

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Concours Nationaux d'Entrée
aux Cycles de Formation d'Ingénieurs
Session 2016



الجمهورية التونسية
وزارة التعليم العالي
والبحوث العلمية

المناظرات الوطنية للدخول
إلى مراحل تكوين المهندسين
دورة 2016

Concours Technologie

Épreuve de Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Date : Mardi 31 Mai 2016

Heure : 8 Heures

Durée : 5 Heures

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

D- Automatique

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

1. Dossier : Dossier Présentation, Données et Hypothèses
2. Dossier : Document Réponses.

Et deux documents techniques : Dessin d'ensemble (DT1 et DT2).

- Aucun autre 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 réponses.
- Il n'est fourni au candidat qu'un seul et unique « dossier document réponses » qui doit être rendu en totalité, à la fin de l'épreuve, même sans réponses.

DOSSIER

PRESENTATIONS DONNEES ET HYPOTHESES

Ce dossier comporte 28 pages numérotées de 1/28 à 28/28

- Présentation et Nomenclature : Pages 1/28 à 4/28 ;
- Données et hypothèses - Partie A : Pages 5/28 à 10/28 ;
- Données et hypothèses - Partie B : Pages 11/28 à 16/28 ;
- Données et hypothèses - Partie C : Pages 17/28 à 22/28 ;
- Données et hypothèses - Partie D : Pages 23 à 28 ;

ATELIER DE FABRICATION MECANIQUE

MISE EN SITUATION

La figure 1 présente un schéma simplifié d'un atelier de fabrication par la mise en forme de pièces mécaniques. Cet atelier est composé principalement des quatre unités suivantes :

Unité 1 : Approvisionnement des lopins (pièces à déformer) par gravitation.

Unité 2 : Chargement et chauffage.

Unité 3 : Transfert / évacuation.

Unité 4 : Presse mécanique de mise en forme (forgeage).

La pièce à l'état initial appelée « lopin » arrive par gravitation à l'unité 2.

Un vérin V1 introduit les pièces dans le four de chauffage. Après un temps de chauffage bien étudié, la pièce dont la température satisfait le procédé de mise en forme, sera transférée par un robot manipulateur vers une presse mécanique pour être forgée et prendre sa forme finale.

La pièce dont la température n'est pas conforme au procédé de mise en forme sera évacuée, par un vérin V2, vers une benne de récupération.

Nota :

- L'unité 2 de chargement et de chauffage fait l'objet de la partie automatique (**Partie D** du présent sujet du concours)
- L'unité 3 de **transfert** fait l'objet des parties conception et production (**Parties A et B** du présent sujet du concours)
- L'unité 4 de la **presse mécanique de forgeage** fait l'objet de l'étude de la partie mécanique & RdM (**Partie C** du présent sujet du concours)

