

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la
Recherche Scientifique

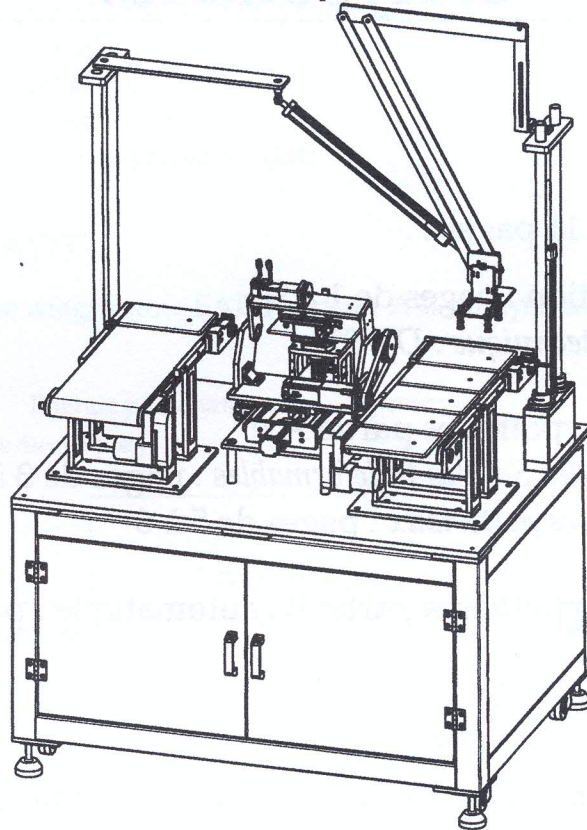
Concours Nationaux d'Entrée aux
Cycles de Formation d'Ingénieurs
Session 2019



الجمهورية التونسية
وزارة التعليم العالي
والبحوث العلمية

المناظرات الوطنية للدخول إلى
مراحل تكوين المهندسين
سنة 2019

Concours Technologie
Epreuve de
Systèmes Techniques Automatisés



Date : Vendredi 14 Juin 2019 Heure : 8 H Durée : 3 heures

L'épreuve comporte deux parties :

- A - Mécanique des solides indéformables & Résistance des Matériaux (10 pts)
B - Automatique (10 pts)

Le sujet de l'épreuve remis au candidat comporte deux dossiers :

- 1^{er} "Mise en situation, Données et Hypothèses", avec un document technique DT-01
2^{ème} "Document Réponses" contenant les questions à traiter.

N.B.

- * Aucun autre document n'est autorisé.
- * Seules des calculatrices de poche non programmables sont autorisées.
- * Un seul et unique document réponses est fourni au candidat et doit être rendu en totalité, à la fin de l'épreuve, même sans réponses.
- * le document réponse doit être rendu en intégralité (aucune feuille ne doit être supprimée). Cet acte est considéré comme étant une tentative de fraude.

Dossier

Mise en situation, Données et Hypothèses

Ce dossier comporte 11 pages :

- ★ Mise en situation : pages de 1 à 3
 - *Document technique* : DT-01
- ★ Données et hypothèses partie A :
 - *Mécanique des Solides Indéformables* : pages de 3 à 5
 - *Résistance des matériaux* : pages de 5 à 6
- ★ Données et hypothèses partie B : automatique : pages de 6 à 11

SYSTÈME DE POLISSAGE DE COQUES

1 Mise en situation

Le système présenté par le document technique DT-01 est une machine automatisée permettant d'effectuer le polissage des coques de téléphones portables. Celles-ci sont en général obtenues par injection de matériaux polymères. Afin d'améliorer l'aspect et obtenir un état de surface lisse, il est nécessaire d'effectuer, entre autres, une opération de polissage rigoureuse.

Ce système est constitué :

- d'une unité d'alimentation en coques non polies,
- d'une unité d'évacuation des coques polies,
- d'une unité de polissage,
- d'un robot 2D de transfert,
- d'un automate programmable,
- d'une unité de régulation pneumatique.

1.1 Diagramme SADT

La figure 1 représente le diagramme SADT niveau A-0 du système de polissage proposé à l'étude.

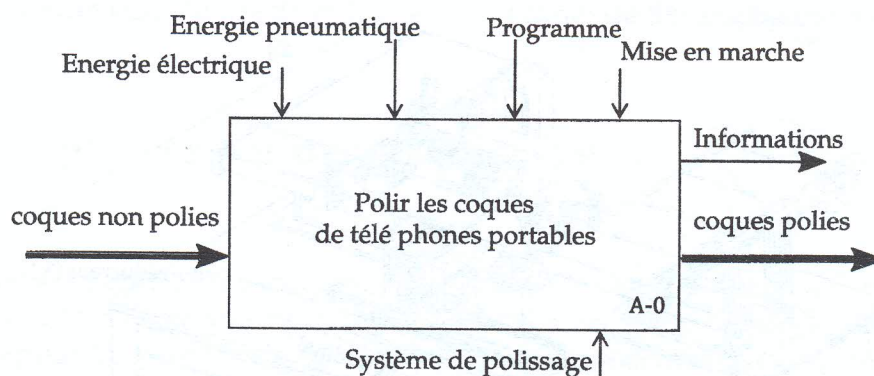


FIGURE 1 – Diagramme SADT du système de polissage

1.2 Description de l'unité de polissage

L'élément principal de cette unité est une tête de polissage (figure 2). Elle est constituée entre autres d'une plaque en feutre qui sera mise en contact direct avec la coque à polir, un mécanisme presseur recevant de l'air comprimé à partir de l'unité de régulation pneumatique.

L'opération de polissage consiste à appliquer un mouvement de va et vient à la plaque en feutre tout en pressant sur la coque. Ce mouvement de translation alterné est obtenu grâce à un système roue-crémaillère commandé par un moto-réducteur (1).

Afin de parcourir toute la surface de la coque, le mouvement de va et vient doit s'effectuer simultanément avec un mouvement d'avance le long de l'axe $(G, \vec{x}_0)$, G étant le centre de gravité de la surface à polir de la coque.

Pour polir les arrondis de la coque, il est nécessaire de faire pivoter la tête de polissage autour de la direction $\vec{x}_0$. Ce mouvement de pivotement est donné par un support entraîné par un système poulie-courroie crantée et moto-réducteur (2).

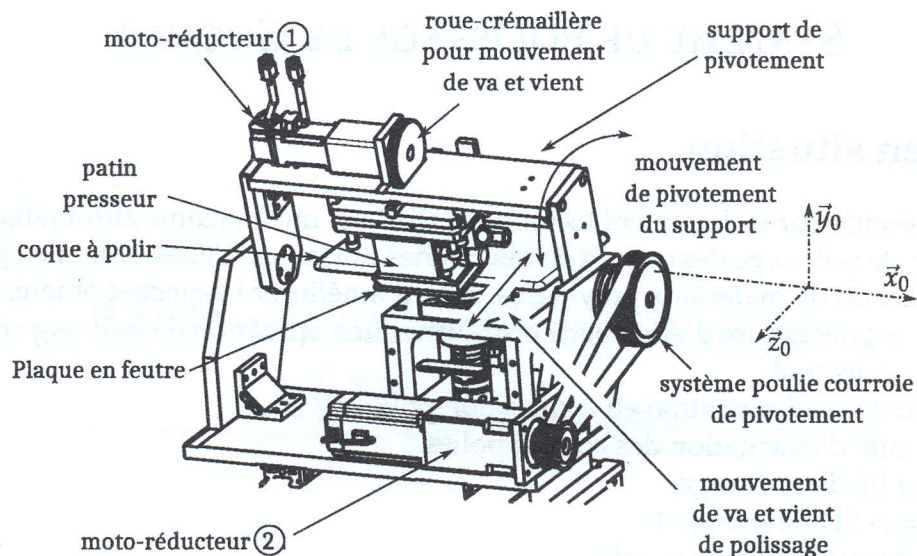
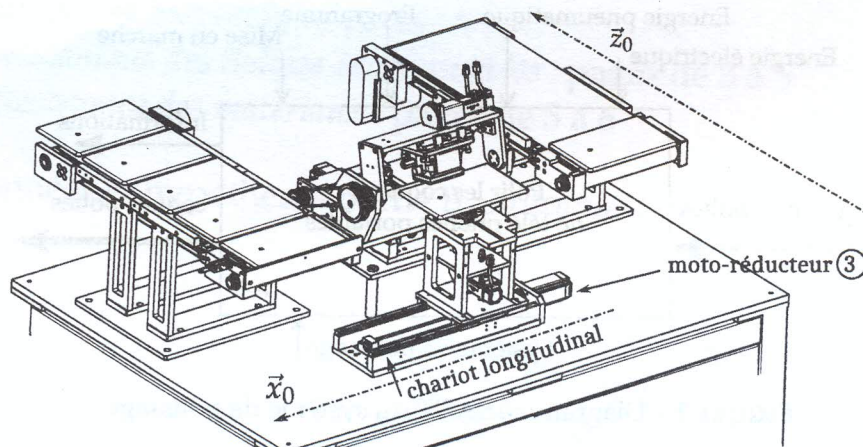


FIGURE 2 – Vue partielle de la tête de polissage

Le moto-réducteur ③ est destiné au mouvement d'avance longitudinal, un autre moto-réducteur ④ assure le mouvement d'approche de la tête de polissage dans la direction $\vec{z}_0$ (voir figures 3 et 4).

FIGURE 3 – vue de derrière de la tête de polissage
(après enlèvement du robot pour mieux visualiser)

Le polissage des arrondis sur les quatre cotés de la coque nécessite la rotation de celle-ci dans son plan (autour de $\vec{y}_0$) chaque fois, d'un incrément de 90° . Ce mouvement est assuré par un moto-réducteur à renvoi d'angle illustré sur la figure 4.

1.3 Unités d'alimentation et d'évacuation

Ces deux unités se présentent sous forme de tapis roulants animés chacun par un moto-réducteur dédié. L'unité d'alimentation est équipée d'un détecteur de présence indiquant l'arrivée d'une coque au bout du tapis, soit au niveau du plan de travail du robot de transfert 2D.

Le tapis de l'unité d'évacuation est actionné dès que le capteur de présence indique l'existence d'une coque sur celui-ci et s'arrête au bout de 20 secondes, temps nécessaire à l'évacuation d'une coque.

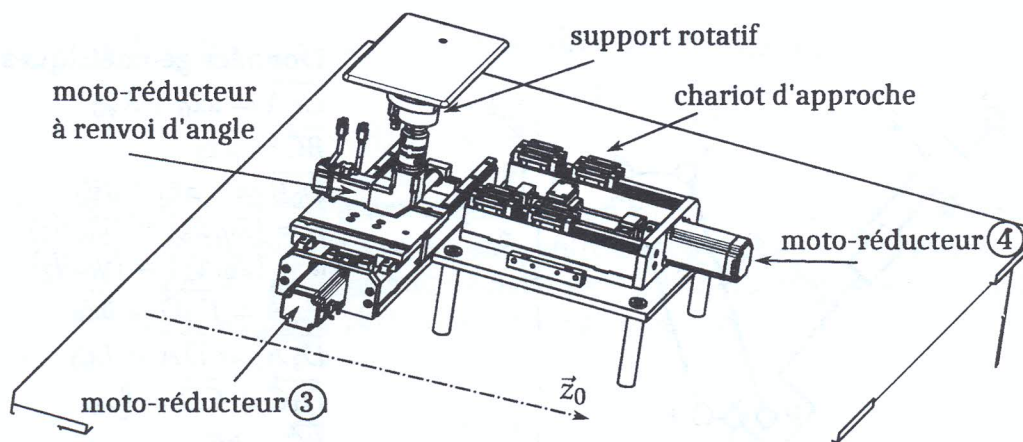


FIGURE 4 – vue de gauche (moteur à renvoi d'angle)
après enlèvement des tapis et du mécanisme de polissage pour une meilleure visibilité

1.4 Le robot de transfert

Il s'agit d'un robot du type 2D travaillant dans un plan perpendiculaire aux tapis d'alimentation et d'évacuation. Il est muni de ventouses alimentées par un système pneumatique à dépression permettant de saisir la coque. Il intervient pour transférer la coque à partir de l'unité de polissage (précisément du support rotatif) vers le tapis d'évacuation et du tapis d'alimentation vers l'unité de polissage. Il est muni de deux actionneurs linéaires électriques.

2 Mécanique des solides indéformables : système 2D robotisé

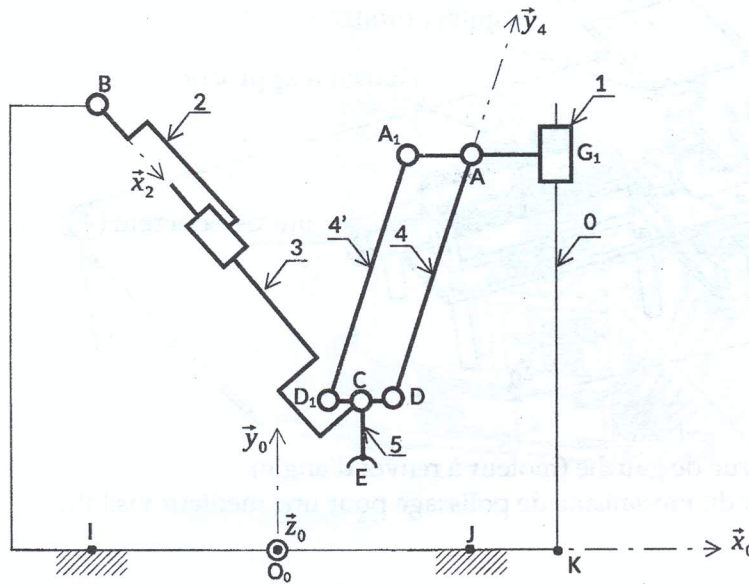
Le robot proposé à l'étude s'intègre dans la famille des robots parallèles à deux dimensions. Il est utilisé pour transférer les coques entre les différentes zones de traitement. La structure du robot fait apparaître, comme le montre la figure 5, un ensemble formé principalement de six solides.

La motorisation du système assure le déplacement du coulisseau (1), le long d'un axe fixe lié au bâti (0) et aussi le déplacement du bras coulissant (3) le long d'un axe lié au solide (2) qui est en liaison pivot avec le bâti (0). Le robot comporte deux bras identiques (4) et (4') articulés au coulisseau (1) en A et A₁. Ils sont aussi articulés à un porte-ventouses (5) en D et D₁. Ces quatre points occupent les sommets d'un parallélogramme régulier. Le porte-ventouses (5) est équipé de quatre ventouses en caoutchouc utilisées pour saisir les coques par aspiration d'air.

2.1 Repères, paramètres et données

Les tâches assignées au robot s'effectuent dans un espace construit de part et d'autre du plan vertical ($E, \vec{x}_0, \vec{y}_0$). Cet espace est caractérisé par sa faible profondeur comparée aux dimensions de la structure rapportées à son plan de travail. De ce fait, le robot sera traité en tant que mécanisme plan, comme l'illustre le schéma cinématique de la figure 5.

On associe au bâti (0) le repère $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ qu'on considérera galiléen, ayant pour axe vertical ascendant ($O_0, \vec{y}_0$). Le coulisseau (1) se déplace le long de l'axe ($K, \vec{y}_0$), sa translation est définie par le scalaire positif λ .

**Données géométriques**

$$\vec{O_0A} = a\vec{x}_0 + \lambda\vec{y}_0$$

$$\vec{BC} = \mu\vec{x}_2$$

$$\vec{O_0B} = -a\vec{x}_0 + d\vec{y}_0$$

$$\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_4) = (\vec{y}_0, \vec{y}_4)$$

$$\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_2) = (\vec{y}_0, \vec{y}_2)$$

$$\vec{A_1A} = \vec{D_1D} = b\vec{x}_0$$

$$\vec{D_1A_1} = \vec{DA} = L\vec{y}_4$$

$$\vec{D_1C} = \vec{CD} = \frac{b}{2}\vec{x}_0$$

$$\vec{EC} = h\vec{y}_0$$

$$\vec{O_0E} = x\vec{x}_0 + y\vec{y}_0$$

$$\vec{AG_1} = c\vec{x}_0.$$

FIGURE 5 – Schéma cinématique minimal du robot 2D

Le solide (2) pivote autour de l'axe $(B, \vec{z}_0)$. On lui associe le repère $\mathcal{R}_2(B, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_0)$. Sa position angulaire est obtenue, comme le montre la figure 6, par l'angle α .

Le solide (3), jouant le rôle de bras coulissant, assure la liaison entre le solide (2) et le porte-ventouses (5). Son déplacement par rapport au solide (2) est paramétré par le scalaire positif μ .

On associe au bras (4) le repère $\mathcal{R}_4(A, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_0)$. Son pivotement ainsi que celui du bras (4') s'effectuent respectivement autour des axes $(A, \vec{z}_0)$ et $(A_1, \vec{z}_0)$. Leurs positions angulaires sont obtenues avec le même angle β .

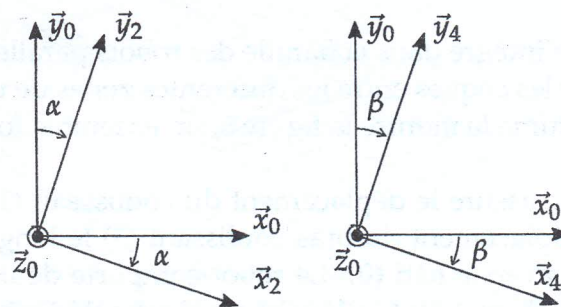


FIGURE 6 – Représentation planes des rotations

Les ventouses solidaires du solide (5) sont utilisées pour saisir les coques. Leur centre E est placé en dessous de C.

La motorisation du robot est réalisée en pilotant les translations λ et μ , pour que les déplacements absolus x et y du centre E dans le repère $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, puissent être contrôlés avec précision.

Le coulisseau (1) est caractérisé par sa masse m_1 et son centre d'inertie G_1 . Sa translation est générée par un actionneur linéaire (vérin non représenté) développant une action mécanique modélisée par le torseur :

$$\{\mathcal{T}(\text{verin} \rightarrow 1)\}_{G_1} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{\mathcal{H}}(\text{verin} \rightarrow 1) = F\vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{G_1}$$

Le bras coulissant (3) exerce sur le porte-ventouses (5) une action, modélisée au point C, par le torseur

$$\{\mathcal{T}_{(3 \rightarrow 5)}\}_C = \left\{ \begin{array}{c} \vec{\mathcal{R}}_{(3 \rightarrow 5)} = -F_C \vec{x}_2 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_C$$

Compte-tenu de la faible masse d'une coque, l'action en E de celle-ci sur (5) sera négligée. Le porte-ventouses admet pour masse m_5 , son centre d'inertie sera supposé confondu avec le point C. Les bras (4) et (4') sont assimilés à des tiges identiques de masse M et de longueur L . La matrice d'inertie au point A du bras (4), exprimée dans la base $\mathcal{B}_4(\vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_0)$, admet pour expression :

$$[I_A(4)] = \begin{bmatrix} \frac{ML^2}{3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{ML^2}{3} \end{bmatrix}_{\mathcal{B}_4}$$

Tous les solides du robot sont soumis à l'action de la pesanteur représentée par : $\vec{g} = -g\vec{y}_0$. Toutes les liaisons du système seront supposées parfaites.

N.B

On précise enfin que a, b, c, d, h et L sont des caractéristiques dimensionnelles constantes alors que $x, y, \lambda, \mu, \alpha$ et β sont des paramètres évoluant dans le temps, ils sont liés à la configuration géométrique du robot.

L'étude proposée se rapporte à la modélisation du robot en vue de concevoir et choisir les composants et les actionneurs qui répondent aux exigences fonctionnelles demandées. La modélisation reposera sur :

1. Une étude géométrique qui servira à l'identification des configurations limites du système.
2. Une étude cinématique dont l'objectif consiste à exprimer les vitesses de pilotage en fonction de la vitesse absolue des coques pendant l'opération de transfert conformément à la figure 7.
3. Une étude dynamique pour déterminer les inconnus des liaisons et la relation entre les actions mécaniques développées par les actionneurs.

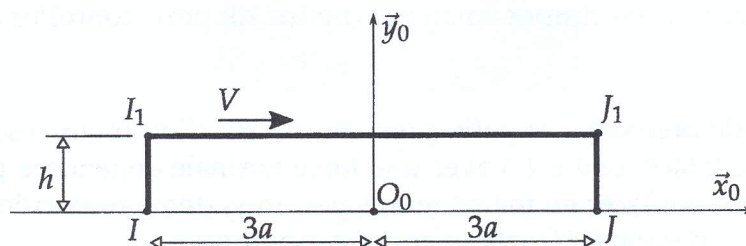


FIGURE 7 – Trajectoire parcourue par le centre E du porte ventouses

2.2 Résistance des matériaux

Dans cette partie on se propose d'effectuer un calcul de résistance de matériau se rapportant au coulisseau (1). Ce solide est réalisé par un assemblage permanent de deux entités : La première réalise la liaison glissière avec le bâti(0), la seconde entité est caractérisée par un élanement important suivant la direction $(O, \vec{x})$. Dans la position de blocage du coulisseau

(1), cette entité sera modélisée par une poutre droite encastree au bâti(0) et soumise aux efforts des bras (4) et (4') appliqués respectivement en A et A₁.

Pour alléger la structure, le concepteur a opté pour une poutre à section rectangulaire $H \times e$, ayant les caractéristiques dimensionnelles présentées par la figure 8.

Le problème sera traité en tant que problème plan.

Données :

- Module d'élasticité longitudinale du matériau de la poutre : $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$
- Section de la poutre : $H = 20 \text{ mm}$, e à déterminer ;
- Limite élastique à l'extension : $R_e = 240 \text{ MPa}$;
- Coefficient de sécurité : $s = 2.2$;
- $a_1 = 400 \text{ mm}$, $b = 100 \text{ mm}$;
- $F = 100 \text{ N}$;
- $I_{Gy} = \frac{He^3}{12}$ et $I_{Gz} = \frac{eH^3}{12}$;

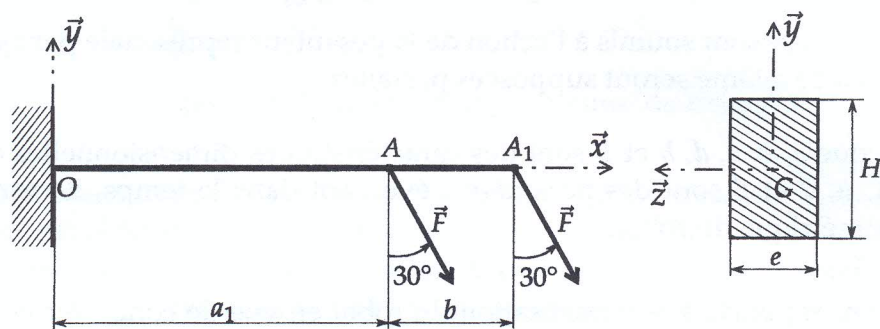


FIGURE 8 – Schématisation de la poutre étudiée, section droite

3 Partie B : Automatique

3.1 Présentation générale

Le patin presseur schématisé par la figure 9 est un mécanisme alimenté en pression pneumatique et supportant le feutre de polissage. Lors de son mouvement de va et vient il appuie sur la coque par une pression bien déterminée afin de ne pas endommager sa surface. Il est alimenté par un modulateur électropneumatique (figure 10) pour contrôler cet effort presseur.

Lors d'une opération de polissage, ce patin presseur, revêtu d'un feutre, est poussé sur la coque verticalement (déplacement $z(t)$) avec une force normale engendrée par la pression P_2 et il est contraint à se déplacer en même temps par un système roue-crémaillère par un mouvement de va et vient selon $(y(t))$ afin d'assurer le polissage.

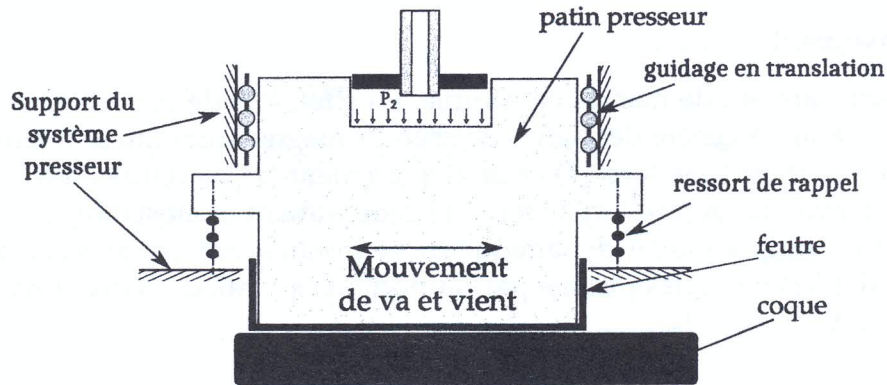


FIGURE 9 – Disposition du patin presseur par rapport à la coque lors d'une opération de polissage

La présente étude consiste à modéliser et commander en pression le modulateur électropneumatique afin de réguler la pression au niveau du patin.

Ladite étude porte sur un système électropneumatique dont l'élément clé est représenté par la figure 10. Il s'agit d'une régulation de pression dans un vérin de tension d'un modulateur électropneumatique.

