

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la  
Recherche Scientifique et de la Technologie



الجمهورية التونسية  
وزارة التعليم العالي  
والبحوث العلمية والتكنولوجيا

المناظرات الوطنية للدخول  
إلى مراحل تكوين المهندسين  
دورة 2009

Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs  
Session 2009

Concours Technologie

Epreuve de Sciences et Techniques de l'Ingénieur



Date : Vendredi 05 Juin 2009

Heure : 8 H

Durée : 5 H

Barème : Partie A : 8 points ; Partie B : 4 points ; Partie C : 4 points ; Partie D : 4 points.

- L'épreuve comporte quatre parties : A-Technologie de Conception, B- Technologie de Production, C- Mécanique & RDM et D- Automatique.
- Documents remis au candidat:
  - ✓ Deux dossiers : « **Présentation, Données et Hypothèses** » et « **document réponse** ».
  - ✓ Deux documents techniques : **Dessin d'ensemble** et **Dessin de définition** (2 formats A3).
- Aucun document n'est autorisé.
- L'utilisation des calculatrices de poche non programmables est autorisée.
- Les différentes parties sont indépendantes et doivent être traitées sur le document réponse.
- Un seul dossier document réponse est fourni au candidat et doit être rendu en totalité, même sans réponses, à la fin de l'épreuve. Le renouvellement de ce dossier est interdit.

## DOSSIER PRESENTATION, DONNEES ET HYPOTHESES

Ce dossier comporte 11 pages numérotées de 1 à 11

- Présentation : pages 1 à 3 ;
- Données et hypothèses Partie A : pages 4 et 5 ;
- Données et hypothèses Partie B : page 6 ;
- Données et hypothèses Partie C : pages 7 et 8 ;
- Données et hypothèses Partie D : pages 9 à 11.

## UNITE DE PERÇAGE A CAME CLOCHE

### MISE EN SITUATION

Le perçage des trous dans une ligne de production nécessite généralement l'utilisation d'un poste automatisé de perçage.

Le sujet de l'épreuve concerne l'étude d'un poste de perçage (Figure 1), intégré dans un système de production semi-automatisé pour le perçage de trous de diamètres inférieurs à 14 mm et de profondeur maximale de 60 mm dans des pièces en acier. Il est constitué principalement de :

- Une **unité de perçage à came cloche** permettant d'exécuter le cycle de perçage ;
- Un **plateau tournant** permettant de maintenir et de positionner la pièce devant l'unité de perçage ;

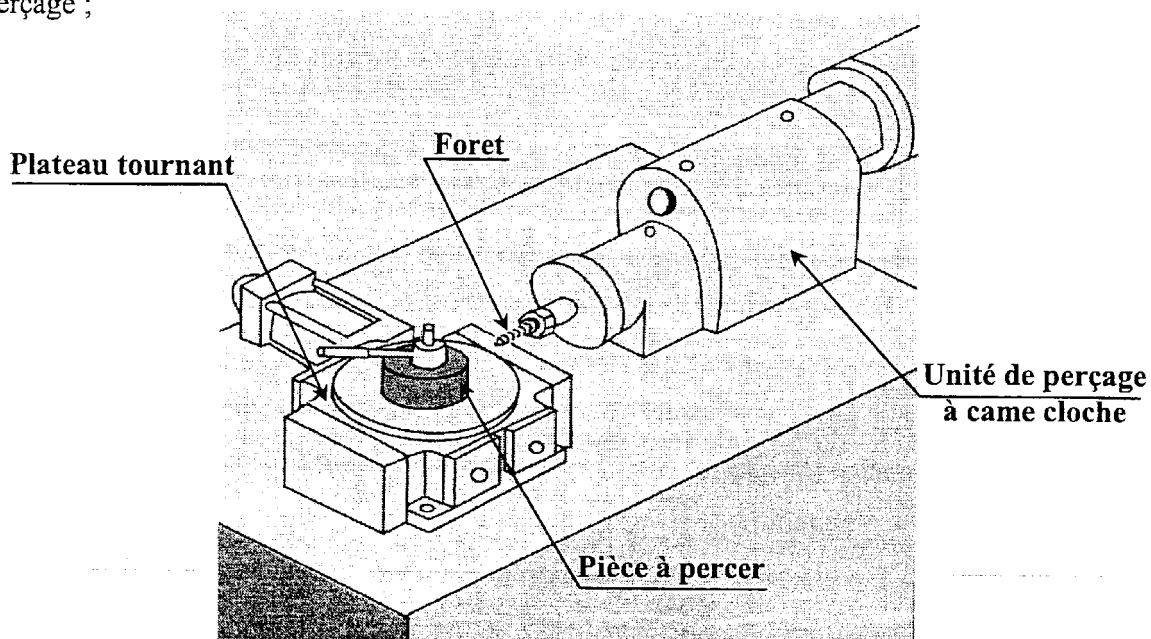


Figure 1: Poste semi-automatisé de perçage.

### FONCTIONNEMENT :

L'étude portera sur l'**unité de perçage à came cloche**, définie par le dessin d'ensemble (**Document 1** et sa **nomenclature** page 3) et par le schéma cinématique simplifié (**Figure 2**).

Le mouvement de coupe (rotation de l'outil) est obtenu par un moteur électrique (26) qui assure, en plus, grâce à une came cloche (24) entraînée indirectement par ce moteur, le mouvement d'avance du foret.

Le foret, non représenté, est monté à l'extrémité de l'arbre porte broche (7) soit par l'intermédiaire d'un mandrin ou directement par cônes « Morse ».

L'action sur un interrupteur extérieur (à commande manuelle ou automatique) déclenche le cycle de perçage suivant :

- La mise en route du moteur électrique (26) et par suite la mise en rotation du foret ;
- L'excitation de l'électroaimant (29) de l'embrayage, commandée par la présence de la pièce à percer, entraîne la mise en rotation de la came cloche (24) ;
- Le perçage d'un trou : l'avance et la course du foret sont données par le profil de la came (24) ;
- La fin du cycle de perçage par l'action de la butée (35) sur le micro-rupteur (32).

