

UNIVERSITÉ DE SFAX

A.U : 2017/2018

* * * * *

Institut Préparatoire aux Études
d'Ingénieur de Sfax

Le 04/05/2018

Examen de fin du deuxième semestre

Le sujet Comporte trois parties indépendantes qui seront traitées sur des feuilles séparées :

- Partie A1 : Mécanique des Solides Indéformables
- Partie A2 : Résistance Des Matériaux
- Partie B : Automatique (Devoir de Contrôle)

Toute documentation autre que celle fournie est interdite

Partie A1 : Mécanique des Solides Indéformables

Étude d'une Échelle Pivotante Automatique à commande Séquentielle

Une E.P.A.S. est une Échelle Pivotante Automatique à commande Séquentielle. Ce système est monté sur le châssis d'un camion de pompiers et permet de déplacer une plate-forme pouvant recevoir deux personnes et un brancard le plus rapidement possible et en toute sécurité.



L'étude porte sur les trois parties suivantes :

- Commande des vérins
- Dimensionnement des vérins
- Étude du système de déploiement de l'échelle

Présentation de l'E.P.A.S.

Le déplacement de la plate-forme est réalisé suivant trois axes :

- ★ Le déploiement du parc échelle (axe 1) : chaque plan de l'échelle peut se translater par rapport aux autres ; seul le quatrième plan d'échelle est solidaire du berceau.
- ★ Le pivotement autour de l'axe Y (axe 2) : la tourelle 1 peut pivoter par rapport au châssis autour d'un axe vertical.
- ★ La rotation autour de l'axe Z (axe 3) : le berceau peut tourner par rapport à la tourelle 2 autour d'un axe horizontal.

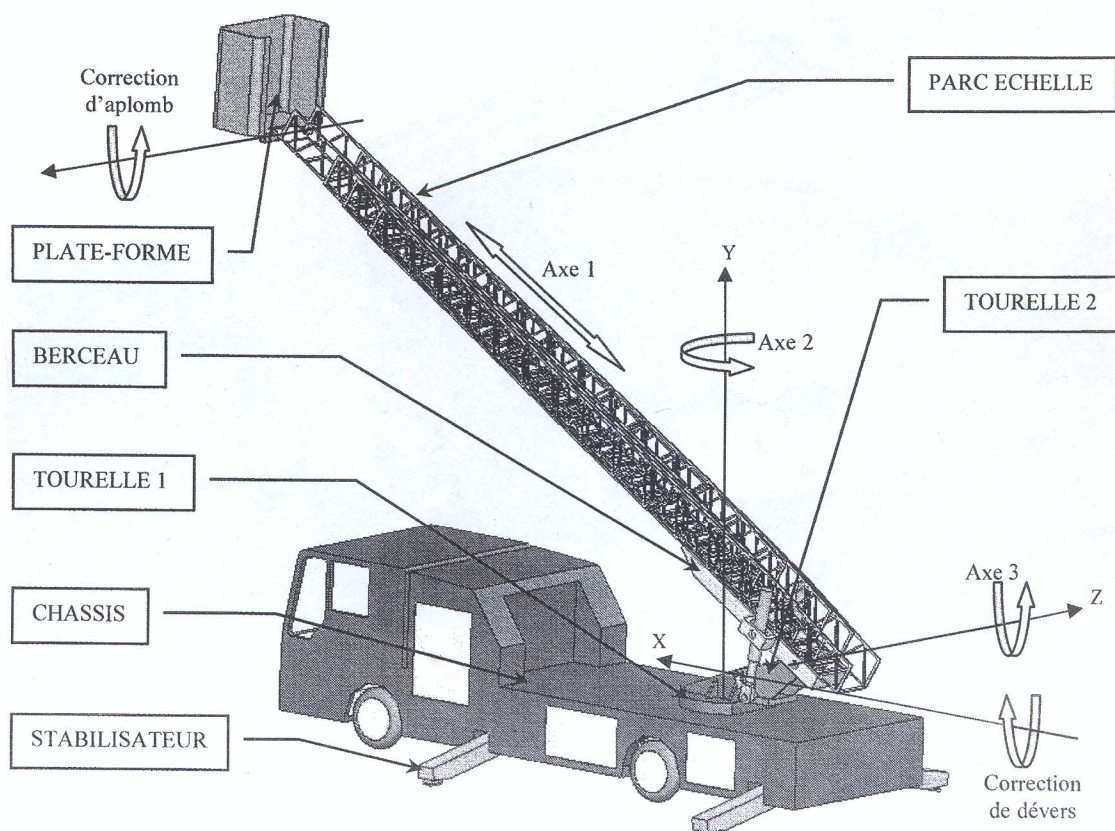
Pour garantir la sécurité, le système maintient toujours la plate-forme en position horizontale :

- ★ La correction d'aplomb oriente la plate-forme autour d'un axe horizontal parallèle à l'axe Z.
- ★ La correction de dévers oriente l'ensemble parc échelle et plate-forme autour de l'axe X : la tourelle 2 s'oriente par rapport à la tourelle 1 suivant un axe perpendiculaire aux axes 3 et 2.

Lors des déplacements suivant les axes 2 et 3, le système « VARIMAX » de commande des actionneurs maintient la vitesse de la plate-forme la plus constante possible afin de limiter les mouvements de balancier qui résulteraient d'une commande trop « brusque ».

Un système de sécurité peut, à tout moment, stopper le déplacement de la plate-forme s'il y a un risque de basculement du camion porteur :

- Des capteurs d'efforts placés sur le parc échelle permettent de tenir compte de la charge dans la plate-forme.
- Des capteurs de position sur les trois axes permettent de définir la position de la plate-forme.
- Des capteurs inductifs détectent la position de sortie des stabilisateurs.



I. Commande des vérins

L'objet de cette partie est de déterminer la commande que le système « VARIMAX » doit élaborer pour que la vitesse de déplacement de la plate-forme soit constante lors du dressage ou de l'abaissement.

Pendant la phase de dressage, les tourelles 1 et 2 sont fixes par rapport au châssis du camion ; seul le berceau pivote autour de l'axe A, entraînant avec lui le parc échelle et la plate-forme. Ce mouvement est obtenu grâce aux vérins hydrauliques articulés en B et C avec la tourelle 2 et le berceau.

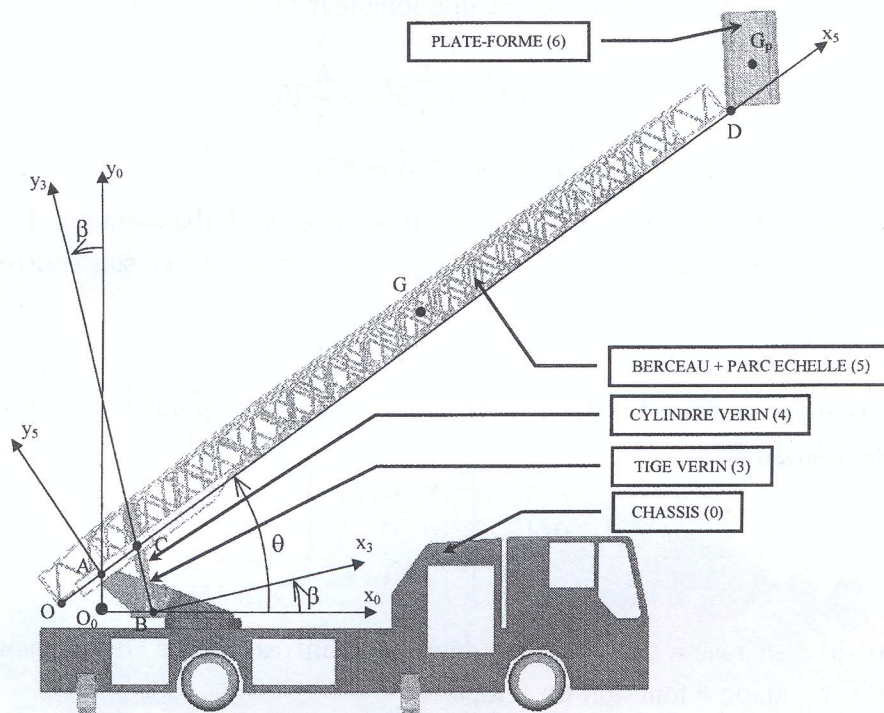
On propose le paramétrage suivant :

- Le repère galiléen $R_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est lié au châssis (0) ;
- Le repère $R_5(A, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_5)$ est lié à l'ensemble berceau+parc échelle (5) ;
- Le repère $R_3(B, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ est lié au vérin (3+4) ;

avec :

$$\overrightarrow{O_0A} = a\vec{y}_0 ; \overrightarrow{AC} = c\vec{x}_5 ; \overrightarrow{AD} = H\vec{x}_5 \text{ et } \theta = (\vec{x}_0, \vec{x}_5) \text{ où } a, c \text{ et } H \text{ sont des constantes.}$$

$$\overrightarrow{O_0B} = b\vec{x}_0 , \overrightarrow{BC} = r\vec{y}_3 \text{ et } \beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_3) \text{ où } b \text{ est une constante.}$$



Question I.1. Exprimer la vitesse du point D du parc échelle dans son mouvement par rapport au châssis : $\vec{V}(D \in 5/0)$ en fonction de la vitesse angulaire de dressage $\dot{\theta}$ et des paramètres géométriques.

Question I.2. En faisant une fermeture de chaîne cinématique ((0-1-2)-3-4-5-(0-1-2)), déterminer la vitesse de sortie du vérin $\vec{V}(C \in 4/3) = v\vec{y}_3$ en fonction de la vitesse angulaire de dressage $\dot{\theta}$ et des paramètres géométriques.