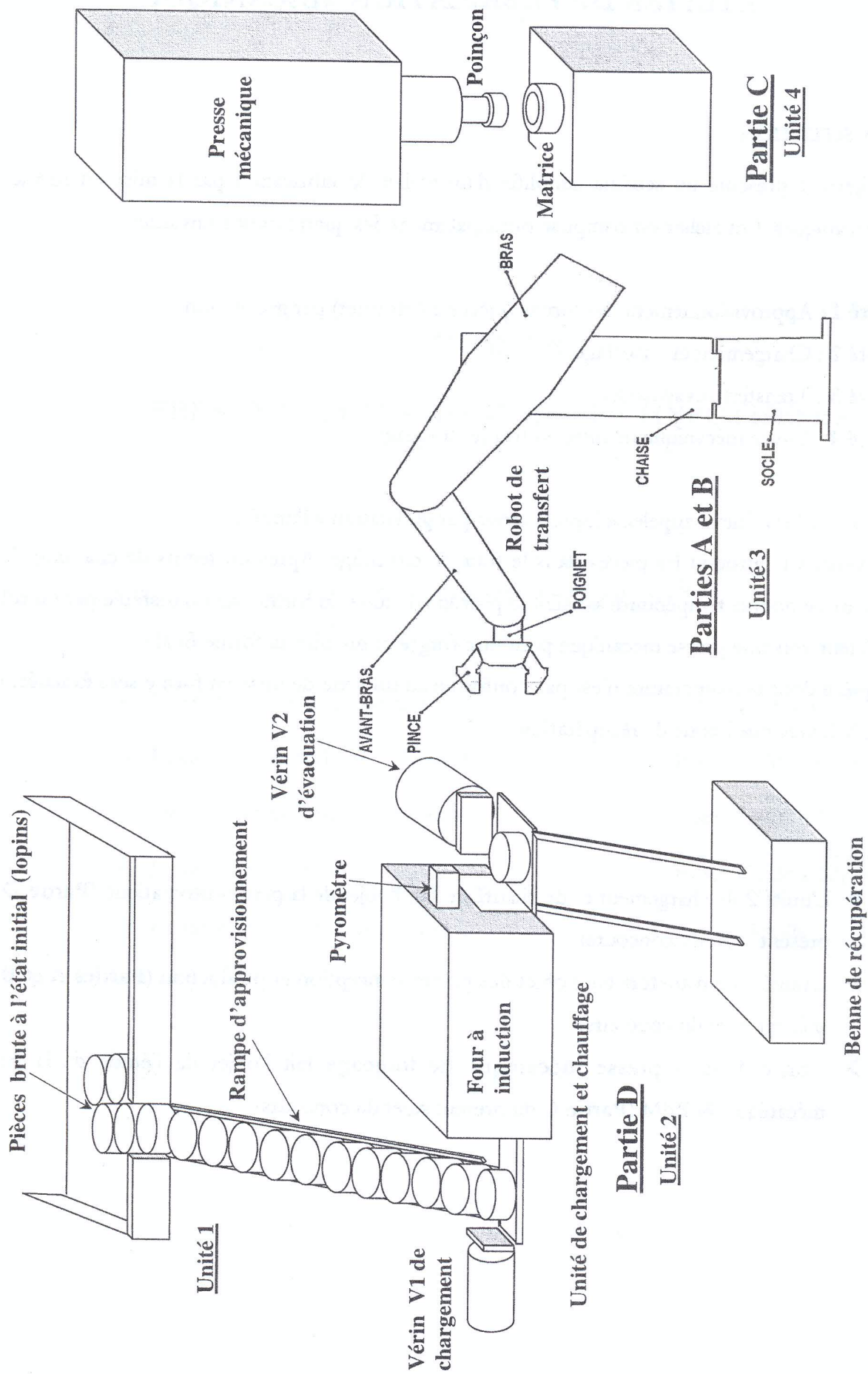


Figure 1 : Schéma simplifié d'un atelier de fabrication

45	1	Bras		
44	1	Bride		
43	1	Bague Ecou		
42	1	Bride de centrage		
41	1	Doigt		
40	1	Vis CHc		
39	1	Vis Tr 12 x 3		
38	1	Boitier		
37	1	Plaque arrêtoir		
36	1	Roulement rigide à billes		
35	1	Roulement à deux rangées de billes à contact oblique		
34	1	Bague amagnétique		
33	1	Disque flexible		
32	1	Ecou à encoche SKF		
31	1	Boitier		
30	1	Entretoise		
29	1	Corps du poignet		
28	1	Bague d'appui		
27	1	Disque d'embrayage		
26	1	Corps - Stator		
25	1	Anneau élastique		
24	1	Ecou		
23	2	Pignon arbré		
22	2	Coussinet		
21	1	Couronne	42CrMo4	
20	1	Bague		
19	1	Couvercle		
18	1	Bague		
17	1	Goupille		
16	1	Couvercle		
15	1	Couvercle		
14	1	Joint d'étanchéité		
13	1	Bague		
12	9	Rondelle élastique		
11	1	Bague		
10	2	Bille		
9	1	Corps de la pince		
8	1	Ecou		
7	1	Ecou		
6	2	Petite Bielle		
5	1	Tr 12 x 3		
4	2	Levier		
3	1	Butée		
2	4	Grande Bielle	E295	
1	2	Doigt	E295	
Rep.	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Nomenclature				

88	8	Anneau		
87	6	Axe		
86	1	Bague		
85	4	Axe		
84	1	Goupille		
83	3	Chape		
82	1	Roulement à double rangées de billes à contact oblique		
81	3	Vis		
80	1	Joint		
79	1	Roulement rigide à billes		
78	1	Bague entretoise		
77	1	Boitier		
76	1	Axe d'accouplement		
75	1	Rondelle		
74	1	Roulement		
73	1	Roulement à aiguilles		
72	1	Roue dentée		
71	1	Rotor		
70	1	Vis de pression		
69	1	Vis		
68	1	Ressort		
67	1	Roulement		
66	1	Disque frein		
65	1	Vis		
64	1	Vis CHC		
63	1	Roulement		
62	1	Moyeu		
61	1	Bague magnétique		
60	1	Ressort		
59	1	Roulement		
58	1	Support de roulement		
57	1	Roulement à aiguilles		
56	1	Anneau élastique		
55	1	Arbre creux		
54	1	Rotor		
53	1	Corps - Stator		
52	1	Clavette parallèle		
51	1	Bague		
50	1	Ecrou		
49	1	Goupille		
48	1	Joint		
47	1	Ecrou		
46	1	Douille pour passage du câble		
Rep.	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Nomenclature				

