validation de quelques solutions technologiques
- Partie II : qualité géométrique des surfaces usinées
- Partie III : refroidissement de l'électrobroche
- Partie IV : bilan de l'étude

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/centrale/tsi/2014/si2

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

S2I 2

TSI

2014

4 heures Calculatrices autorisées

Cellule robotisée d'usinage de culasses

La culasse constitue la partie supérieure d'un moteur thermique. Elle reçoit le système d'alimentation et d'échappement. Elle est réalisée par le procédé de moulage en coquille sous basse pression puis usinée partiellement avant d'être livrée au constructeur automobile. L'objet de cette étude est une des cellules d'usinage à grande vitesse permettant la réalisation de surfaces sur les six faces de la pièce.

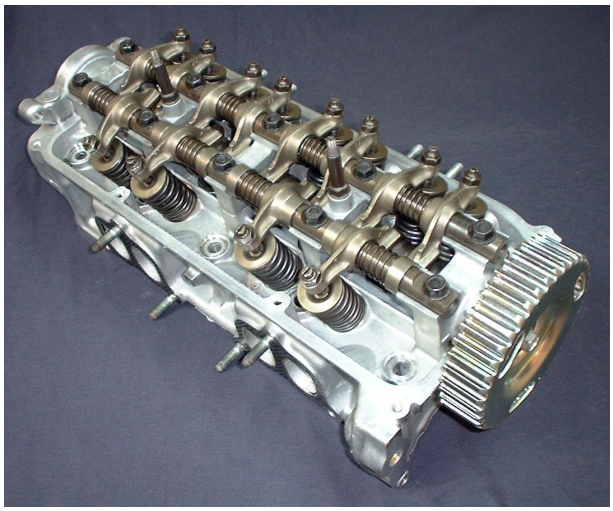


Figure 1

La cellule d'usinage utilise

- un centre d'usinage à grande vitesse quatre axes à broche horizontale (voir figure 11) possédant
  - 3 axes pour les translations des chariots X et Y ainsi que du chariot Z (support de broche) représentés aussi sur la vue éclatée figure 10 ;
  - 1 axe, noté B, pour la rotation du plateau recevant une palette équipée du porte-pièce, tournant par rapport au bâti.

  La machine possède deux palettes, supportant chacune un porte-pièce, qui peuvent être permutées par rotation d'un support de palettes :
  - une palette se trouve en situation d'usinage et a les mobilités de l'axe B ;
  - l'autre palette est en situation de chargement-déchargement et son support peut tourner autour d'un axe vertical permettant l'accès aux deux faces du porte-pièce.

  Les principales caractéristiques de cette machine sont données sur la figure 9 ;
- un robot six axes utilisé pour charger la machine en pièces brutes ou en cours d'usinage puis la décharger ;
- une table de stockage temporaire de la pièce devant être déplacée d'un porte-pièce à un autre.

Lexique des termes utilisés dans le domaine des machines-outils

Broche, solide supportant l'outil coupant, en mouvement de rotation rapide permettant l'obtention du phénomène de coupe ; la vitesse tangentielle d'un point à la périphérie de l'outil, dans le mouvement de l'outil par rapport au solide qui porte la broche, est nommée *vitesse de coupe* et notée $(\vec{V_c})$.

Électrobroche, nom donné au moteur électrique permettant la rotation de la broche, constitué par le stator (lié au chariot Z, 3) et le rotor (en liaison encastrement avec la broche).

Axe, nom donné à l'ensemble constitué du guidage et de la chaine fonctionnelle associés à un mouvement de rotation ou de translation asservi en vitesse et en position. L'ensemble des axes de la machine va permettre l'obtention d'un mouvement relatif entre le solide qui porte la broche et la pièce, afin de générer les surfaces à usiner ; la vitesse d'un point de l'axe de rotation de la broche appartenant au solide qui porte la broche dans son mouvement par rapport à la pièce est nommée *vitesse d'avance* et notée $(\vec{V_f})$;

Porte-pièce, outillage conçu pour réaliser la mise en position et l'orientation de la pièce ainsi que son maintien en position (serrage) pendant l'usinage.

BY-NC-SA

Surfacer, réaliser une surface plane située perpendiculairement à l'axe de rotation de la broche donc avec l'extrémité de la fraise.

Dresser, réaliser une surface plane en général parallèle à l'axe de rotation de la broche.

Surfacer-dresser, réaliser simultanément, avec la même fraise, les deux opérations.

La nécessité de réaliser des usinages sur les 6 faces de la culasse impose 3 mises en position différentes pour la pièce et donc 3 phases d'usinage (nommées phases 20, 30 et 40) avec 3 porte-pièces associés. Les porte-pièces de la phase 20 et de la phase 30 constituent un même sous-ensemble qui est lié à la palette n°1. Le porte-pièce de la phase 40 est lié à la palette n°2.

Les maquettes simplifiées présentées figure 2 montrent les faces de la pièce accessibles par les outils pour les différents porte-pièces et les phases 20 à 40 ainsi que leur orientation dans la base liée au bâti, $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ telle que l'axe de rotation de la broche est dirigé par $(\vec{z}_0)$. L'axe B (rotation de direction $\vec{y}_0$) permet de présenter différentes faces de la pièce devant la broche.