La rotation de la came cloche (24) est commandée par les organes suivants :

- Un premier réducteur de vitesse composé d'une vis sans fin (4) et d'une roue dentée (8) ;
- Un embrayage électromagnétique (27, 28 et 29) qui permet d'établir temporairement une liaison complète entre l'arbre creux (36) et l'arbre (31) ;
- Un deuxième réducteur de vitesse comprenant un pignon (37) et une roue dentée (38) ;
- Un troisième réducteur de vitesse comprenant une vis sans fin (3) et une roue dentée (9) ;

La came cloche (24) prend appui sur le galet (19) lié au bâti (10) moyennant un dispositif qui permet le réglage de la position de l'unité et par suite la position du foret par rapport à la pièce à percer. La rotation de la came (24), entraîne la translation de l'unité de perçage sur le bâti (10).

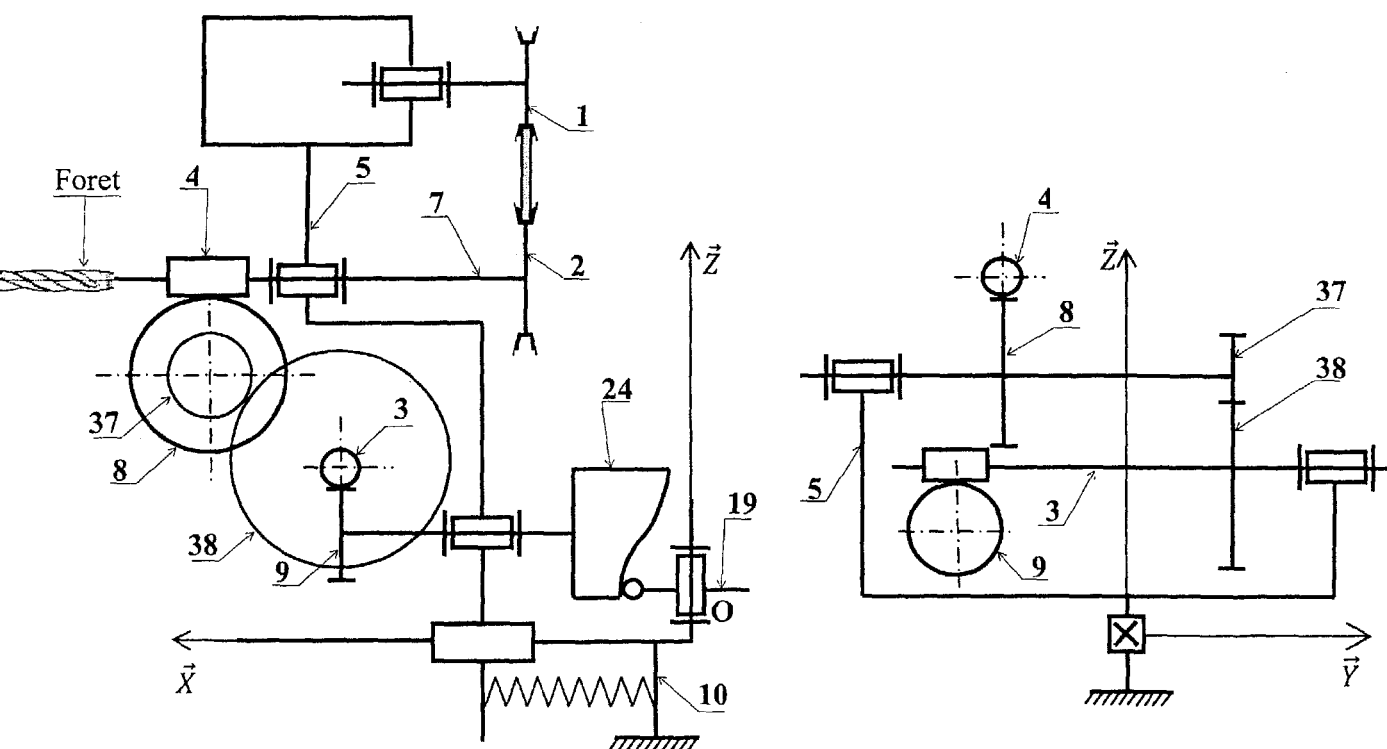


Figure 2 : Schéma cinématique minimal de l'unité de perçage (phase embrayée).

## NOMENCLATURE

24	1	Came cloche	C 10
23	1	Ecrou	E 355
22	1	Vis H, M10-55	E 355
21	1	Arbre porte-galet	C 38
20	1	Support	E 355
19	1	Galet	C 10
18	1	Arbre	C 10
17	1	Boitier	EN-GJL-100
16	1	Roulement combiné	
15	1	Cales de réglage	E 355
14	1	Entretoise	E 355
13	1	Joint d'étanchéité	élastomère
12	1	Roulements à billes	
11	2	Ressort	45SiCrMo6
10	1	Bâti	EN-GJL 250
9	1	Roue dentée : $Z_9=20$	C 38
8	1	Roue dentée : $Z_8=19$	C 38
7	1	Arbre porte Broche	C 10
6	1	Joint d'étanchéité	élastomère
5	1	Carter	EN-GJL 250
4	1	Vis sans fin : $Z_4=1$	C 38
3	1	Vis sans fin : $Z_3=1$	C 38
2	1	Poulie 3 gorges	MN 350-10
1	1	Poulie 3 gorges	MN 350-10
Rep.	Nb	Désignation	Matière

47	1	Ecrou	E 355
46	1	Vis	E 355
45	1	Ecrou	E 355
44	1	Coussinet	Z- A4G
43	1	Roulement à billes	
42	1	Roulement à aiguilles	
41	1	Coussinet	Z- A4G
40	1	Axe	C 38
39	1	Cale	E 355
38	1	Roue dentée : $Z_{38}=47$	C 38
37	1	Pignon : $Z_{37}=24$	C 38
36	1	Arbre Creux	C 10
35	1	Butée	E 355
34	1	Couvercle	EN-GJL 250
33	1	Couvercle	E 355
32	1	Micro-rupteur	
31	1	Arbre	C 10
30	1	Goupille	E 235
29	1	Electro-aimant	
28	1	Flasque	E 355
27	1	Disque avec garniture	
26	1	Moteur	
25	1	Courroie trapézoïdale	
Rep.	Nb	Désignation	Matière

## PARTIE A : TECHNOLOGIE DE CONCEPTION

DONNEES ET HYPOTHESES :

✓ Moteur : Vitesse de rotation :  $N_M = 1500 \text{ tr/mn}$ , Puissance :  $P_M = 736 \text{ W}$ .