Question I.3. En écrivant une fermeture de chaîne géométrique, établir la relation suivante :

$$\tan \beta = \frac{b - c \cos \theta}{a + c \sin \theta}$$

Question II.4. *Déduire des questions précédentes la vitesse de sortie v des vérins en fonction de θ et H et des constantes a, b, c pour que la vitesse du point D du parc échelle soit constante.*

II. Dimensionnement des vérins

L'objet de cette partie est de déterminer la taille des vérins à utiliser dans cette chaîne fonctionnelle. On tiendra compte dans cette partie, du fait que la plate-forme reste toujours horizontale.

Les deux vérins doivent être capables de déplacer l'ensemble du parc échelle et la plate-forme chargée.

- * Le parc échelle (5) : on notera la matrice d'inertie du parc échelle au point G (son centre de gravité) dans la base $(\vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_0)$:

$$[I_G(5)] = \begin{bmatrix} I_{GX} & 0 & 0 \\ 0 & I_{GY} & 0 \\ 0 & 0 & I_{GZ} \end{bmatrix}_{(\vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_0)}$$

Le parc échelle a une masse notée $3m$ et une longueur notée L . Son centre de gravité G est tel que :

$$\overrightarrow{OG} = \frac{L}{2} \vec{x}_5 + \frac{h}{3} \vec{y}_5$$

Le parc échelle est solidaire du berceau avec $\overrightarrow{OA} = d\vec{x}_5$.

- * La plate-forme chargée (6) : pendant le redressement ou l'abaissement, la plate-forme reste toujours horizontale. Sa masse, une fois chargée, sera notée M et son centre de gravité est le point G_P tel que :

$$\overrightarrow{DG_P} = \lambda \vec{x}_0 + \mu \vec{y}_0$$

On notera la matrice d'inertie de la plate-forme chargée au point G_P (son centre de gravité) dans la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$:

$$[I_{G_P}(6)] = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{bmatrix}_{(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)}$$

- * Le berceau (5) : sa masse sera négligée devant les autres masses. Il est incliné par rapport à l'horizontal d'un angle θ fonction du temps.
- * Les vérins (3+4) : leurs masses seront négligées devant les autres masses. Ils devront exercer un effort, modélisé par un glisseur de résultante $\vec{R} = R\vec{y}_3$, permettant le déplacement θ .

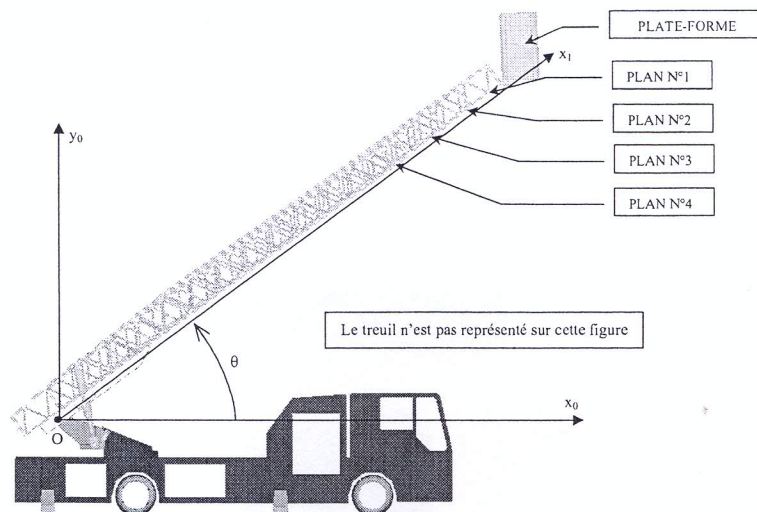
Question II.1. *Déterminer l'expression du moment dynamique en A de l'ensemble parc échelle + berceau (5) par rapport au châssis (0) : $\delta_A(5/0)$.*

Question II.2. *Déterminer l'expression du moment dynamique en A de la plate-forme (6) par rapport au châssis (0) : $\delta_A(6/0)$.*

Question II.3. *Isoler l'ensemble $\{5 + 6\}$ et appliquer le théorème du moment dynamique en A . Déterminer alors l'expression de l'effort R que devra fournir l'ensemble des deux vérins sur le berceau, en fonction des masses, des paramètres géométriques, de l'angle θ et de ses dérivées.*

III. Étude du système de déploiement de l'échelle

Le système de déploiement de l'échelle permet la translation de la plate-forme suivant l'axe 1.



L'objet de cette partie est de définir la puissance motrice nécessaire pour ce mouvement.

On note $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ le repère galiléen lié au châssis et $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ le repère lié au berceau.

★ Le parc échelle :

Le parc échelle est redressé d'un angle θ constant par rapport à l'horizontal. Les plans du parc échelle ont tous la même masse notée M . Leur centre de gravité sera noté G_i , i étant le numéro du plan. Chaque plan du parc échelle se translate par rapport au châssis, suivant \vec{x}_1 à une vitesse deux fois plus grande que le plan suivant :

$$\vec{V}(P \in \text{plan}(i)/R_0) = 2\vec{V}(P \in \text{plan}(i+1)/R_0)$$

Le guidage des plans les uns par rapport aux autres engendre des efforts s'opposants aux mouvements que l'on modélisera par un glisseur dont le module de la résultante sera noté F constant.

★ La plate-forme :

La plate-forme de centre de gravité G_P a une masse notée m , et se translate par rapport au châssis suivant \vec{x}_1 à une vitesse notée $V(t)$.

★ Le treuil :

Un treuil de rayon R tourne à une vitesse de rotation notée ω . Le moment d'inertie du treuil par rapport à son axe de rotation, sera noté I . Le moment du couple moteur exercé par l'ensemble moto réducteur hydraulique sera noté C .

Question III.1. Déterminer l'énergie cinétique galiléenne de la plate-forme et des quatre plans du parc échelle en fonction de $V(t)$ et des différentes masses.

Question III.2. Déterminer l'énergie cinétique galiléenne du treuil

Question III.3. Déterminer la puissance galiléenne des actions extérieures à l'ensemble $(S) = (\text{treuil} + \text{parc échelle} + \text{plate-forme})$

Question III.4. Déterminer la puissance des actions intérieures de ce même ensemble (S) .

Question III.5. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble (S) . En déduire l'expression du couple moteur nécessaire pendant la première phase de mouvement.

PARTIE B : AUTOMATIQUE

Etude de l'aplomb de la plate-forme

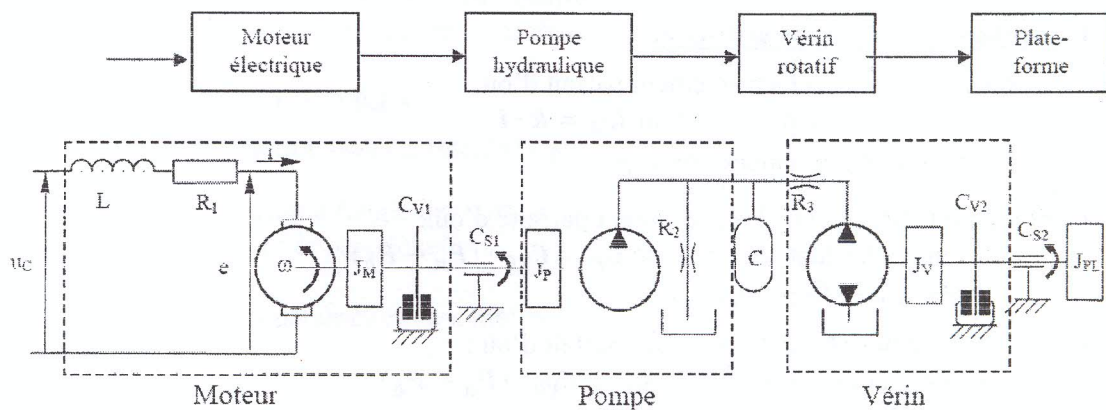
La plate-forme est prévue pour recevoir deux personnes et un brancard soit une charge d'environ 270kg. Lors des mouvements de l'échelle, la plate-forme doit rester horizontale.

L'échelle étant de longueur variable, l'utilisation de l'énergie hydraulique disponible au niveau du véhicule imposerait de raccorder la plate-forme avec des canalisations de longueur variable entre des valeurs très éloignées et avec des pertes de charges importantes.

La solution retenue est donc une chaîne d'action comportant un moteur électrique à courant continu, une pompe hydraulique et deux vérins rotatifs installés directement au niveau de la plate-forme.

Pour éviter que les mouvements de la plate-forme dûs aux flexions de l'échelle résultant de sollicitations dynamiques (entre autres, les mouvements des personnes embarquées), ne sollicite inutilement le système, la consigne provient d'un capteur donnant l'angle entre l'échelle et l'horizontale. Un potentiomètre installé au niveau de la plate-forme donne une image de l'angle qu'elle fait avec le parc échelle.

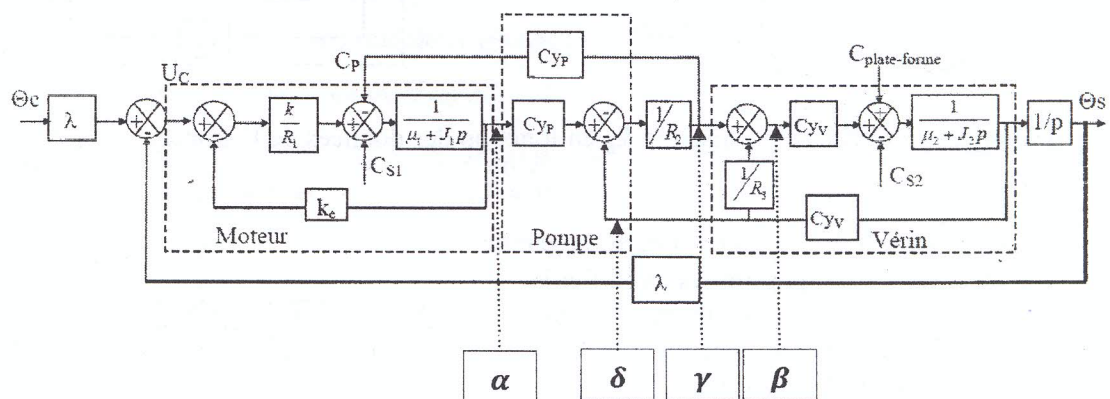
Modélisation et paramétrage de l'installation



Hypothèses :

- on néglige l'inductance du moteur électrique ;
- on néglige la compressibilité du fluide et la déformation des contenants du fluide sous pression.