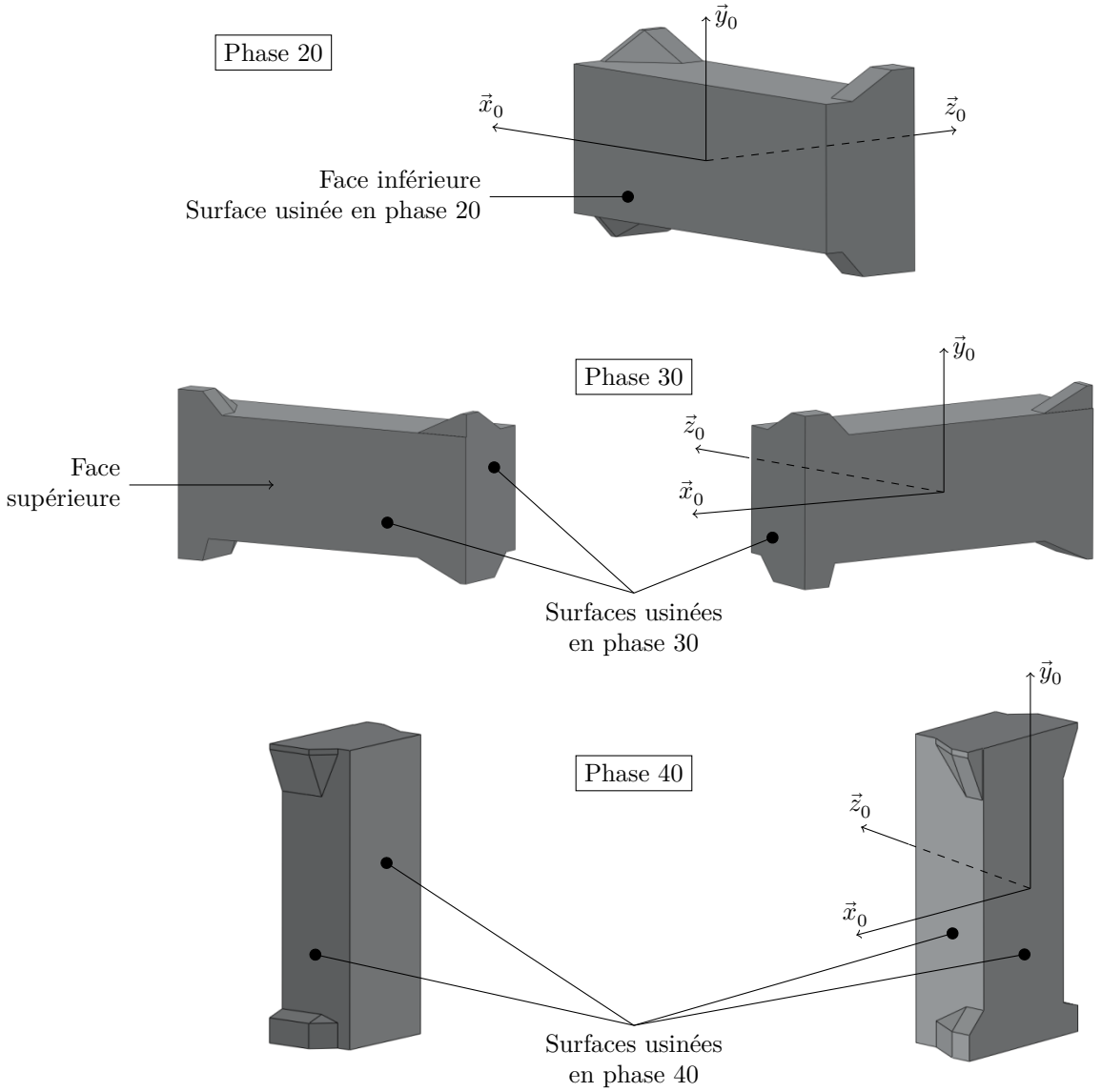


Figure 2

La gamme de fabrication d'*une* pièce se déroule selon le cycle suivant :
- prise de la pièce brute au poste d'entrée par le robot ;
- chargement sur le porte-pièce de la phase 20 par le robot ;
- usinage des surfaces en phase 20 ;
- déplacement, par le robot, du porte-pièce de la phase 20 vers le porte-pièce de la phase 30 ;
- usinage des surfaces en phase 30 ;
- déplacement, par le robot, du porte-pièce de la phase 30 vers la table de stockage temporaire ;
- déplacement, par le robot, de la table de stockage temporaire vers le porte-pièce de la phase 40 ;
- usinage des surfaces en phase 40 ;
- déplacement, par le robot, du porte-pièce de la phase 40 vers le poste de sortie.

BY-NC-SA

Les porte-pièces des phases 20 et 30 étant fixées sur la même palette 1 ceci permet d'usiner deux pièces en même temps. Le porte-pièce de la phase 40 est fixé sur la palette 2. La présence de deux palettes permet l'usinage sur l'une pendant le chargement déchargement de l'autre. Le robot n'étant équipé que d'un seul préhenseur, une table extérieure à la machine permet le stockage temporaire des pièces.

Pour numéroter les pièces en cours d'usinage, on nommera « pièce i » la pièce courante placée sur le porte-pièce de la phase 20. Par conséquent, la pièce située au même instant sur le porte-pièce de la phase 30 sera nommée « pièce $i-1$ », etc. Le tableau ci-après montre les séquences simultanées réalisées sur cette cellule d'usinage avec les temps nécessaires associés.

<table>
<tr><td></td><td colspan="2">Palette 1</td><td colspan="2">Palette 2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Séquences 1 et 2</td><td rowspan="2">Palette 1 en usinage

Temps t_1</td><td>Usinage de la pièce i en phase 20</td><td rowspan="2">Palette 2 en chargement déchargement

Temps t_2</td><td>Déchargement de la pièce $i-3$, du porte-pièce phase 40 vers le poste de sortie</td></tr>
<tr><td>Usinage de la pièce $i-1$ en phase 30</td><td>Chargement de la pièce $i-2$, de la table vers le porte-pièce de la phase 40</td></tr>
<tr><td colspan="5">Permutation des palettes</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Séquences 3 et 4</td><td rowspan="3">Palette 1 en chargement déchargement

Temps t_3</td><td>Déchargement de la pièce $i-1$, du porte-pièce phase 30 vers la table</td><td rowspan="3">Palette 2 en usinage

Temps t_4</td><td rowspan="3">Usinage de la pièce $i-2$ en phase 40</td></tr>
<tr><td>Déchargement de la pièce i, du porte-pièce phase 20 et chargement sur le porte-pièce de la phase 30</td></tr>
<tr><td>Chargement d'une pièce brute, du poste d'entrée vers le porte-pièce de la phase 20</td></tr>
<tr><td colspan="5">Permutation des palettes</td></tr>
<tr><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td></tr>
</table>

Les temps sont tels que $t_1 > t_4 > t_3 > t_2$. Le temps de permutation des deux palettes est noté t_p.

Q 1. Donner l'expression du temps de cycle, t_{cy} (temps entre la sortie de deux pièces finies consécutives, en mode de production continue) de ce système d'usinage.

I Validation de quelques solutions technologiques

I.A – Dimensionnement du modulateur d'énergie de l'électrobroche

Objectif

Dimensionner le modulateur d'énergie permettant d'alimenter le moteur de la broche en respectant les caractéristiques demandées.

Les données de cette étude sont :
- moteur asynchrone triphasé de puissance mécanique nominale 35 kW ;
- nombre de paires de pôles $p = 1$;
- fréquence (ou vitesse) de rotation maximale $N_{\max} = 24\,000$ tr·min^{-1} ;
- pour la zone de fonctionnement à couple maximal constant (voir figure 9), la fréquence est telle que $f \leqslant 150$Hz et U/f constant. À $f = 150$ Hz, on a $U = 400$ V ;
- pour la zone de fonctionnement dite à puissance maximale constante, on a $U = 400$ V pour $f > 150$ Hz ;
- à la puissance mécanique nominale, le rendement du moteur est $\eta = 92\%$ et son facteur de puissance $\cos\varphi = 0{,}85$ (supposés indépendants de la vitesse).

Q 2. Quelle est la vitesse de rotation du champ tournant correspondant à la fréquence d'alimentation $f = 150$ Hz ?

Lors d'un fonctionnement à puissance mécanique nominale, à vitesse maximale de rotation, 40% des pertes représentent les pertes Joule rotor (notées p_{JR}) tandis que les pertes Joule stator (p_{JS}), les pertes fer stator (p_{FS}) et les pertes mécaniques (p_m), sont égales chacune à 20% des pertes.