✓ Transmission par poulies-courroie (1, 2, 25) : Rendement :  $\eta_1 = 0,85$  ;

✓ Transmission par roues et vis sans fin (4,8) et (3,9) :

Rendement par étage :  $\eta_2 = 0,6$  ;

Nombre de dents :  $Z_4 = 1, Z_8 = 19, Z_3 = 1$  et  $Z_9 = 20$ .

✓ Transmission par Roues dentées (37-38) :

Rendement :  $\eta_3 = 0,9$  ; Nombre de dents :  $Z_{37} = 24$  et  $Z_{38} = 47$ .

✓ Embrayage électromagnétique (27, 28, 29) :

Surface de fiction de rayons :  $R = 28 \text{ mm}$  et  $r = 16 \text{ mm}$  ;

Coefficient d'adhérence garniture - flasque :  $f = 0,3$  ;

Couple d'adhérence :  $C_{adh} = \frac{2}{3} n F f \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}$  ;

Pression maximale admissible de la garniture :  $P_{Max.ad} = 2 \text{ MPa}$  ;

Résistance pratique au glissement de la goupille (30) :  $R_{pg} = 200 \text{ MPa}$ .

AIDE MEMOIRE SUR LA TRANSMISSION PAR POULIES-COURROIE :

✓ Longueur de référence de la courroie  $L_d$  :

$$L_d = 2a + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4a}$$

✓ Angle d'enroulement  $\theta$  :

$$\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{D - d}{2a}$$

✓ Tension due à la force centrifuge :

$$T_c = \rho v^2$$

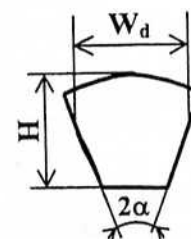
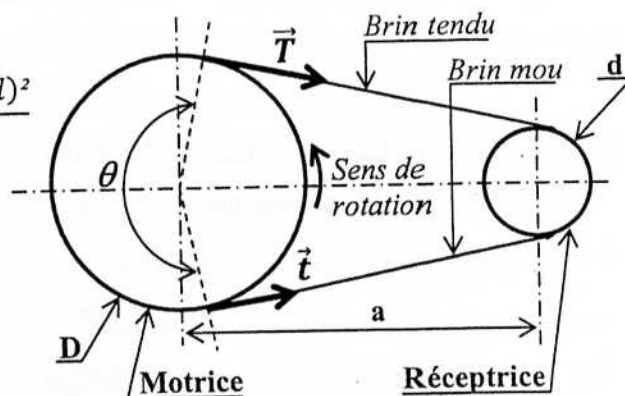
$\rho$  : masse linéique de la courroie (Kg/m) et  $v$  : vitesse linéaire de la courroie.

✓ Tensions aux niveaux de brin tendu ( $T$ ) et de brin mou ( $t$ ) :

$$\frac{T - T_c}{t - T_c} = e^{f_e \theta} \quad \text{Où } f_e = \frac{f}{\sin \alpha}$$

avec  $f_e$  : Coefficient de frottement équivalent,  $f$  : coefficient de frottement poulie-courroie et  $\alpha$  : demi-angle au sommet de la courroie.

✓ Tension de pose :  $T_0 = \frac{T + t}{2}$



Section d'une courroie trapézoïdale ( $\alpha = 20^\circ$ ).

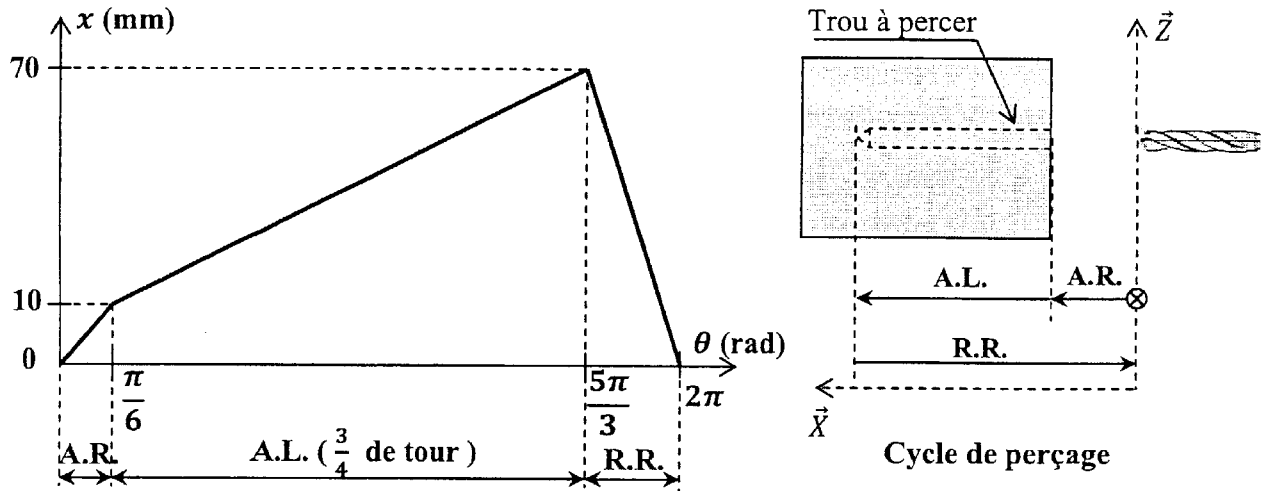
**DESCRIPTION DE LA CAME CLOCHE (24) :**

Un cycle complet de perçage (Avance Rapide, Avance Lente puis Retour Rapide) est effectué en un tour de la came cloche. La variation de la position  $x$  de l'outil en fonction de l'angle  $\theta$  effectué par la came cloche est donné par la figure A-1.