Schéma fonctionnel (schéma bloc) avec les hypothèses précédentes



Notations :

- u_c : tension de commande
 R_1 : résistance électrique de l'induit du moteur
 e : force contre électromotrice du moteur, ω sa vitesse de rotation
 k_e : constante électrique du moteur : $e = k_e \cdot \omega$
 J_1 : moment d'inertie du moteur et de la pompe ramenés sur l'arbre moteur
 J_2 : moment d'inertie du vérin et de la plate-forme ramenés sur l'axe du vérin
 R_2 : coefficient de perte de charge des fuites internes du moteur
 R_3 : coefficient de perte de charge entre la pompe et le vérin
 θ_c : angle que fait le parc échelle avec l'horizontale
 θ_s : angle que fait la plate-forme avec le parc échelle
 C_{s1} : couple de frottement sec de l'ensemble moteur+pompe ramené sur l'arbre moteur
 C_{s2} : couple de frottement sec de l'ensemble vérin+liaison nacelle/échelle ramenés sur l'axe du vérin
 $C_{plate-forme}$: moment de l'action mécanique de la plate-forme sur l'échelle suivant l'axe de rotation de la plate-forme / l'échelle
 μ_1 et μ_2 respectivement coefficient de frottement visqueux C_{V1} et C_{V2}
 C_{YP} et C_{YV} respectivement cylindrée de la pompe et du vérin

Equations et hypothèses utilisées :

Le moteur est supposé électriquement parfait d'où :

- Couple délivré par le moteur $C_M = k \cdot i$
- En régime permanent : $\omega = \frac{u}{k}$

La pompe est supposée hydrauliquement parfaite d'où :

- Couple résistant de la pompe $C_P = C_{YP} \cdot (P_a - P_b)$
- Débit $Q_P = C_{YP} \cdot \omega_{pompe}$

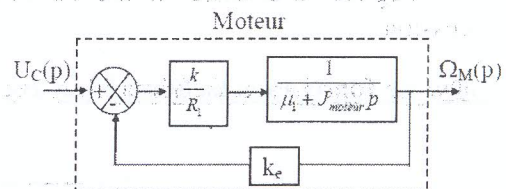
Le vérin est supposé hydrauliquement parfait d'où :

- Couple délivré par le vérin $C_V = C_{YV} \cdot (P_a - P_b)$
- Débit $Q_V = C_{YV} \cdot \omega_{vérin}$

Question 1b : Trouver la nature des grandeurs α , β , γ et δ du schéma bloc et leurs unités.

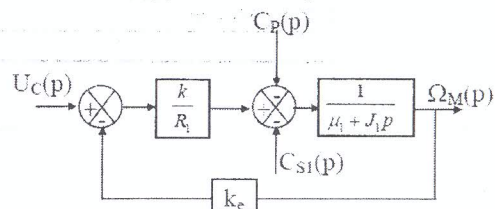
En considérant uniquement le moteur :

- non relié à la pompe ;
- électriquement parfait ;
- en négligeant les frottements ;
- $\Omega_M(p) = \mathcal{L}[\omega(t)]$



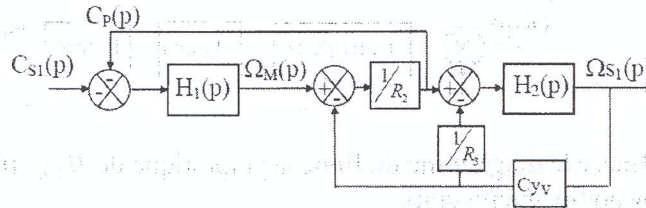
Question 2b : Exprimer la constante k_e en fonction des données de l'énoncé.

Le fonctionnement du système est perturbé par de frottements secs. Il est possible de modifier la tension de commande pour compenser leurs actions, et obtenir ainsi un système dont le comportement ne soit pas perturbé. On considère que $U_c = 0$.



Question 3b : A partir de la figure ci-dessus, déterminer dans le cadre des hypothèses l'expression de la transmittance en boucle fermée : $H_1(p) = \frac{\Omega_M(p)}{C_{S1}(p) + C_P(p)}$

On prend maintenant $C_{plate-forme} = C_{S2} = 0$, on pose $H_2(p) = \frac{C_{yv}}{\mu_2 + J_2 p}$, ce qui conduit à considérer le schéma :



Question 4b : Déterminer, sans expliciter H_1 et H_2 , l'expression de $F_1(p) = \frac{\Omega_{S1}(p)}{C_{S1}(p)}$.

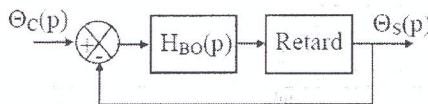
La difficulté à modéliser, de façon précise le système, a conduit le fabricant à réaliser une série d'essais sur le système réel afin de déterminer les caractéristiques d'un correcteur proportionnel intégral. La fonction de transfert identifiée présente les caractéristiques suivantes :

- on observe un retard de **0,2 s**
- on obtient la fonction (sans le retard) $G(p) = \frac{\theta_s(p)}{\theta_c(p)} = \frac{3.24}{p^2 + 3.24p + 3.24}$

Où θ_c est l'angle de consigne (angle que fait le parc échelle avec l'horizontale) et θ_s l'angle que fait la plate-forme avec le parc échelle.

Question 5b : Donner les paramètres canoniques de la fonction $G(p)$ non retardée, quel est le type de ce système.

L'asservissement étant à retour unitaire, il peut être représenté par le schéma suivant :



Question 6b : En considérant le retard nul :

- a) Montrer que l'écart statique de ce système est nul.
- b) Déterminer l'expression de $H_{BO}(p)$.

Question 7b : Donner, en fonction de $H_{BO}(p)$ (non explicitée), l'expression de $G_R(p)$ transmittance en boucle fermée avec le retard de **0,2 s**.

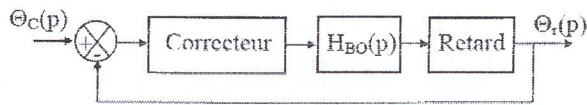
Pour simplifier les applications numériques on prend : $H_{BO}(p) = \frac{4}{p(p+3.6)}$

Pendant le dressage de l'échelle le système est soumis à une entrée en rampe de pente **0,1 rd/s**.

Question 8b : Donner la valeur de l'erreur de traînage correspondant à cette entrée, en négligeant le retard.

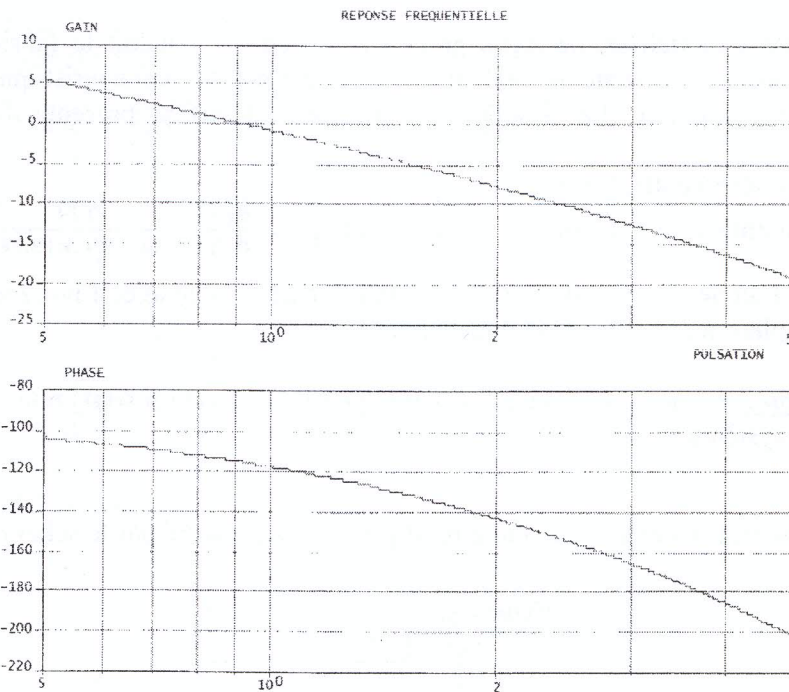
On souhaite avoir un système précis, un correcteur proportionnel intégral est donc prévu.

Soit $C(p) = K_c \frac{1+T_c p}{T_c p}$, la fonction de transfert de ce correcteur.



Question 9b : Tracer le diagramme de Bode asymptotique de $H_{BO}(p)$. Indiquer clairement les coordonnées des points intéressants.

Question 10b : Tracer le diagramme de Bode d'un retard de 0,2s.



Question 11b : A partir du diagramme de Bode en boucle ouverte (avec le retard) de la transmittance identifiée, donné ci-dessus. Déterminer :

- le gain K_c qui donne une marge de phase $\Delta\phi = 50^\circ$.
- La constante T_c qui laisse subsister une marge de phase d'environ 45° .