PARTIE A : TECHNOLOGIE DE CONCEPTION

Mise en situation : Etude de l'ensemble poignet porte pince, documents techniques (DT1 à DT4)

Cette étude a pour objectif de valider certaines dimensions des éléments constructifs de l'ensemble poignet porte pince. Cet ensemble est représenté par le schéma cinématique de la figure A.1.

Au cours du fonctionnement du robot, en plus du mouvement d'élongation du poignet, la pince peut tourner autour de l'axe $(O, \bar{x})$ du poignet. Afin de saisir et pincer la pièce, la pince est munie de deux doigts qui sont animés de mouvements d'ouverture et de fermeture.

Fonctionnement du poignet :

✓ **Elongation du poignet** (document technique DT1 et figure A.1) :

La mise sous tension du moteur **M1** et de l'embrayage **E1** engendre la rotation de l'écrou **(50)** lié en rotation au disque **(33)** de l'embrayage **E1**. La liaison hélicoïdale de l'écrou **(50)** avec la vis **(39)**, solidaire du corps de poignet **(29)**, engendre la translation de **(31)** et **(38)** grâce à la liaison glissière entre **(29)** et **(31)**, donc la translation de l'ensemble poignet.

✓ **Rotation de la pince** : Dans ce cas il faut interrompre l'alimentation du frein **(F)** et mettre sous tension le moteur **M2** qui engendre, à l'aide du train d'engrenages **(21, 23 et 72)**, la rotation de la pince. Le frein **(F)** a pour rôle de freiner la rotation de la pince.

✓ **Ouverture et fermeture des doigts de la pince** : Pour obtenir la fermeture ou l'ouverture des doigts **(1)** de la pince, il faut alimenter le moteur **M1** et l'embrayage **E2**. La rotation du disque embrayage **(27)** engendre la rotation de la vis **(5)** à travers les pièces **(55)** et **(76)**. L'irréversibilité de la liaison hélicoïdale entre **(5)** et **(7)** assure le maintien en position désirée des doigts. Les rondelles élastiques **(12)** introduisent une souplesse à la liaison pivot entre **(5)** et **(9)** évitant le coincement en fin de course de l'écrou **(7)** et permettant d'absorber l'énergie cinétique résiduelle dès lors que le moteur atteint le couple de serrage nominal.