Pour  $0 < \theta < \frac{\pi}{6}$  : Avance Rapide (A.R.) permettant à l'outil de se rapprocher de la pièce ;

Pour  $\frac{\pi}{6} < \theta < \frac{5\pi}{3}$  : Avance Lente (A.L.) correspondant à la phase de perçage ;

Pour  $\frac{5\pi}{3} < \theta < 2\pi$  : Retour Rapide (R.R.) correspondant au dégagement de l'outil ;



**Figure A.1 :** Variation de la position  $x$  de l'outil en fonction de l'angle  $\theta$  effectué par la came.

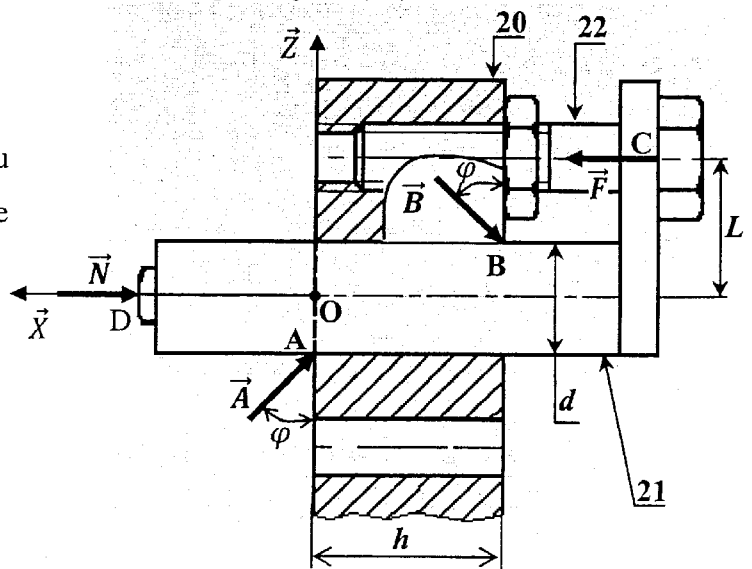
**ARC-BOUTEMENT AU NIVEAU DE L'ARBRE PORTE-GALET(21) :**

Lors du réglage, les actions mécaniques exercées sur l'arbre porte-galet (21) sont :

- En **C** : Action de la vis (22) :  $\vec{F} = F\vec{X}$  ;
- En **D** : Action de la came (24) :  $\vec{N} = -N\vec{X}$  ;
- En **A** et **B** : Actions du support (20) au niveau de la liaison pivot-glissant supposée avec frottement de coefficient  $f = \tan(\varphi)$  :

$$\vec{A} = -A_x\vec{X} + A_z\vec{Z} \text{ et } \vec{B} = -B_x\vec{X} - B_z\vec{Z} ;$$

Les paramètres  $F$ ,  $N$ ,  $A_x$ ,  $A_z$ ,  $B_x$  et  $B_z$  sont positifs ou nuls.



**Figure A.2 :** Actions extérieures sur (21).

## PARTIE B : PRODUCTION MECANIQUE

On se propose d'étudier la fabrication du boîtier (17) dont le dessin de définition est donné dans le document B1. Le boîtier est en EN-GJL-100 (FGL100).

La pièce brute est obtenue par **moulage en sable** noyauté avec une **surépaisseur de 2mm** et un **retrait de 1,2%**. Les surfaces à usiner sont numérotées de 1 à 14 et toutes les autres surfaces resteront brutes (Document B1).

### ETUDE DE FABRICATION : Rédaction du projet d'usinage

Pour la fabrication du boîtier (17), on utilisera des machines outils à Commande Numérique (CN). La gamme prévisionnelle proposée prévoit les phases suivantes :

Phases	Opérations	procédés
10	Usinage des <b>surfaces 1, 2, 3, 4, 5, 6</b> et 11.	Tournage en CN
20	Usinage des <b>surfaces 7, 8, 9, 10</b> et 14.	Tournage en CN
30	Usinage des <b>surfaces 12 et 13.</b>	Fraisage en CN

La série prévue est de 500 pièces par an, renouvelable.

### ETUDE DE LA COUPE :

L'ébauche des **surfaces 8 et 10** du boîtier (17) est réalisée sur un tour CN avec un outil à aléser et dresser en 3 passes.

- ✓ Une passe ébauche sur une longueur de 28 mm et au diamètre 29 mm.
- ✓ Deux passes ébauche sur une longueur de 10 mm et aux diamètres respectivement de 32 mm et de 35 mm.

Les données de coupe établies sont :

Vitesse de coupe	$V_{c30} = 180 \text{ m/mn}$
Avance	$F = 0,12 \text{ mm/tr}$
Profondeur de passe	$a_p = 1,5 \text{ mm}$
Pression spécifique de coupe	$K_s = 280 \text{ daN/mm}^2$

$V_{c30}$  est la vitesse de coupe pour une durée de vie de 30 mn.

### USINAGE SUR MACHINE OUTIL C.N. :

On s'intéresse à l'étude de l'opération de  **finition**  des surfaces 7, 8, 9 et 10 (document B1). La machine utilisée est un tour CN à 2 axes et à tourelle arrière.

L'usinage est assuré par un outil à aléser et dresser T4 placé initialement au point **Ot** de coordonnées : X=100, Z=100 par rapport à l'origine programme (**Op**). Les points d'engagement et de dégagement sont à 4 mm du profil à usiner.