Question 12b :

- Quelle est l'erreur de traînage du système corrigé pour l'entrée en rampe considérée (en négligeant le retard) ?
- Quelle est l'influence du correcteur précédent sur le comportement du système vis-à-vis de la perturbation ?

1. *What is the purpose of the study?*
 2. *What are the research questions or hypotheses?*
 3. *What is the study design?*
 4. *What are the variables?*
 5. *What are the data sources?*
 6. *What are the data collection methods?*
 7. *What are the data analysis methods?*
 8. *What are the results?*
 9. *What are the conclusions?*
 10. *What are the limitations?*
 11. *What are the implications?*
 12. *What are the future research directions?*

Ne rien écrire ici

[illegible][illegible][illegible][illegible]

Examen Final du Deuxième Semestre Mai 2018

Epreuve de Conception et Fabrication Mécanique (CFM)

Préparation Technologique (PT2)

Machine de forage mécanique de précision

Date : 05/05/2018

Heure : 8H30

Durée : 4 Heures

Documents non autorisés

MISE EN SITUATION ET DESCRIPTION

En production mécanique on distingue différentes opérations d'usinage telle que le perçage des trous profonds qui nécessite l'emploi d'une machine à forer. Cette machine, constituant le support d'étude de cette épreuve, est définie par la *Figure 1*.

Elle se compose principalement des éléments suivants :

- un pupitre de commande (A),
- une unité de forage (B),
- un chariot (C),
- une boîte des avances (D),
- un boîtier support de canon de perçage (E),
- une unité de serrage (F),
- un bâti (G).

Le **pupitre de commande (A)** permet à l'opérateur de donner les ordres de fonctionnement de la machine (marche, arrêt, etc.).

L'**unité de forage (B)** permet d'entraîner en rotation l'outil de forage pour exécuter l'opération de perçage de la pièce qui est fixée sur la table de la machine par l'intermédiaire de l'**unité de serrage (F)**.

La **boîte des avances (D)** permet d'assurer, à travers un système vis écrou, le déplacement du **chariot (C)** supportant l'unité de forage (B) afin de réaliser un cycle de forage (*Figure 2*).

Le **boîtier support de canon de perçage (E)** assure le guidage en rotation et en translation de l'outil de forage au cours de l'opération de forage.

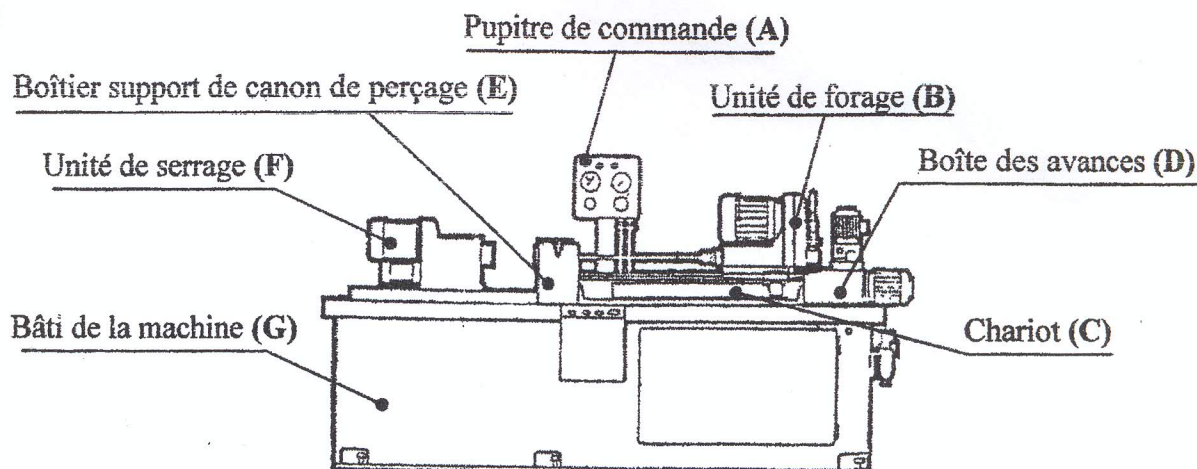
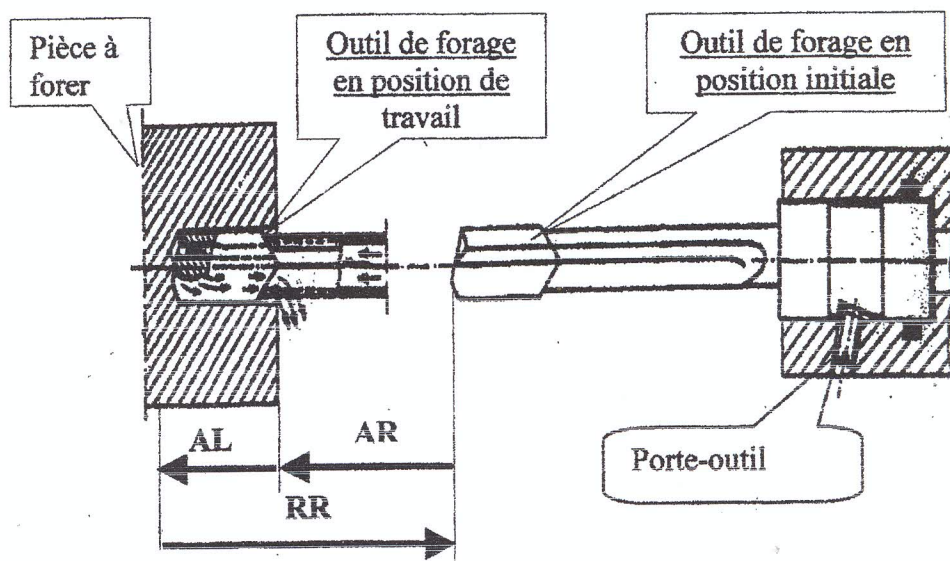


Figure 1: Machine à forer



AL: Avance lente, AR: Avance rapide, RR: Retour rapide.

Figure 2 : Cycle de forage

Nom : Prénom :

Identifiant : Groupe :

Partie A.1 Conception Mécanique

Dans cette partie on s'intéresse à l'étude de la **boîte des avances (D)** de la *Figure 1*, définie par le dessin d'ensemble (Document 1).

Cette boîte est constituée des organes suivants :

- ❖ Un **moteur (M_{DR})** assure le mouvement de **Déplacement Rapide (DR)** (Avance et retour rapide) au cours de l'opération de forage (*Figure 2*),
- ❖ Un **moto variateur (M_{AL})** assure le mouvement de l'**Avance Lente (AL)** au cours de l'opération de forage (*Figure 2*) et permet d'avoir une plage de variation de la fréquence de rotation de l'arbre (20), en agissant sur le volant de commande,
- ❖ Une **transmission par engrenages** composée :
 - d'un engrenage cylindrique (22, 18),
 - d'un engrenage roue et vis sans fin (6, 14),
 - d'un engrenage cylindrique (9, 11).
- ❖ Un **embrayage électromagnétique (E)** à flux traversant assurant la liaison encastrement par adhérence de la roue (6) avec l'arbre de sortie (2). Cet embrayage est **activé ($E=1$)** pendant le mouvement de l'avance lente (AL) et **désactivé ($E=0$)** pendant le mouvement de déplacement rapide.

Attention : l'activation de l'embrayage électromagnétique (E) n'est possible que si le moteur (M_{DR}) n'est pas sous tension.

Données numériques et hypothèses relatives à la parties A.1 : Conception Mécanique

M_{DR} : Moteur Déplacement Rapide	Fréquence de rotation : 1500 tr/mn.
M_{AL} : Moto variateur Avance Lente	Puissance : $P_{20} = 370$ W, supposée constante pour toutes les valeurs possibles de la fréquence de rotation N_{20} , avec $(430 \leq N_{20} \leq 2600)$ tr/mn
Engrenage cylindrique (9 ; 11)	Nombre de dents : $Z_9 = 17$; $Z_{11} = 42$
Engrenage cylindrique (22 ; 18)	Nombre de dents : $Z_{22} = 14$; $Z_{18} = 45$ Rendement : $\eta_1 = 0,9$
Engrenage roue et vis sans fin (14 ; 6)	Nombre de dents : $Z_{14} = 3(\text{filets})$; $Z_6 = 24$ Rendement : $\eta_2 = 0,7$
Embrayage électromagnétique (E)	Coefficient de frottement à l'état lubrifié : $f = 0,1$ Nombre des surfaces de friction : $n = 10$ Rayons des surfaces de friction : $r = 14$ mm ; $R = 24$ mm Pression de contact admissible : $p_{adm} = 2$ MPa

Remarque : Au cours de la transmission de mouvement et de puissance, on ne tient compte que des rendements η_1 et η_2 au niveau des engrenages. Toutes les autres liaisons sont supposées parfaites.