Q 3. Déterminer la valeur efficace des courants statoriques dans ces conditions.

Q 4. Déterminer les valeurs du glissement, de la vitesse de synchronisme et en déduire la fréquence des courants et tensions statoriques.

Dans certaines phases de fonctionnement (phases d'accélération de la broche), on admet un courant de valeur efficace double de cette valeur.

BY-NC-SA

Q 5. Conclure par un résumé des caractéristiques attendues du modulateur d'énergie.

I.B – Compensation du poids sur l'axe Y

Objectif

Valider la solution choisie pour la compensation de poids de l'axe Y par vérin pneumatique et définir ses limites.

L'axe Y étant vertical, le poids de l'ensemble {broche ; chariot Z ; chariot Y} ne peut pas être transmis par l'intermédiaire du guidage en translation de direction $(\vec{y}_0)$. Pour éviter que le moteur délivre des efforts, y compris pour maintenir le chariot Y en position, le constructeur a placé un vérin pneumatique alimenté par une réserve d'air comprimé d'un volume de 150 L, permettant d'équilibrer ce poids. Ce vérin est nommé vérin d'équilibrage de l'axe Y sur le croquis éclaté de la figure 10.

Le schéma du circuit pneumatique est donné figure 3.

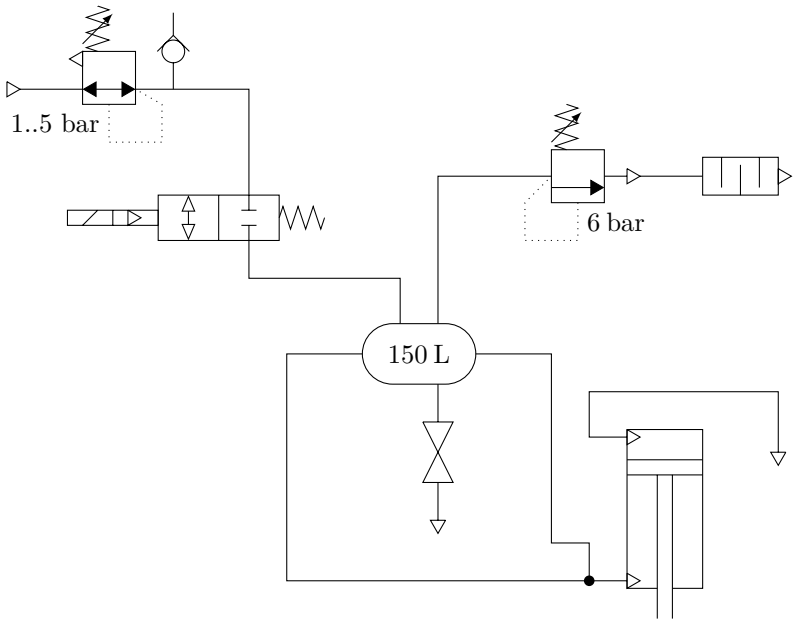


Figure 3

Le corps du vérin est lié au chariot X et l'extrémité de la tige au chariot Y. Les caractéristiques du vérin sont :
- diamètre de cylindre, $d_{\text{cyl}} = 125$ mm ;
- diamètre de la tige de vérin, $d_{\text{tige}} = 32$ mm ;
- course, $c = 700$ mm.

Hypothèses de l'étude :
- le mouvement étudié est tel que seul l'axe Y est en mouvement ;
- tous les efforts sont représentés par des glisseurs colinéaires et de direction $\vec{y}_0$;
- la résistance au mouvement dans la liaison glissière est représentée par un glisseur de résultante $\overrightarrow{F_r} = \pm F_r \vec{y}_0$ selon le sens de déplacement (montée ou descente), $F_r = 500$ N ;
- la poussée du moteur linéaire est nommée $\overrightarrow{F_m} = F_m \vec{y}_0$; on note F_{m1} la poussée dans le sens de la montée et F_{m2} la poussée dans le sens de la descente ;
- la masse de l'ensemble en translation est notée $M_y = 470$ kg.

Le constructeur de la machine impose que l'actionneur soit en phase motrice (et non réceptrice) pour la montée et la descente.

Q 6. Le dispositif de compensation de poids étant actif et correctement réglé, montrer, en faisant un bilan des efforts appliqués, que l'actionneur de l'axe Y est sollicité de la même manière que les actionneurs des axes X et Z.

Q 7. Pourquoi le vérin pneumatique d'équilibrage est-il alimenté par l'intermédiaire d'une réserve d'air comprimé ?

Q 8. Proposer une autre solution d'équilibrage statique pour le chariot Y en donnant un avantage et un inconvénient par rapport à la solution retenue.

L'équilibre statique entre la poussée du vérin d'équilibrage et le poids de l'ensemble en translation est obtenu, chariot à l'arrêt.

Q 9. Calculer, dans ce cas, la pression théorique nécessaire dans le réservoir en cas d'équilibre.

BY-NC-SA

Cette pression est réglée par l'intermédiaire du régleur de pression situé à l'entrée de ce circuit pneumatique. Le réglage de la pression est affiné par l'observation du courant d'alimentation du moteur lors du maintien en position du chariot Y. L'erreur tolérée correspond à un écart de pression de 0,01 bar ($1\,\text{bar} = 1 \times 10^5$ Pa).

Q 10. Calculer la variation de l'effort de poussée associée à cet écart de pression, dans le cas de mouvements de montée et descente à vitesse lente pour lesquels les quantités d'accélération peuvent être négligées.

Q 11. Que se passera-t-il lorsque le distributeur 2×2 placé juste avant le réservoir se ferme alors que le moteur n'est plus alimenté ? Calculer le déplacement éventuel du chariot Y (on pourra accepter pour simplifier l'étude que l'air se comporte selon la loi $PV =$ constante, P la pression et V le volume compris alors dans cette enceinte fermée). Ce déplacement pose-t-il problème dans ce cas ?

I.C – Mise en mouvement du chariot X

L'actionneur utilisé pour mettre en mouvement la chaine fonctionnelle associée à l'axe X utilise un moteur synchrone linéaire. Le « primaire » (équivalent du stator du moteur rotatif) est bobiné et fixé sur la partie mobile. Le « secondaire » (équivalent du rotor du moteur rotatif) est constitué d'aimants permanents et lié à la partie fixe. Les performances en poussée, vitesse et accélération sont données figure 9.

Q 12. Montrer, qualitativement, un avantage et un inconvénient de cette solution constructive par rapport à la solution classique qui utiliserait un moteur synchrone rotatif et un transmetteur de type système vis-écrou à billes.

II Qualité géométrique des surfaces usinées

La qualité géométrique des pièces usinées est influencée par de nombreux paramètres lors de l'usinage.