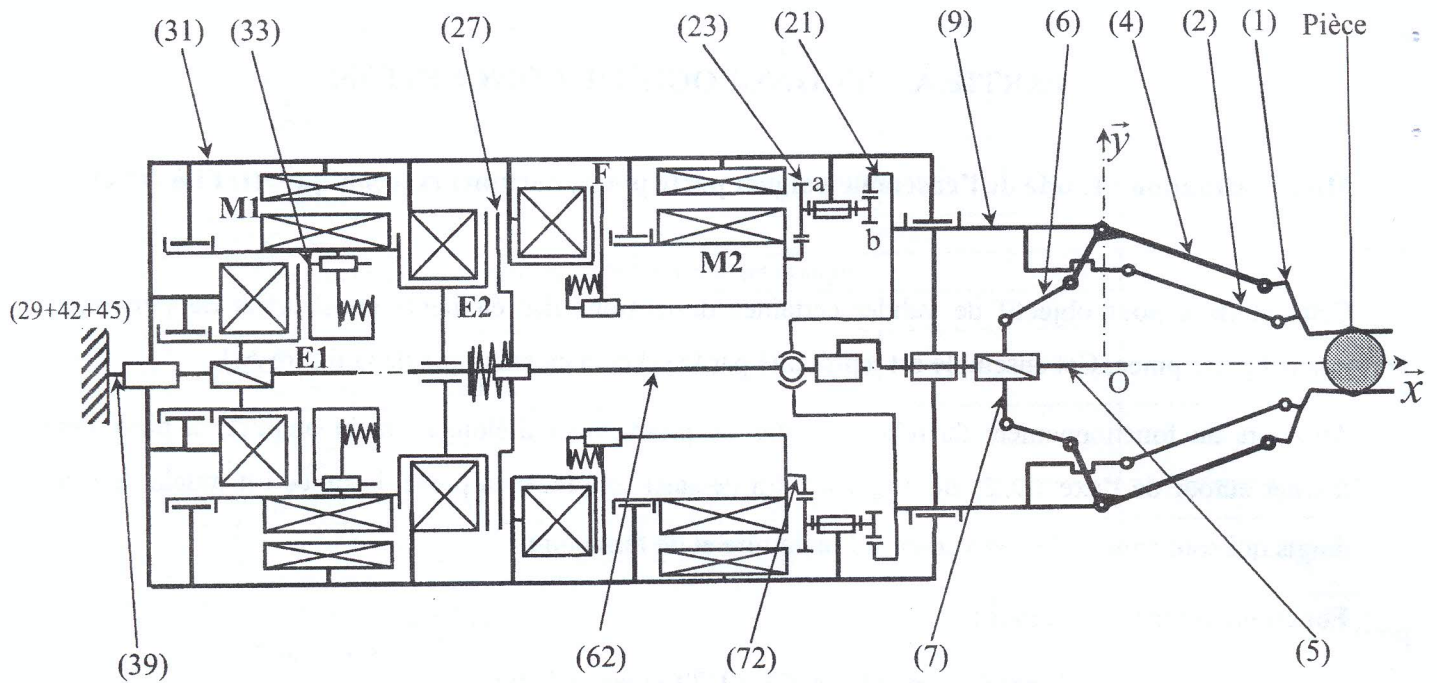


Figure A.1 : Schéma cinématique minimal de l'ensemble poignet porte pince.

Remarques :

- On note le torseur cinématique traduisant le mouvement du solide i par rapport au solide j au

$$\text{centre } P \text{ de la liaison par : } \{\mathcal{V}_{ij}\}_P = \begin{pmatrix} \alpha_{ij} & u_{ij} \\ \beta_{ij} & v_{ij} \\ \gamma_{ij} & w_{ij} \end{pmatrix}_{(P, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

- On note le torseur des actions mécaniques exercées par le solide i sur le solide j au centre P de

$$\text{la liaison par : } \{\tau_{ij}\}_P = \begin{pmatrix} X_{ij} & L_{ij} \\ Y_{ij} & M_{ij} \\ Z_{ij} & N_{ij} \end{pmatrix}_{(P, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Données :**Moteur M1 :**

- Couple Moteur $C_{m1} = 20 \text{ Nm}$
- Inertie des éléments tournants de M1 : $I_m = 0.25 \text{ kgm}^2$

Embrayage E2 :

- Rayon extérieur de la surface de friction : $R_2 = 50 \text{ mm}$
- Rayon intérieur de la surface de friction : $r_2 = 25 \text{ mm}$
- Coefficient de frottement : $f_2 = 0.15$
- Pression admissible : $P_{1 \text{ adm}} = 2 \text{ MPa}$
- Force appliquée par le ressort : $F_r = 100 \text{ N}$

Cannelures dans (62) (Liaison (27)/(62))

- Série forte, prendre les dimensions à partir des documents : DT1 et DT4
- Pression admissible : $P_{2 \text{ adm}} = 100 \text{ MPa}$

Systèmes vis-écrou (5-7)

- Vis **Tr 12x3** : voir DT4 pour les dimensions normalisées
- Coefficient de frottement : $f_1 = 0.15$
- Hauteur de l'écrou (7) : $h_e = 22 \text{ mm}$
- Pression admissible entre la vis et l'écrou : $P_{3 \text{ adm}} = 50 \text{ MPa}$