A.1.1 ANALYSE TECHNOLOGIQUE

A.1.1.1 Compléter le tableau suivant :

<i>Pièces en liaison</i>	<i>Nom de la liaison</i>	<i>Rôle de la liaison</i>
(2)/(1)
(11)/(2)
(6)/(2)
(19)/(1),17

A.1.1.2. Donner le rôle des pièces suivantes :

<i>Pièces</i>	<i>Rôle</i>
(4) et (12)
(7)
(23)
(3)

A.1.1.3 Cotation fonctionnelle

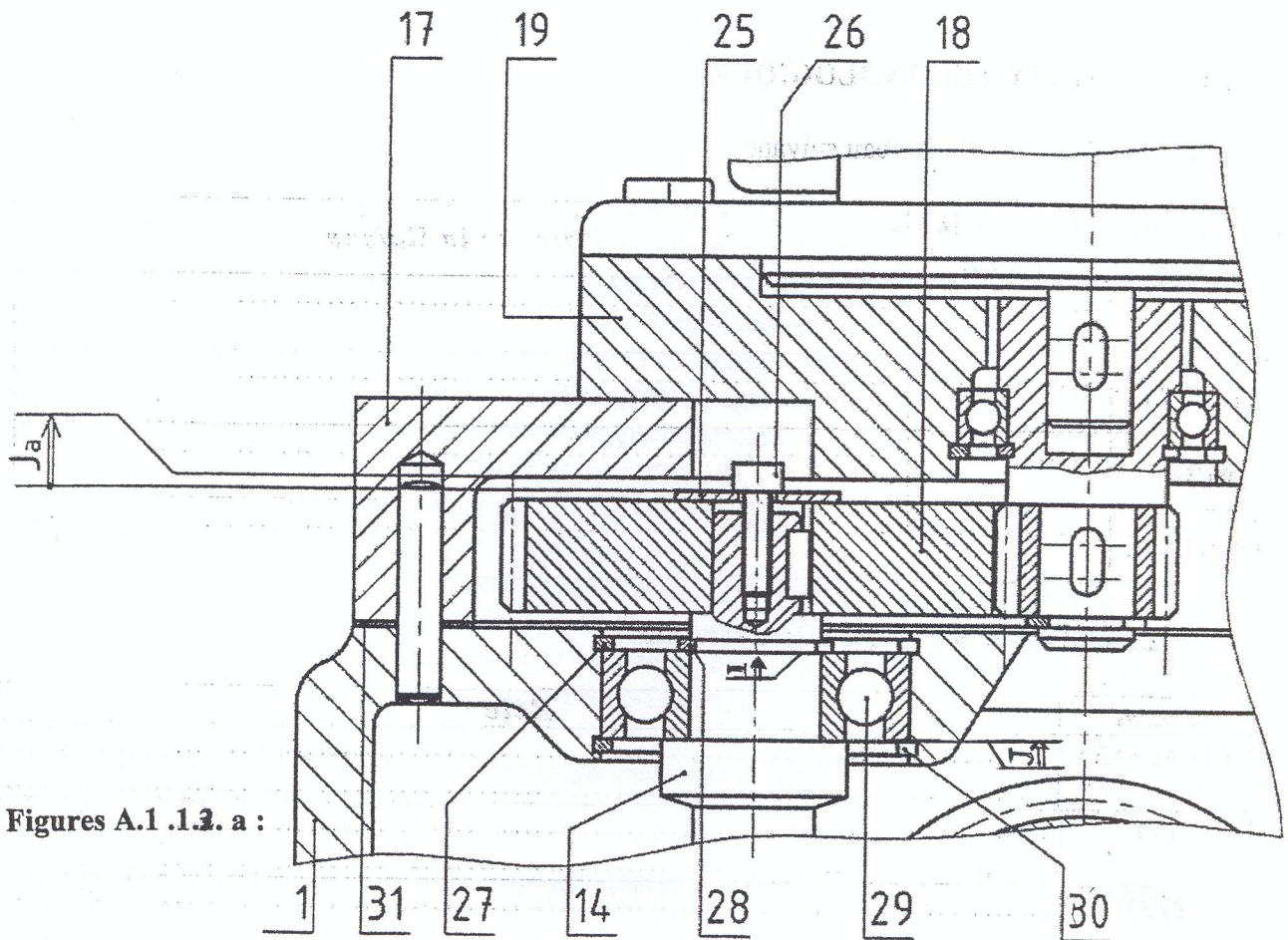
A.1.1.3.1 Donner les ajustements nécessaires et leurs utilités pour les assemblages suivants :

<i>Assemblage des pièces</i>	<i>Ajustement et utilité</i>
(11) et (2)
(16) et (1)
(16) et (17)
(19) et (17)

A.1.1.3.2. On considère une partie du dessin d'ensemble de la boîte des avances (D) représentée par les *Figure A.1.1.3. a et b)*

Nom : Prénom :

Identifiant : Groupe :



Figures A.1.1.3. a :

Justifier l'existence de la cote condition J_a entre les pièces (25, 17) et de la cote condition J_b entre les pièces (32, 19).

J_a :

.....

.....

.....

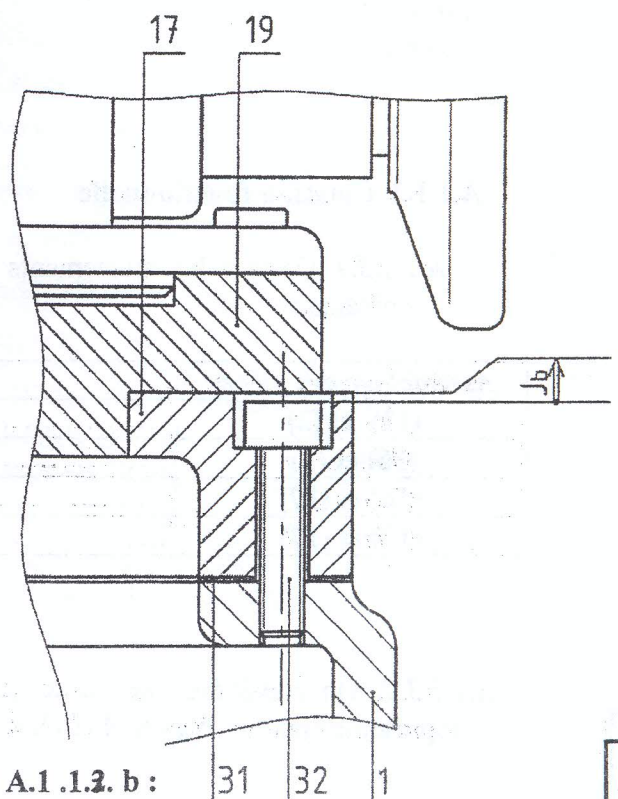
J_b :

.....

.....

.....

Tracer sur les Figures A.1.1.3. a et b, les chaînes de cotes relatives aux cotes conditions J_a et J_b .



Figures A.1.1.3. b :

Ne rien écrire ici

Ecrire les relations permettant d'exprimer les cotes conditions minimales $J_{a \min}$ et $J_{b \min}$.

$J_{a \min} =$

.....

.....

.....

$J_{b \min} =$

.....

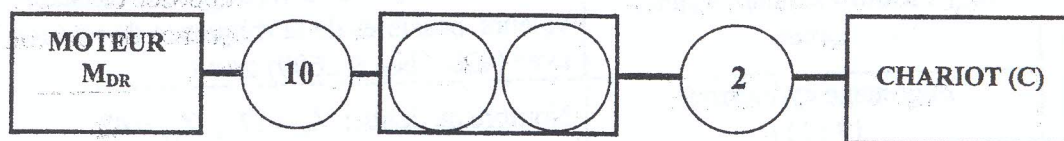
.....

.....

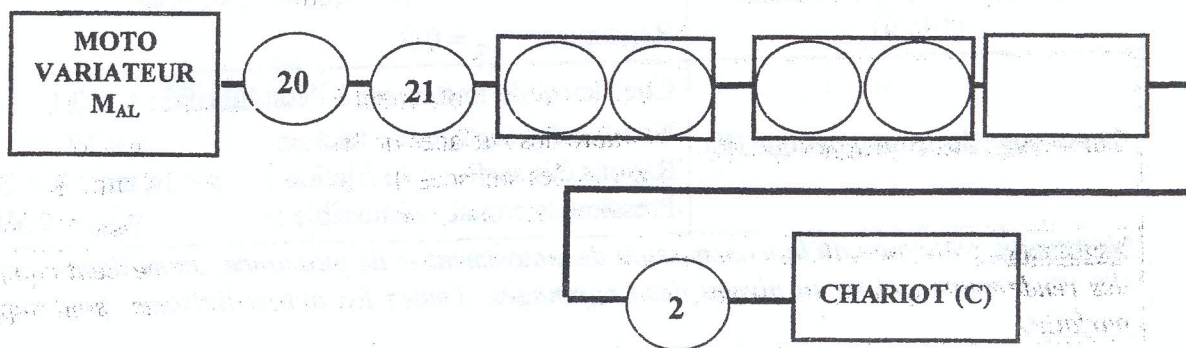
A.1.2 ETUDE DE LA TRANSMISSION DE MOUVEMENT ET DE PUISSANCE

A.1.2.1 En se basant sur le Document 1 compléter le diagramme fonctionnel associé à la chaîne de transmission de puissance pour chaque mouvement du chariot (C) suivant :

- DR : déplacement rapide du chariot (C) (Embrayage électromagnétique désactivé $E=0$)