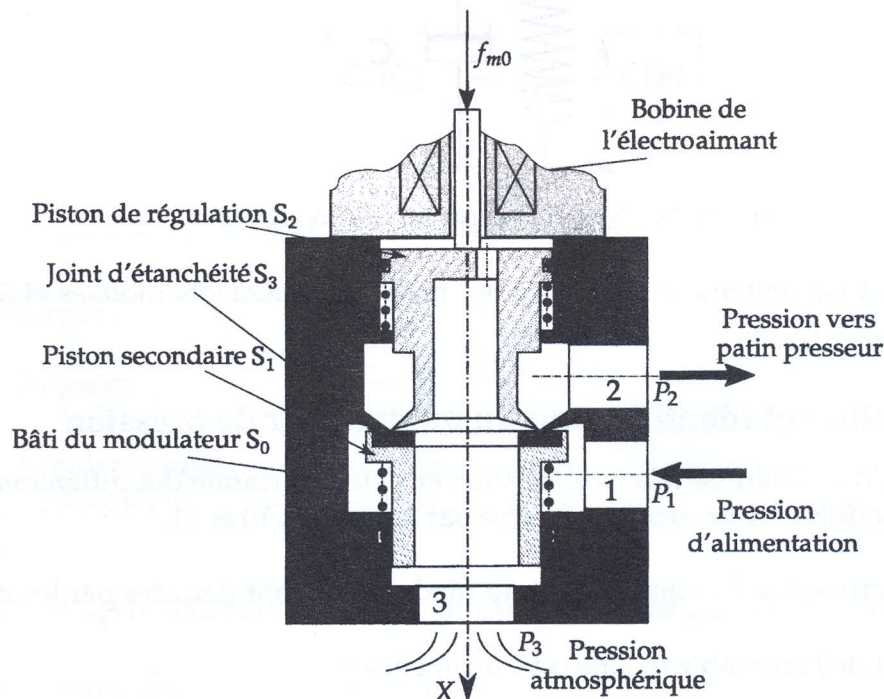


FIGURE 10 – Modulateur électropneumatique

3.2 Fonctionnement du modulateur

Le modulateur comporte trois orifices 1, 2 et 3 reliés respectivement à l'unité d'alimentation en air comprimé (P_1), au patin presseur (P_2), et à l'échappement (P_3). Un électroaimant exerce sur la tige du piston un effort f_m proportionnel au courant d'alimentation ($f_m = K_2.i$). La commutation entre les orifices est assurée par un joint d'étanchéité S_3 et les formes des pièces S_0 , S_1 et S_2 . En situation médiane (figure 10), on notera f_{m0} , l'intensité de l'effort f_m , lorsque l'action du bâti S_0 sur le joint d'étanchéité S_3 est nulle.

3.2.a) L'électro-aimant

Il s'agit d'un électro-aimant de manœuvre simple. En effet, lors de la mise sous tension de la bobine, l'électro-aimant génère des lignes de champs magnétiques qui se referment sur le noyau, induisant un effort (une force f) et un déplacement (x) de celui-ci. En l'absence de courant, le noyau revient à sa position de repos (électro-aimant monostable).

Pour déterminer le comportement dynamique de ce modulateur, on se place dans le cas où $f_m > f_{m0}$. Le déplacement des pistons par rapport à la situation médiane sera noté x , il résulte d'un effort $\Delta f = f_m - f_r$.

3.2.b) Modélisation du modulateur de pression

Afin d'identifier le comportement du modulateur de pression, nous considérons le modèle illustré sur la figure 11 :

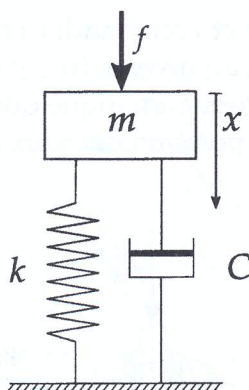


FIGURE 11 – Modèle adopté pour le modulateur

avec c : coefficient de frottement visqueux ; m : masse des éléments mobiles et k : raideur équivalente du système.

3.3 Modélisation et identification du modulateur de pression

Dans cette partie, on s'intéresse à la modélisation et à l'identification des différents éléments constitutifs du modulateur de pression illustré par les figures 10 et 11.

Les équations décrivant le fonctionnement du modulateur sont données par les cinq équations suivantes :

Le comportement de l'ensemble mobile est exprimé par :

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = \Delta f(t) - c \frac{dx(t)}{dt} - kx(t) \quad (1)$$

Le comportement de l'air comprimé situé au niveau de la sortie 2 du modulateur lorsque celle-ci est obturée est exprimé par :

$$p_2(t) = K_3 \cdot x(t) \quad \text{avec} \quad K_3 = 0.4 \text{ bar/cm} \quad (2)$$

L'électroaimant est modélisé par un gain, se traduisant par :

$$f_m(t) = K_2 \cdot i(t) \quad \text{avec} \quad K_2 = 10 \text{ bar/A} \quad (3)$$

Un gain K_1 adapte la pression de consigne p_c au courant nécessaire au pilotage de l'électroaimant se présentant sous la forme :

$$i(t) = K_1 \cdot p_c(t) \quad \text{avec} \quad K_1 = 1 \text{ A/bar} \quad (4)$$

La force f_r développée par le piston 2 de section S en fonction de la pression p_2 est donnée par :

$$f_r(t) = S \cdot p_2(t) \quad \text{avec} \quad S = 1.25 \text{ cm}^2 \quad (5)$$

3.4 Régulation de la pression au niveau du patin

La pression sur la bande feutrée est régulée afin de garantir un polissage optimal sans endommager la coque. Ceci est réalisé indirectement par contrôle de la pression d'alimentation du patin presseur.

La fonction de transfert du modulateur isolé étant connue, celui-ci est raccordé au patin presseur de la machine pour l'alimenter en pression pneumatique. On considère que la pression P_2 en sortie du modulateur est la même que dans la chambre du patin presseur.

Dans l'objectif d'assurer une bonne régulation de cette pression P_2 , le modulateur est inséré dans la chaîne d'asservissement suivante :

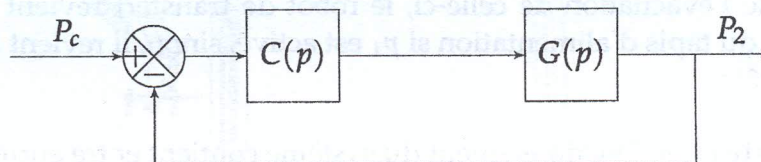


FIGURE 12 – Schéma fonctionnel de l'asservissement de pression

Cahier des charges :

Exigence	Critère	Niveau
Réguler la pression de contact feutre - coque	stabilité	marge de phase : $M_\phi = 45^\circ$
	rapidité	temps de réponse à 5% < 0.7s
	précision	écart statique de position nul.

4 Étude séquentielle du cycle de polissage de la coque

4.1 Description du cycle de polissage

Afin de lancer un cycle de polissage, l'opérateur commence par déposer une quantité de coques juxtaposées sur le tapis d'alimentation et appui sur le bouton de départ de cycle (Dcy). L'opérateur continuera à mettre d'autres coques sur le tapis d'alimentation tout au long du fonctionnement des cycles. Les conditions initiales sont alors :

- le robot de transfert est en position de repli (position d'attente initiale, voir figure 13),
- pas de coques sur le support rotatif de l'unité de polissage,
- pas de coques dans l'effecteur du robot,
- pas de coques sur le tapis d'évacuation.

Au départ du cycle le tapis d'alimentation, à commande monostable (KM1), se met en mouvement jusqu'à l'arrivée d'une coque devant le capteur de présence au bout du tapis (p_1 activé). Dans le cas où aucune coque n'arrive à ce capteur au bout de 10s, le système s'arrête.

complètement et nécessitera de nouveau un appui sur le bouton départ cycle. Par ailleurs, ce tapis d'alimentation continuera à alimenter avec les coques non polies tout au long du déroulement des cycles de polissage.

M100

Dans le cas où une coque se présente en bout de tapis (p_1 activé), le robot de transfert, qui était en position de repli (a_0 activé), reçoit l'ordre pour aller à la position ① de récupération de celle-ci (activation du capteur a_1), activer l'électrovanne monostable des ventouses de récupération (commande KV). Une fois la coque maintenue dans cet effecteur (activation du capteur q), le robot repart vers l'unité de polissage pour déposer la coque sur le support rotatif (position ②) et active ainsi le capteur de présence p_2).

A cet instant, l'automate lance l'opération de polissage proprement dite (gérée par la macro-étape "M200") en même temps que le robot de transfert revienne à la position de repli. Une fois "M200" finie (activation du capteur e),

M300

le robot, qui était en position repli, repart pour récupérer de nouveau la coque déjà polie et la dépose sur le tapis d'évacuation. Celle-ci est détectée par un capteur de présence (p_3).

M400

Le tapis se met ainsi en mouvement (commandé par KM2) durant 20 secondes, temps nécessaire à l'évacuation de la coque.

En même temps que l'évacuation de celle-ci, le robot de transfert revient rechercher une autre coque à partir du tapis d'alimentation si p_1 est activé, sinon, il revient à sa position de repli et le cycle s'arrête.

Ainsi, le grafcet décrivant le fonctionnement du système contient entre autres :

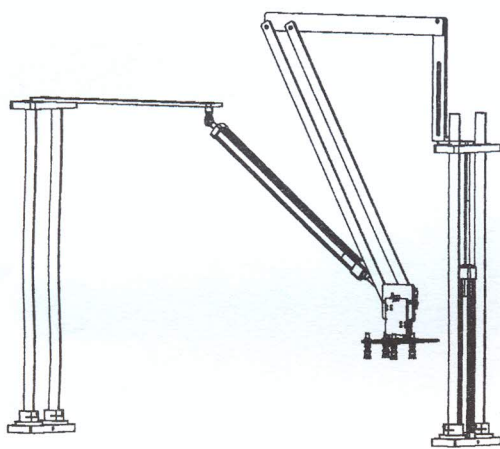
- Une macro-étape "M100" décrivant le transfert d'une coque du tapis d'alimentation au module de polissage.
- Une macro-étape "M200" décrivant l'opération de polissage.
- Une macro-étape "M300" décrivant le transfert d'une coque du module de polissage au tapis d'évacuation.
- Une macro-étape "M400" décrivant les séquences d'évacuation d'une coque.

TABLE 1 – Tableau récapitulatif des commandes des actionneurs

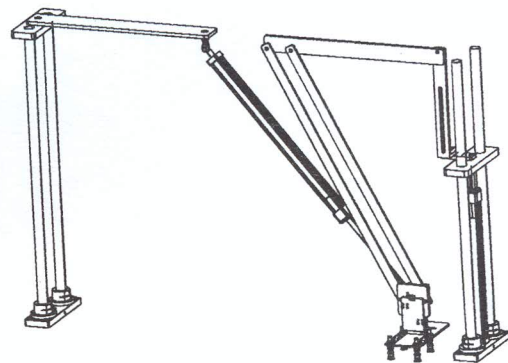
Commande du motoréducteur de tapis d'alimentation (monostable)	KM1
Commande du motoréducteur de tapis d'évacuation (monostable)	KM2
Commande de robot de transfert pour aller à sa position de repli ①	R0
Commande de robot de transfert pour aller à sa position ①	R1
Commande de robot de transfert pour aller à sa position ②	R2
Commande de robot de transfert pour aller à sa position ③	R3
Commande de l'électrovanne de l'effecteur du robot pour saisir une coque	KV

TABLE 2 – Tableau récapitulatif des capteurs

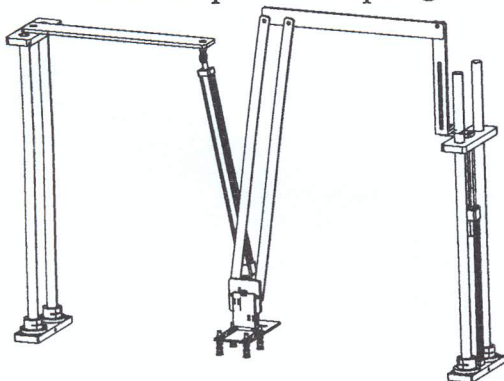
Coque arrivée au bout du tapis d'alimentation	p_1
Coque sur le support rotatif du système de polissage	p_2
Coque déposée sur le tapis d'évacuation	p_3
Robot en position de repli	a_0
Robot en position ① pour récupérer la coque du tapis d'alimentation	a_1
Robot en position ② pour déposer la coque sur le support rotatif	a_2
Robot en position ③ pour déposer la coque sur le tapis d'évacuation	a_3
Appui sur bouton de "Départ cycle"	D_{cy}
Coque maintenue par les ventouses du robot par dépression	q
Fin de l'opération de polissage	e



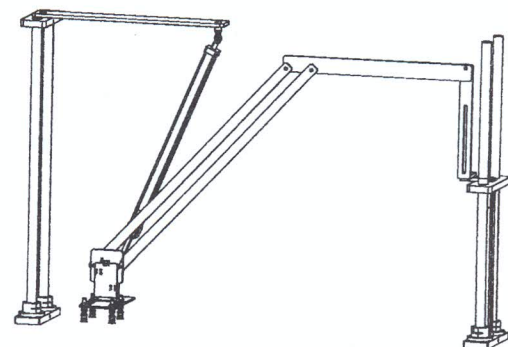
robot en position repli ①



robot en position ①

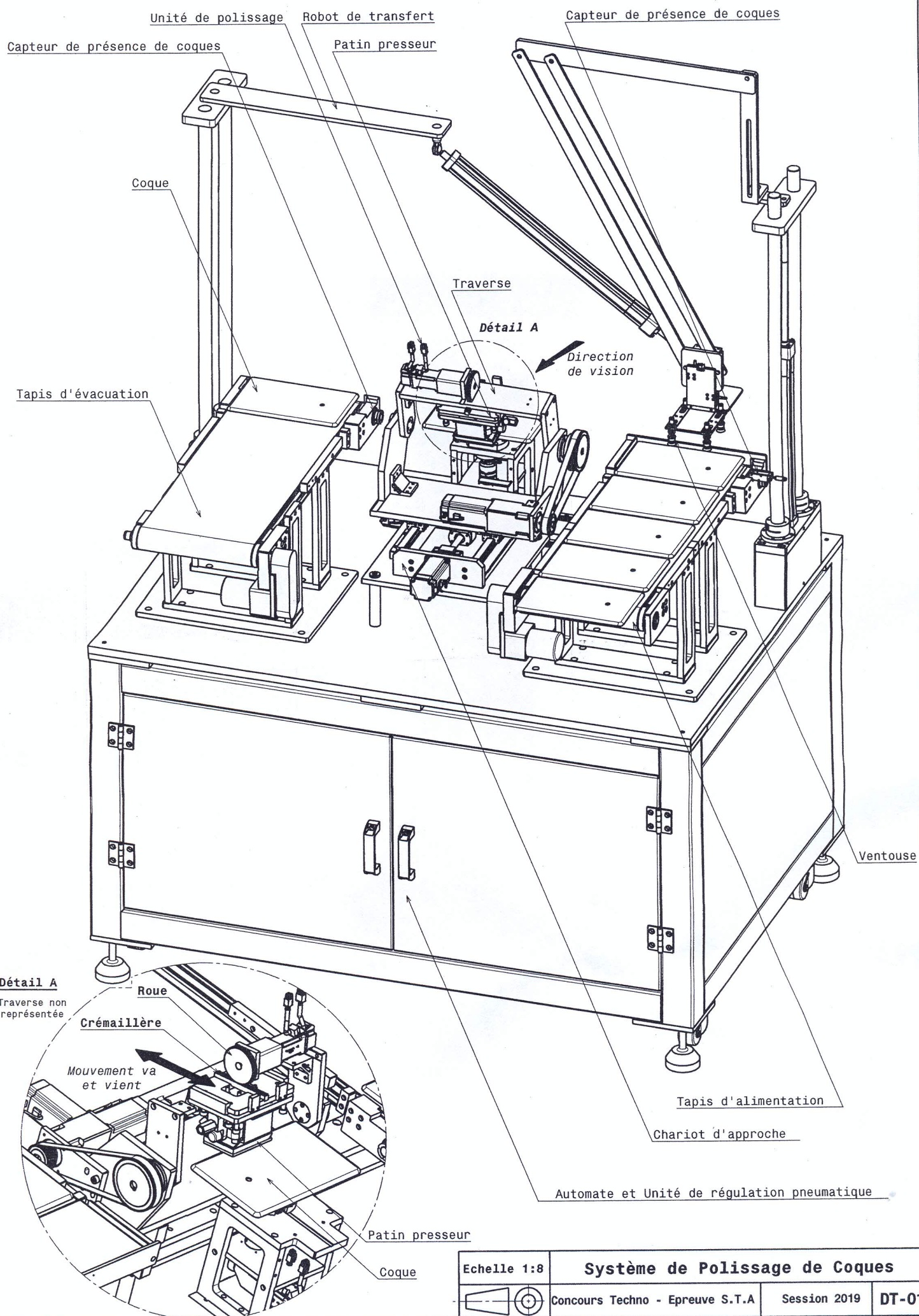


robot en position ②



robot en position ③

FIGURE 13 – Positions particulières du robot



Dossier

DOCUMENT REPONSES

- * Ce dossier comporte 21 pages numérotées de 1 à 21
 - ▷ Partie A – Mécanique des Solides Indéformables & R.D.M.
 - M.S.I. : pages de 1 à 8;
 - R.D.M. : pages de 8 à 11;
 - ▷ Partie B - Automatique : pages de 12 à 21;
- * Un seul dossier réponse est fourni au candidat et doit être rendu à la fin de l'épreuve, en totalité, même sans réponses.
- * Le renouvellement ou la reproduction de ce dossier sont strictement interdits.

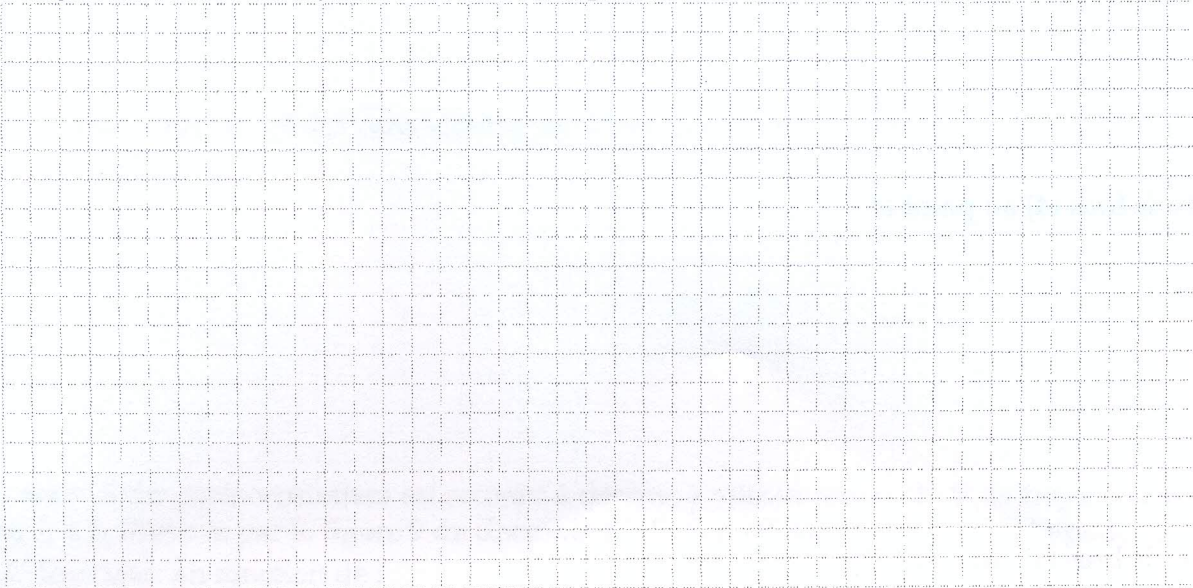
Partie A

Mécanique des Solides Indéformables

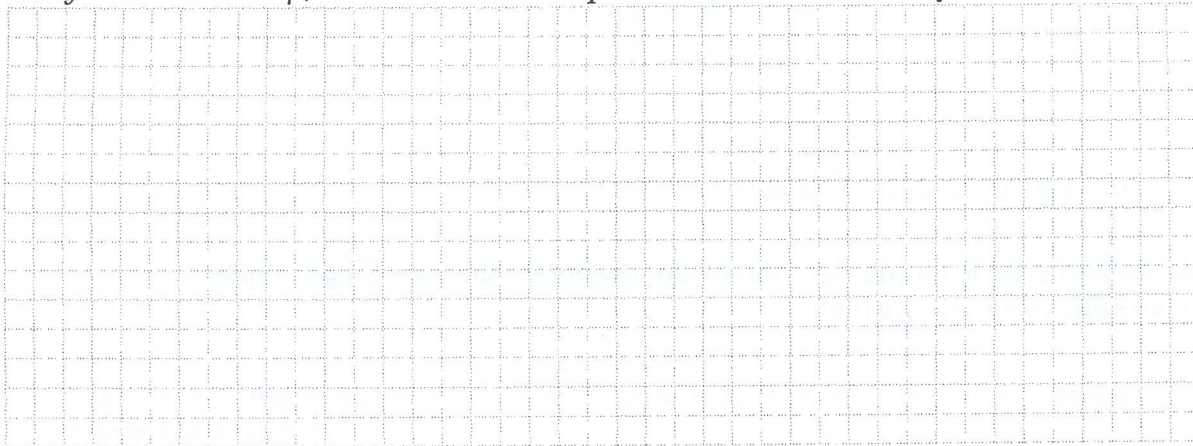
1 Étude géométrique

A.1: Écrire les relations géométriques exprimant :

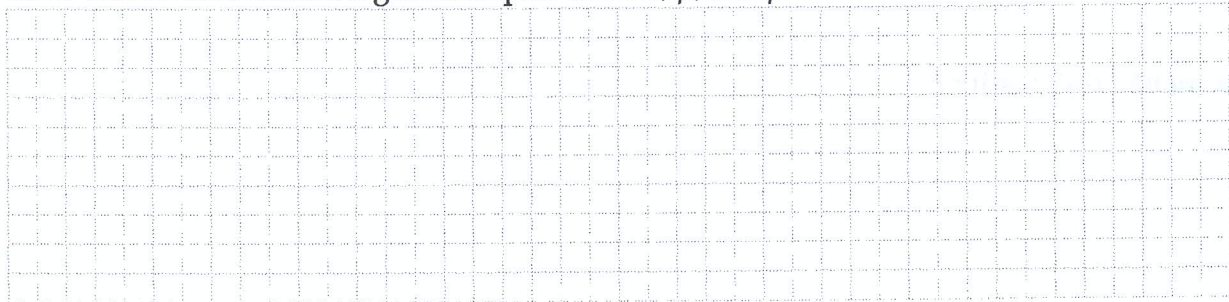
- a. x et y en fonction de λ , β et des caractéristiques dimensionnelles du système.



- b. x et y en fonction de μ , α et des caractéristiques dimensionnelles du système.



A.2: Dédire les relations géométriques entre λ , μ , α et β .



2 Étude cinématique

A.3: Déterminer en fonction des données du problème, les torseurs cinématiques représentant les mouvements par rapport au repère galiléen des solides suivants :

a. le coulisseau (1) au point A

b. le bras (4) au point D

c. le bras (4') au point D_1

A.4: Quelle est la nature du mouvement du porte-ventouse (5) par rapport :

a. au coulisseau (1)? Justifier.

b. au bâti (0)? Justifier.

A.5: Utiliser la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ pour déterminer la vitesse de E par rapport au bâti, l'exprimer en fonction de :

a. $\dot{\lambda}$, $\dot{\beta}$, β et des caractéristiques dimensionnelles du robot.

b. μ , α , leurs dérivées et des caractéristiques dimensionnelles du robot.

Le centre E du porte-ventouses est astreint à décrire, à vitesse constante V , la trajectoire reliant I_1 à J_1 illustrée par la figure 9 du document "Mise en situation, données et hypothèses".

A.6: Exprimer en fonction de :

a. V , les vitesses $\dot{x}$ et $\dot{y}$

b. V , a et h les lois horaires $x(t)$ et $y(t)$ sachant qu'à $t = 0$ le point E coïncide avec le point I_1 .

A.7: Utiliser les résultats des questions B.1 et B.2 pour établir les lois horaires des paramètres de motorisation $\mu(t)$ et $\lambda(t)$.

3 Étude dynamique

Dans cette partie on considérera le cas où le coulisseau (1) se trouve bloqué en position ($\dot{\lambda} = 0$). Le mouvement de l'ensemble formé par les solides (2-3-4-5) est généré par le pilotage de la translation μ de sorte que la vitesse angulaire imposée aux deux bras (4) et (4') se maintienne constante ($\dot{\beta} = \omega$).

A.8: Utiliser la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ pour écrire le bilan, au point C, de toutes les actions mécaniques extérieures s'appliquant au porte-ventouses (5).

A.9: Utiliser le résultat de la question B.3-b pour déterminer le torseur dynamique au point C du porte-ventouses dans son mouvement par rapport à $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

A.10: Écrire les équations dynamiques issues du principe fondamental de la dynamique appliqué au porte-ventouses dans son mouvement par rapport à $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

A.11: Utiliser la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ pour écrire le bilan en A de toutes les actions mécaniques extérieures s'exerçant sur le bras (4).

A.12: Déterminer le torseur dynamique au point A du bras (4) dans son mouvement par rapport à $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

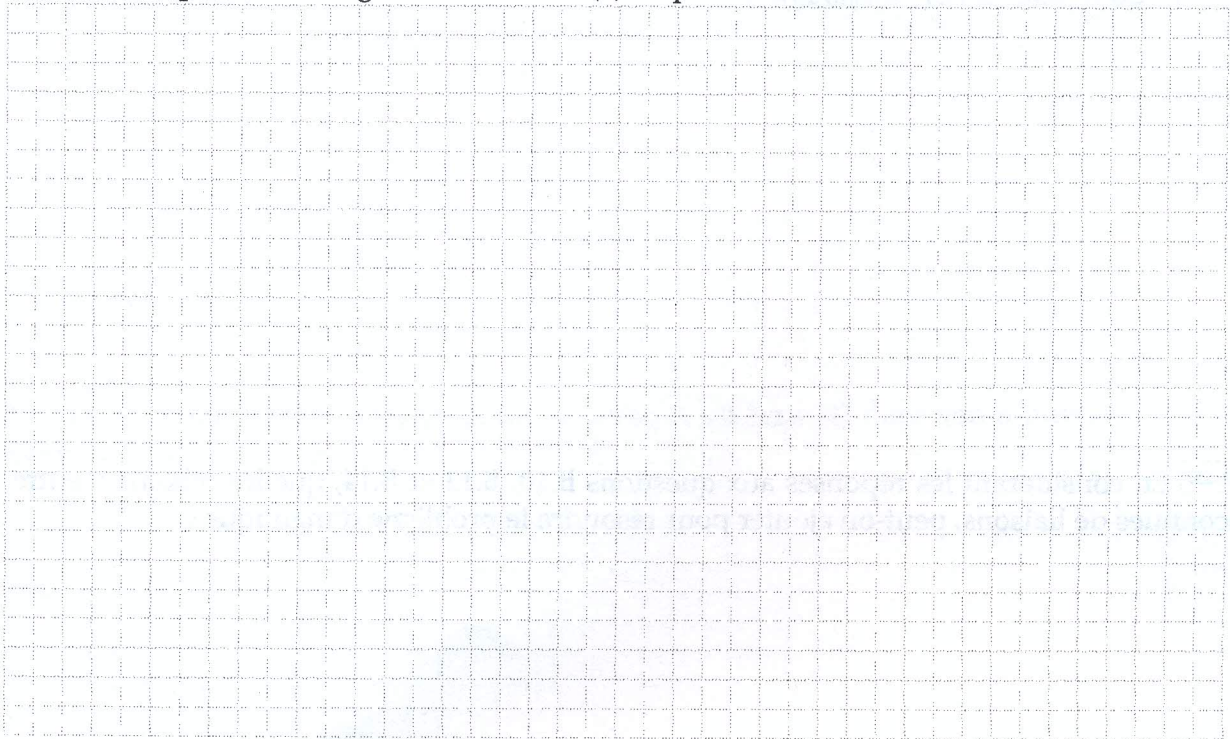
A.13: Établir les équations dynamiques du bras (4) dans son mouvement par rapport à $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

A.14: Établir, sans calcul, les équations dynamiques du bras (4') dans son mouvement par rapport au repère $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

A.15: En considérant les réponses aux questions B.10, B.13 et B.14, quelles relations, entre inconnues de liaisons, peut-on ajouter pour résoudre le problème dynamique ?