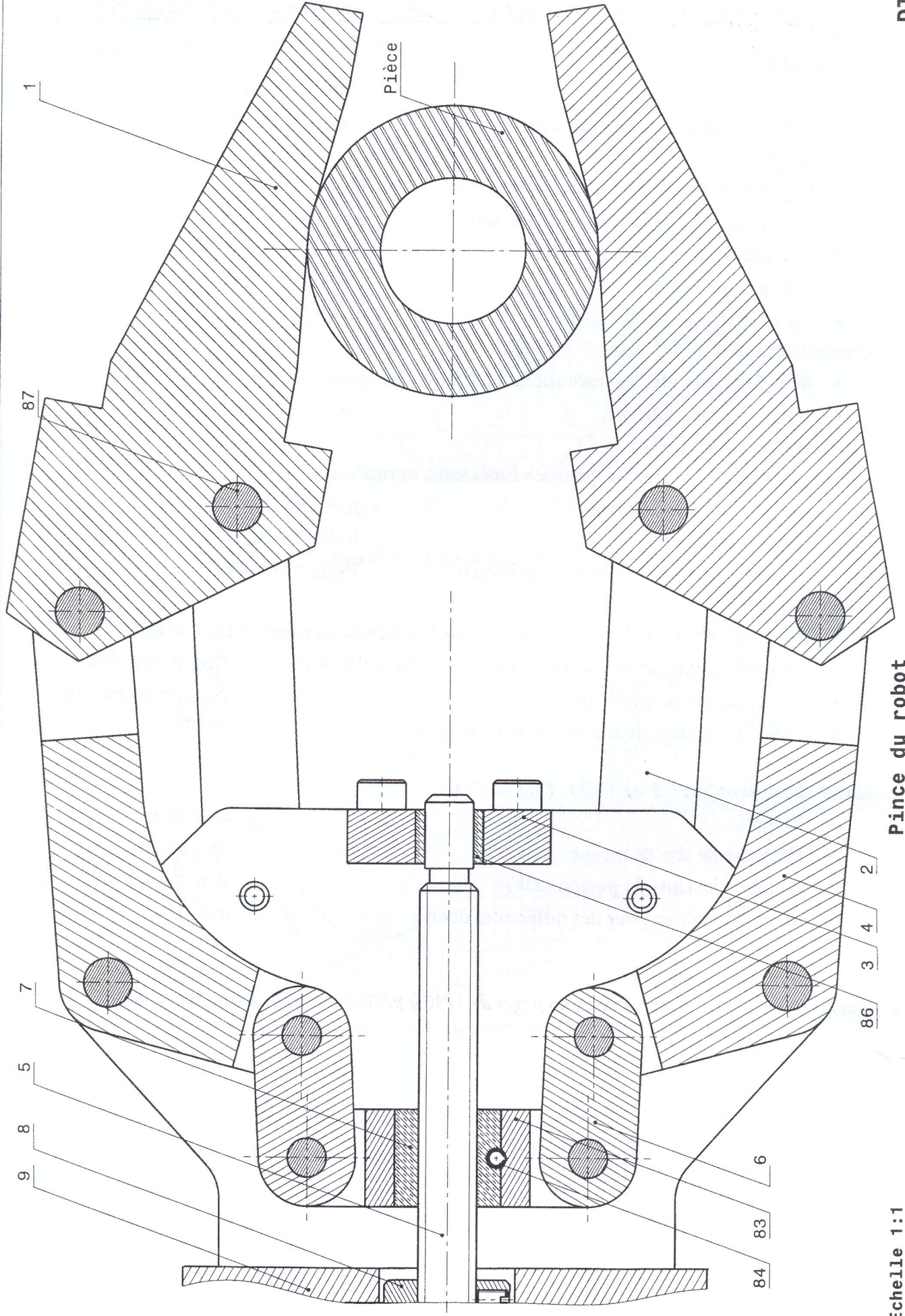
Pince du robot :

- Force de serrage appliquée par un doigt de la pince sur la pièce : $F_A = 2000 \text{ N}$
- Résistance pratique au cisaillement des axes d'articulations : $R_{pg} = 100 \text{ MPa}$
- Vitesse de rotation de la pince : $N_{\text{pince}} = 40 \text{ trs/mn.}$
- Durée de freinage de la partie tournante de la pince : $t_f = 2 \text{ s}$

Train d'engrenages ((23a), (23b), (21) et (71)):

- Entraxe : $a = 62 \text{ mm}$
- Diamètre de tête de la roue (23a) : $d_a = 32 \text{ mm}$
- Nombre de dents du pignon (23b) : $Z_{23b} = 15 \text{ dents.}$
- Même Module m pour des différentes dents : $m = 1 \text{ mm}$

Le travail demandé est explicité dans les pages de 1/30 à 9/30 du dossier document réponses