## PARTIE C : MECANIQUE &amp; RDM

MECANIQUE : DONNEES ET HYPOTHESES :

L'unité de perçage, définie par le schéma cinématique minimal (**Figure 2**, page 2), est modélisée dans cette partie par la **Figure C.1**. Elle est constituée principalement de :

- Un bâti (10) auquel est associé le repère orthonormé direct  $R(O, \vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})$  supposé galiléen ;
- Un système ( $\Sigma$ ) qui regroupe l'ensemble des pièces animées en translation par rapport au bâti (10) lorsque l'embrayage est actionné. Le système ( $\Sigma$ ), de masse  $M$ , est en liaison glissière d'axe  $(D, \vec{X})$  avec le bâti (10). Le mouvement de translation de ( $\Sigma$ ) est contrôlé par la forme de la came cloche (24) qui est en liaison pivot d'axe  $(C, \vec{X})$  avec le carter (5). La came cloche (24) de rayon moyen  $R_c$  et le carter (5) font partie du système ( $\Sigma$ ). On pose  $\vec{OC} = x\vec{X} + R_c\vec{Z}$  où  $x$  est paramètre de position du ( $\Sigma$ ) par rapport à (10). La rotation de la came cloche (24) est assurée par un train d'engrenage (**Figure 2**) et un système poulies-courroie {1, 2, 25} (**Figure C.2**).
- Un galet (19), de centre O et de rayon  $R_g$ , en liaison pivot d'axe  $(O, \vec{Z})$  avec le bâti (10) d'une part et en liaison supposée ponctuelle de normale  $(I, \vec{X})$  avec la came cloche (24) d'autre part tel que :  $\vec{OI} = R_g\vec{X}$ .

On notera par  $\omega_i$  la vitesse angulaire du solide ( $i$ ) par rapport au carter (5) ( $i = 1, 2, 19$  ou 24).

Toutes les liaisons sont supposées parfaites sauf la liaison glissière entre (5) et (10) et la liaison ponctuelle entre (19) et (24). On désigne par  $f$  le coefficient de frottement entre (5) et (10).

Le contact en I entre (19) et (24) est maintenu par le ressort (11) qui exerce sur ( $\Sigma$ ) une action mécanique définie par  $\vec{F}(11 \rightarrow \Sigma) = -(F_0 + kx)\vec{X}$  où  $k$  est la raideur du ressort et  $F_0$  est une constante positive (force initiale du ressort).

- L'action de la pièce sur ( $\Sigma$ ) est définie par :

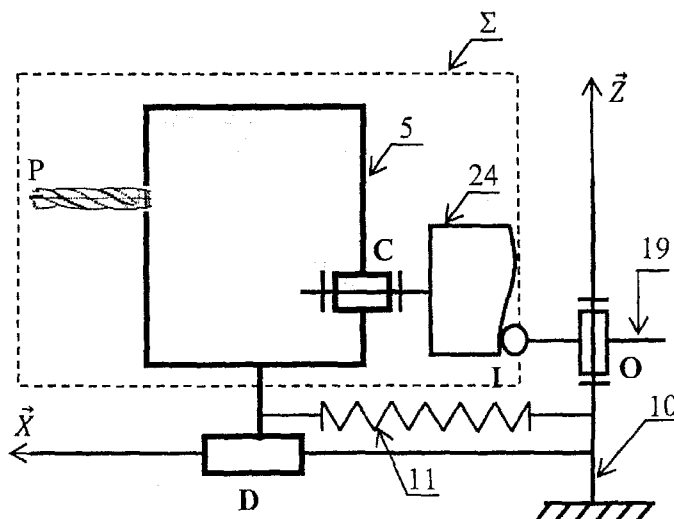
$$\{T(\text{Pièce} \rightarrow \Sigma)\} = \begin{Bmatrix} -F_p\vec{X} \\ C_p\vec{X} \end{Bmatrix}_p$$

- L'action de (19) sur (24) est définie par :

$$\vec{R}(19 \rightarrow 24) = F_x\vec{X} + F_y\vec{Y}.$$

- Le champ de pesanteur est défini par :

$$\vec{g} = -g\vec{Z}.$$



**Figure C.1** : Modèle adopté pour l'étude dynamique de l'unité de perçage à came cloche.





## PARTIE D : AUTOMATIQUE

Dans cette partie, on introduit un **système hydraulique** pour assurer le mouvement de déplacement de l'unité de perçage (Figure 1, page 1). Ce dernier remplace le système d'entraînement mécanique à base de la came cloche. Toutefois, la rotation du foret dans un seul sens est toujours obtenue par un moteur électrique.

La présente étude est composée de deux parties indépendantes : la première (Partie D-1) porte sur la commande séquentielle du poste de perçage. La seconde (Partie D-2) traite l'asservissement de vitesse de déplacement de l'unité de perçage moyennant le système hydraulique et ce en vue d'assurer les différentes consignes du cycle de perçage (avance rapide, avance lente et retour rapide).

### PARTIE D-1 : COMMANDE SEQUENTIELLE DU POSTE DE PERÇAGE

L'objectif de cette étude est l'établissement d'une commande séquentielle du poste de perçage dont le schéma de principe du fonctionnement est illustré par la figure D.1. Les conditions initiales nécessaires pour l'amorçage du cycle automatique sont:

- Présence d'une pièce à percer sur le plateau tournant ( $p=1$ )
- Unité de perçage en position initiale ( $a=1$ )

Le cycle de perçage d'un seul trou est le suivant :

Après avoir placé et bloquer la pièce à percer sur le plateau tournant, l'opérateur met le système en marche en appuyant sur le bouton poussoir «**dcy**», la séquence de perçage sera exécutée comme suit:

- Avance Rapide (**AR**) commandée par le système hydraulique jusqu'à la position de début de perçage indiquée par le capteur «**b**»,
- Avance Lente (**AL**) commandée par le système hydraulique jusqu'à la position de fin de perçage indiquée par le capteur «**c**»,
- Retour Rapide (**RR**) commandée par le système hydraulique jusqu'à la position initiale indiquée par le capteur «**a**»,

La rotation de la broche (**RB**) est maintenue tout le long de cette séquence par la mise en marche du moteur électrique.