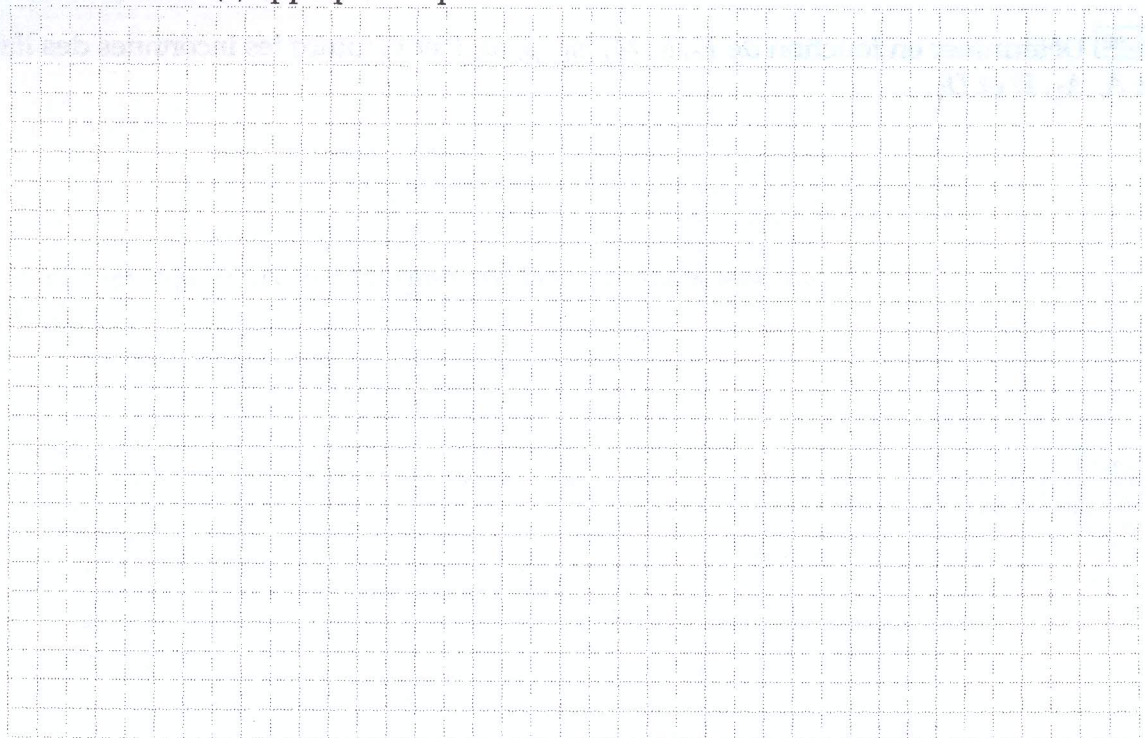
A.16: Déterminer en fonction de F_c , α , M , m_5 , β , ω , L et g , toutes les inconnues des liaisons en A , A_1 , D et D_1 .

A.17: Déterminer en fonction de m_1 , F_c , α , M , m_5 , β , ω , L et g , l'action F développée par l'actionneur pour le blocage du coulisseau (1) en position.

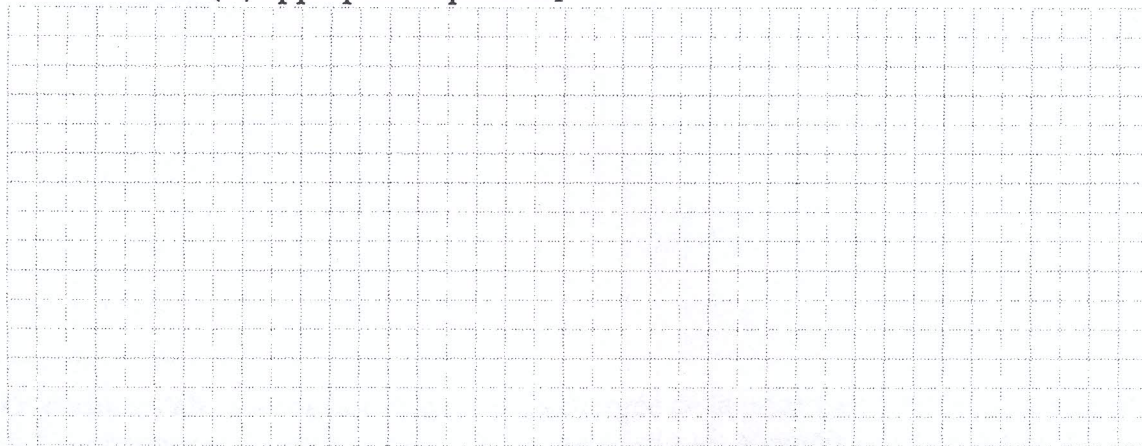


4 Résistance des matériaux

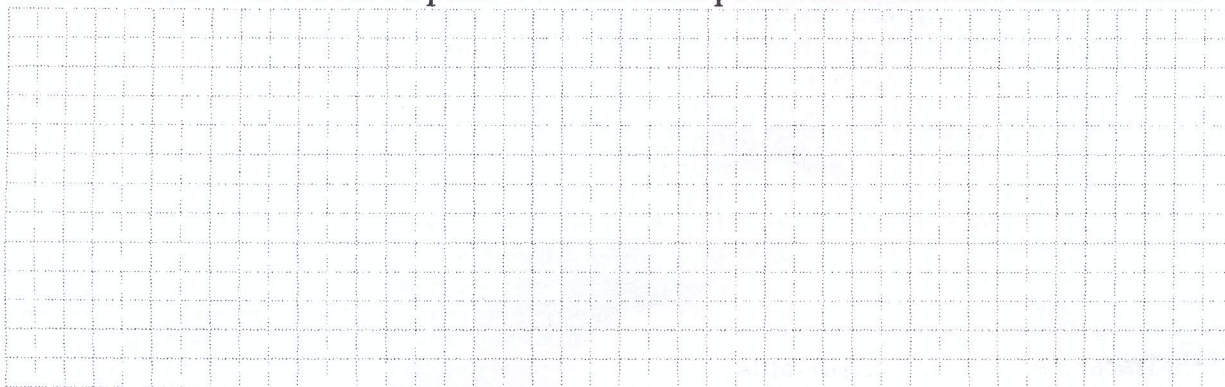
A.18: Déterminer les torseurs au point O des actions mécaniques suivantes :
— action du bras (4) appliquée au point A



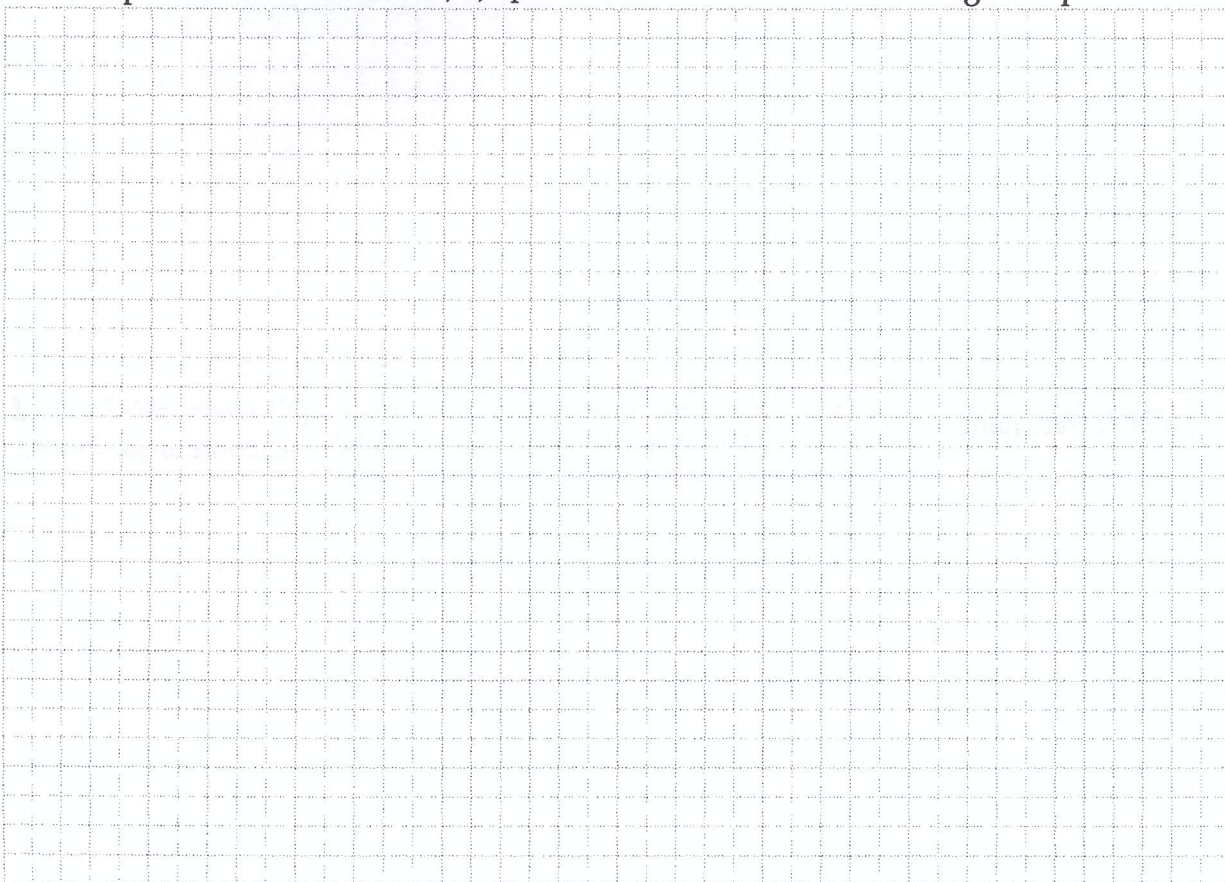
— action du bras (4') appliquée au point A_1

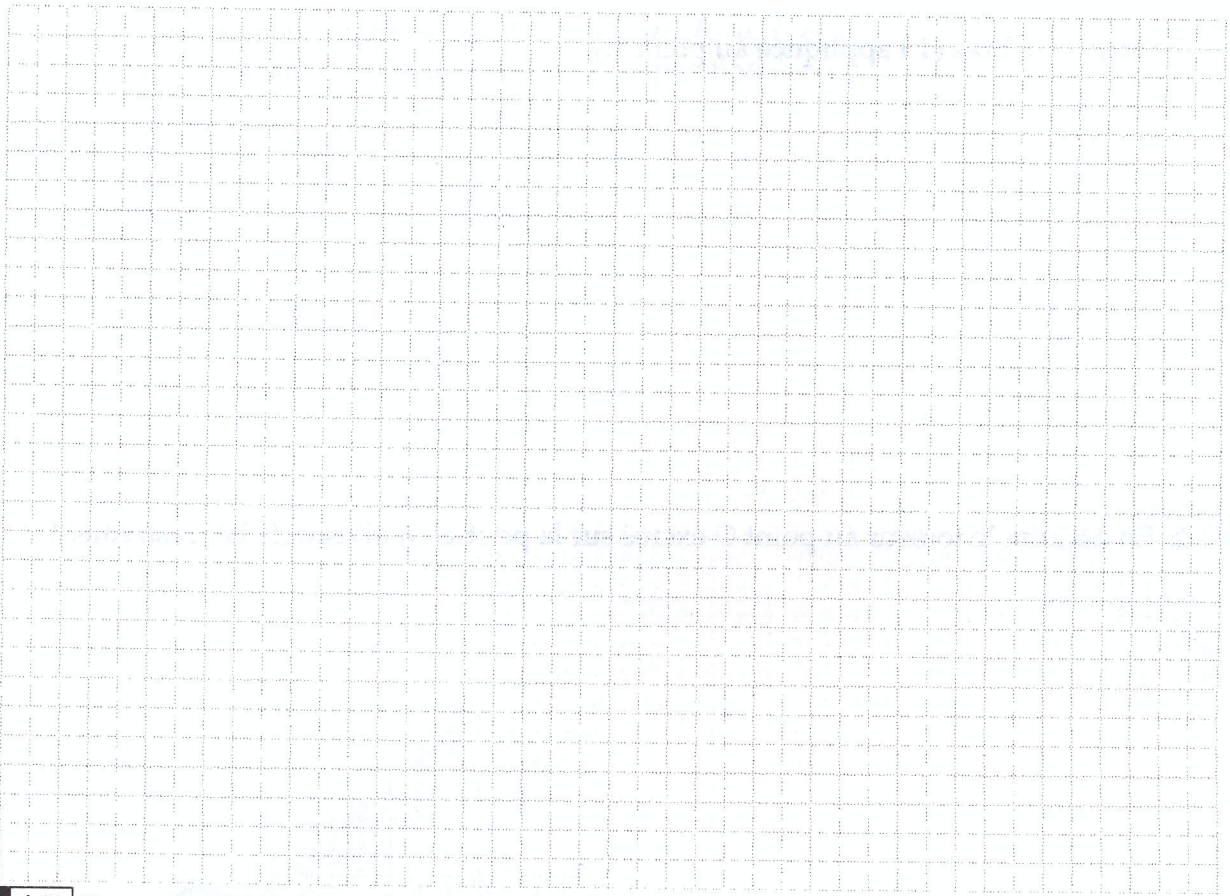


A.19: En déduire le torseur au point O exercé sur la poutre au niveau de l'encastrement.



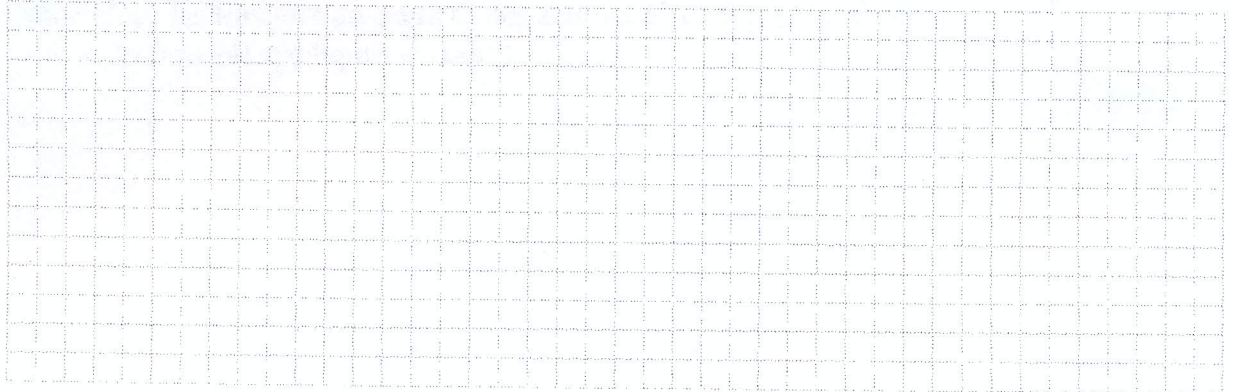
A.20: Exprimer en fonction de F , x , a_1 et b le torseur de cohésion le long de la poutre.



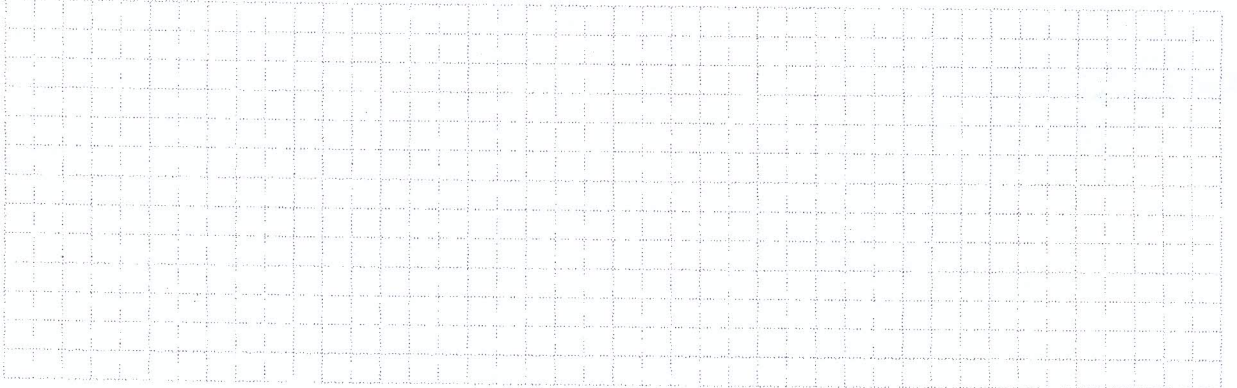


A.21: Tracer les diagrammes suivants :

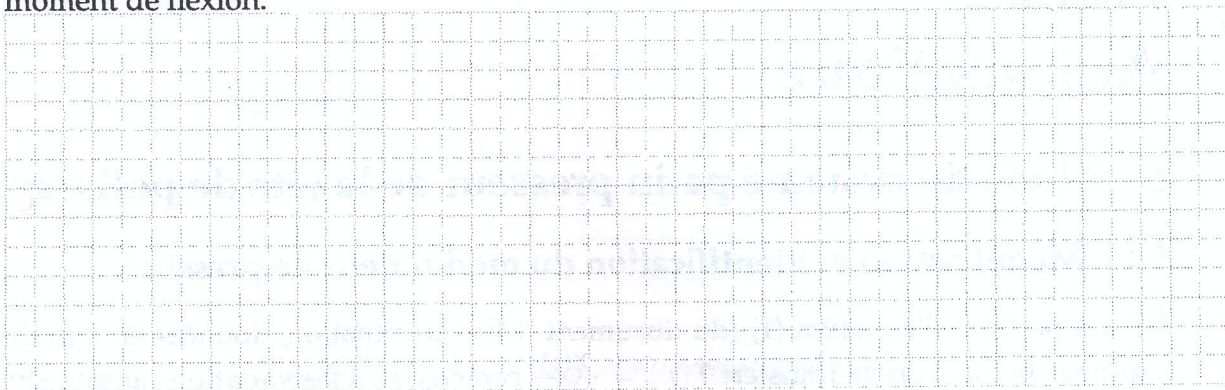
1. effort normal,



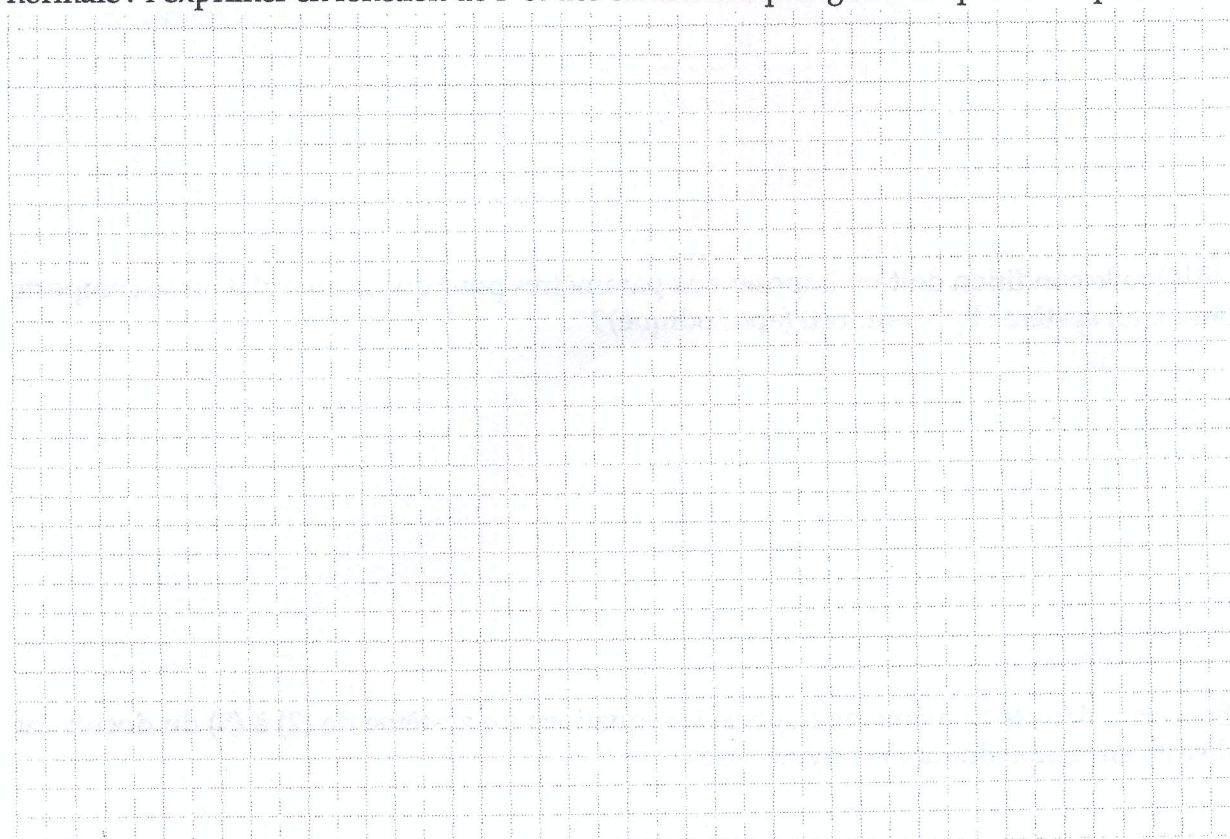
2. effort tranchant,



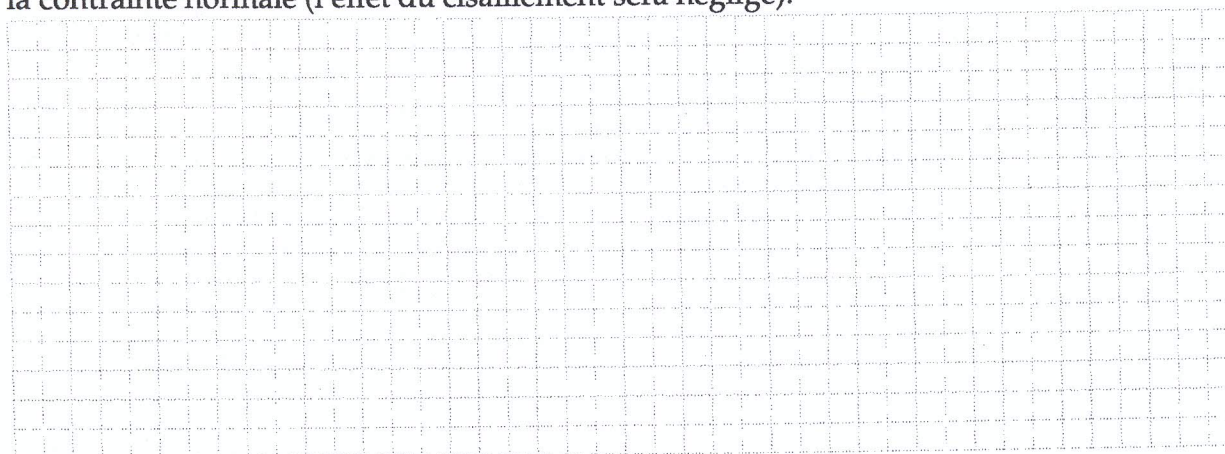
3. moment de flexion.



A.22: En déduire l'abscisse de la section la plus chargée de la poutre en termes de contrainte normale? l'exprimer en fonction de F et des caractéristiques géométriques de la poutre.



A.23: Déterminer l'épaisseur minimale permettant de satisfaire la condition de résistance à la contrainte normale (l'effet du cisaillement sera négligé).



Partie B

Automatique

5 Étude du système patin presseur de la tête de polissage

5.1 Modélisation et identification du modulateur de pression

B.1: A partir de l'équation (1) (du document "Mise en situation, données et hypothèses"), exprimer la fonction de transfert $T(p) = \frac{X(p)}{\Delta F(p)}$ caractérisant les variations autour du point de repos où les conditions initiales sont nulles.

B.2: Quelle condition doit-on imposer aux paramètres pour que le modulateur se comporte comme un système hyper-amorti (apériodique) ?

B.3: Écrire dans le domaine de Laplace les équations du système de (2) à (5) du document "Mise en situation, données et hypothèses".