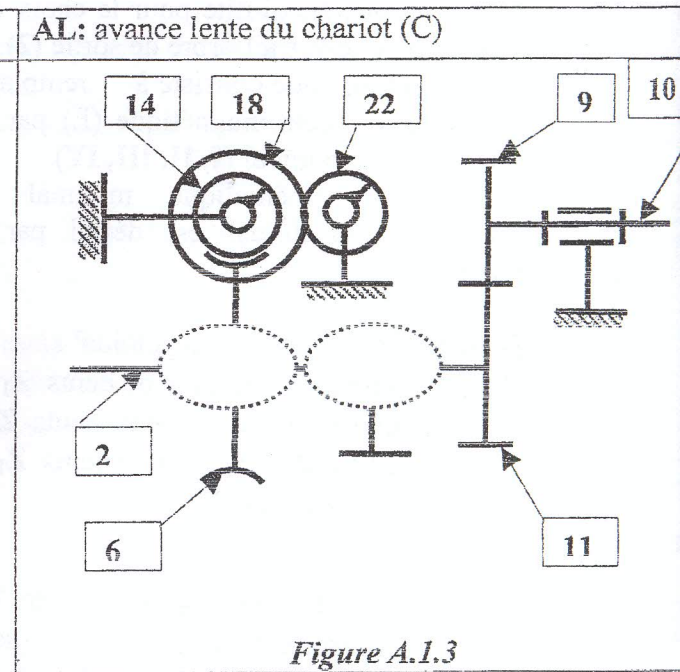
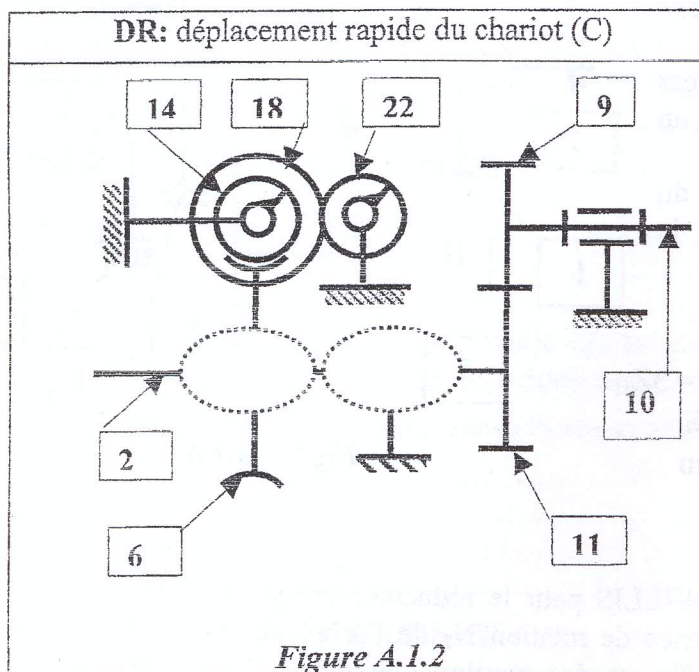
- AL: avance lente du chariot (C) (Embrayage électromagnétique activé $E=1$)



Nom : Prénom.....

Identifiant.....Groupe.....

A.1.2.2. Pour chaque état de fonctionnement de la boîte des avances(D) correspondant aux mouvements définis dans la question **A.1.2.1**, compléter à partir du Document 1, le schéma cinématique minimal du mécanisme d'entraînement (*Figure A.1.2, Figure A.1.3*) en plaçant les symboles des liaisons normalisés aux endroits correspondants :



A.1.2.3. Etude des fréquences de rotation de l'arbre de sortie (2) :

A.1.2.3.1 Pour les deux mouvements **DR** et **AL** du chariot (C), exprimer les rapports de transmission de mouvement $i_{10/2} = \frac{N_{10}}{N_2}$ et $i_{20/2} = \frac{N_{20}}{N_2}$ en fonction des nombres de dents Z_6 , Z_9 , Z_{11} , Z_{14} , Z_{18} et Z_{22} et calculer leurs valeurs. (N_j désigne la fréquence de rotation de l'élément j)

.....

$i_{10/2} = \dots\dots\dots$

$i_{20/2} = \dots\dots\dots$

A.1.2.3.2 Pour le mouvement déplacement rapide **DR** du chariot (C) (Embrayage électromagnétique désactivé $E=0$), calculer la vitesse de rotation de l'arbre de sortie (2).

.....

$N_2 = \dots\dots\dots \text{tr / mn}$

A.1.2.3.3 Pour le mouvement avance lente AL du chariot (C) (Embrayage électromagnétique activé $E=1$), déterminer la plage de variation de la vitesse de l'arbre de sortie (2) :

.....
.....

(..... $\leq N_2 \leq$ )tr / mn

A.1.2.4. Etude des couples transmissibles par l'arbre de sortie (2) pour l'avance lente AL du chariot (C) (Embrayage électromagnétique activé $E=1$)

A.1.2.4.1 Exprimer la puissance P_2 transmissible par l'arbre de sortie (2) en fonction de la puissance P_{20} fournie par l'arbre de sortie (20) de M_{AL} et calculer sa valeur.

.....
.....
.....

$P_2 =$ W

A.1.2.4.2. Déterminer la plage de variation du couple transmissible C_2 par l'arbre de sortie (2).

.....
.....
.....

(..... $\leq C_2 \leq$ )mN

A.1.2.5. Etude de l'embrayage électromagnétique (E) :

Le mécanisme de l'embrayage électromagnétique (E) (*Figure A.1.4*) qui est utilisé dans la boîte des avances (D) (Document 1) se compose principalement des éléments suivants :

- Une cloche (c) encastrée avec la roue dentée creuse (6),
- Un moyeu (m) encastrée avec l'arbre de sortie (2),
- Une bobine et son support (b) bloqués par rapport au carter (1),
- Des disques de friction placés entre la cloche (c) et le moyeu (m).

L'embrayage électromagnétique (E) est activé ($E=1$) par l'excitation de la bobine.

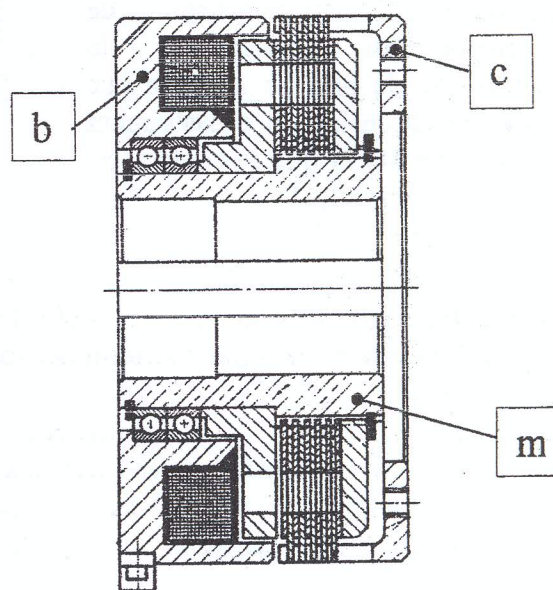


Figure A.1.4

A.1.2.5.1. En supposant que la répartition de la pression de contact est uniforme et constante au niveau de chaque surface de friction des disques, donner (sans démonstration) l'expression du couple d'adhérence C_{adh} qui caractérise cet embrayage électromagnétique (E).

Nom : Prénom :

Identifiant : Groupe :

A.1.2.5.2. En supposant que l'arbre de sortie (2) est soumis à un couple résistant maximal $C_{\max} = 7,7 \text{ mN}$, calculer l'effort presseur F_a développé par la bobine pour assurer un couple d'embrayage $C_{\text{adh}} = 1,3 C_{\max}$.

$F_a = \dots\dots\dots \text{N}$

A.1.2.5.3. Calculer la pression de contact p au niveau des surfaces de friction. Comparer sa valeur avec celle de la pression admissible p_{adm} et conclure.

$p = \dots\dots\dots \text{MPa}$

Conclusion :

A.1.2.5.4. Dans le cas où l'arbre de sortie (2) est soumis à un couple résistant maximal $C_{\max} = 7,7 \text{ mN}$ et pour une fréquence $N_{20} = 1000 \text{ tr/mn}$, vérifier que la puissance P_{20} fournie par le moto variateur M_{AL} couvre la puissance P_2 consommée au niveau de cet arbre.

A.1.3. ANALYSE DE MECANISME :

Durant le déplacement rapide DR du chariot (C) (Embrayage électromagnétique désactivé $E=0$) le schéma cinématique minimal du mécanisme de transmission de mouvement est donné par la Figure A.1.5. De plus on suppose que la roue (6) est en liaison encastrement avec le carter (1), et que le contact est ponctuel entre (9) et (11).

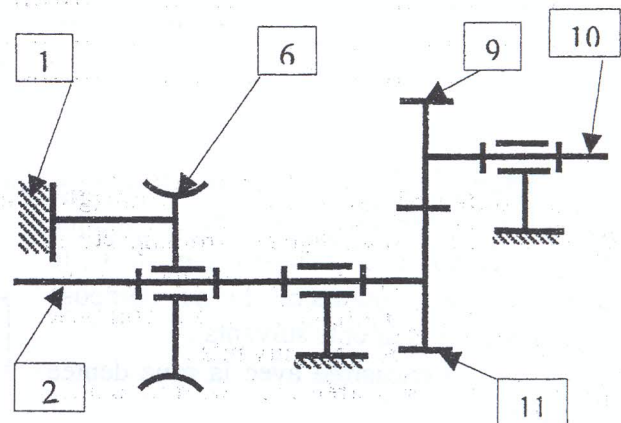


Figure A.1.5

A.1.3.1. En appliquant la loi de mobilité, montrer que le mécanisme défini par la Figure A.1.5 est hyperstatique et déterminer son degré d'hyper statisme h .

$h = \dots\dots\dots$

A.1.3.2. Proposer les modifications à apporter au niveau des liaisons mécaniques pour que le mécanisme de la Figure A.1.5 soit isostatique.

A.1.4. ETUDE DE CONCEPTION

On se propose de modifier la chaîne de transmission de la boîte des avances (D) (voir dessin d'ensemble Document 1) afin de réduire les contraintes de fabrication et de donner une flexibilité pour le choix des différentes vitesses à l'arbre de sortie (2).

La solution retenue consiste à remplacer l'embrayage électromagnétique (E) par un réducteur épicycloïdal (I, II, III, IV)

Le schéma cinématique minimal du réducteur épicycloïdal est défini par la Figure A.1.6.