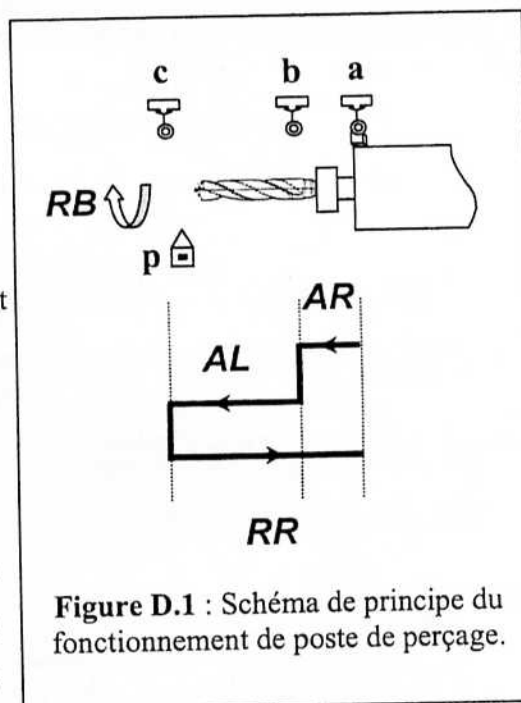


Figure D.1 : Schéma de principe du fonctionnement de poste de perçage.

Les notations utilisées dans cette étude sont résumées comme suit :

Abréviation	Description
AR	Action d'avance rapide de l'unité de perçage
AL	Action d'avance lente de l'unité de perçage
RR	Action de retour rapide de l'unité de perçage
RB	Action de rotation de la broche
RP	Action de rotation d'un quart de tour du plateau tournant
dcy	Appui sur le bouton de départ du cycle
p	Détection d'une pièce à percer située sur le plateau tournant
a	Unité de perçage en position initiale
b	Unité de perçage en position de début de perçage
c	Unité de perçage en position de fin de perçage
f	Fin d'une rotation d'un quart de tour du plateau tournant
cp	Variable entière de comptage du nombre des trous percés. Exemple : $([cp < 4]=1)$ si le nombre de trous est inférieur à quatre.

#### PARTIE D-2: ETUDE DE L'ASSERVISSEMENT DE VITESSES DE DEPLACEMENT :

Le système hydraulique, assurant le mouvement de déplacement horizontal de l'unité de perçage, est constitué d'une servovalve proportionnelle électro-hydraulique à 3 étages et d'un vérin double effet symétrique (Figure D.2). La servovalve est commandée par une solénoïde de résistance  $R$  et d'inductance  $L$ .

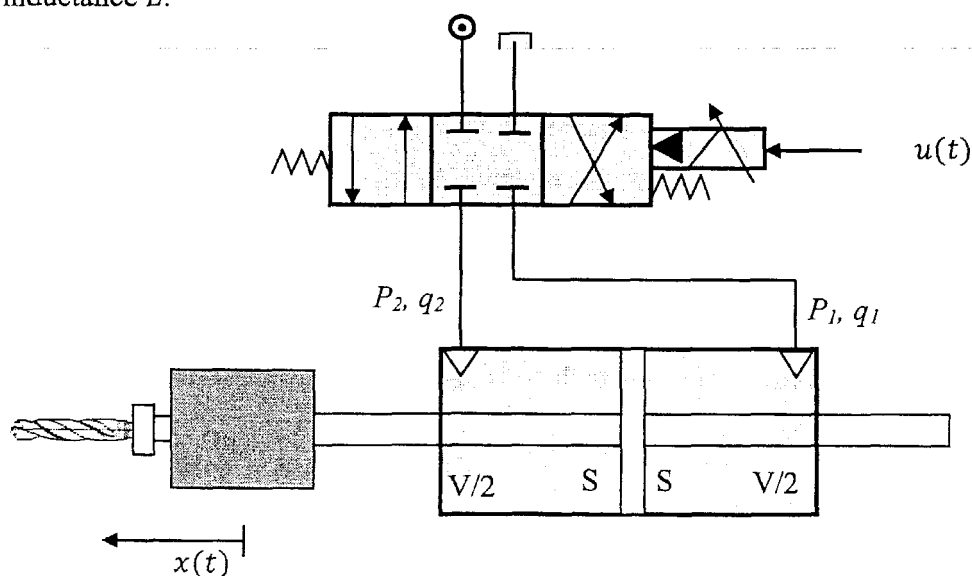


Figure D.2 : Schéma de principe du système hydraulique.



### Liste des paramètres :

Abréviation	Désignation
$m_c$	Masse équivalente de l'unité de perçage
$f_c$	Coefficient de frottement visqueux du vérin
$k_c$	Raideur du vérin hydraulique
S	Section utile du piston du vérin
V	Volume du vérin double effet symétrique.
$\beta$	Coefficient de compressibilité du fluide
$k_d$	Gain statique de la servovalve
$P_1, P_2$	Pressions dans les chambres 1 et 2 du vérin.
$q_1, q_2$	Débits des fluides alimentant les chambres 1 et 2 du vérin.
$u(t)$	Tension d'alimentation de solénoïde
$x(t)$	Déplacement de l'unité de perçage

Pour simplifier l'étude de ce système, on adopte les hypothèses suivantes :

- Le phénomène de saturation est négligé dans le solénoïde ;
- Les forces de frottements dans la servovalve et le vérin sont supposées proportionnelles aux vitesses de déplacement ;
- Le distributeur de la servovalve est parfaitement symétrique ;
- Pas de perte de charge ;
- L'inductance L du solénoïde est supposée négligeable devant la résistance R ;
- La transformée de Laplace d'une fonction continue  $f(t)$  est notée  $F(p)$ . En plus, toutes les conditions initiales sont supposées nulles.