Objectif

Analyser l'influence de deux d'entre eux : la déformation sous charge de l'outil lors d'un fraisage et la variation de température de la broche.

II.A – Déformation de l'outil sous charge

L'opération étudiée est un fraisage dans les conditions suivantes :

- fraise à surfacer et dresser de diamètre $d_{f2} = 25$ mm ;
- dimensions de la fraise et de son attachement sur la broche données figure 4 ;
- modèle simplifié de mécanique des structures donné figure 4, avec un effort $\overrightarrow{F}_{\text{pièce/outil}} = F_{\text{pièce/outil}}\vec{x}_0$ supposé de direction fixe par rapport au bâti et tel que $F_{\text{pièce/outil}} \approx 300$ N. Seules les déformations de la partie de la fraise de petit diamètre sont prises en compte.

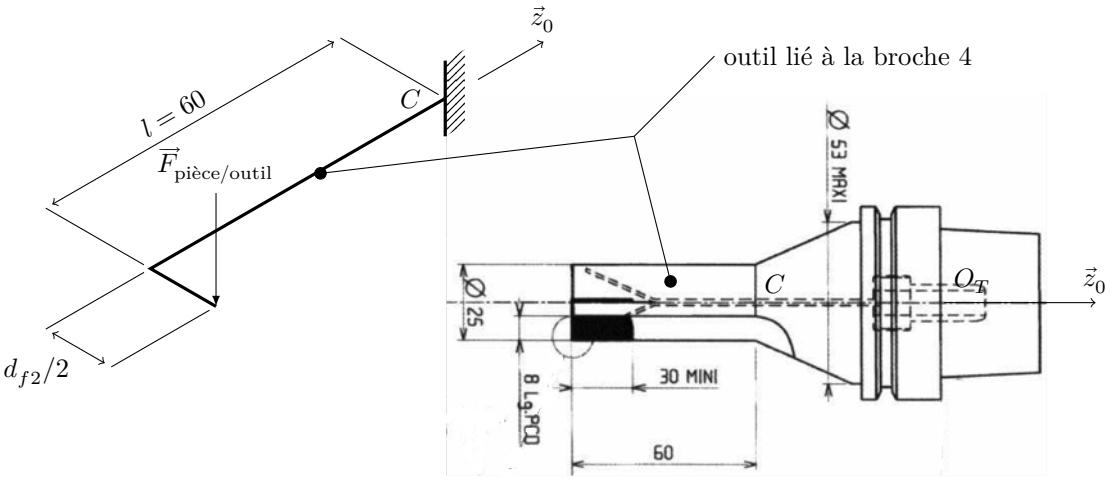


Figure 4

Q 13. Définir les noms des sollicitations pour le tronçon d'outil étudié de longueur l.

Q 14. Calculer la contrainte normale maximale dans ce tronçon en supposant que le tronçon étudié est assimilable à un cylindre de diamètre moyen $d_{\text{moyen}} = 20$ mm.

Q 15. Le module de Young E sera pris égal à 210 GPa. Calculer la flèche maximale à l'extrémité de l'outil. Conclure sur la prise en compte ou non de ce défaut.

II.B – Variations de température de la broche, nécessité d'un refroidissement

L'ensemble des pertes dans le moteur électrique mettant en mouvement la broche se traduit principalement par un échauffement de son stator et de son rotor. Pour des raisons de simplicité, seul le stator de l'électrobroche est refroidi par une circulation d'eau dont la température est régulée.

BY-NC-SA

Le guidage en rotation de la broche par rapport au chariot Z est réalisé par deux paires de roulements à billes à contacts obliques montés en « O » avec précharge axiale. Une modélisation très simplifiée de ce guidage est donnée par le schéma cinématique figure 5.

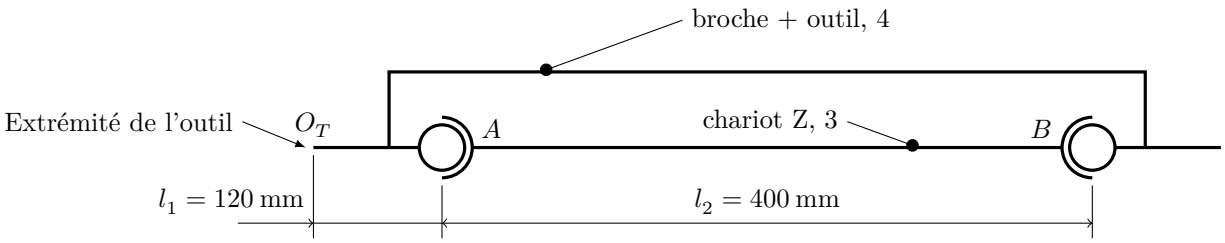


Figure 5

La broche est assimilée à un cylindre homogène en acier de diamètre d_b dont le coefficient de dilatation linéique moyen vaut $\alpha_{\text{moyen}} = 1{,}2 \times 10^{-5}\ °C^{-1}$.

Q 16. Calculer l'allongement de la partie de la broche située entre les points O_T et A pour une élévation de température $\Delta\theta = 30\ °C$. Quelle est la conséquence de cet allongement sur la qualité géométrique de la pièce usinée ?

Q 17. Calculer l'allongement de la partie de la broche située entre les points A et B. Quelle sera la conséquence de cet allongement sur la qualité du guidage en rotation de la broche ?

III Refroidissement de l'électrobroche

Objectif

Valider le dimensionnement du dispositif de régulation de la température de l'électrobroche dont la partie précédente a montré la nécessité, réaliser l'identification des différentes fonctions de transfert de la boucle de régulation pour déterminer le réglage du correcteur.

Le refroidissement de l'électrobroche est assuré par une circulation d'un liquide autour de son stator. Le liquide de refroidissement est stocké dans un bac à la température régulée de 22 °C. Il est injecté dans le stator et en ressort à la température θ_s. Afin de maintenir le stator à la température de 24 °C, on régule la température θ_s à cette valeur par action sur le débit volumique (noté Q) de liquide de refroidissement. Le débit Q est rendu variable grâce à une pompe entrainée à vitesse variable par un moteur asynchrone associé à un modulateur d'énergie générant des tensions statoriques à fréquence réglable.

La capacité thermique massique du liquide de refroidissement est $c = 4{,}18\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ sa masse volumique $\rho = 1000\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

III.A – Dimensionnement de la pompe

L'ensemble des pertes de l'électrobroche est dissipé en chaleur et doit être évacué par le liquide de refroidissement.

Pendant une durée $\mathrm{d}t$, le volume $\mathrm{d}V$ de liquide de refroidissement entre dans le circuit de refroidissement à la température θ_e tandis que le même volume en sort à la température θ_s.