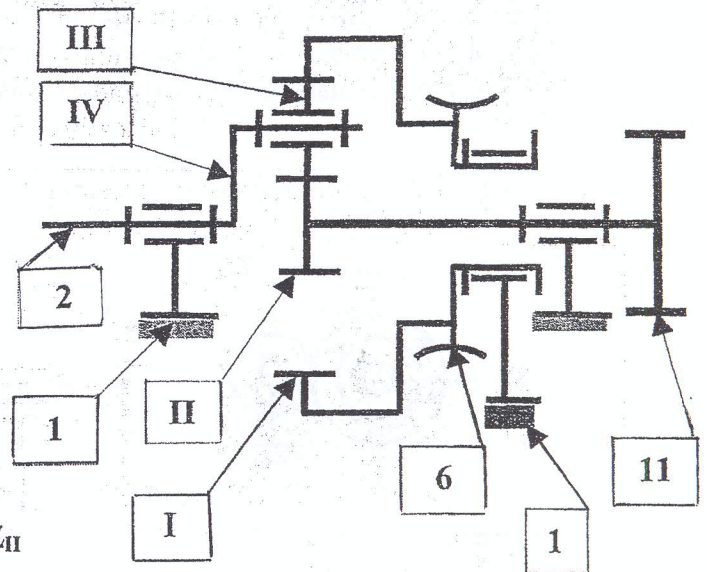


Figure A.1.6

Eléments du réducteur épicycloïdal :

- Couronne I : nombre de dents $Z_I = 3Z_{II}$
- Planétaire II : nombre de dents Z_{II}
- Satellite III : nombre de dents Z_{III}
- Porte satellites IV

A.1.4.1. Ecrire la relation de WILLIS pour le réducteur épicycloïdal et établir la relation permettant d'exprimer la fréquence de rotation N_2 de l'arbre de sortie (2) en fonction des fréquences de rotation N_6 et N_{11} et des nombres de dents des éléments du réducteur épicycloïdal.

.....

.....

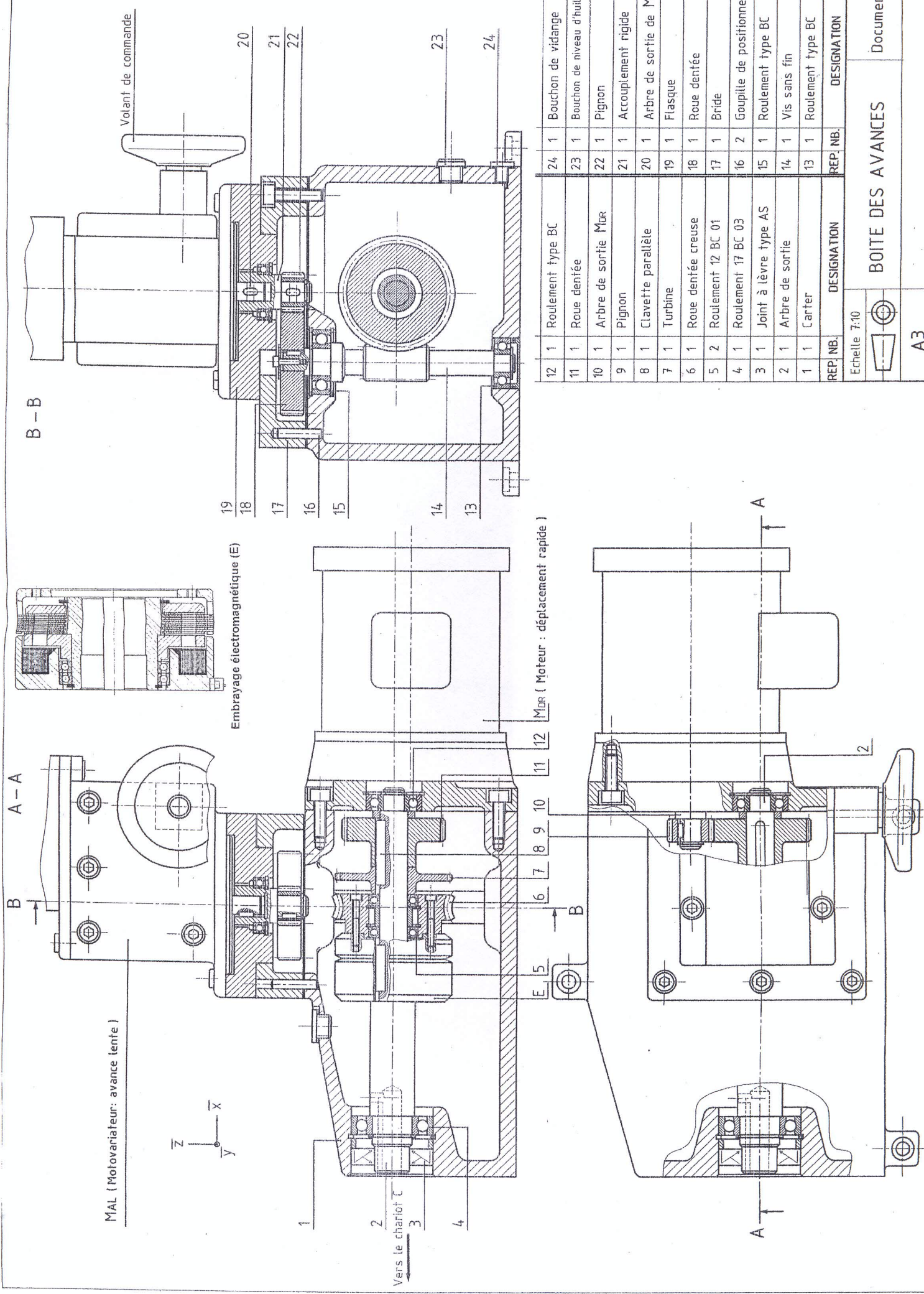
.....

A.1.4.2. Compléter le tableau suivant en indiquant l'état de mouvement de chaque élément du réducteur épicycloïdal par A s'il est à l'arrêt ou par R s'il est en rotation :

Eléments du réducteur épicycloïdal	I	II	III	IV
DR: Avance Rapide				
AL: Avance Lente				

A.1.4.3. Pour entraîner en rotation l'arbre de sortie (2), peut-on actionner la roue dentée creuse (6) et la roue dentée (11) en même temps ? Cocher la case correspondante à votre réponse et justifier.

	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input type="checkbox"/>
Justification	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	



Echelle 7:10



A3

BOITE DES AVANCES

Document 1

Nom : Prénom :

Identifiant : Groupe :

Partie A.1 Fabrication Mécanique**A.2.1. CHOIX DU MATERIAU**

A.2.1.1. Dans quel groupe d'aciers peut-on classer le matériau X30Cr13 de l'arbre de sortie (2) ? (Document 2). Cocher la bonne réponse.

Acier d'usage général ☐ Acier faiblement allié ☐ Acier fortement allié ☐

A.2.1.2. Donner la composition chimique de l'acier X30Cr13.

.....

.....

A.2.2. ETUDE TECHNOLOGIQUE

A.2.2.1. Compléter le tableau suivant en précisant pour chaque surface usinée de l'arbre de sortie (2) (**document 2**) sa nature, l'opération correspondante, l'outil nécessaire et le procédé de fabrication convenable.

Repère	Détail d'usinage (Surface)	Opération	Outil	Procédé de fabrication
1	Surface plane	Dressage	Outil à dresser.	Tournage
2
3
16
17
18
21

A.2.2.2. La figure A.2.1 représente un outil en carbure à plaquette amovible, pour l'usinage d'un épaulement droit sur une pièce cylindrique. Donner la désignation de chacun des éléments de la partie active de cet outil.

Ne rien écrire ici

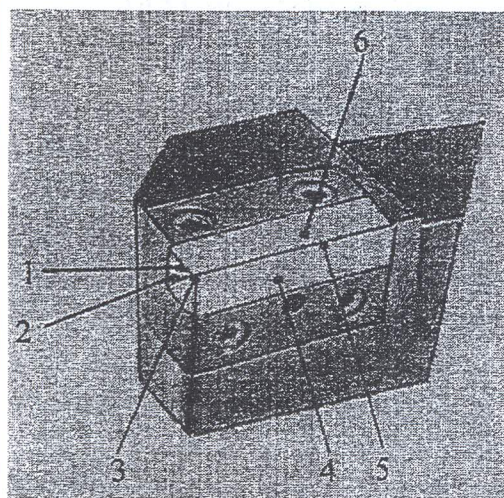


Figure A.2.1


Elément	Désignation
1
2
3
4
5
6

A.2.2.3. Définir et commenter les spécifications suivantes :

Spécifications	Définition et commentaire
$\varnothing 14 \text{ g } 6$	$\varnothing 14$: g : 6 :

Spécifications	Définition et commentaire
$\sqrt{\text{Ra } 0,8}$	$\sqrt{\text{Ra}}$: Ra : $0,8$:

Spécifications	Définition et commentaire
$\text{—} \quad 0,08$

Spécifications				Définition et commentaire
B		Ø 0,05	A	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>

Nom : Prénom.....

Identifiant.....Groupe.....

A.2.2.4. Déterminer les valeurs de l'écart supérieur et de l'écart inférieur de la cote 12 h7.