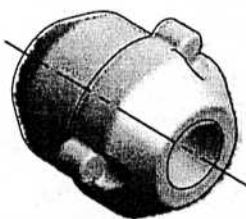
Par une commande positive de tension  $u(t)$ , une force créée par le solénoïde permet le déplacement du tiroir, ce qui produit l'augmentation de la pression  $P_1$  dans la chambre 1 du vérin et la diminution de la pression  $P_2$  dans la chambre 2. Par conséquent, la différence de pression  $z = P_1 - P_2$  génère un déplacement horizontal du piston du vérin entraînant l'unité de perçage de masse  $m_c$ . Les débits  $q_1$  et  $q_2$  sont identiques ( $q_1 = q_2 = q$ ) puisque le vérin est symétrique. Ainsi, les équations régissant le fonctionnement du système hydraulique sont les suivantes :

✓ L'équation de mouvement de l'unité de perçage de masse  $m_c$  est donnée par :

$$m_c \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + f_c \frac{dx(t)}{dt} + k_c x(t) = S z(t) \quad (1)$$

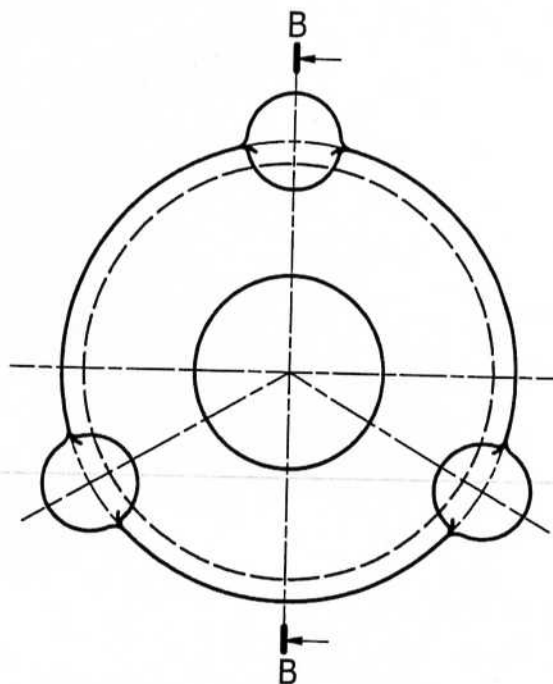
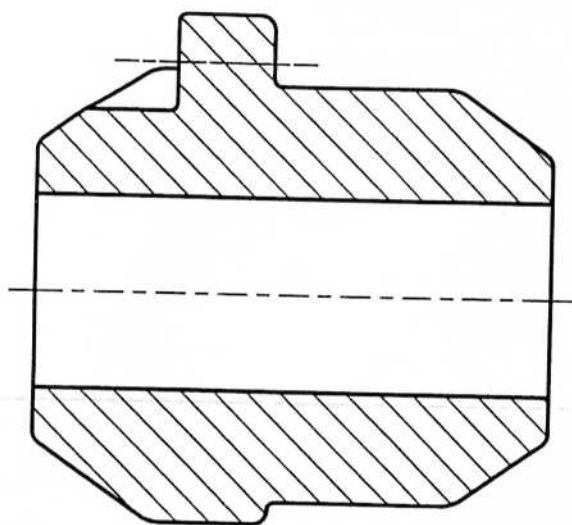
✓ L'équation de débit est donnée par :