Q 18. Déterminer l'expression de l'énergie thermique $\mathrm{d}W_{th}$ fournie par l'électrobroche au liquide de refroidissement pendant la durée $\mathrm{d}t$ en fonction de c, ρ, θ_e, θ_s et $\mathrm{d}V$. En déduire l'expression de la puissance thermique P_{th} transmise, pendant ce temps $\mathrm{d}t$, par l'électrobroche au liquide de refroidissement en fonction de c, ρ, θ_e, θ_s et Q.

Q 19. Déduire de l'expression de P_{th} précédente l'expression de θ_s en fonction de P_{th}, c, ρ, θ_e et Q.

Cette relation est appelée par la suite, relation $\theta_s = f(P_{th}, Q)$.

La puissance maximale que doit évacuer le liquide de refroidissement est évaluée à 3000 W en régime continu.

Q 20. Déterminer numériquement le débit maximal (noté Q_m) nécessaire pour assurer le refroidissement de l'électrobroche, en unité légale puis en $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$.

Pour la suite du problème, on prendra $Q_m = 20{,}8\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$.

III.B – Dimensionnement du moteur d'entrainement de la pompe

Les caractéristiques hydrauliques de la pompe et de l'électrobroche sont données figure 6 :

- les caractéristiques en traits pleins représentent pour différentes vitesses du moteur d'entrainement de la pompe, la variation de la différence de pression entre l'admission et le refoulement de la pompe (notée ΔP) en fonction du débit de la pompe (noté Q) ;
- la caractéristique en traits pointillés représente la différence de pression du fluide entre l'entrée et la sortie du circuit de refroidissement de l'électrobroche en fonction du débit de ce fluide.

BY-NC-SA

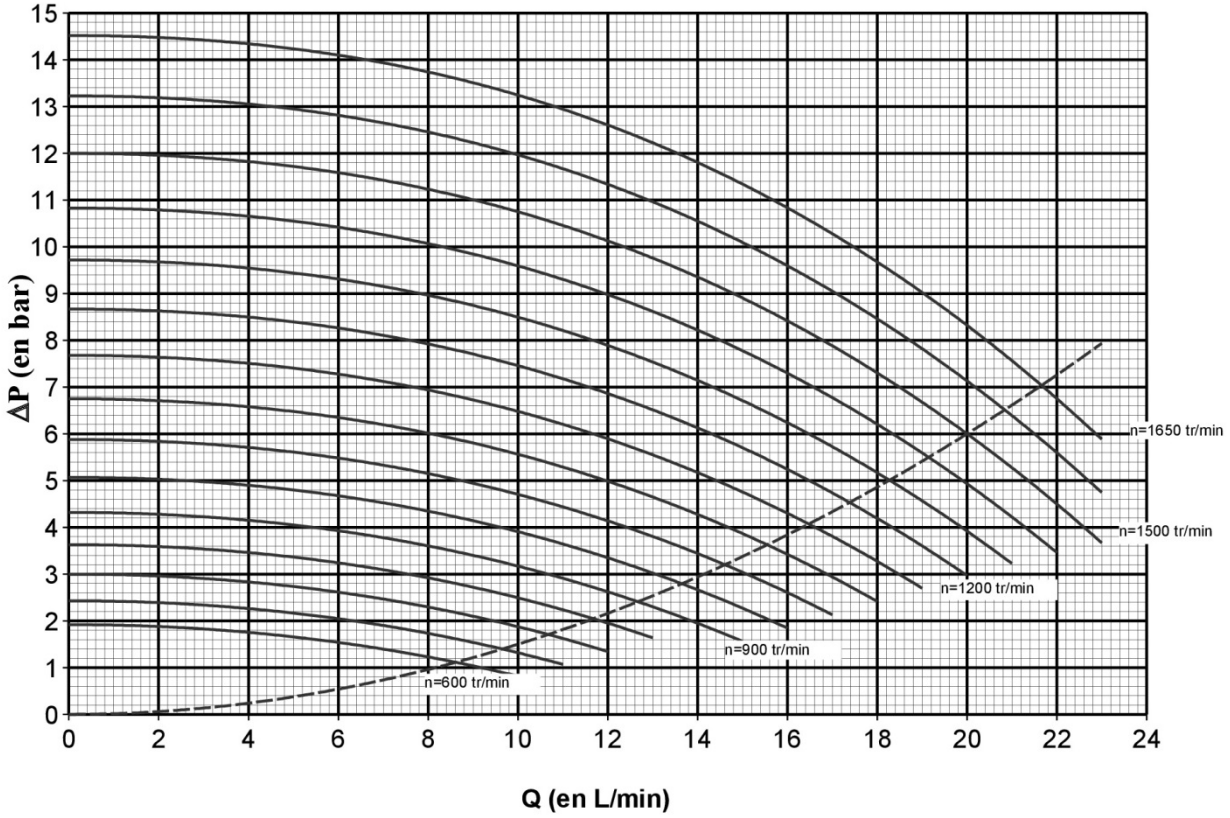


Figure 6 Caractéristique de la pompe (traits pleins, vitesse moteur de 600 à 1650 tr/min par pas de 75) – Caractéristique de l'électrobroche (traits pointillés)

Q 21. Déterminer, pour le débit Q_m, la différence de pression entre l'admission et le refoulement de la pompe.

On rappelle que la puissance fournie par la pompe au fluide est définie par, $P_{pf} = \Delta P\, Q$ où ΔP et Q sont exprimés en unités légales (respectivement en Pa et en $m^3 \cdot s^{-1}$).

Le rendement de la pompe est au moins $\eta_{pp} = 45\%$, le rendement du système d'entrainement de la pompe $\eta_{\text{ent}} = 90\%$.

Q 22. Déterminer la puissance fournie par la pompe au fluide puis la puissance mécanique maximale (notée $P_{\text{pm max}}$) que doit fournir le moteur de la pompe et la vitesse à laquelle cette puissance est demandée.

III.C – Réglage de la boucle de régulation de température

On s'intéresse au fonctionnement de cette boucle de régulation autour du point de fonctionnement correspondant à la pleine puissance de la broche. Dans un premier temps, il faut établir le schéma bloc de la boucle étudiée et donc déterminer les fonctions de transfert des différents blocs rencontrés.

III.C.1) Réglage de la température de sortie de fluide

La relation $\theta_s = f(P_{th}, Q)$ a été établie précédemment. Cette relation ne tient compte que des régimes établis, elle ne prend pas en compte les constantes de temps et les retards du procédé. Le régime établi correspond à un fonctionnement pour lequel la puissance P_{th} à évacuer est constante (de valeur $P_{th0} = P_{thm}$), le débit de fluide de refroidissement constant également (de valeur $Q_0 = Q_m$) et la température de sortie $\theta_s = 24\,°\text{C}$ tandis que $\theta_e = 22\,°\text{C}$.

Objectif

Déterminer comment la température de sortie θ_s est affectée par une variation de la puissance P_{th} ou par une variation du débit Q.