B.4: Compléter le schéma fonctionnel ci-dessous :

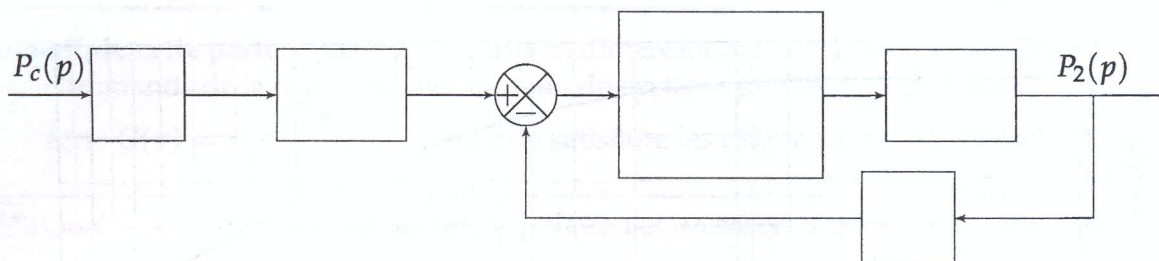


FIGURE 14 – Schéma fonctionnel du modulateur

B.5: Montrer que la fonction de transfert globale du modulateur $G(p) = P_2(p)/P_c(p)$ admet pour expression :

$$G(p) = \frac{P_2(p)}{P_c(p)} = \frac{A}{\frac{p^2}{\omega_0^2} + \frac{2\xi}{\omega_0}p + 1}$$

B.6: En déduire les expressions de A , ξ et ω_0 en fonction de m , k et c ; les autres paramètres (K_1 , K_2 , K_3 et S) sont à remplacer par leurs valeurs numériques.

Des essais harmoniques ont été conduits afin d'identifier les éléments de la fonction de transfert $G(p)$ du modulateur. Ils ont donné les courbes de Bode suivantes :

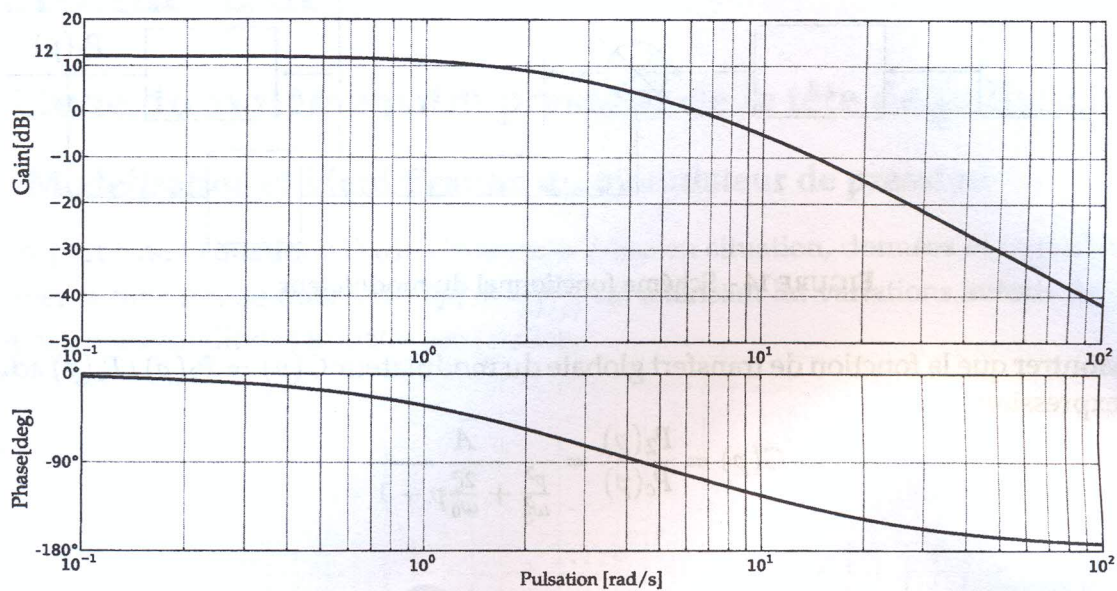
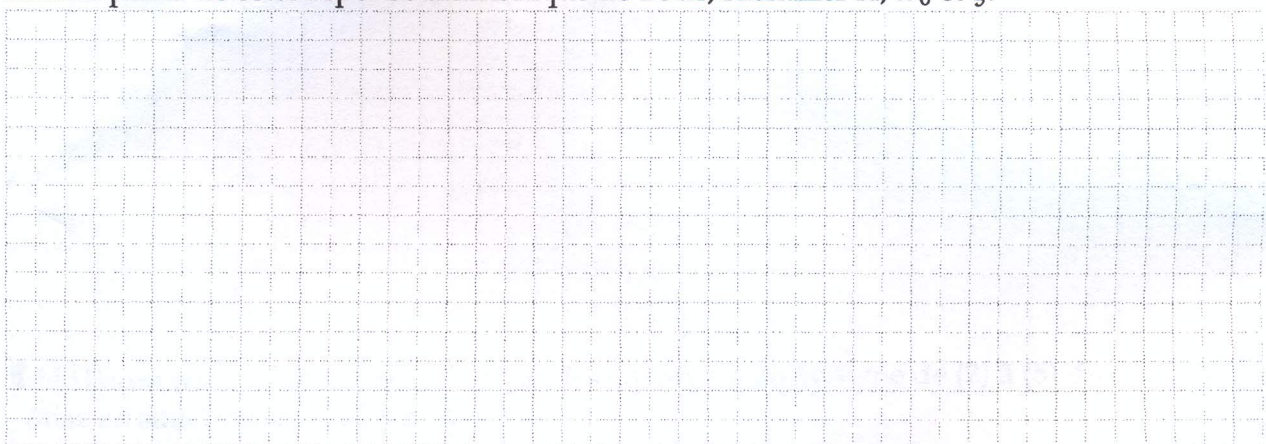
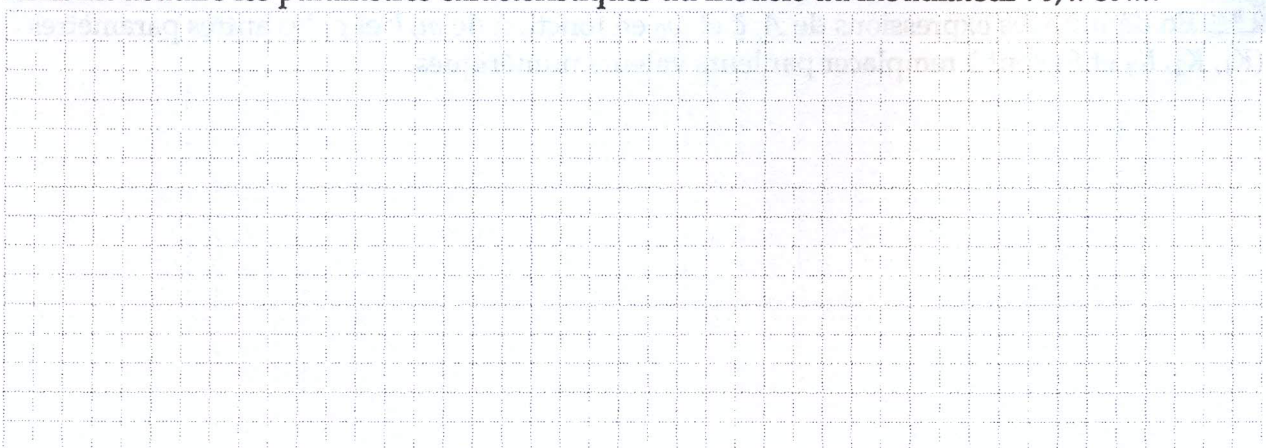


FIGURE 15 – Courbes de Bode de la fonction de transfert $G(p)$ du modulateur

B.7: A partir de cette réponse harmonique de Bode, identifier A , ω_0 et ζ .



B.8: En déduire les paramètres caractéristiques du modèle du modulateur : c , k et m .



5.2 Régulation de la pression du patin presseur :

Objectif de cette partie : Justifier le choix et dimensionner un correcteur approprié pour la commande de la régulation en pression du système presseur ayant la fonction de trans-

fert : $G(p) = \frac{80}{(2+p)(10+p)}$ afin de satisfaire les exigences du cahier des charges.

B.9: Quelle est la différence entre une régulation et un asservissement ?

B.10: En se référant à la figure 15, pour $C(p) = 1$ déterminer la marge de phase.

B.11: En se référant à la figure 12, pour $C(p) = 1$ déterminer l'erreur statique de position unitaire.

On donne sur la figure 16 la réponse indicielle unitaire du système non corrigé.

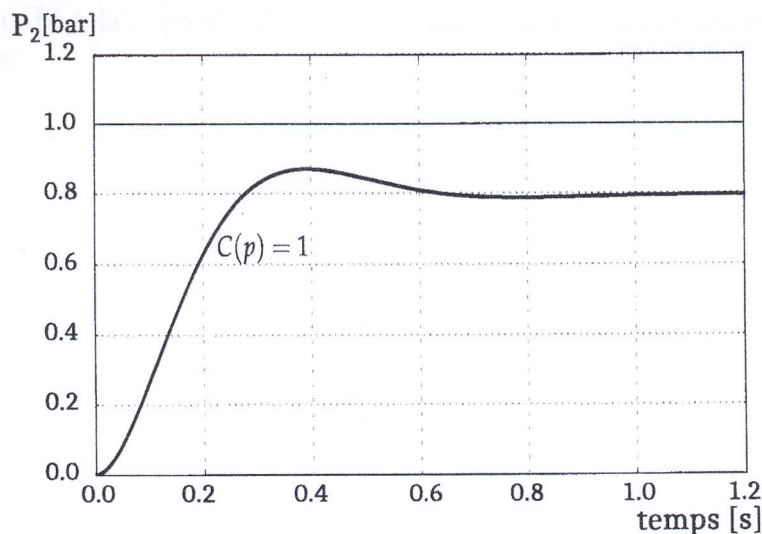


FIGURE 16 – Réponse indicielle du système sans correction

B.12: Déterminer graphiquement le temps de réponse à 5%.

B.13: Justifier pourquoi la régulation sans correction ($C(p) = 1$) ne permet pas de satisfaire les critères du cahier des charges.

Afin d'améliorer les performances du système, on envisage de placer un correcteur intégral $C(p)$.

5.2.a) Correcteur intégral : $C(p) = \frac{K_i}{p}$ avec $K_i > 0$

B.14: Déterminer K_i permettant de satisfaire la condition $M\varphi = 45^\circ$.

B.15: Calculer l'erreur statique de position unitaire.

On donne sur la figure 17 la réponse indicielle unitaire du système corrigé pour K_i trouvé précédemment.

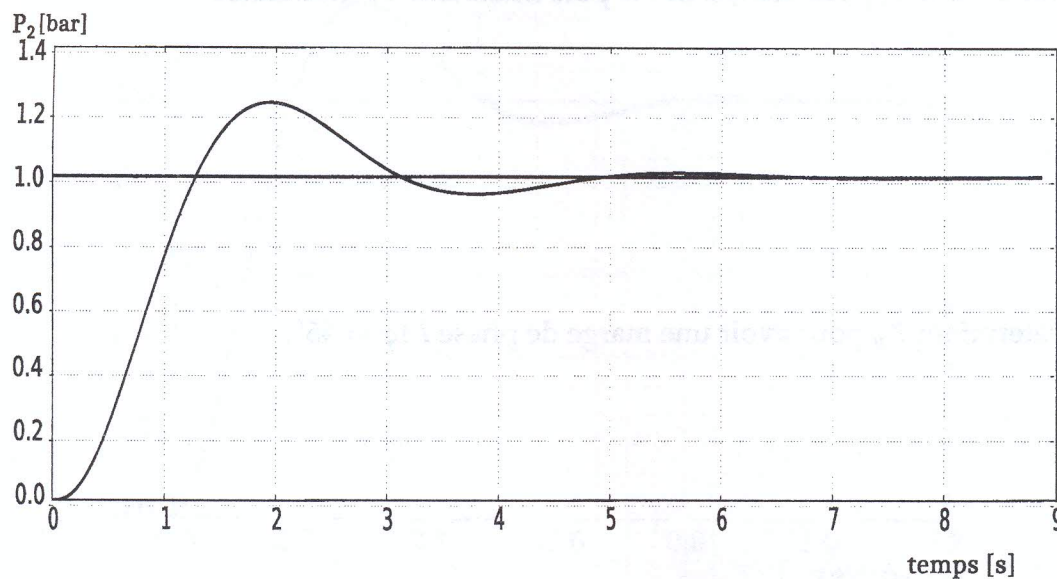
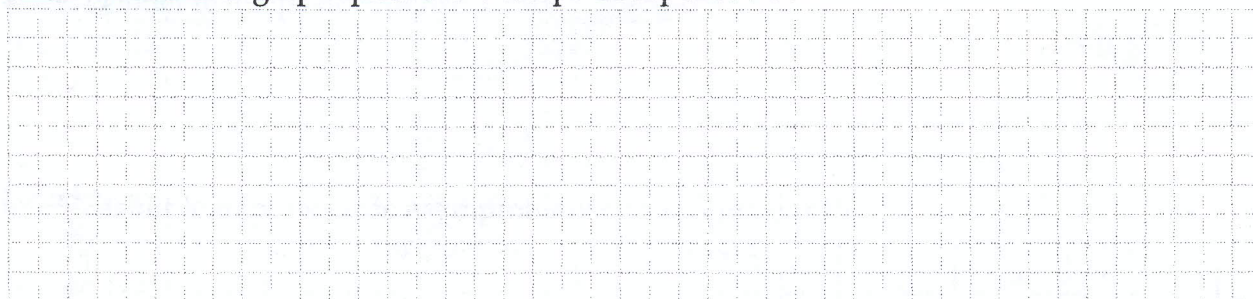
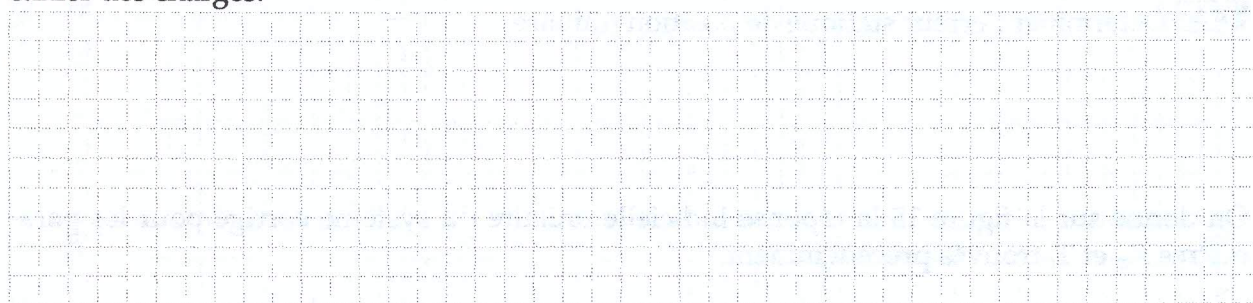


FIGURE 17 – Réponse indicielle du système avec correction intégrale

B.16: Déterminer graphiquement le temps de réponse à 5%.



B.17: Conclure quant à la capacité de ce correcteur à satisfaire l'ensemble des critères du cahier des charges.



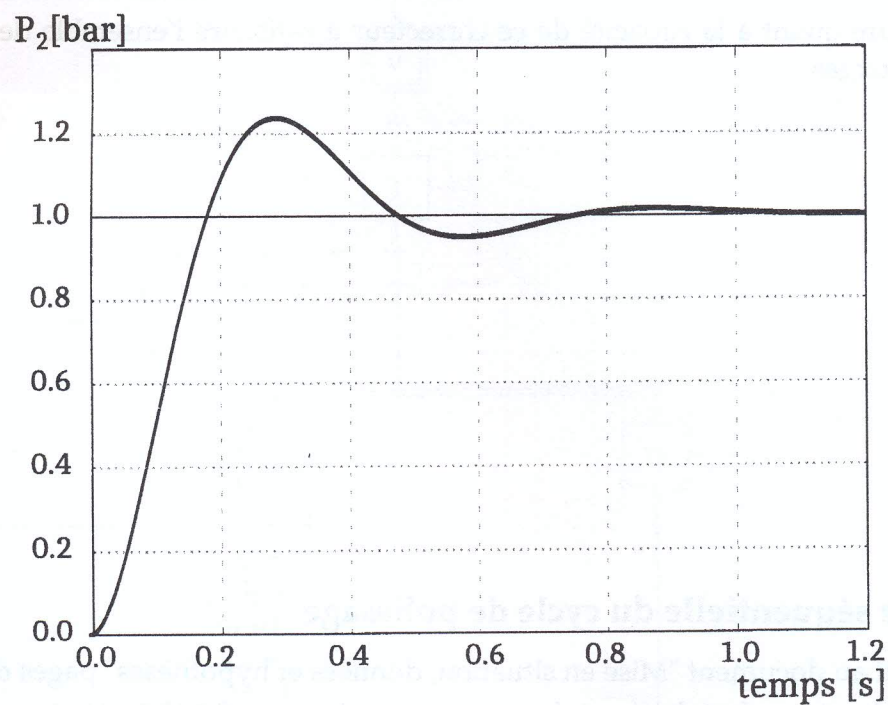
5.2.b) Correcteur proportionnel-Intégral : $C(p) = K_p \frac{1+T_i p}{T_i p}$ avec $T_i > 0$, $K_p > 1$

B.18: Déterminer T_i pour compenser le pôle dominant du modulateur.

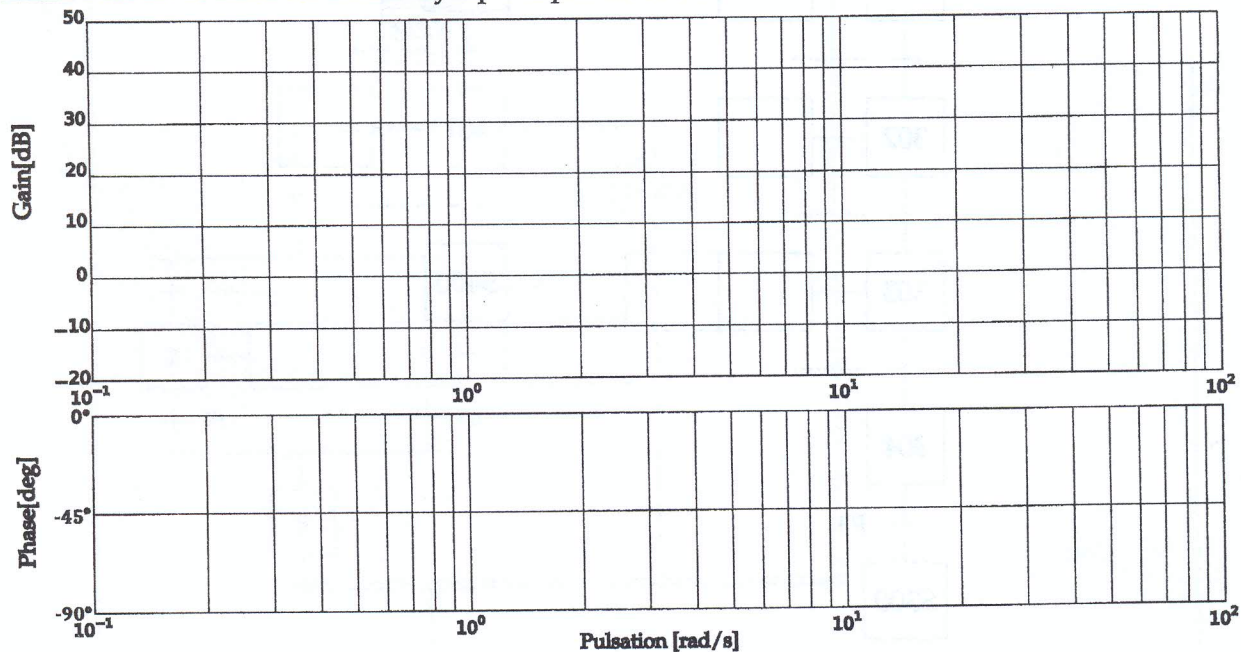
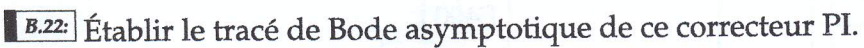
B.19: Déterminer K_p pour avoir une marge de phase $M\phi = 45^\circ$.

B.20: Déterminer l'erreur statique de position unitaire.

On donne sur la figure 18 la réponse indicielle unitaire du système corrigé pour les paramètres K_p et T_i trouvés précédemment.



B.21: Donner le temps de réponse à 5%.



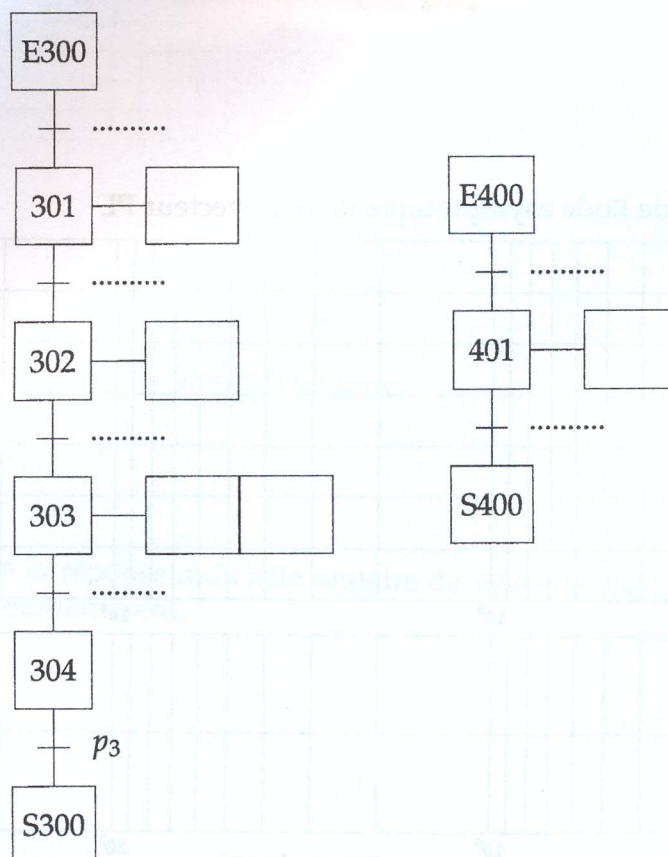
B.23: Conclure quant à la capacité de ce correcteur à satisfaire l'ensemble des critères du cahier des charges.

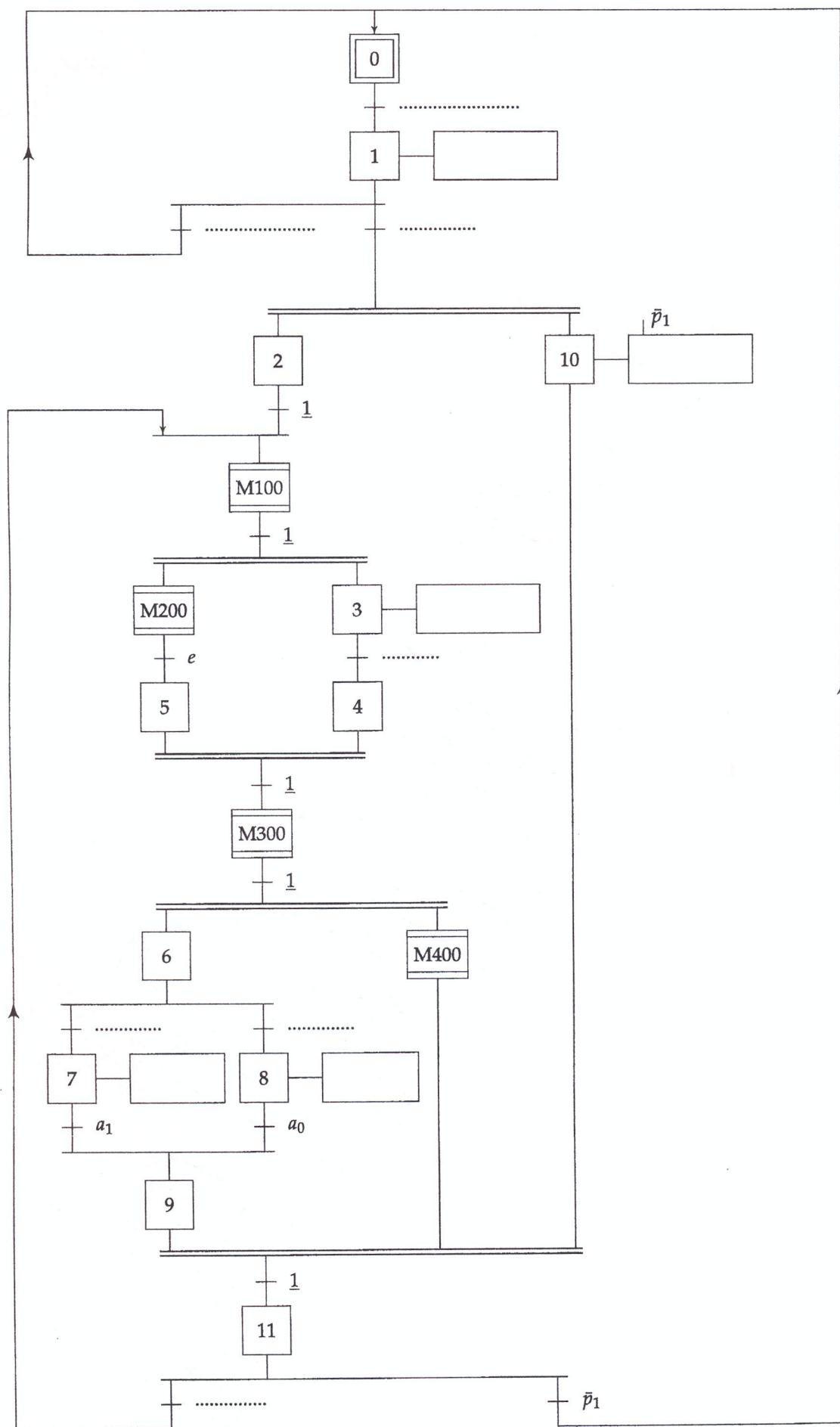
5.3 Étude séquentielle du cycle de polissage

En se référant au document "Mise en situation, données et hypothèses" pages de 9 à 11 :

B.24: Compléter le grafcet du point de vue commande (page 5.3/5.3) décrivant le fonctionnement du système de polissage.

B.25: Compléter les expansions de macro-étapes M300 et M400 ci-dessous.





RÉPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Concours Nationaux d'Entrée
aux Cycles de Formation d'Ingénieurs
Session 2019



الجمهورية التونسية

وزارة التعليم العالي

والبحوث العلمية
المناظرات الوطنية للدخول الى مراحل تكوين

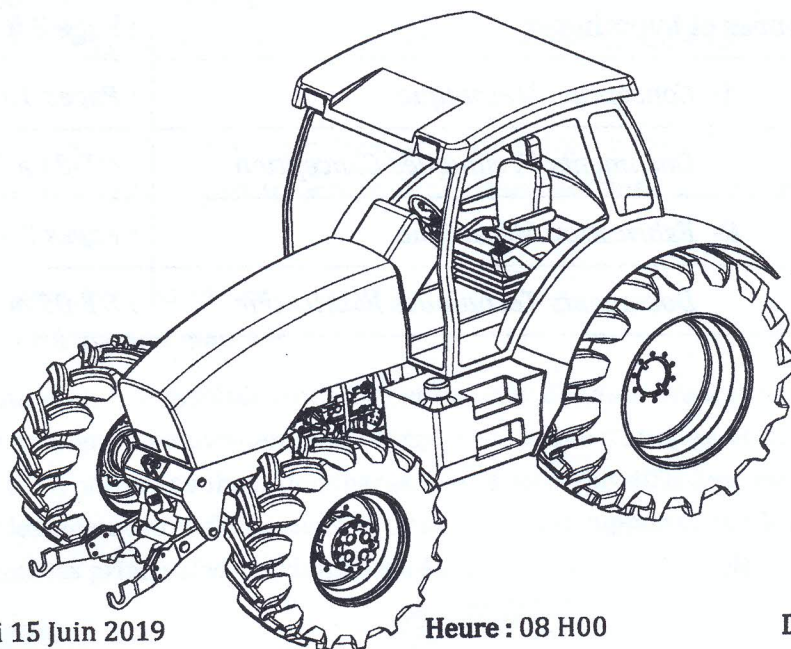
المهندسين

دورة 2019

Concours Technologie

Épreuve de

Conception & Fabrication Mécanique



Date : Samedi 15 Juin 2019

Heure : 08 H00

Durée : 4 Heures

L'épreuve comporte deux parties :

- A- Conception Mécanique (12 pts)
- B- Fabrication Mécanique (08 pts)

Le sujet de l'épreuve remis au candidat comporte trois dossiers :

- 1- Mise en situation, Données et Hypothèses
- 2- Documents Techniques (DT-01, 02, 03, 04, 05, 06)

Important :

- Aucun autre document n'est autorisé.
- Seules les calculatrices de poche non programmables sont autorisées.
- Il n'est fourni au candidat qu'une seule et unique copie du «Dossier document réponses » qui doit être rendu en totalité, à la fin de l'épreuve, même sans réponses.
- Le document réponses doit être rendu en intégralité (**aucune feuille ne doit être supprimée**).
- Toute suppression de feuilles du document réponses est considérée comme étant une tentative de fraude.

Dossier

Mise en situation, Données et Hypothèses

Ce dossier comporte 10 pages numérotées de 1 à 10 et six documents

techniques DT-01 à DT-06

◆	Mise en situation	: Pages 1 et 2
	<i>Documents Techniques</i>	: DT-01 à DT-06
◆	Données et hypothèses	: Page 3 à 10
★	A- Conception Mécanique	: Pages 3 à 6
	<i>Documents Techniques Conception</i>	: DT-01 à DT-04
★	B- Fabrication Mécanique	: Pages 7 à 10
	<i>Documents Techniques Fabrication</i>	: DT-05 et DT-06

ÉTUDE D'UN ENGIN AGRICOLE

1- Mise en Situation

La mécanisation agricole est une approche technologique qui est toujours d'actualité. Elle continue à évoluer pour apporter aux utilisateurs et aux agriculteurs en particulier, ainsi qu'au domaine agricole, plus de fonctionnalités. Au fil des années, le tracteur est devenu un outil de traction très polyvalent afin de répondre à un maximum de besoins de l'agriculture. Il permet de gérer simultanément plusieurs paramètres de mise en œuvre tels que :

- La trajectoire du tracteur,
- Le contrôle visuel d'un ou plusieurs outils (Presse à balles, charrues, etc.)
- L'optimisation des capacités du moteur (rapport vitesse/charge de traction),
- Les paramètres de réglage liés à l'usage des outils attelés au tracteur (régime prise de force, vitesse d'avancement, etc.),
- La gestion d'attelage en bout de champ (limitation des pertes de temps),
- Etc.

Le tracteur agricole est utilisé pour des travaux parfois très variés. Pour les travaux de champs, selon le type d'outil utilisé (charrues, etc.), deux systèmes d'attelage peuvent être exploités :

- Configuration à 2 roues motrices (arrières),
- Configuration à 4 roues motrices.

Selon le type d'outil utilisé, le système d'attelage et de prise de force avant permet de pousser, charger, porter et animer en mouvement une charge. Le système d'attelage et de prise de force arrière permet de tirer, porter et animer une charge. Il est à noter que 40% de la masse du tracteur est supportée par les roues avant alors que 60% de sa masse est supportée par les roues arrière. La **Figure. 1** présente les principales fonctions assurées par un tracteur agricole.

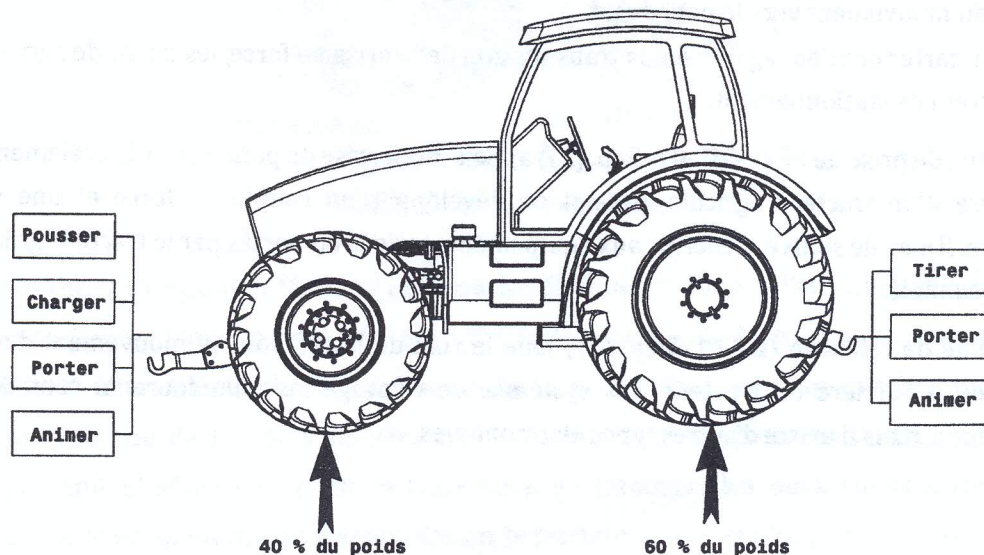


Figure. 1 – Principales fonctions d'un tracteur agricole

La série des éléments reliant la sortie du moteur du tracteur et les roues arrière constituent le système de transmission. Cette série est constituée de l'arbre moteur, de l'embrayage, de la boîte de vitesse, de l'arbre de transmission, du différentiel, des réducteurs et des roues (**Figure. 2**).

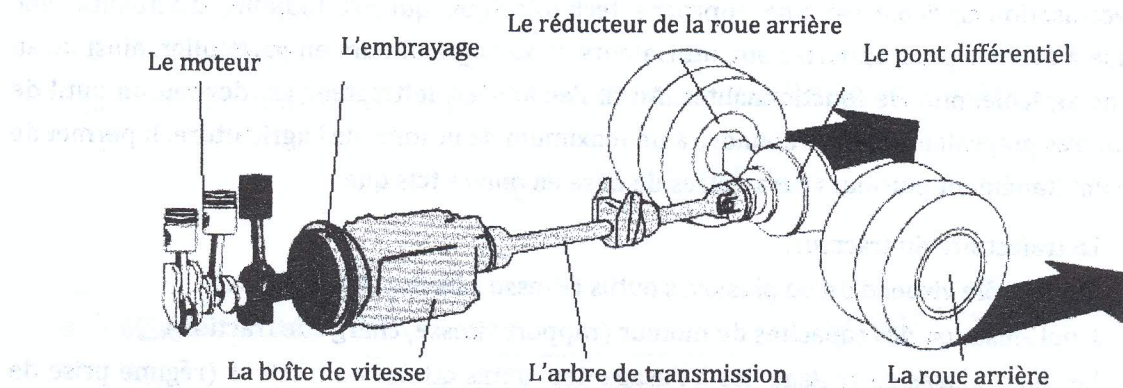


Figure. 2 – Système de transmission mécanique

Le sujet proposé concerne essentiellement l'étude des composants associés au tracteur, qui sont :

- Le pont arrière (**DT-02**).
- Le système d'attelage et de prise de force (**DT-01**).

2-Pont arrière du tracteur

Le pont arrière du tracteur présenté par le dessin d'ensemble (**DT-02**) et le schéma cinématique minimal (**DT-03**), est un système de transmission de puissance regroupant :

- le renvoi d'angle, le différentiel, les trompettes comportant les arbres de roues et les réducteurs finaux pour la transmission aux roues arrière,
- la transmission et l'embrayage (non représentés dans le document **DT-02**) pour la sortie du mouvement vers le pont avant,
- le carter contient également la transmission de la prise de force, les freins de service et le frein de stationnement.

Le système de prise de force (**DT-01-Rep. (2)**) appelé aussi prise de puissance, généralement situé à l'arrière d'un tracteur agricole, permet de développer un couple de force et une vitesse angulaire. Il sert de source d'énergie aux équipements traînés ou portés par le tracteur grâce à un embout cannelé.

Le système de relevage (**DT-01-Rep. (1)**) joue le rôle de levier pour le mouvement d'outils à l'avant ou à l'arrière du tracteur. Les systèmes de relevage les plus courants sont du type hydraulique, mais il existe d'autres types électroniques.

3-Données et Hypothèses

Partie -A : Conception Mécanique

Cette partie porte sur l'étude fonctionnelle et technologique du pont arrière du tracteur agricole. Elle s'appuie sur les documents techniques (DT-01, DT-02, DT-03 et DT-04). L'épreuve concerne notamment :

- L'étude fonctionnelle du pont arrière,
- L'étude technologique des composants du pont,
- L'étude de la chaîne de transmission de puissance des réducteurs à trains épicycloïdaux et du système de freinage,
- L'analyse du système d'attelage relatif au pont arrière,
- L'étude graphique.

A.1- Étude fonctionnelle du pont arrière

Parmi les éléments constitutifs du pont arrière nous citons, le différentiel qui permet aux roues du même pont de pouvoir tourner à des vitesses différentes (**Figure. 3**). Il est très utile au niveau des virages puisque la roue intérieure de l'engin parcourt moins de distance que la roue extérieure et donc doit tourner moins vite si l'on désire qu'elle ne fait pas de patinage.

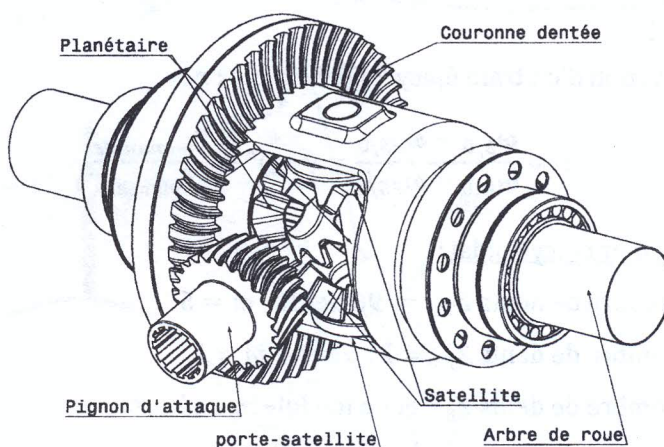


Figure. 3 – Le bloc différentiel

Si l'une des roues d'un pont différentiel peut tourner librement (roue en l'air, ou en glissant), toute la puissance sera transmise à cette roue et l'autre restera immobile. Le tracteur sera donc bloqué. Pour pallier à ce problème, il est possible de bloquer le différentiel pour que la puissance du moteur soit répartie de la même manière sur les deux roues du pont. Par contre, la direction des roues avant n'influera plus sur la trajectoire du tracteur : les deux roues arrière ayant la même vitesse permettent plus de contrôle sur le tracteur (puisque plus grosses), le tracteur ira tout droit.

A.2- Étude Technologique

Dans cette partie, le candidat est appelé à répondre sur le document réponses, en s'appuyant sur les documents techniques DT-01, DT-02, DT-03 et DT-04.

A.3- Étude de transmission de puissance

Dans cette partie, l'étude concerne les trains épicycloïdaux et le système de freinage du pont arrière. Elle repose sur les données du schéma cinématique minimal du document technique (DT-03). On cherche à évaluer le rôle des différentiels et des réducteurs dans la fonction de transmission. Le mouvement de rotation de l'arbre moteur est transmis aux roues arrière par l'intermédiaire de trois réducteurs à train d'engrenage épicycloïdal sphérique et deux trains épicycloïdaux plans identiques (droite et gauche).

On s'intéresse à l'étude de la transmission du mouvement de rotation du moteur aux deux roues arrière (DT-03). Pour cette partie de l'étude, les effets d'inertie des pièces seront négligés (Poids négligé).

Lors du freinage, les deux freins (52) et (69) (DT-02) seront activés par un circuit hydraulique de commande. Nous souhaitons déterminer le temps de freinage du tracteur.

Données et hypothèses

◆ Formule de Willis :

Le rapport de réduction d'un train épicycloïdal simple : r

$$r = \frac{\omega_{S/0} - \omega_{PS/0}}{\omega_{E/0} - \omega_{PS/0}} = (-1)^n \frac{\prod Z_{menantes}}{\prod Z_{menées}}$$

◆ Éléments du réducteur épicycloïdal :

- Pièce (71): nombre de dents $Z_{71} = 96 \text{ dents}$; $m = 5$
- Pièce (73): nombre de dents $Z_{73} = 24 \text{ dents}$; $m = 5$
- Pièce (85): nombre de dents Z_{85} et de module m à déterminer.

◆ Éléments du renvoi d'angle

- Pièce (37): nombre de dents $Z_{37} = 15 \text{ dents}$; $m = 8$
- Pièce (40): nombre de dents $Z_{40} = 60 \text{ dents}$; $m = 8$

◆ Éléments des freins (52) et (69) :

- Inertie équivalente des pièces tournantes du pont arrière ramenée sur l'axe de rotation de l'arbre (52) : $I_{eq} = 2000 \text{ kg.m}^2$
- Vitesse initiale du tracteur avant freinage : $v = 50 \text{ km/h}$
- Diamètre extérieur de la roue arrière du tracteur : $\varnothing D = 1,5 \text{ m}$
- Force axiale générée par les pistons (49) : $F_a = 16000 \text{ N}$

- Dimensions des disques de freinage : $R_1 = 100 \text{ mm}$, $R_2 = 164 \text{ mm}$,
- Coefficient de frottement sur le disque : $\mu = 0,2$

A.4- Analyse du système d'attelage arrière du tracteur

L'objectif de cette partie consiste à étudier la mobilité du système d'attelage arrière (Figure. 4 a) en position basse, en se référant au schéma cinématique correspondant à la Figure. 4 b.

Dans ce cas d'étude, on suppose que les liaisons sont parfaites, sans jeu et les solides en contact sont indéformables. On associe au châssis (28), le repère orthonormé direct $R(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$.

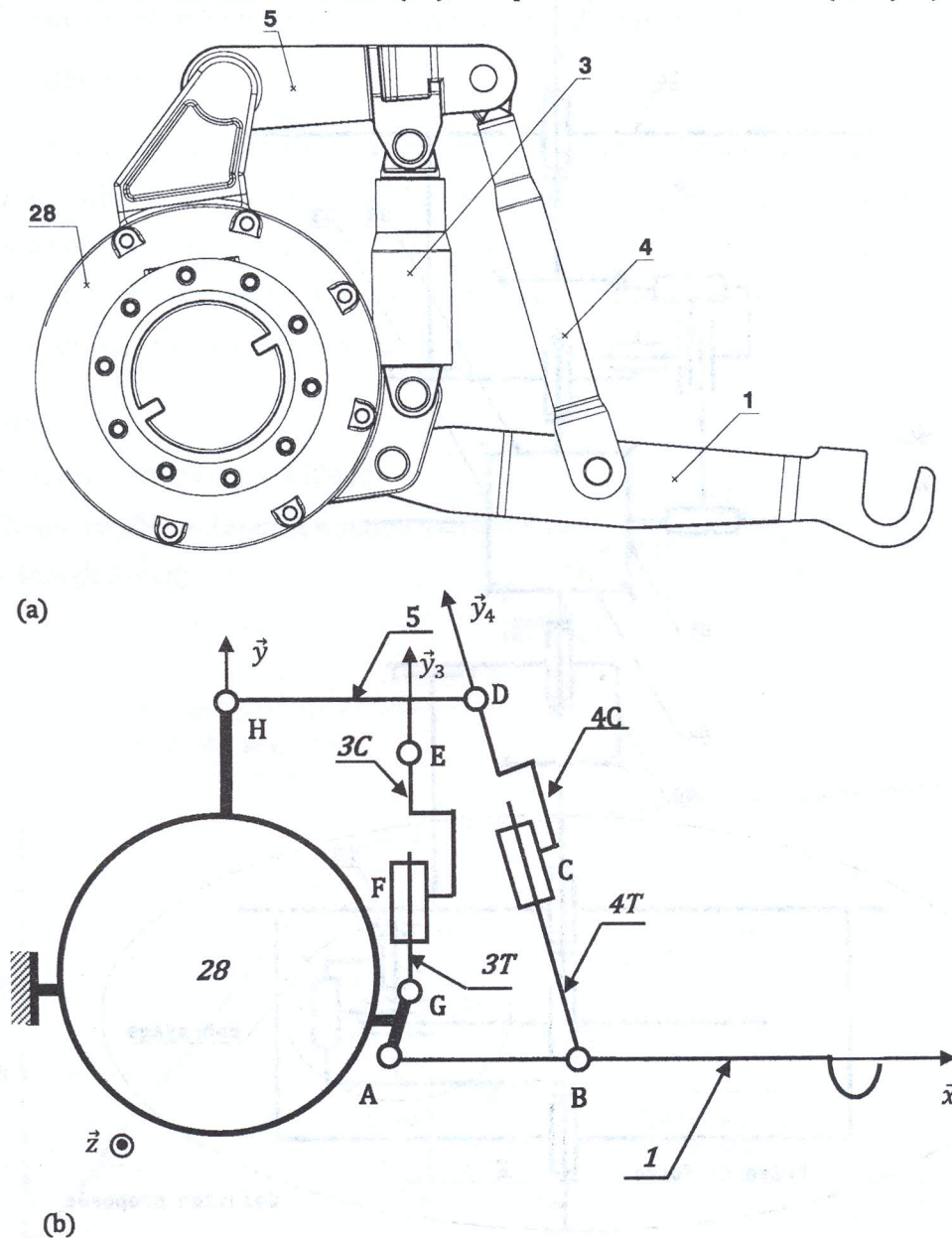


Figure. 4 –Schéma cinématique du système d'attelage

$$L_{1/28}(A, \vec{z}); L_{1/4T}(B, \vec{z}); L_{4C/4T}(C, \vec{y}_4); L_{5/4C}(D, \vec{z}); L_{5/3C}(E, \vec{z}); L_{3C/3T}(F, \vec{y}_3);$$

$$L_{28/3T}(G, \vec{z}); L_{28/5}(H, \vec{z})$$

A.5- Étude Graphique

- On se propose de substituer la liaison $L_{1/28}(A, \vec{z})$ (**Figure.4**) du bras de relevage inférieur (1) et du châssis (28) en tenant compte du diamètre de l'axe (30).
- En exploitant le schéma cinématique de la **Figure.5**, nous proposons de concevoir une solution permettant la transmission de mouvement au système de prise de force (2). La solution proposée est illustrée sur le schéma ci-dessous.

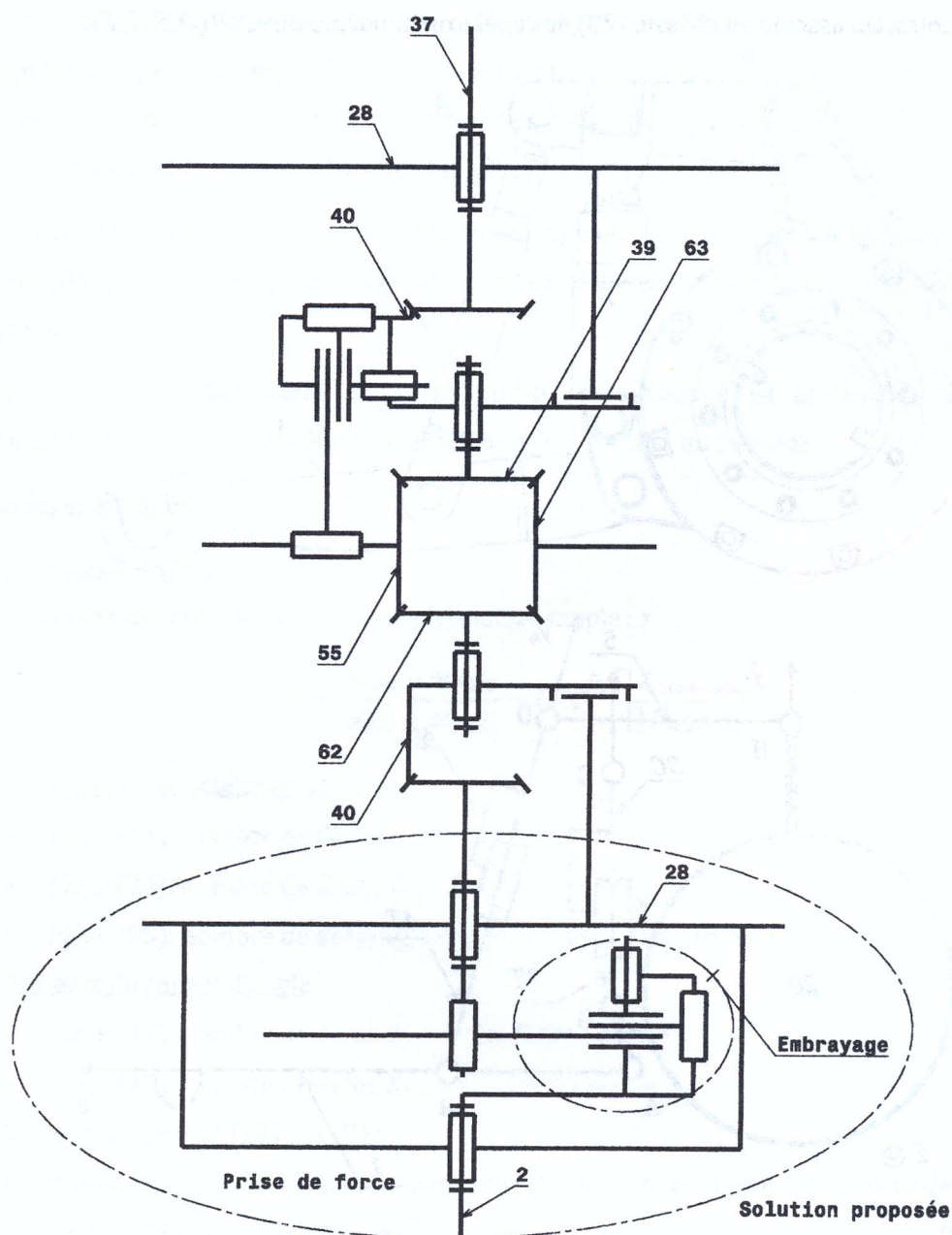


Figure. 5 –Schéma cinématique du système de prise de force

Partie B : Fabrication Mécanique

Cette partie est dédiée à l'étude de la fabrication de l'essieu (22) et du couvercle (8) présentés respectivement dans les documents DT-05 et DT-06 mentionnant les caractéristiques dimensionnelles, géométriques et d'état de surface. Cette étude concerne notamment :

- L'étude des matériaux,
- L'étude de la fabrication de l'essieu (22),
- L'étude de la coupe de l'essieu (22).
- L'usinage par fraisage à commande numérique du couvercle (8),

B.1- Étude des matériaux

L'objectif principal de cette partie est de déterminer les propriétés mécaniques des matériaux à partir de la courbe de traction, ainsi que l'étude du traitement thermique des pièces du tracteur.

La Figure .6 présente la courbe de traction sur une éprouvette cylindrique du matériau de la pièce (22). Lors de l'essai, on enregistre une courbe permettant de donner l'effort appliqué F à l'éprouvette en fonction de l'allongement ΔL .

Éprouvette :

- Longueur initiale : $L_0 = 150\text{mm}$
- Diamètre $\varnothing D = 15\text{mm}$ (supposé constant au cours de l'essai)

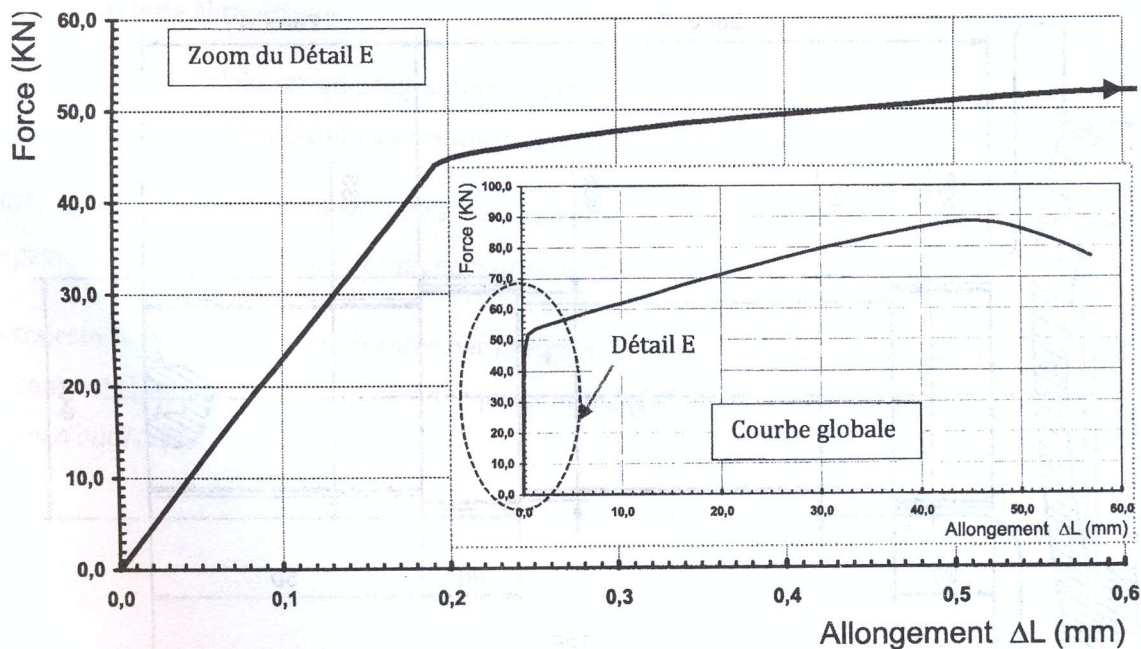
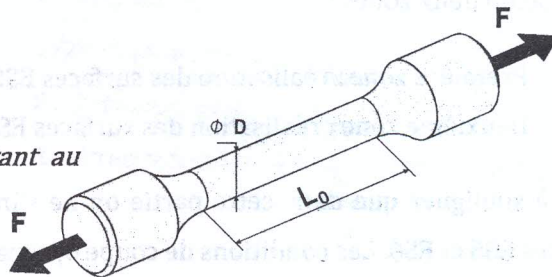


Figure. 6 – Courbe de traction $F = f(\Delta L)$

B.2- Étude de fabrication

Dans cette partie, on s'intéresse à la fabrication de l'essieu (22) (DT-05) réalisée en 5 phases définies par le **Tableau 1**. Dans cette épreuve, on s'intéresse à la réalisation de la **phase 40**.