$$\frac{V}{2\beta} \frac{dz(t)}{dt} + S \frac{dx(t)}{dt} = k_d u(t) \quad (2)$$

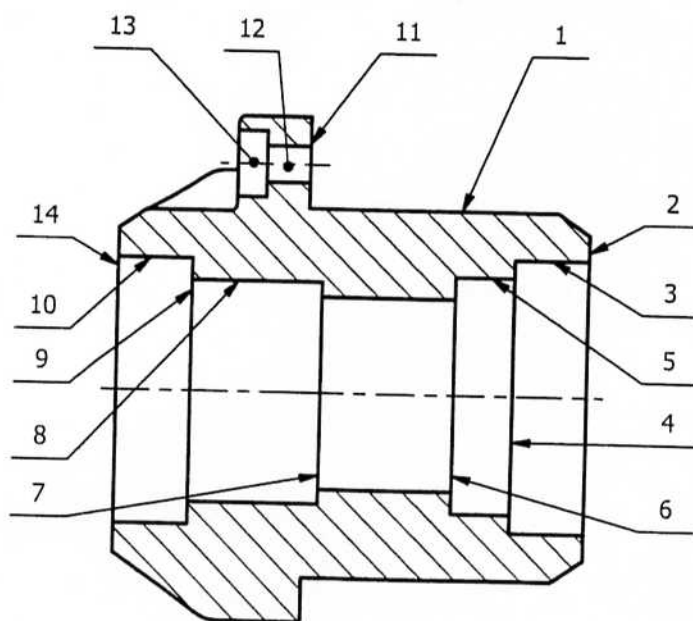


Dessin du brut

B-B



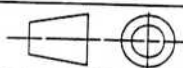
Repérage des surfaces usinées



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

Concours Technologie : Epreuve STI

Session 2009

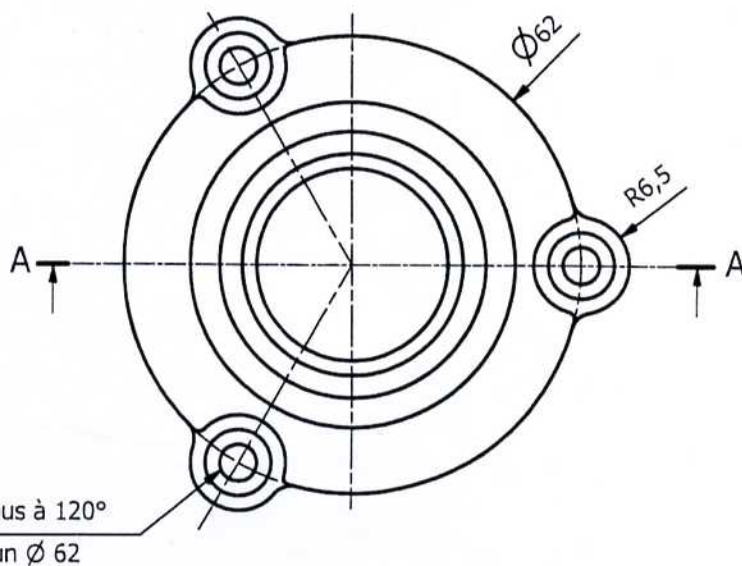


Echelle 1:1

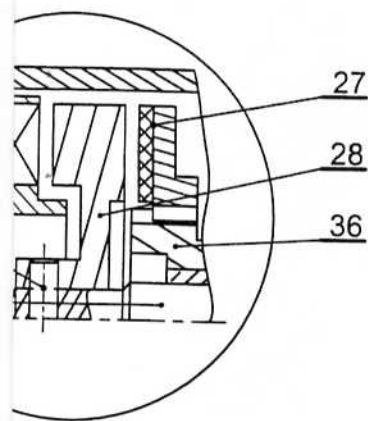
BOITIER

Repère 17

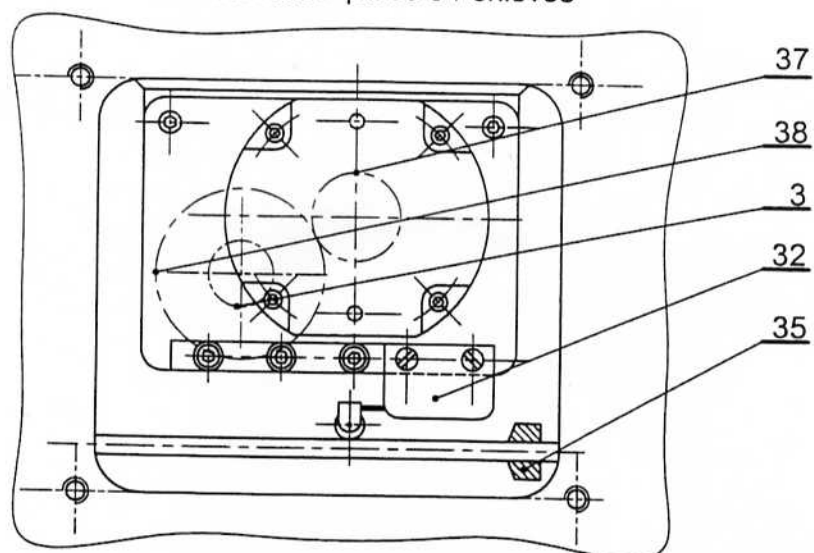
Document B1



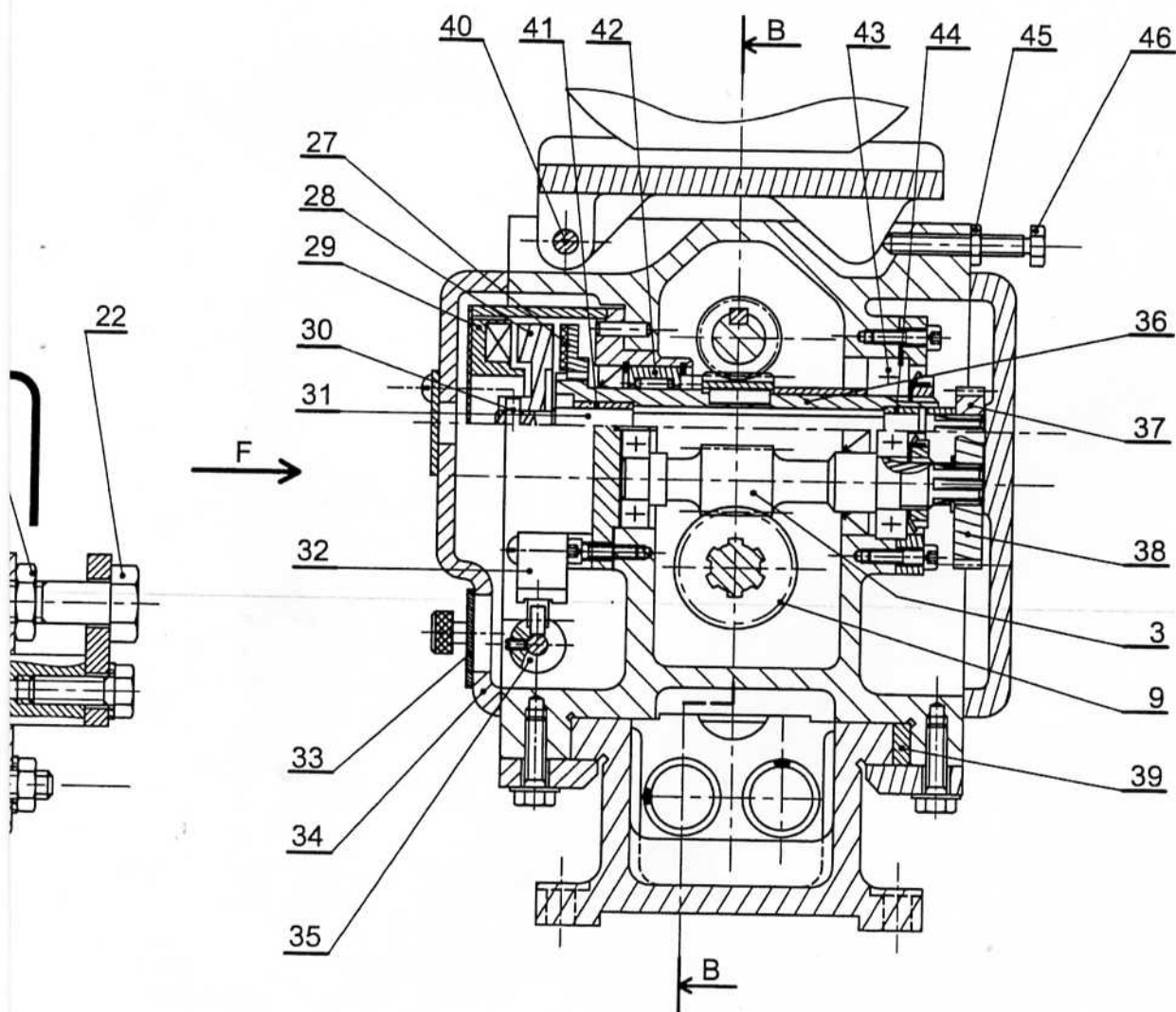
embrayage Ech 1:1



Vue suivant F pièce 34 enlevée



A-A



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

Session 2009

Ech 1:2

UNITE DE PERCAGE  
A CAME CLOCHE

Le 05 / 06 / 09

Document 1