Q 23. À partir de la relation $\theta_s = f(P_{th}, Q)$, en supposant $Q = Q_0 =$ constante, exprimer $\mathrm{d}\theta_s$ en fonction de $\mathrm{d}P_{th}$. Mettre cette relation sous la forme $\mathrm{d}\theta_s = k_1\, \mathrm{d}P_{th}$ et calculer numériquement k_1 pour le point de fonctionnement choisi.

Q 24. À partir de la relation $\theta_s = f(P_{th}, Q)$, en supposant $P_{th} = P_{th0} =$ constante exprimer $\mathrm{d}\theta_s$ en fonction de $\mathrm{d}Q$. Mettre cette relation sous la forme $\mathrm{d}\theta_s = k_2\, \mathrm{d}Q$ et calculer numériquement k_2 pour le point de fonctionnement choisi.

On considère que l'on peut écrire alors, en régime statique, $\theta_s(p) = k_1 P_{th}(p) + k_2 Q(p)$. En régime dynamique, il faut également tenir compte des phénomènes de propagation et d'inertie thermiques.

BY-NC-SA

On a alors : $\theta_s = k_1 P_{th}(p)\dfrac{e^{-T_{R1}p}}{1+\tau_1 p} + k_2 Q(p)\dfrac{e^{-T_R p}}{1+\tau p}$.

Pour la suite du problème, on prendra les valeurs numériques suivantes, $k_1 = 7{\times}10^{-4}\text{K}{\cdot}\text{W}^{-1}$, $k_2 = -0{,}1\text{K}{\cdot}\text{L}^{-1}{\cdot}\text{min}$, $\tau = 25$ s et $T_R = 5$ s.

III.C.2) Réglage du débit de la pompe

Objectif

Déterminer la fonction de transfert $H_{\text{pom}}(p) = Q(p)/N(p)$.

Cette fonction de transfert, où Q est exprimé en $\text{L}{\cdot}\text{min}^{-1}$ et N, vitesse de rotation du moteur de pompe, en $\text{tour}\cdot\text{min}^{-1}$ est considérée comme un réel positif et on peut écrire $H_{\text{pom}}(p) = H_{\text{pom}}$ où H_{pom} est exprimé en litres.

Q 25. Autour du point de fonctionnement étudié correspondant à un débit $Q_m = 20{,}8\ \text{L}{\cdot}\text{min}^{-1}$, à quelle variation de débit ΔQ correspond une variation ΔN de N de $75\,\text{tour}\cdot\text{min}^{-1}$? En déduire la fonction de transfert $H_{\text{pom}}(p)$.

Q 26. Cette fonction de transfert dépend-elle du point de fonctionnement choisi ? Justifier votre réponse.

III.C.3) Schéma bloc de la boucle de régulation de température

La régulation de température est assurée par un bloc de traitement numérique. La consigne vitesse moteur est transmise au variateur par une liaison série. Le nombre N_c, transmis sur 12 bits, correspond à la vitesse moteur en tours par minute. Le nombre M_θ est le codage sur 12 bits de la température de sortie du fluide de refroidissement. Une température de 0 °C est codée par le nombre $(0000\,0000\,0000)_2$, une température de 100 °C est codée par $(1111\,1111\,1111)_2$. $C(p)$ est la fonction de transfert du correcteur numérique de la boucle de régulation.

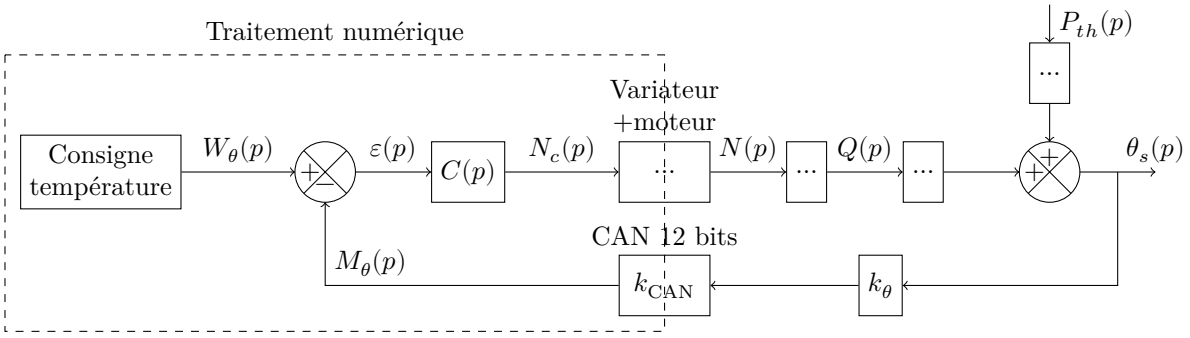


Figure 7 Schéma bloc régulation de température

Q 27. Reproduire sur la feuille de copie et compléter le schéma bloc de la figure 7, par des expressions littérales quand elles ont été définies ou par des valeurs numériques.

Q 28. Déterminer la valeur du produit $k_\theta k_{\text{CAN}}$.

Q 29. Déterminer, en hexadécimal et en décimal, la valeur de M_θ correspondant à la température de 24 °C attendue.

Q 30. Quelle est la résolution de la mesure de température réalisée ?

Q 31. Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte $T(p)$ (pour $P_{th} = 0$). Mettre cette fonction sous la forme $T(p) = \alpha C(p)\dfrac{e^{-T_R p}}{1+\tau p}$ et exprimer littéralement puis numériquement la valeur du réel α.

Pour la suite du problème, on considère $\alpha = -0{,}045$.

III.C.4) Réglage du correcteur

On opte pour un correcteur de fonction de transfert $C(p) = K_{co}\dfrac{1+T_{co}p}{T_{co}p}$ pour lequel le terme K_{co} est négatif.

Q 32. Pourquoi le terme K_{co} est-il négatif ? De quel type de correcteur s'agit-il et quel apport en attend-on dans cette boucle de régulation de température ?

La stratégie de réglage adoptée consiste à choisir $T_{co} = \tau$ et à régler le terme K_{co} de manière à avoir une marge de phase de 60°.

Q 33. Déterminer la pulsation ω_{60} pour laquelle $\text{Arg}(\underline{T}(j\omega_{60})) = -120°$.

Q 34. Déterminer la valeur de K_{co} qui donnera au système la marge de phase désirée.

Pour la suite du problème et quelle que soit la valeur déterminée, on prendra $K_{co} = -60$.

III.C.5) Réalisation de la correction

La température est relevée avec une période d'échantillonnage notée T_e. On donne $T_e = 0{,}5$ s.

BY-NC-SA

Après chaque acquisition de température, une consigne vitesse est transmise au variateur de vitesse. On notera $\{N_{ck}\}$ la suite des valeurs de consigne vitesse générées, $\{M_{\theta k}\}$ la suite des valeurs de température relevées et $\{\varepsilon_k\}$ la suite des valeurs de $\varepsilon(t)$ calculées. On suppose enfin que le bloc « consigne de température » génère la suite $\{W_k\}$. La température de sortie souhaitée étant constante, les W_k sont tous égaux à la valeur correspondant à 24 °C déterminée à la question précédente.