Tableau .1- Phases d'usinage de l'essieu (22)

Phase	Opération
10	Contrôle du brut
20	Dressage et centrage des surfaces (ES1 et ES2)
30	Dressage et chariotage des surfaces (ES7 et ES8)
40	Usinage des surfaces (ES3, ES5, ES6, ES9 et ES10)
50	Usinage des cannelures (ES4)

B.3- Étude de coupe

Nous proposons d'étudier la coupe de l'essieu (22) schématisé par la **Figure .7**. Nous supposons qu'une étude préliminaire au niveau du Bureau de Méthodes (BM) a préconisé la réalisation d'une pièce selon deux zones :

- Première zone : réalisation des surfaces ES5/ES10 en Ébauche, 1/2 Finition et Finition
- Deuxième zone : réalisation des surfaces ES6/ES9 en Ébauche, 1/2 Finition et Finition

Il est à souligner que dans cette partie on ne s'intéresse qu'aux opérations de chariotage des surfaces ES5 et ES6. Les conditions de coupe optimales et les outils de coupe préconisés par le BM pour garantir les critères de qualité de la pièce finie (DT-05), sont regroupés dans le **Tableau 2**.

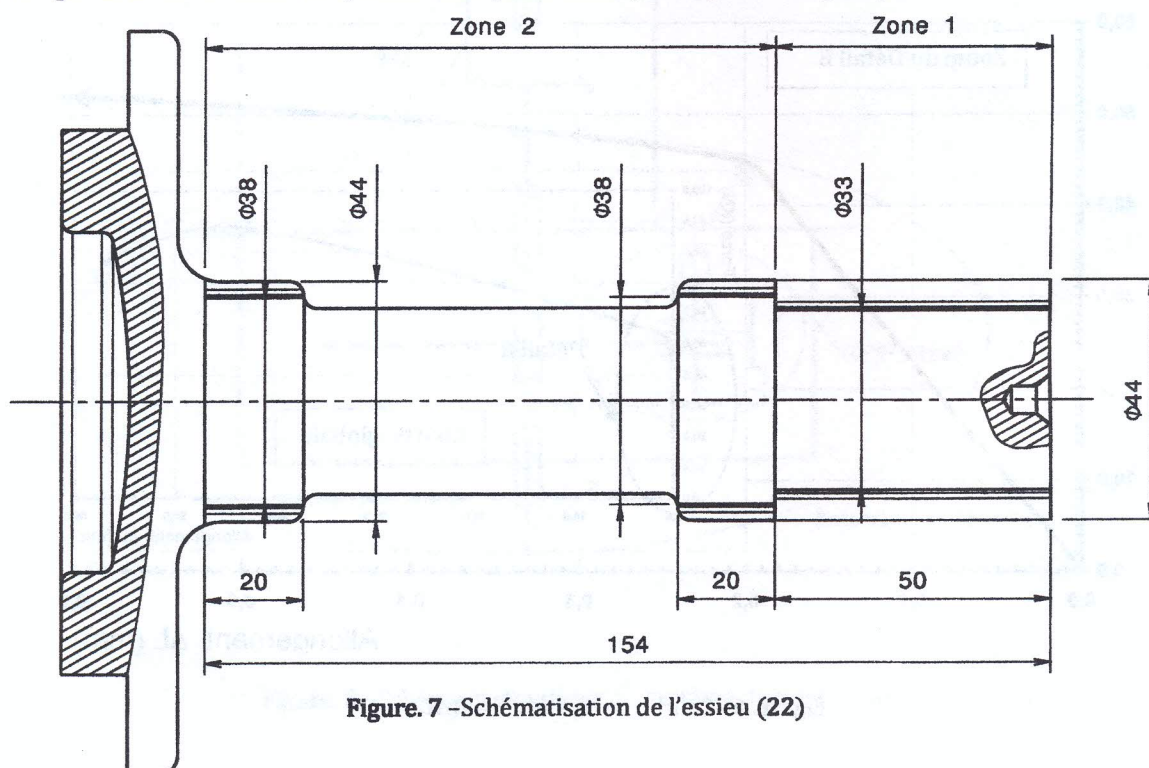


Figure. 7 -Schématisation de l'essieu (22)

Il est à noter que les cotes considérées, ont des valeurs nominales. Nous supposons que la pression spécifique de coupe K_s varie en fonction de l'avance par tour f (Tableau.2)

Tableau.2 – Conditions de coupe préconisées

	Surface	Outil	r_e (mm)	Op.	a_p (mm)	f (mm/tr)	V_c (m/min)	N (tr/min)	V_f (mm/min)	Longueur usinée (mm)	K_s (N/mm ²)
Zone 1	ES5 ES10	T1	0,8	E	4	0,4	180	1364	546	50	1890
		T2	0,4	1/2F	1	0,2	300	2653	531	50	2810
		T2	0,4	F	0,5	0,15	350	3277	492	50	3200
Zone 2	ES6 ES9	T1	0,8	E	1,5	0,25	180	1667	417	40	2850
		T2	0,4	1/2F	1	0,2	300	2387	477	40	2810
		T2	0,4	F	0,5	0,15	350	3051	458	40	3200

a_p : Profondeur de passe (mm)

r_e : Rayon du bec de la plaquette (mm)

f : Avance par tour (mm/tr)

E : Opération d'ébauche

V_c : Vitesse de coupe (m/min)

1/2F : Opération de demi-finition

D : Diamètre usiné (mm)

F : Opération de finition

N : Vitesse de rotation de la broche (tr/min)

K_s : Pression spécifique de coupe (N/mm²)

V_f : Vitesse d'avance (mm/min)

B.4- Commande Numérique

Nous proposons d'élaborer un programme d'usinage sur une fraiseuse à commande numérique (CN) à 3 axes pour la réalisation du contournage extérieur du couvercle (8) (DT-06).

L'usinage est réalisé en finition directe avec une fraise 2 Tailles de diamètre $d_f = 24 \text{ mm}$. La prise de passe axiale est égale à $a_p = 2 \text{ mm}$ et la prise de passe radiale est égale à $a_e = 4 \text{ mm}$.

La trajectoire de l'outil est représentée par la Figure .8. Cette trajectoire correspond à la position du centre de l'outil par rapport à l'origine programme (OP) (Usinage en mode sans correction du rayon d'outil G40).

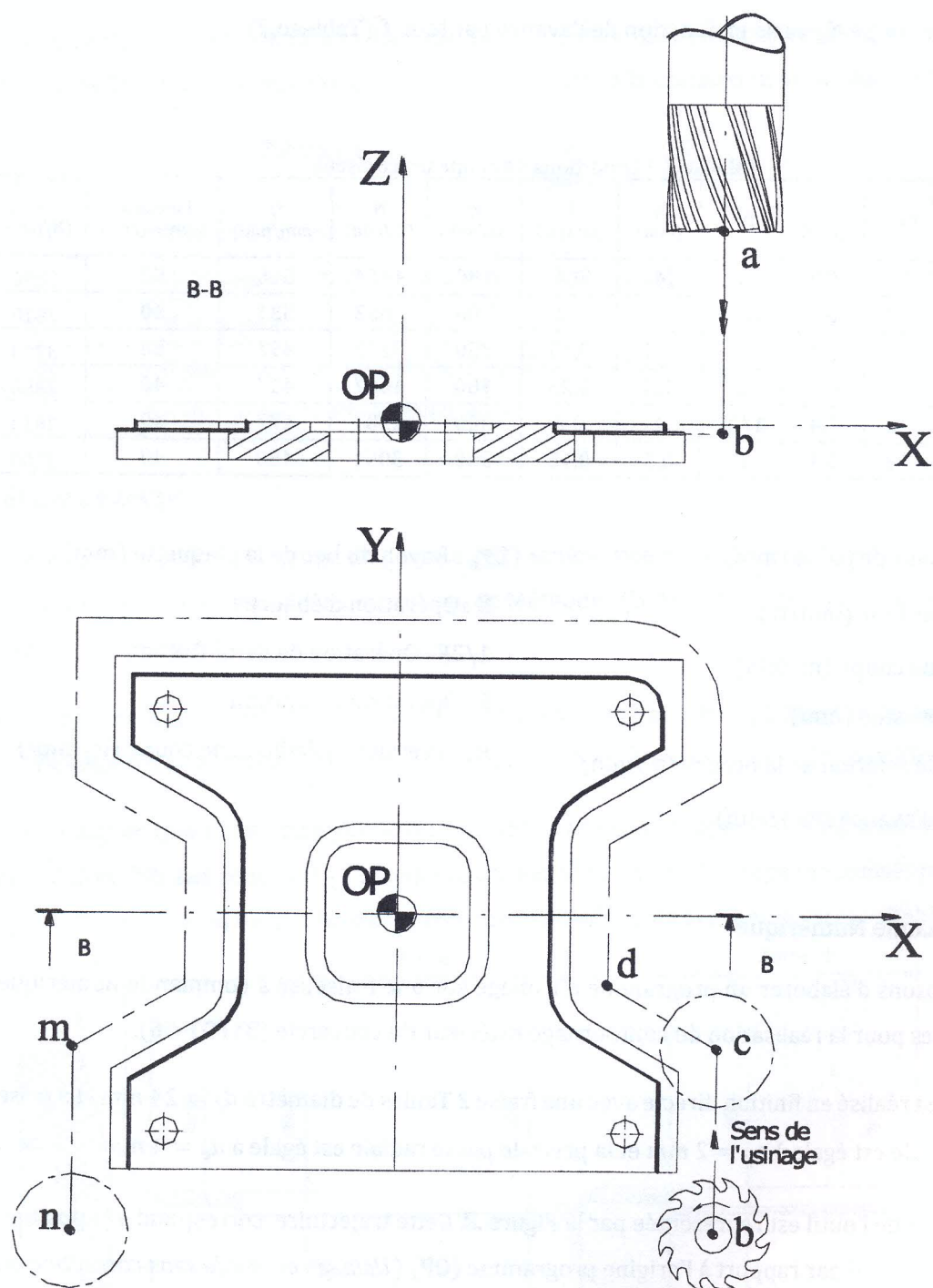
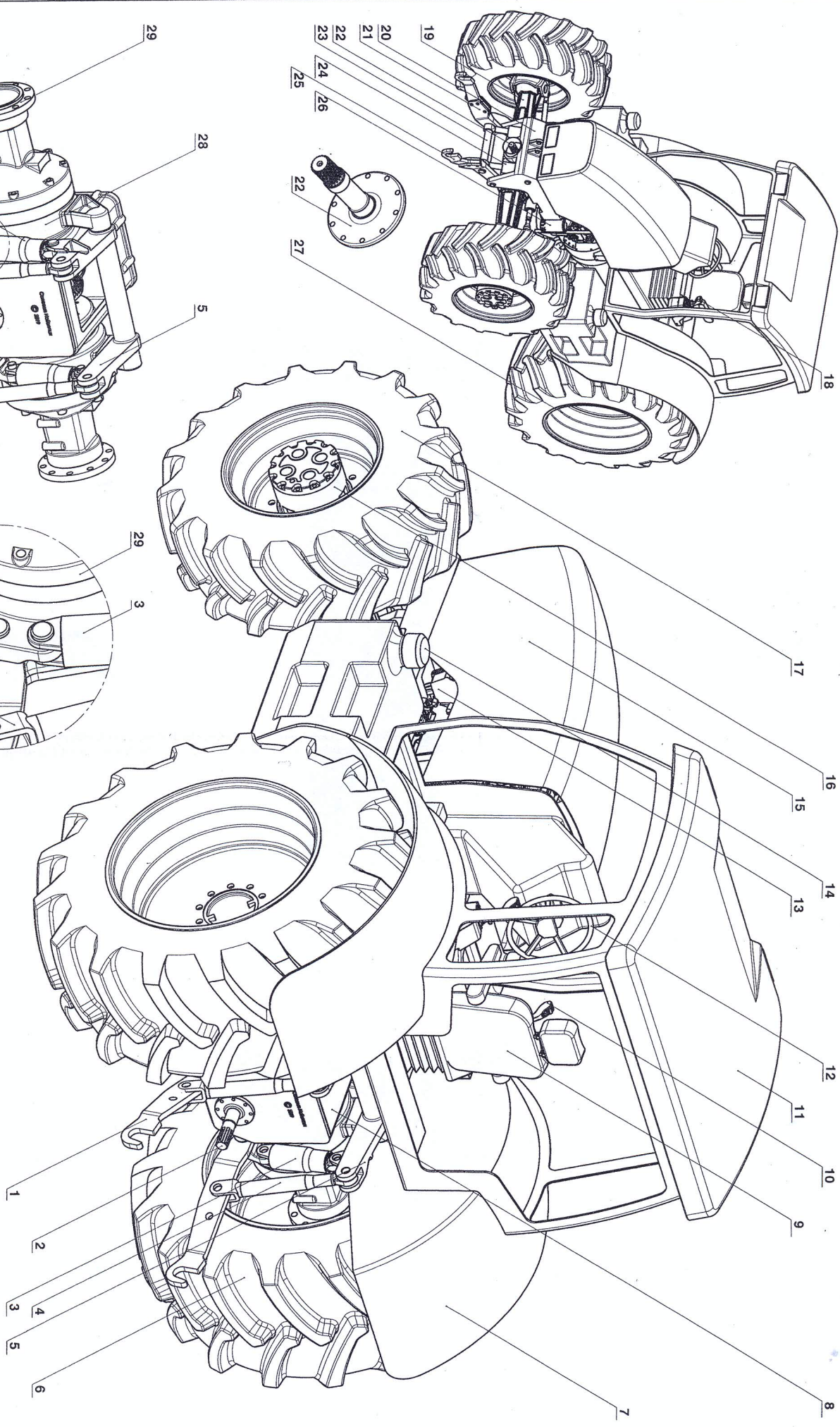


Figure. 8 –Trajectoire de l'outil de fraisage

Documents Techniques

Ce dossier comporte 6 documents techniques numérotés
de DT-01 à DT-6

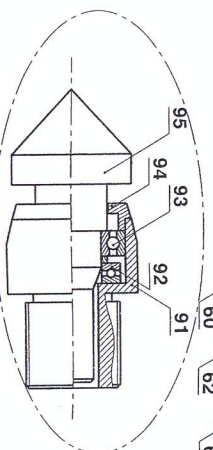
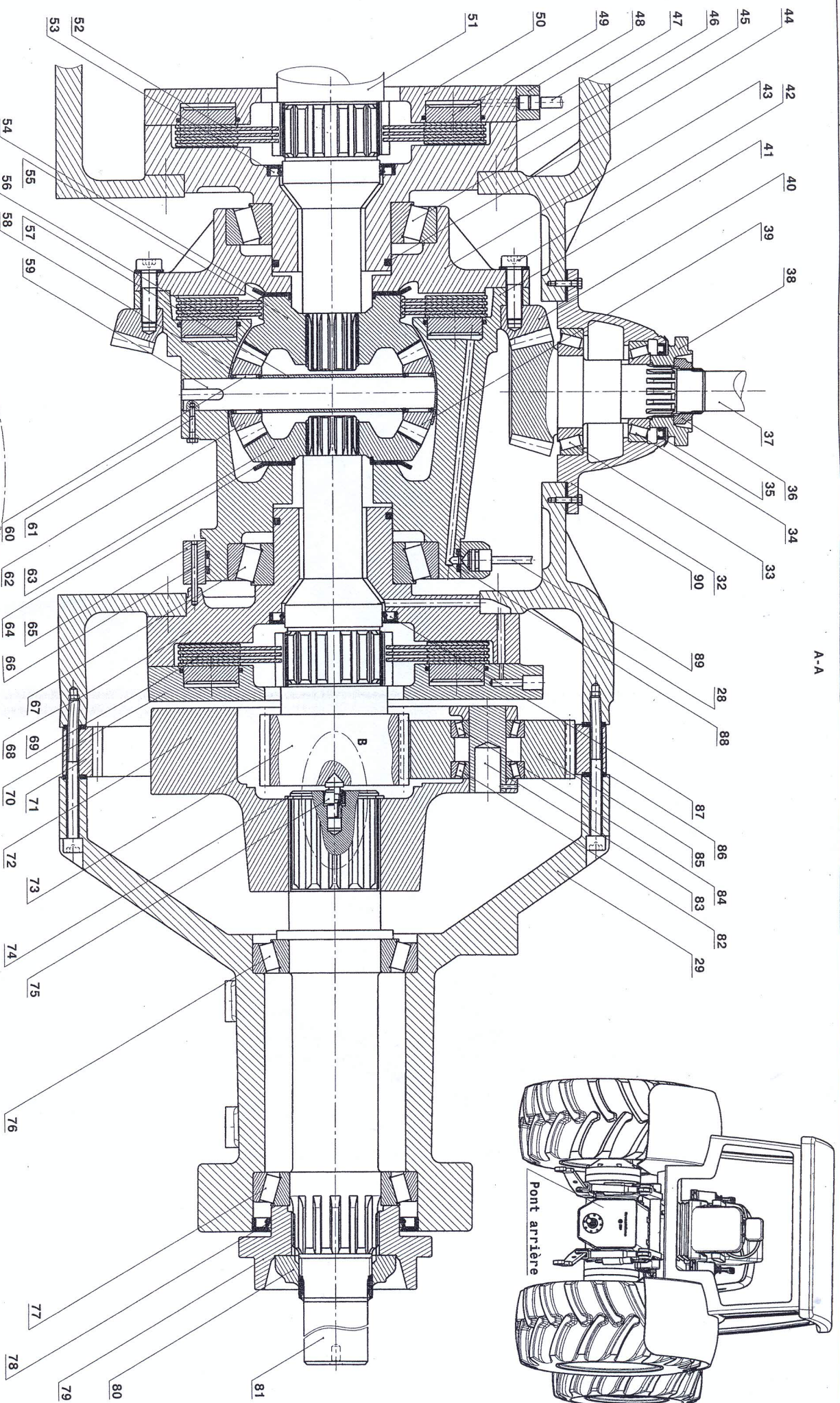
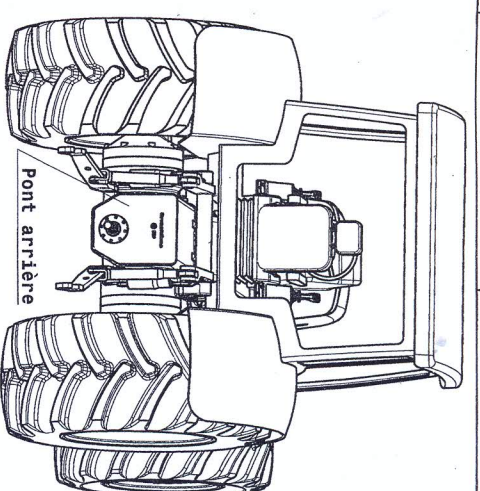
🔹	DT-01	<i>Tracteur agricole- Vue d'ensemble 3D</i>	<i>Détail A</i>	
🔹	DT-02	Pont arrière de tracteur agricole	Coupe A-A	Détail B
🔹	DT-03	<i>Schéma cinématique minimale du pont différentiel</i>		
🔹	DT-04	Nomenclature	Rep. de 1 à 95	
🔹	DT-05	<i>Essieu du pont arrière -Repère (22)</i>		
🔹	DT-06	Couvercle du pont arrière (8)		



Pont arrière de tracteur agricole

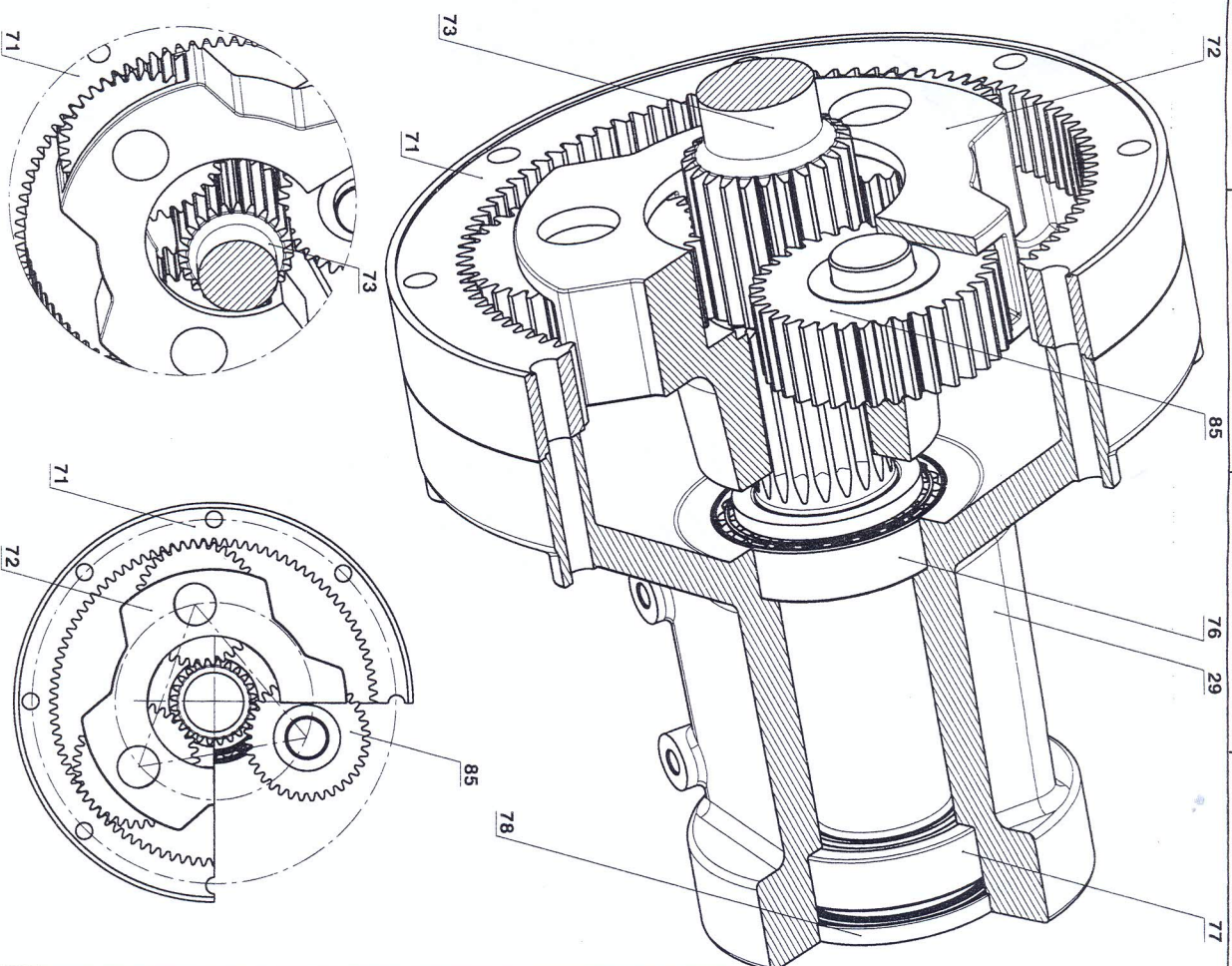
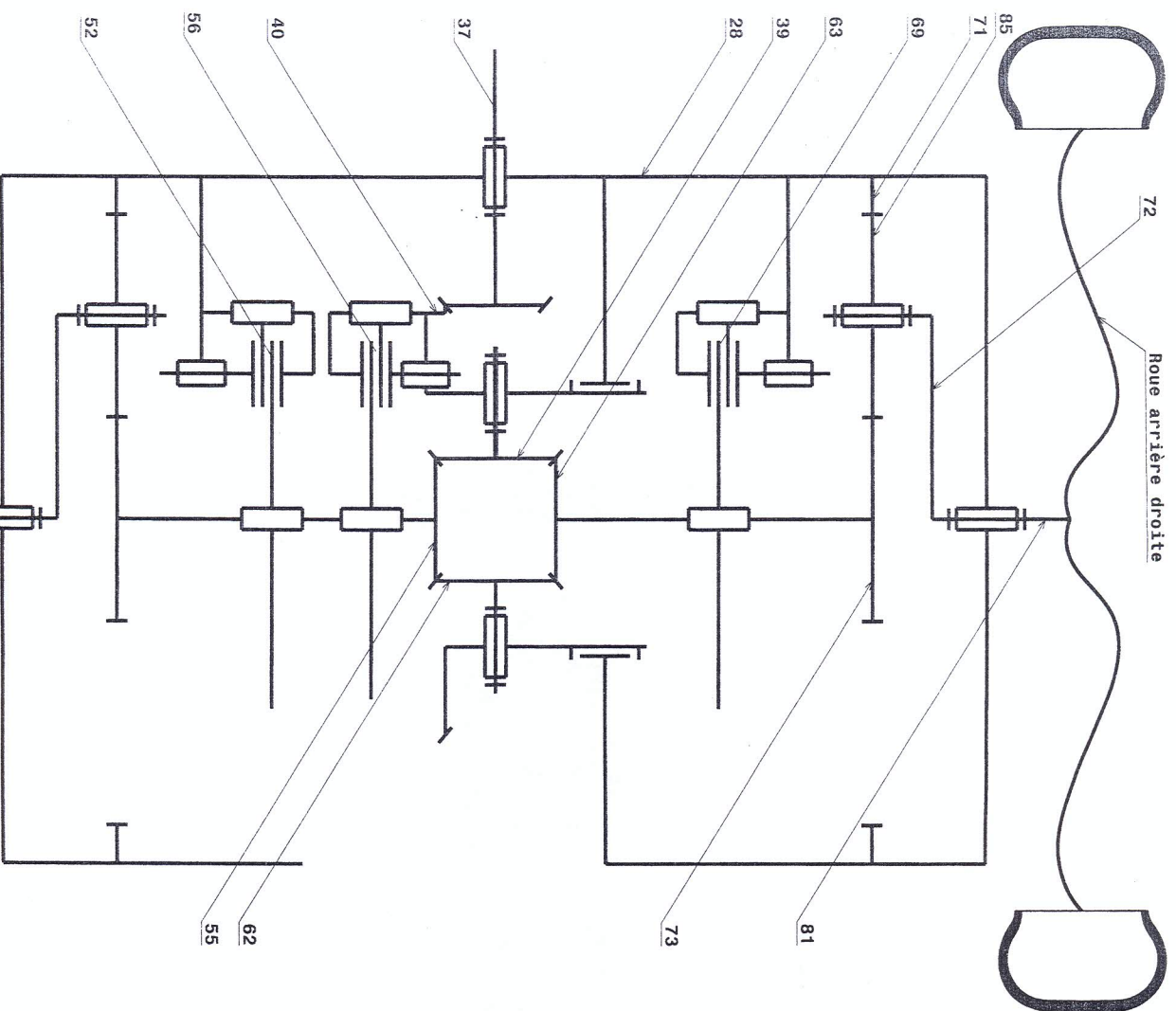
Détail A