Ecart en microns à 20°C	g6	h5	h6	j5	j6	k5	k6	m5	m6	n6	p6	H7	H8	J7	K7	M7	N7	P7
Jusqu'à 3	- 2 - 8	0 - 4	0 - 6	+ 2 - 2	+ 4 - 2	+ 4 0	+ 6 0	+ 6 + 2	+ 8 + 2	+ 10 + 4	+ 12 + 6	+ 10 0	+ 14 0	+ 4 - 6	0 - 10	- 2 - 12	- 4 - 14	- 6 - 16
au-delà de 3 jusqu'à 6	- 4 - 12	0 - 5	0 - 8	+ 3 - 2	+ 6 - 2	+ 6 + 1	+ 9 + 1	+ 9 + 4	+ 12 + 4	+ 16 + 8	+ 20 + 12	+ 12 0	+ 18 0	+ 6 - 8	+ 3 - 9	0 - 12	- 4 - 18	- 8 - 20
au-delà de 6 jusqu'à 10	- 5 - 14	0 - 8	0 - 9	+ 4 - 2	+ 7 - 2	+ 7 + 1	+ 10 + 1	+ 12 + 6	+ 15 + 6	+ 19 + 10	+ 24 + 15	+ 15 0	+ 22 0	+ 8 - 7	+ 5 - 10	0 - 15	- 4 - 19	- 9 - 24
au-delà de 10 jusqu'à 18	- 6 - 17	0 - 8	0 - 11	+ 5 - 3	+ 8 - 3	+ 9 + 1	+ 12 + 1	+ 15 + 7	+ 18 + 7	+ 23 + 12	+ 29 + 18	+ 18 0	+ 27 0	+ 10 - 8	+ 6 - 12	0 - 18	- 5 - 23	- 11 - 29

A.2.3. ETUDE DE FABRICATION

Dans cette partie on s'intéresse à l'étude de fabrication de l'arbre de sortie (2) et plus particulièrement à l'usinage des **surfaces 5 et 6**.

Le brut de l'arbre (2) est découpé d'une barre de dimensions : $\varnothing 18^{+0,2}_0$ et $l = 152$ mm.

La gamme d'usinage de l'arbre (2), dont le dessin de définition est présenté par le document 3, prévoit les phases suivantes :

Phases	Opérations	Procédés
10	usinage de 1F et 21F	Tournage
20	usinage de 5F, 6F, 4F, 2F et 20F	Tournage
30	usinage de 13F, 11F, 10F, 9F, 8F, 12F, 16F et 14 F	Tournage
40	usinage de 17F, 48F, et 19F	Fraisage
50	usinage de 15F	Mortaisage

(F : Finition)

La fixation de la pièce au cours de l'usinage est illustrée par la figure A.2.2.

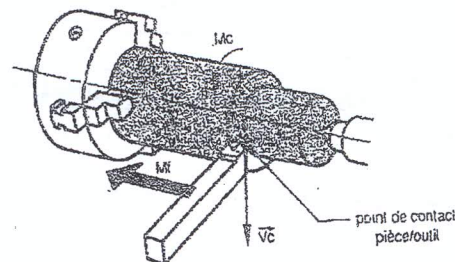
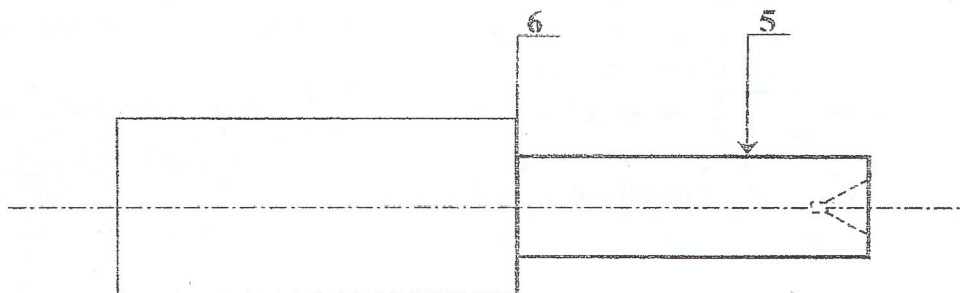


Figure A.2.2

Ne rien écrire ici

A.2.3.1. Donner le positionnement géométrique équivalent de la pièce (2) (par des normales de repérage) et indiquer les cotes de fabrication notées Cf.



A.2.3.2. Donner la valeur de chaque cote de fabrication Cf. Faire le calcul en cas de besoin.

A.2.4. ETUDE DE LA COUPE.

Pour l'ébauche des surfaces 5 et 6 de l'arbre (2), sur un tour à commande numérique, on se propose d'exécuter deux passes jusqu'au $\varnothing 12,8$ sur une longueur finie de 92 mm. L'outil d'ébauche a une durée de vie de 25mn et la série prévue est de 500 pièces.

Les données de coupe sont :

Vitesse de coupe	Avance	Pression spécifique de coupe
$V_c = 85 \text{ m/mn}$	$f = 0,1 \text{ mm/tr}$	$K_s = 480 \text{ daN/mm}^2$

A.2.4.1. Calculer le temps de coupe T_c pour une pièce.

$T_c = \dots\dots\dots \text{mn}$

A.2.4.2. Calculer l'effort de coupe F_c lors de l'usinage.

$F_c = \dots\dots\dots \text{daN}$

A.2.4.3. Calculer la puissance nécessaire à la coupe P_c .

$P_c = \dots\dots\dots \text{Kw}$

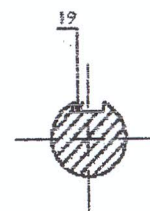
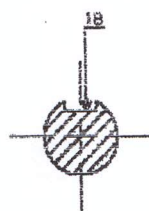
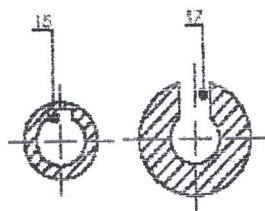
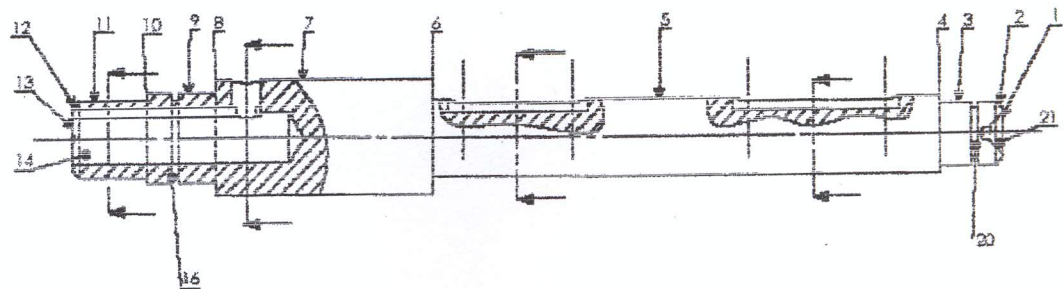
A.2.4.4. Calculer la puissance développée par la machine P_m si le rendement est de $\eta = 0,9$

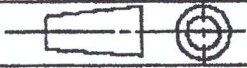
$P_m = \dots\dots\dots \text{Kw}$

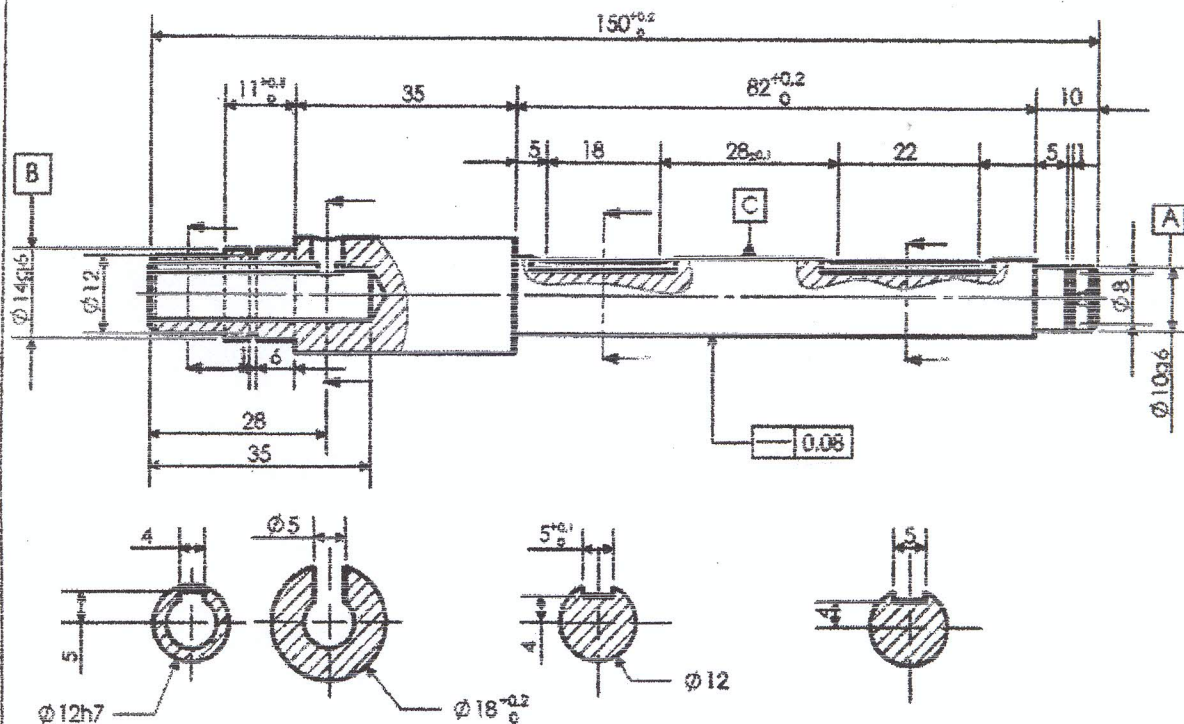
A.2.4.5. combien d'arêtes n_a a-t-on besoin pour usiner toutes les pièces ?

$n_a = \dots\dots\dots$

Dessins de définitions relatives à la partie A.2 : Fabrication Mécanique



		Repère: 2
		Document: 2
Echelle: 1:2	ARBRE DE SORTIE	




IT = ±0,1 sauf indications

Ra 3,2/

Partout:  sauf indications
Chanfreins: 1x45°

14 g6 = 14 $\begin{smallmatrix} -6 \\ -17 \end{smallmatrix}$

10 g6 = 10 $\begin{smallmatrix} -5 \\ -14 \end{smallmatrix}$

 0,05 A B



Echelle: 1:2

ARBRE DE SORTIE

Repère : 2

Document: 3