Q 35. Déduire de la fonction de transfert $C(p)$, l'équation différentielle liant $N_c(t)$ et $\varepsilon(t)$.

Q 36. En considérant que l'expression $\dfrac{g_k - g_{k-1}}{T_e}$ constitue une expression numérique approchée de la dérivée de $g(t)$ à l'instant kT_e, déterminer l'équation de récurrence permettant de calculer N_{ck} en fonction de N_{ck-1}, ε_k et ε_{k-1}. La mettre sous la forme $N_{ck} = \lambda_1 N_{ck-1} + \mu_0 \varepsilon_k + \mu_1 \varepsilon_{k-1}$ et calculer numériquement les coefficients λ_1, μ_0 et μ_1.

La réponse à une augmentation de consigne de 1 °C, à $t = 0$, suivie d'une variation de puissance à dissiper de 500 W à $t = 80$ s a donné le résultat de la figure 8.

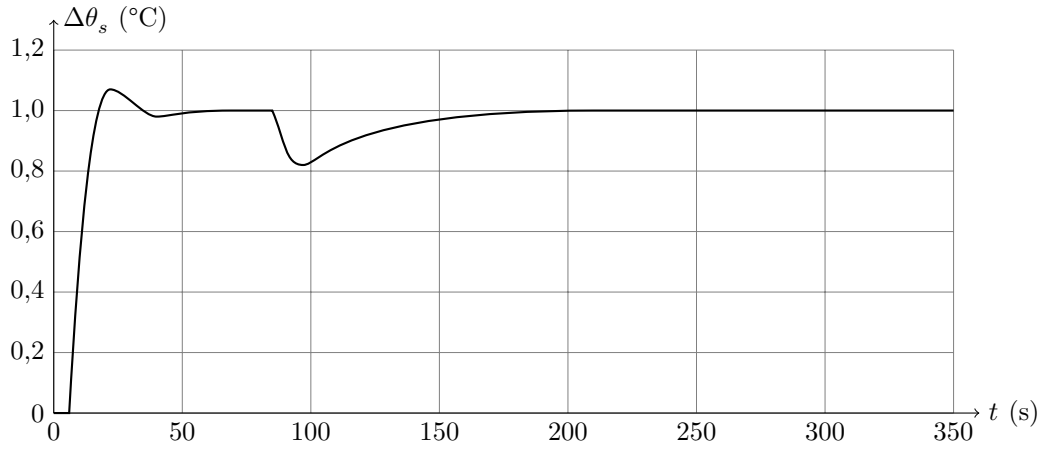


Figure 8 Réponse en température

Q 37. La correction calculée a-t-elle l'effet attendu ? Comment peut-on limiter la variation de température due à une augmentation de la puissance thermique à dissiper ?

IV Bilan de l'étude

La qualité géométrique des surfaces usinées a été un des paramètres de choix de cette machine.

Les questions 16 et 17 ont montré la nécessité d'un refroidissement pour garantir cette qualité. L'étude précédente a abordé une première étape consistant à refroidir le stator de la broche.

Q 38. Cette première action vous semble-t-elle suffisante pour maitriser la température au niveau de la partie active de l'outil et du guidage en rotation du rotor ?

Q 39. Quels autres constituants de la machine pourraient avoir une importance non négligeable sur la qualité géométrique des surfaces usinées ?

BY-NC-SA

Broche	Puissance moteur	$P_b = 35\,\text{kW}$
	Couple maximal	$C_b = 37\,\text{N·m}$ jusqu'à $9000\,\text{tr·min}^{-1}$
	Fréquence de rotation maximale	$N_b = 24\,000\,\text{tr·min}^{-1}$
	Arrosage des outils	par le centre
	Lubrification des roulements	air-huile
	Entrainement direct de la broche par le moteur	
Axe X	Course	800 mm
Axe Y	Course	700 mm
Axe Z	Course	400 mm
Axes X, Y et Z	Poussée maximale	$F_a = 4400\,\text{N}$
Axes X, Y et Z	Vitesse maximale	$V_{f\,\text{maxi}} = 1{,}33\,\text{m·s}^{-1}$
Axes X et Y	Accélération	$\ddot{x} = \ddot{y} = 10\,\text{m·s}^{-2}$
Axes Z	Accélération	$\ddot{z} = 15\,\text{m·s}^{-2}$