Echelle 1:20		Session 2019	
		Format A3	
Tracteur Agricole			
Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs			
Concours Techno - Epreuve C.F.M		Etude d'un Engin Agricole	
		DT-01	



Détail B - Ensemble (75)

Echelle 1 : 4		Pont arrière de tracteur agricole	Session 2019	
			Format A3	
Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs				
Concours Techno - Epreuve C.F.M		Etude d'un Engin Agricole		DT-02



Echelle :

Schéma cinématique

Session 2019

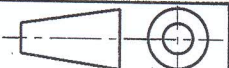
Format A3

Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs

Concours Techno - Epreuve C.F.M

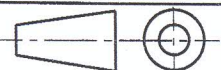
Etude d'un Engin Agricole

DT-03

40	1	Couronne conique	35 Cr Mo 4	
39			20 Ni Cr Mo 7	
38	1	Couvercle d'appui		
37	1	Pignon d'attaque		
36	1	Ecrou frein		
35	1	Joint à lèvres		
34	1	Roulement à rouleaux coniques 60 KB 02		
33	1	Roulement à rouleaux coniques 80 KB 02		
32	1	Boîtier de roulements		
31	1	Flasque		
30	2	Axe		
29	2	Support de jantes de roues arrière		
28	1	Châssis de pont arrière		
27	2	Jantes de roues arrières		
26	1	Filtre à huile		
25	2	Bras d'accrochage		
24	2	Bielle de traction avant (Vérin)		
23	1	Traverse		
22	1	Essieu de prise de force avant	X38 Cr Mo V5	
21	2	Bras de relevage avant		
20	1	Châssis avant		
19	1	Pont avant du tracteur		
18	1	Levier de vitesse avec inverseur AV/AR		
17	2	Roues avant		
16	2	Jante de roues avant		
15	1	Capot de tracteur		
14	1	Crépine		
13	1	Moteur thermique		
12	1	Volant		
11	1	Cabine de conduite		
10	1	Levier de vitesse		
9	1	Siege ergonomique		
8	1	Couvercle de pont	C45	
7	2	Garde boue		
6	2	Sculture (Roue arrière)		
5	2	Bras de relevage		
4	2	Chandelle (Bielle de relevage)		
3	2	Vérin de relevage		
2	1	Essieu de prise de force arrière	X38 Cr Mo V5	
1	2	Bras de relevage inférieur		
Rep	Nbre	Désignation	Matériaux	Obs.
Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs				
		Etude d'un Engin Agricole	Session 2019	DT-04

80	1	Ecrou frein		
79	1	Couvercle d'appui		
78	1	Joint à lèvres		
77	1	Roulement à rouleaux coniques 100 KB 02		
76	1	Roulement à rouleaux coniques 100 KB 02		
75	1	Ensemble butée mobile		
74	2	Anneau élastique		
73	2			
72	2		FGS 500-7	
71	2			
70	1	Boîtier de pistons		
69	1	Ensemble Frein à disques droite		
68	1	Support de frein		
67	1	Roulement à rouleaux coniques 130 KB 02		
66	3	Goupille de positionnement		
65	1	Support de conduite hydraulique		
64	1	Rondelle butée	Cu Sn 8 P	
63	1			
62				
61	1	Vis de pression H M6		
60	2	Douille à aiguilles 35 NES		
59	1	Axe du différentiel		
58	2	Rondelle butée		
57	1	Bague entretoise		
56	1	Ensemble Frein de blocage du différentiel		
55				
54	1	Rondelle butée	Cu Sn 8 P	
53	1	Joint à lèvres		
52	1	Ensemble Frein à disques gauche		
51	1	Demi-arbre de roue gauche	C45	
50	2	Boîtier de pistons		
49	18	Piston annulaire		
48	2	Embout d'alimentation d'alimentation		
47	2	Tube d'alimentation hydraulique		
46	1	Support de frein		
45	1	Roulement à rouleaux coniques 130 KB 02		
44	2	Joint torique		
43	1	Boîtier		
42	6	Vis CHC M15		
41	1	Support du différentiel		
Rep	Nbre	Désignation	Matériaux	Obs.

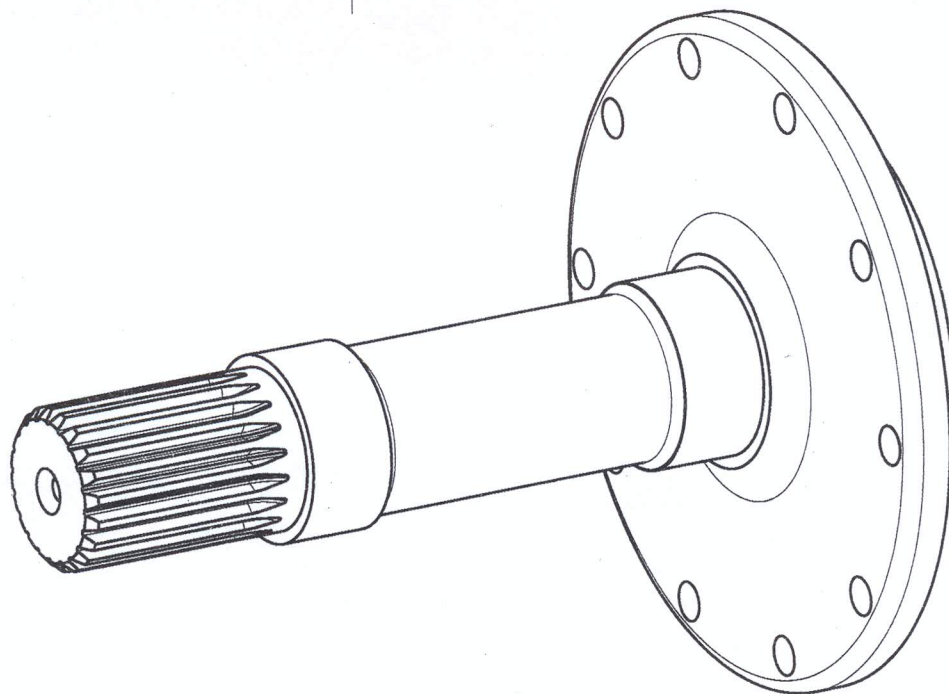
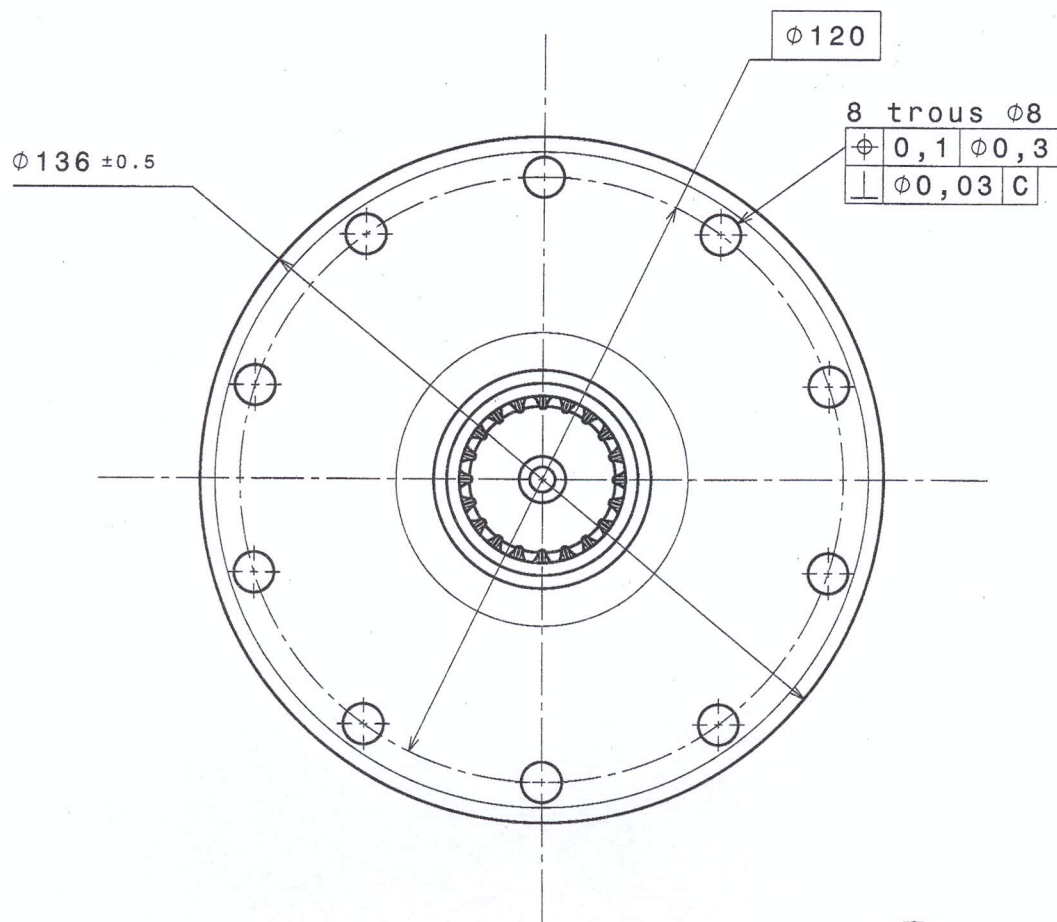
Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs



Etude d'un Engin Agricole

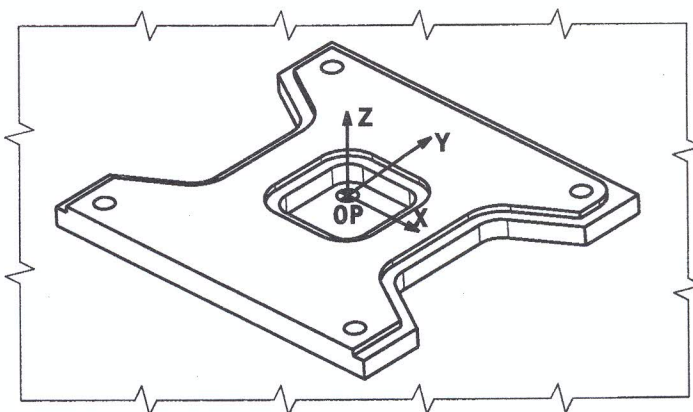
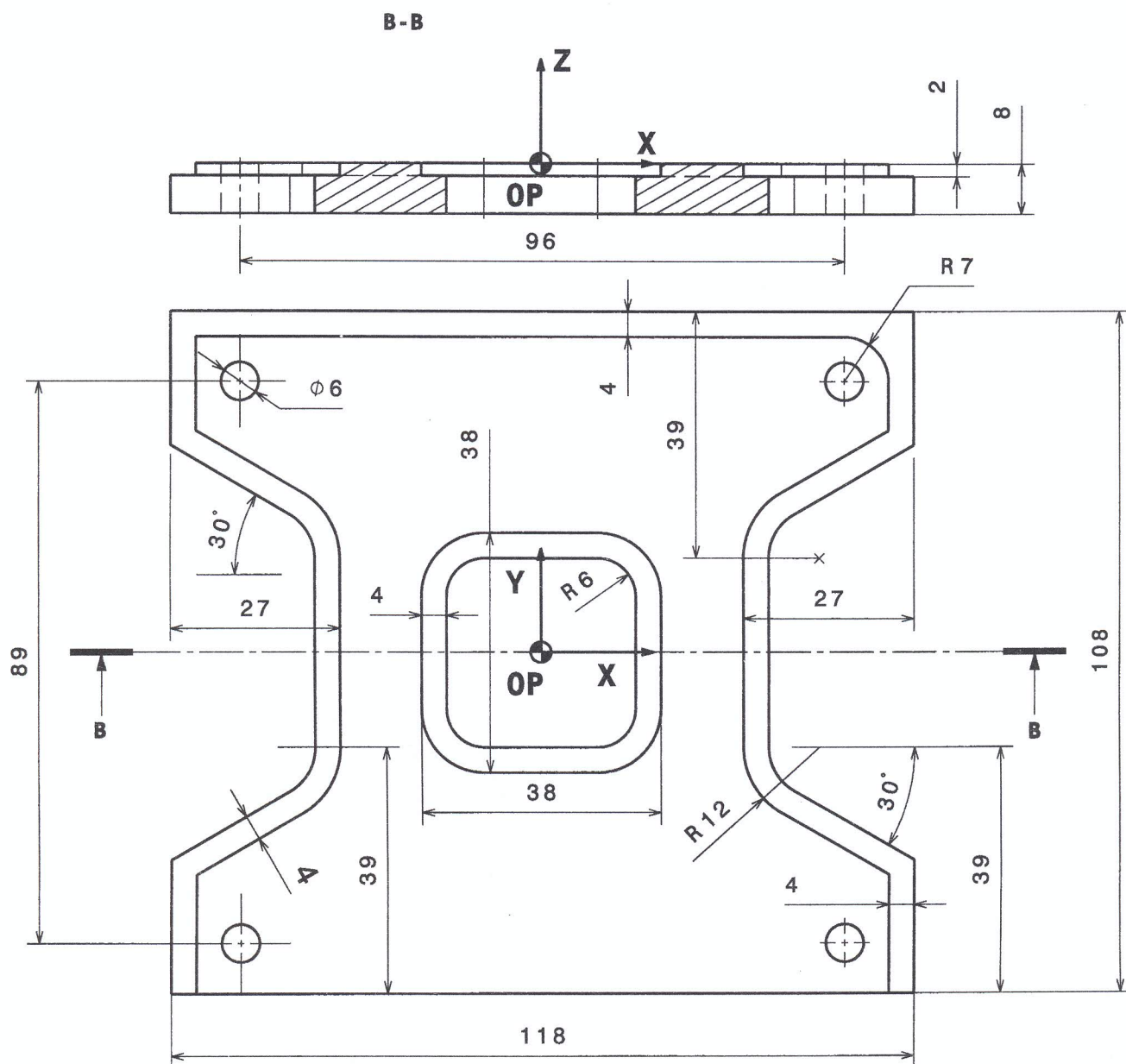
Session 2019

DT-04



Matière : X38 Cr Mo V 5

Echelle 2:3	Essieu	Session 2019	
		Rep (22)	Format A3
Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs			
Concours Techno - Epreuve C.F.M	Etude d'un Engin Agricole		DT-05



Ra6.3

Matière : C45

Tolérances générales ISO 2768 mk

Echelle 1:1

Couvercle

Session 2019

Rep (8)

Format A4

Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs

Concours Techno - Epreuve C.F.M

Etude d'un Engin Agricole

DT-06

Dossier

Document Réponses

- ◆ Ce dossier comporte **18** pages numérotées de **1 à 18**
 - **Partie A-** Conception Mécanique : Page **1 à 10**
 - **Partie B-** Fabrication Mécanique : Page **11 à 18**

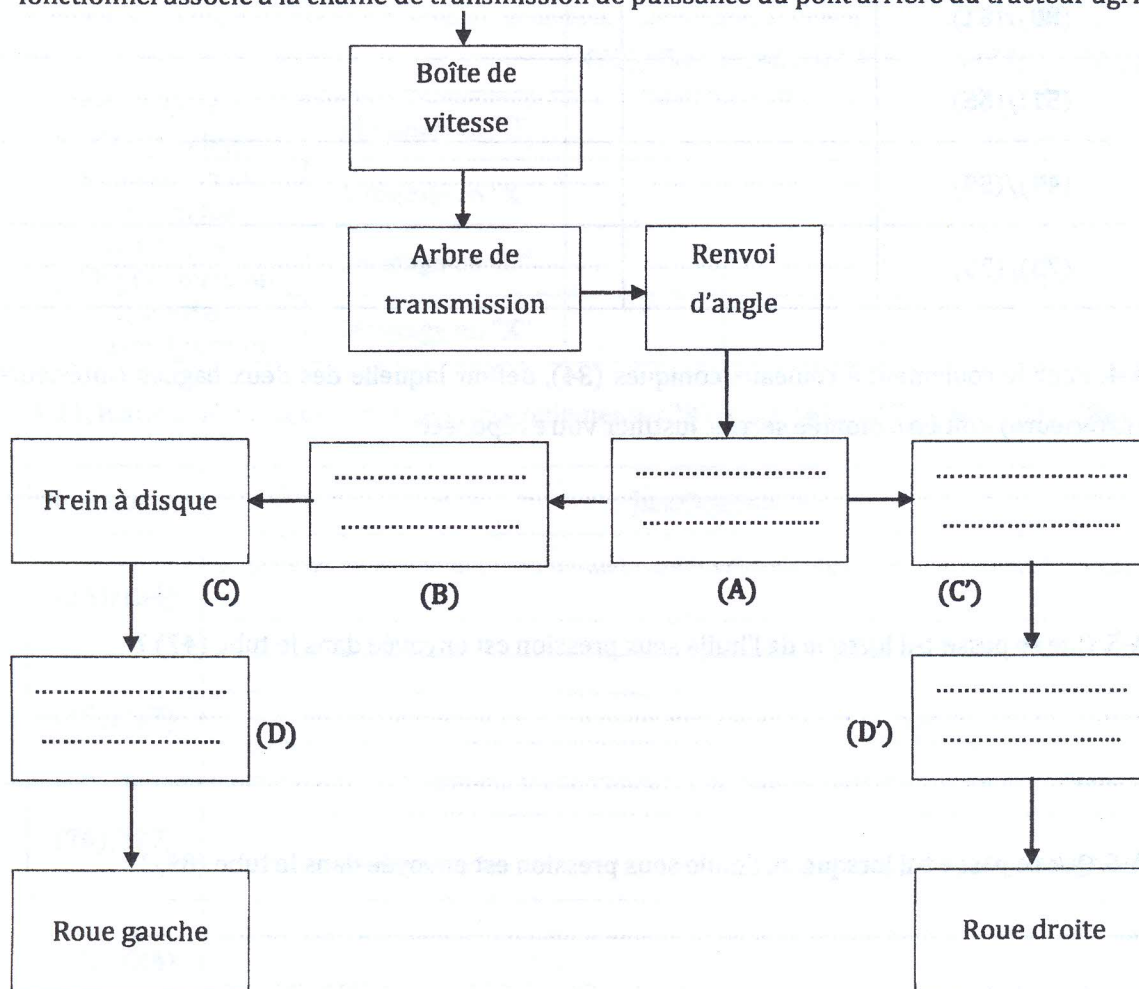
Important

- ◆ Un seul document réponses est fourni au candidat.
- ◆ Le candidat doit rendre obligatoirement le document réponses avant de quitter la salle d'Examen.
- ◆ Le document réponses doit être rendu en intégralité (*aucune feuille ne doit être supprimée*).
- ◆ *Toute suppression* de feuilles du document réponses est considérée comme étant une tentative de fraude.
- ◆ Le renouvellement ou la reproduction de ce dossier sont strictement interdits.

Partie A : Conception Mécanique

1- Étude fonctionnelle du pont arrière

A-1. En se basant sur les documents techniques DT-02 et DT-03, compléter le diagramme fonctionnel associé à la chaîne de transmission de puissance du pont arrière du tracteur agricole.



A-2. Donner la fonction de chaque bloc du diagramme fonctionnel de la chaîne de puissance du pont arrière.

Bloc fonctionnel	Fonction	Bloc fonctionnel	Fonction
(A)		(C')	..... .....
(B)		(D)/(D')	..... .....

2- Étude Technologique (DT-02)

A-3. Compléter le **Tableau.3**, en précisant le type et la fonction de chaque liaison.

Tableau.3 - Liaisons mécaniques

Pièces en liaison	Type de liaison	Fonction
(80)/(81)		
(51)/(55)		
(49)/(50)		
(73)/(75)		

A-4. Pour le roulement à rouleaux coniques (34), définir laquelle des deux bagues (intérieure /extérieure) doit être montée serrée. Justifier votre réponse.

.....

.....

A-5. Que se passe-t-il lorsque de l'huile sous pression est envoyée dans le tube (47) ?

.....

.....

A-6. Que se passe-t-il lorsque de l'huile sous pression est envoyée dans le tube (89)?

.....

.....

A-7. Quel est le matériau constituant la garniture des disques du frein (52)?

.....

.....

A-8. Les freins (52) et (69) des deux roues sont placés en amont des réducteurs à trains épicycloïdaux. Justifier ce choix.

.....

.....

A-9. Quelle est la fonction de la pièce (54).

.....

.....

A-10. Indiquer le type de montage des roulements à rouleaux coniques (33)/(34), (45)/(67), (76)/(77), (82)/(84). Compéter le Tableau qui suit, en cochant la case correspondant à votre réponse.

Montage		Roulement			
		(33)/(34)	(45)/(67)	(76)/(77)	(82)/(84)
Arbre tournant / Moyeu fixe	Montage en "O"				
Arbre tournant / Moyeu fixe	Montage en "X"				
Arbre fixe / Moyeu tournant	Montage en "O"				
Arbre fixe / Moyeu tournant	Montage en "X"				

A-11. Justifier le choix de montages des roulements (33)/(34), (45)/(67), (76)/(77), (82)/(84).

Roulements	Justification
(33)/(34)	
(45)/(67)	
(76)/(77)	
(82)/(84)	

A-12. Compléter le Tableau.4, en précisant le type d'ajustement et la justification.

Tableau.4 - Ajustements

Assemblage des pièces	Ajustement	Justification
(72) et (83)		
(50) et (49)		
(65) et (66)		
(66) et (68)		

3- Étude de la chaîne de transmission de puissance

A-13. Donner les noms des constituants du train épicycloïdal constitué par les pièces (39), (40), (55), (62), (63). Compléter le tableau suivant.

Pièce	Nom	Pièce	Nom
39		62	.....
40		63	.....
55			

A-14. Établir la relation permettant d'exprimer la vitesse de rotation $\omega_{55/28}$ et $\omega_{63/28}$ en fonction des vitesses de rotation $\omega_{40/28}$.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

A-15. On considère le cas où le tracteur roule suivant une trajectoire rectiligne, les pneus des roues arrière sont de même diamètre et roulent sans glissement. Écrire la relation entre les vitesses angulaires $\omega_{55/28}$ et $\omega_{63/28}$.

.....

.....

.....

A-16. Donner la relation entre $\omega_{63/28}$ et $\omega_{55/28}$ dans le cas où le différentiel se trouve bloquer partiellement par le frein (56).

.....

.....

A-17. À la fin d'une ligne de labourage, l'engin est astreint à effectuer un arc de cercle à gauche en bloquant la roue gauche par le frein (52). Donner la relation qui peut exister entre $\omega_{40/28}$ et $\omega_{63/28}$.

.....

.....

A-18. Le frein (69) est actif. Que se passe-t-il lorsque le tracteur se déplace dans un virage à droite selon une trajectoire circulaire ? Justifier votre réponse.

.....

.....

A-19. Identifier les constituants du réducteur à train épicycloïdal (71), (72), (73), (85).

Pièce	Nom	Pièce	Nom
71		73	.....
72		85	.....

A-20. Donner les conditions de montage du train épicycloïdal (71), (72), (73), (85)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

A-21. En déduire le nombre de dents Z_{85} .

.....

.....

A-22. Lors du déplacement du tracteur dans un virage, l'arbre (81) tourne à $N_{81} = 120 \text{ tr/min}$, l'arbre gauche (51) tourne à $N_{51} = 100 \text{ tr/min}$. Calculer la vitesse N_{73} . En déduire la vitesse N_{85} .

.....

.....

A-23. Calculer le couple de freinage C_f des freins (52) et (69).

A-24. On suppose une variation linéaire de la vitesse de rotation des roues lors de freinage. Calculer le temps de freinage du tracteur.

.....

.....

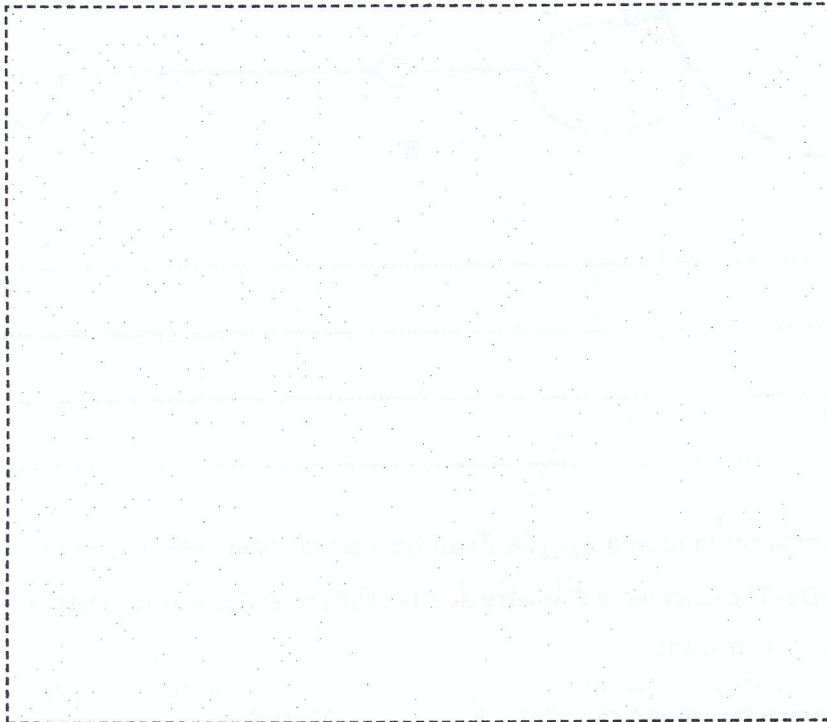
.....

.....

.....

4- Analyse du système d'attelage arrière du tracteur

A-25. Établir le graphe des liaisons du mécanisme de la **Figure. 4. b, Page 5/10** et déterminer son nombre cyclomatique.



Nombre
cyclomatique

.....

A-26. Déterminer le degré de mobilité m et le degré d'hyperstaticité h du mécanisme

.....

.....

.....

.....

.....

.....

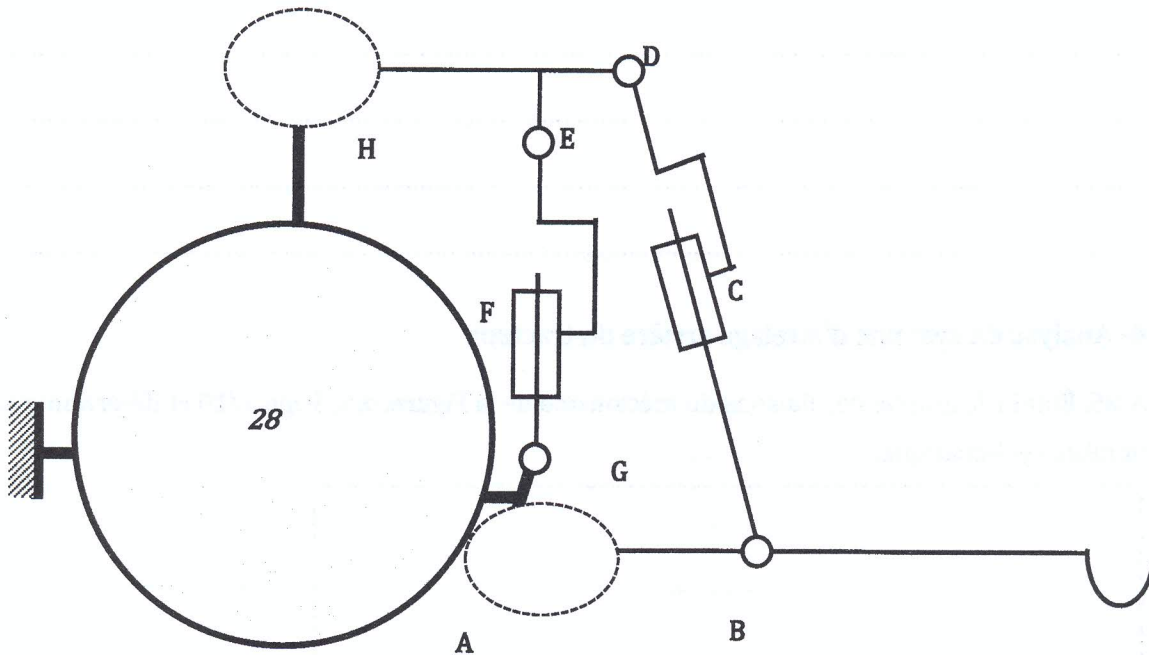
Nombre de degré(s) de
mobilité m

.....

Nombre de degré(s)
d'hyperstaticité (h)

.....

A-27. On souhaite rendre le mécanisme isostatique. Proposer une solution, en modifiant les liaisons $L_{1/28}(A, \vec{z})$ et $L_{5/28}(H, \vec{z})$. Justifier votre choix.

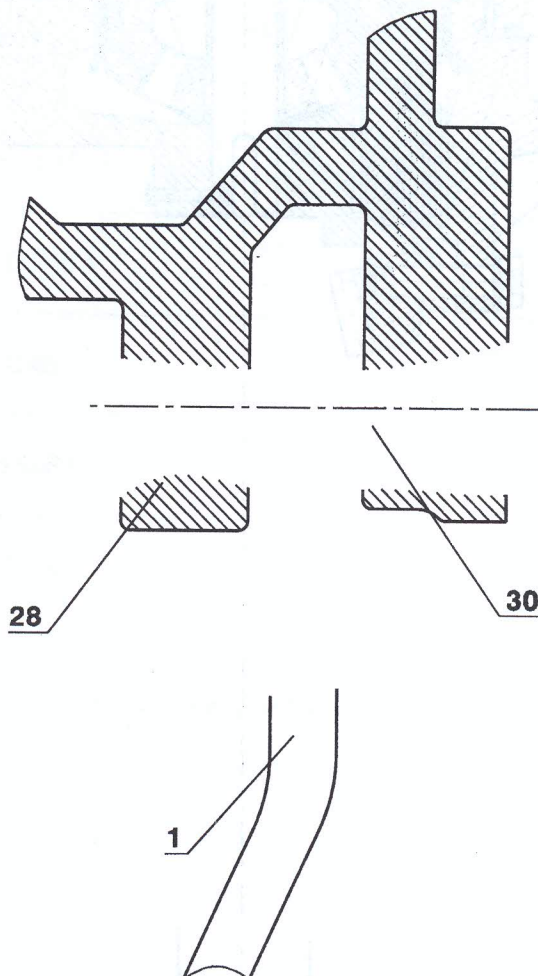


A-28. On se propose de remplacer la liaison $L_{1/28}(A, \vec{z})$ du bras de relevage inférieur (1) et du châssis (28) (voir **Détail A-DT-01**). Calculer le diamètre de l'axe (30) quand le relevage supporte une charge maximale en **A**, sachant que :

- L'effort maximal transmis à l'axe (30) : $\vec{F}_{A\ 28 \rightarrow 30} = 10000\ daN$
- La limite élastique à l'extension de l'axe (30) : $R_e = 40\ daN/mm^2$
- Le coefficient de sécurité appliqué sur l'articulation entre (1) et (30) : $s = 3$
- La contrainte de cisaillement est la plus importante des contraintes que subit l'axe (30).

5- Représentation Graphique

A-29. En considérant les dimensions de l'axe (30) de la liaison $L_{1/28}(A, \vec{z})$ choisie en **A-27** et calculée en **A-28**, il est demandé de concevoir cette liaison, en prévoyant un système de graissage et de réglage de jeu. Compléter le dessin de la **Figure.9**.

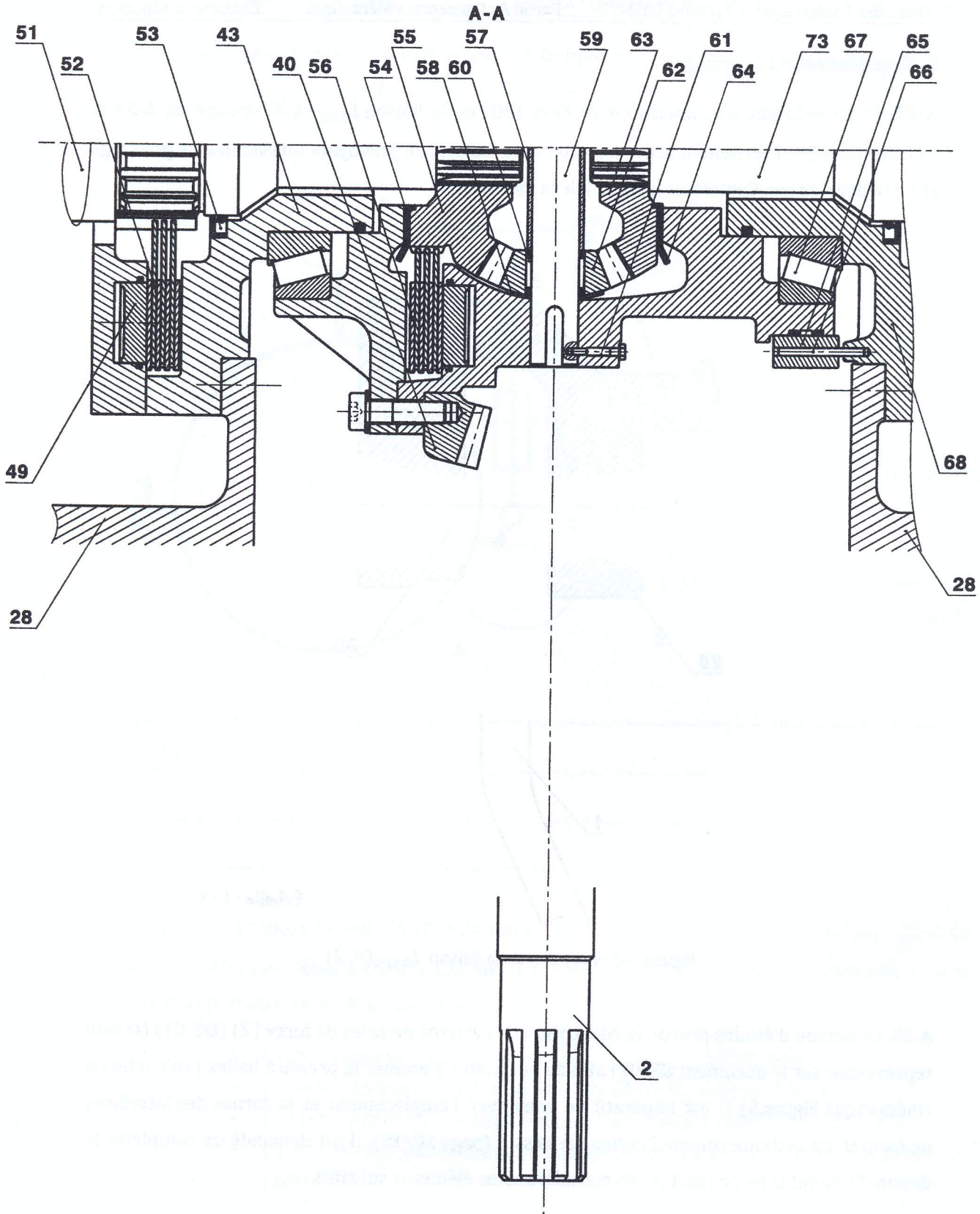


Échelle : 1 : 4

Figure. 9–Conception de la liaison $L_{1/28}(A, \vec{z})$

A-30. Le bureau d'études prévoit la conception du système de prise de force (2) (DT-01) (et non représentée sur le document DT-02) afin de permettre d'animer la presse à balles (voir schéma cinématique **Figure.5**). Il est impératif de conserver l'emplacement et la forme des interfaces de fixation au système comme l'indique le dessin (**page 10/18**). Il est demandé de compléter le dessin d'ensemble en coupe **A-A**, en considérant les éléments suivants :

- Prévoir un embrayage à commande hydraulique permettant la transmission de puissance de la couronne conique (40) vers l'essieu de prise de force (2),
- Assurer le guidage en rotation de (2) par rapport au châssis (28),
- Prévoir un système d'alimentation hydraulique et assurer l'étanchéité des éléments,
- Compléter la nomenclature sur le document **Page 10/18**



.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
.....				
2	1	Prise de force arrière		
Rep.	Nbre	Désignation	Matériaux	Obs.
		Etude d'un Engin Agricole	Echelle 1:4	Session 2019

Partie B : Fabrication Mécanique

1- Étude des matériaux

B-1. Compléter le Tableau.5 :

Tableau.5 - Désignation des matériaux

Repère	Désignation du matériau (NF)	Explication de la désignation
39	20 Ni Cr Mo 7	..... .....
40	35 Cr Mo 4	..... .....
51/81	C 45	..... .....
54	Cu Sn8 P	..... .....
72	FGS 500-7	..... .....

B-2. En se référant aux données de la Figure .6, déduire le module d'Young E (en GPa) du matériau de la pièce (22).

.....

E (GPa)
.....

B-3. Calculer la limite d'élasticité (R_e) et la résistance maximale à la traction (R_m) (en MPa) du matériau.

.....

R_e (MPa)
.....
R_m (MPa)
.....

B-4. Calculer l'allongement total après rupture ($A\%$) du matériau.

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

$A(\%)$
.....

B-4. Le brut de l'essieu de prise de force (22) est obtenu par matriçage suivi d'une trempe et un revenu. Décrire le principe du procédé de matriçage.

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

B-5. Citer les avantages du matriçage par rapport à la coulée en sable.

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

B-6. Compléter la phrase suivante :

Les traitements thermiques sont constitués par un certain nombre d'opérations combinées de trempe et revenu ayant pour but de (3 réponses):

-
.....
-
.....
-
.....

B-7. Le cycle thermique de la **Figure. 10** permet le durcissement de l'essieu (22). On demande de préciser le type de traitement thermique pour chaque étape.

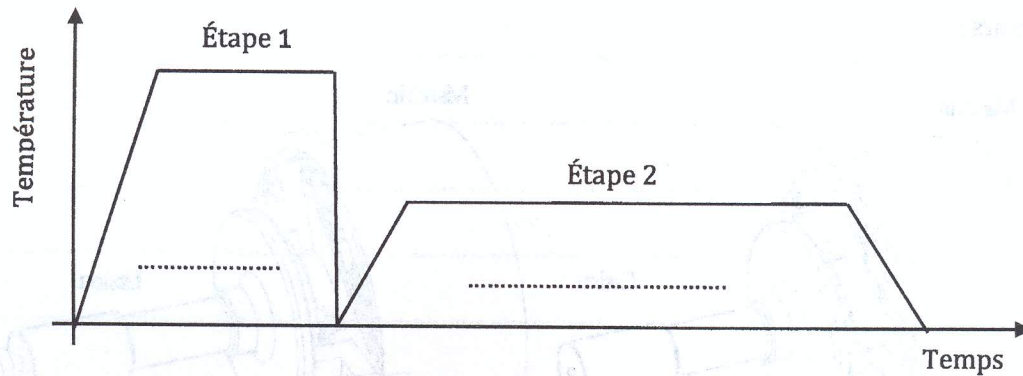


Figure. 10 - Cycle thermique

B-8. L'essieu (22) a subi un traitement thermique de nitruration. Expliquer le mode opératoire et l'intérêt de ce traitement.

Mode opératoire	..... .....
Intérêt	.....

2- Étude de fabrication

B-9. La **Figure.11** représente un outil à chariotter à plaquette en carbure. Donner la désignation de chacun des éléments de la partie active de cet outil.

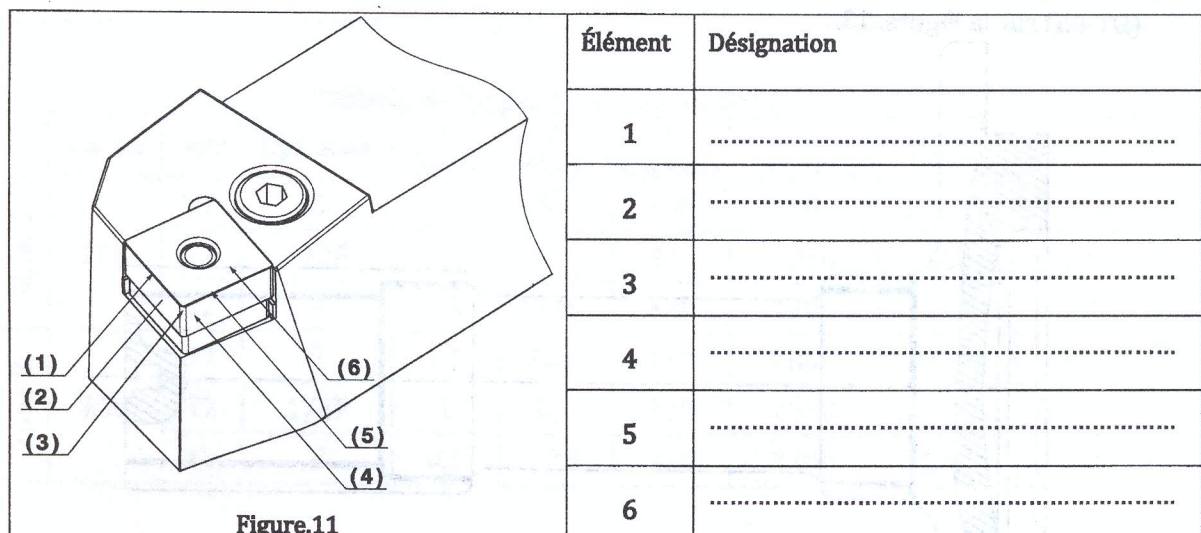


Figure.11

B-10. La fixation de l'essieu (22) sur le tour au cours de l'usinage des surfaces (ES3, ES5, ES6, ES9 et ES10), peut se faire selon deux configurations (Figure. 12). Nommer les deux types de montage suivants :

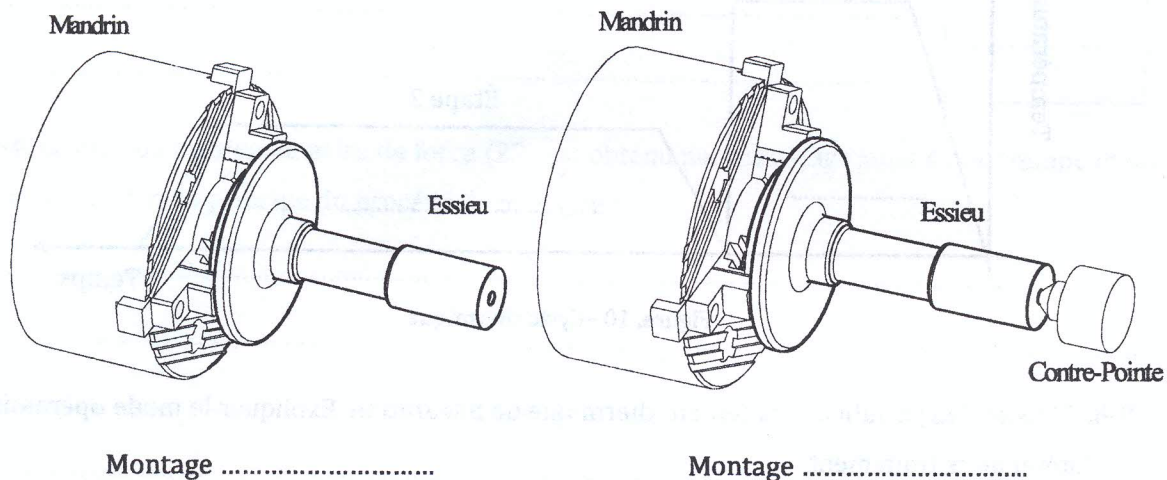


Figure.12- Montage d'usinage de la pièce

B-11. Préciser la solution adoptée de maintien et de mise en position selon les caractéristiques de la pièce associées à la **phase 40**. Justifier votre réponse.

.....

B-12. Représenter le référentiel de mise en position de l'essieu (22) ainsi que les cotes de fabrication relatives à l'usinage supposé en finition directe des surfaces ES5, ES6, ES9 et ES10 (DT-05) sur la Figure. 13.

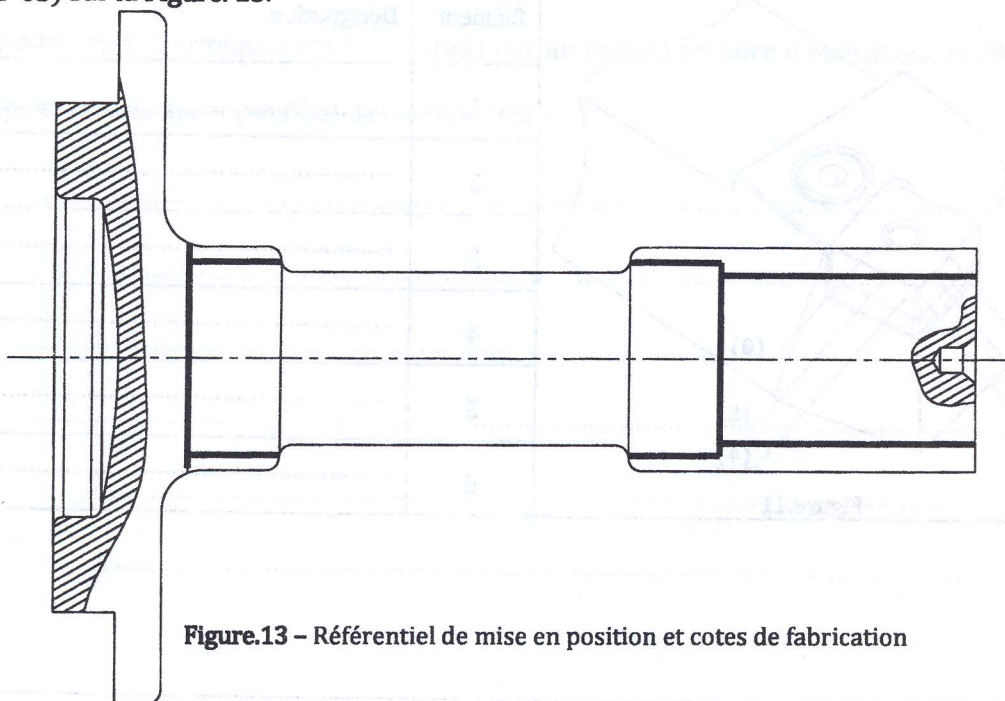


Figure.13 – Référentiel de mise en position et cotes de fabrication

B-13. Donner les valeurs des cotes de fabrication (C_f) relatives aux surfaces **ES5**, **ES6**, **ES9** et **ES10**
Faire le calcul en cas de besoin.

3- Étude de la coupe

B-14. Calculer les efforts de coupe F_c et les puissances de coupe associées P_c . Reporter les résultats dans les cases vacantes du **Tableau. 6**.

Tableau. 6 – Efforts et puissances de coupe

	Surface	Outil	Opération	a_p (mm)	f (mm/tr)	V_c (m/min)	K_S (N/mm ²)	F_c (N)	P_c (Kw)
Zone 1	ES5	T1	E	4	0,4	180	1890	.....	.....
		T2	1/2F	1	0,2	300	2810	562	2,8
		T2	F	0,5	0,15	350	3200	240	1,4
Zone 2	ES6	T1	E	1,5	0,25	180	2850	1069	3,2
		T2	1/2F	1	0,2	300	2810	.....	.....
		T2	F	0,5	0,15	350	3200	240	1,4

B-15. Nous comptons réaliser toutes les opérations d'usinage sur une machine à commande numérique CN dont la puissance moteur est notée P_m . Nous avons à disposition deux machines CN qui servent à réaliser les opérations de tournage :

- Machine A : de puissance $P_{mA} = 5KW$, $\eta = 0.85$
- Machine B : de puissance $P_{mB} = 15 KW$, $\eta = 0.85$

Quelle est la machine la plus adaptée pour réaliser les opérations définies par le **Tableau. 6**. Justifier votre réponse.

Dans ce qui suit, on s'intéresse uniquement à l'usinage en finition des zones 1 (Surface ES5) et 2 (Surface ES6).

B-16. Nous négligeons les temps de prise de passe, de recul de l'outil, des déplacements rapides, les déplacements à vide, etc. Calculer les temps de coupe associés aux opérations de finition correspondant aux deux zones pour la réalisation d'une seule pièce (**Figure.7**).

	t_c Finition Zone 1
.....	min
	t_c Finition Zone 2
.....	min

B-17. Des essais expérimentaux ont permis de relever les durées de vie d'outils pour un critère d'usure défini par: $V_B = 0.3mm$. On suppose que l'évolution de l'usure des plaquettes suit la loi de Taylor définie par : $T = C_v V_c^n$ et dont les valeurs de référence sont :

V_c (m/min)	T (min)
200	60
450	5

Calculer l'exposant n et la constante C_v de la loi de Taylor.

.....	n
.....	
.....	C_v
.....	

B -18. Calculer la durée de vie de l'outil de finition.

.....

.....

$T_{V_{c350}} = \dots \text{ min}$

B -19. Déterminer le nombre d'arêtes nécessaires pour l'usinage en finition d'une série de 5000 pièces.

.....

.....

.....

.....

Nombre d'arêtes =

B -20. En déduire le nombre de plaquettes sachant qu'une plaquette possède 4 arêtes.

.....

.....

Nombre de plaquettes =

4- Commande Numérique

B-21. Compléter le **Tableau. 7** en déterminant les coordonnées du centre de l'outil par rapport à l'origine programme (OP) (**Figure. 8**).

Tableau. 7- Coordonnées des points d'interpolation (centre de l'outil)

Coordonnées	a	b	c	d	e	f	g
X	67						
Y	-67						
Z	50						
Coordonnées	h	i	j	k	l	m	n
X							
Y							
Z							

B-22. Compléter le programme CN, en se référant aux données de la **Figure.8**.

Programme	Commentaire	Programme	Commentaire
% 2019 (USINAGE CONVERCLE)		N110 X..... Y.....	(f)
N10 G17 G90 G80 G40	(.....)	N120 X..... Y.....	(g)
N20 G0 G52 Z0		N130 X..... Y.....	(h)
N30 M6 T1 D1		N140 X..... Y.....	(i)
N40 G97 S400 M3 M8		N150 X..... Y.....	(j)
N50 G94 F128		N160 X..... Y.....	(k)
N60 G0 X..... Y..... Z.....	(a)	N170 X..... Y.....	(l)
N70 G0 Z.....	(b)	N180 X..... Y.....	(m)
N80 G1 X..... Y.....	(c)	N190 X..... Y.....	(n)
N90 X..... Y.....	(d)	N200 G0 G52 Z0 M9 M5	(dégagement)
N100 X..... Y.....	(e)	N210 M2	