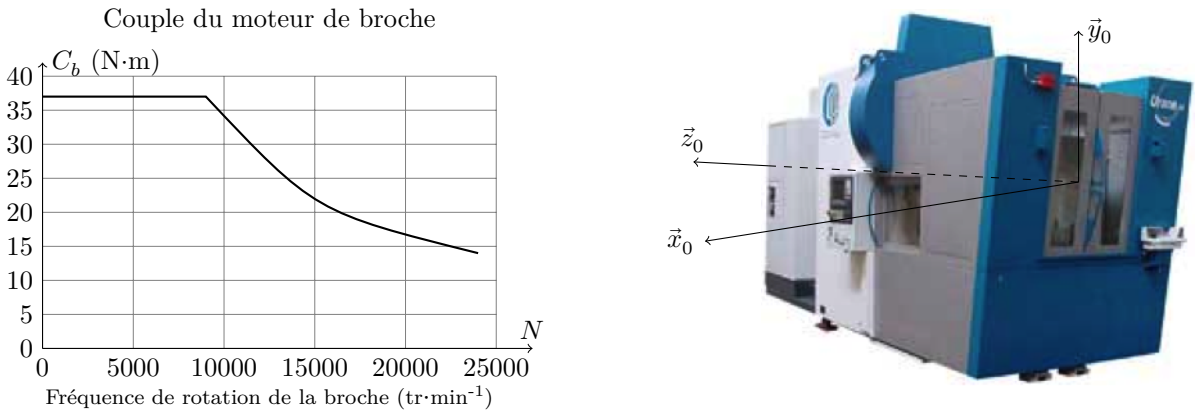


Figure 9 Caractéristiques

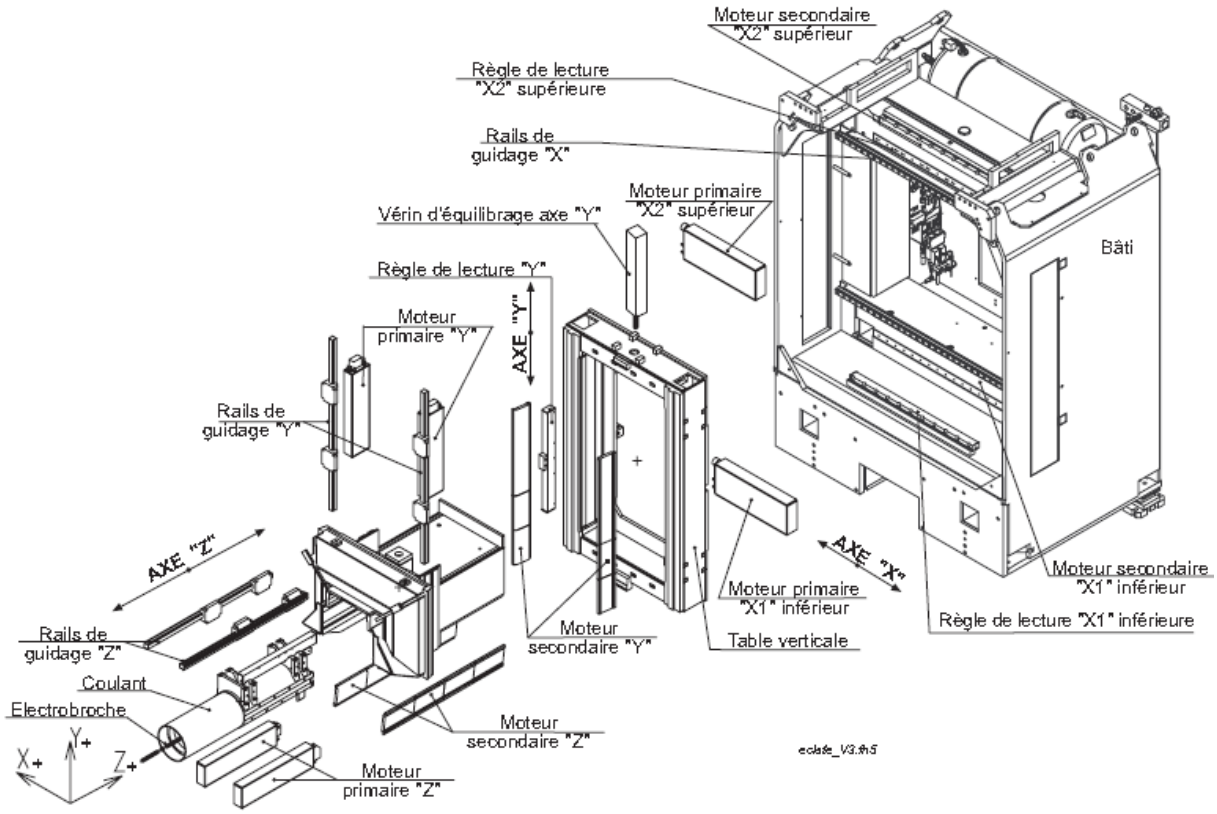


Figure 10 Vue éclatée de la machine pour les axes X, Y et Z

BY-NC-SA

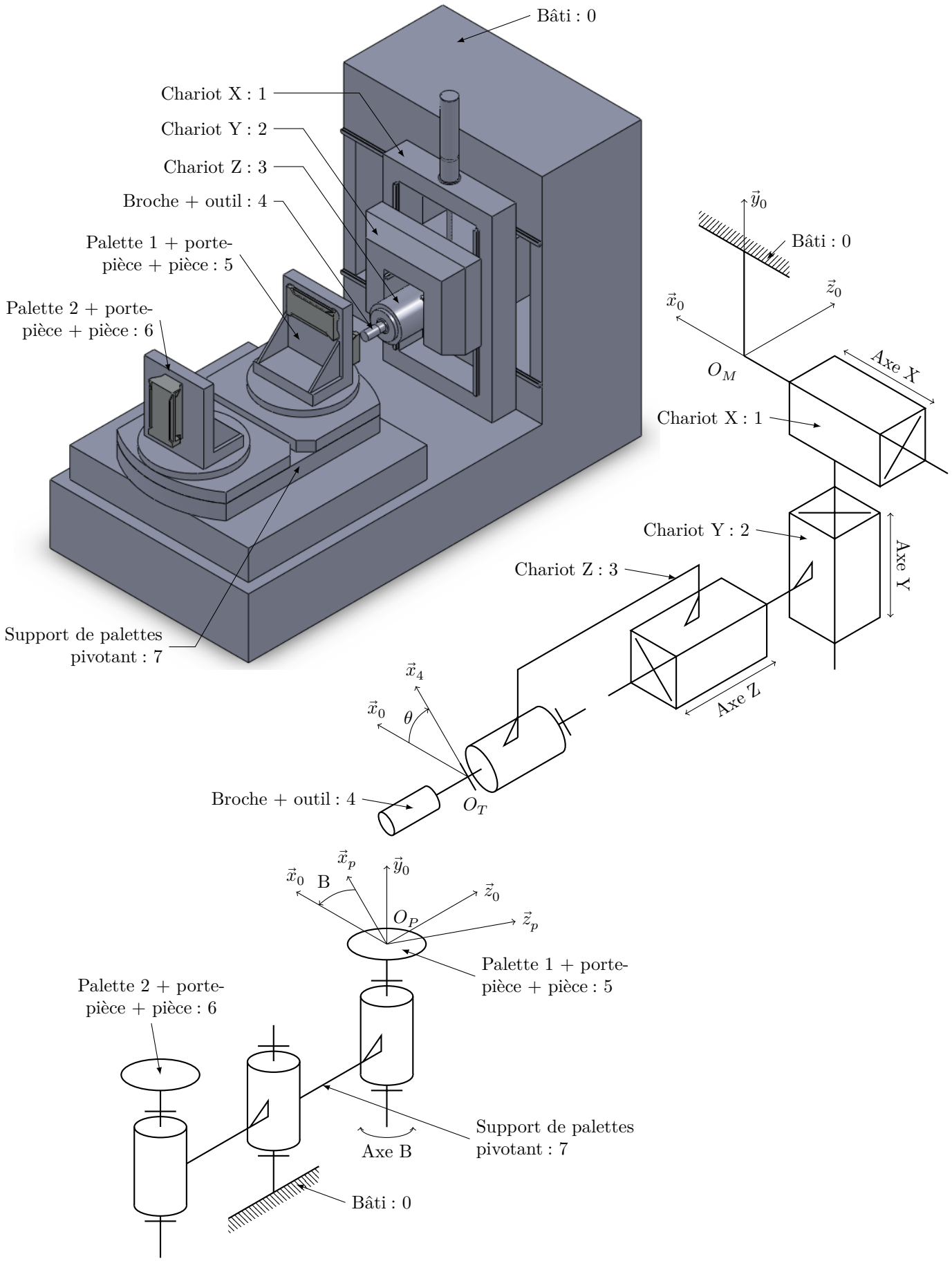


Figure 11 Maquette de la machine et schéma cinématique

• • • FIN • • •

BY-NC-SA

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de TSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement
- Simplification d'un modèle : linéarisation, non-linéarités, pôles dominants, validité
- Correction des systèmes asservis : correcteurs P, PI et à avance de phase
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité
- Architecture de l'ordinateur et représentation des nombres

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière :
écrire sur WhatsApp

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/centrale/tsi