Echelle 1:1

Pince du robot

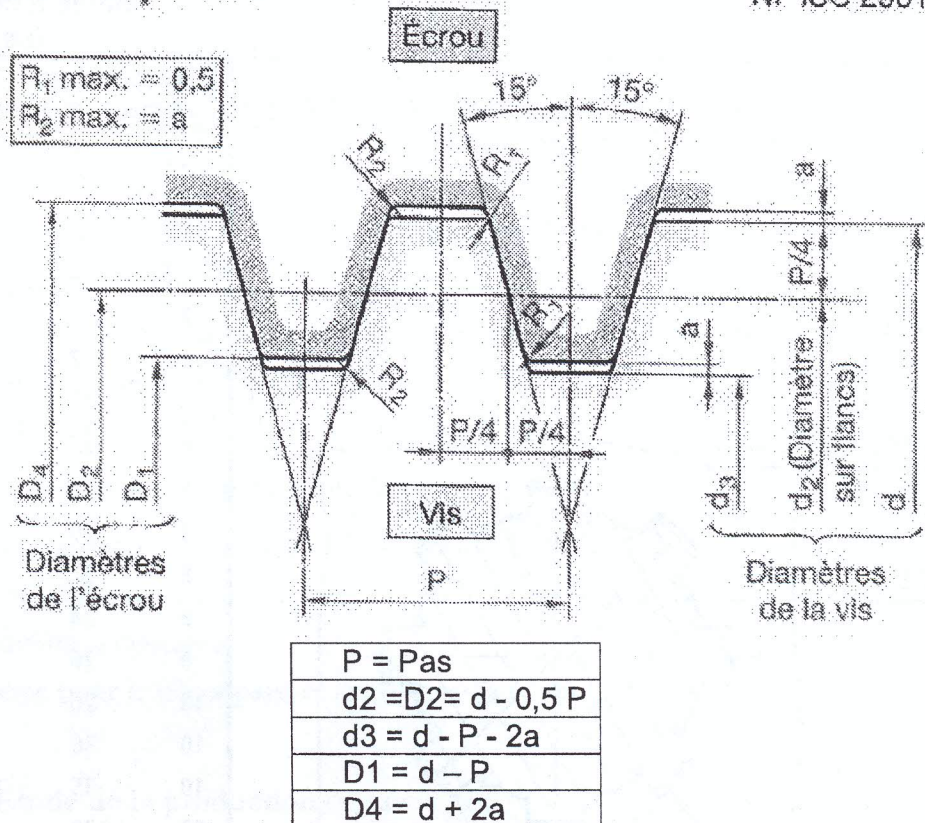
DT3

Document technique DT4 :

a. Vis à profil trapézoïdal.

Profil trapézoïdal

NF ISO 2901



Avec :

P (mm)	1,5	2 à 5	6 à 12	14 à 60
a(mm)	0,15	0,25	0,5	1

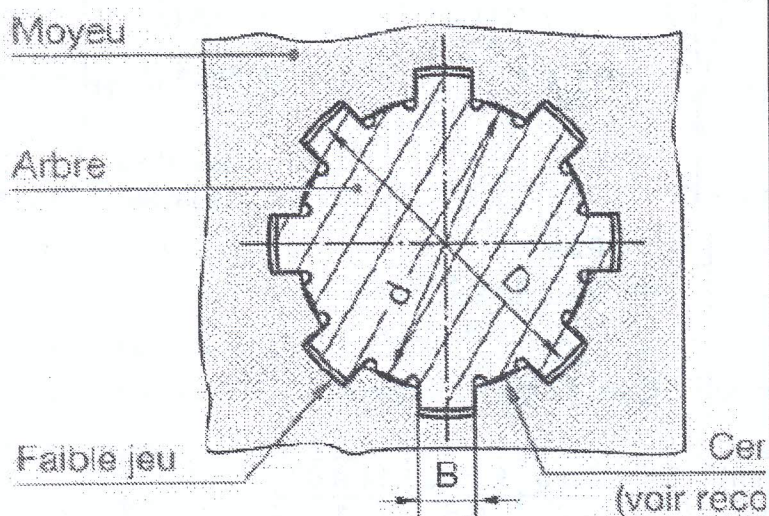
Principaux filetages trapézoïdaux ISO NF ISO 2902 Tableau 7

nominal d = D (mm)	Pas P (mm)	Ø nominal d = D (mm)	Pas P (mm)	Ø nominal d = D (mm)	Pas P (mm)
8	1,5	44	7	160	16
(9)	2	(46)	8	(170)	16
10	2	48	8	180	18
(11)	2	(50)	8	(190)	18
12	3	52	8	200	18
(14)	3	(55)	9	(210)	20
16	4	60	9	220	20
(18)	4	(65)	10	(230)	20
20	4	70	10	240	22
(22)	5	(75)	10	(250)	22
24	5	80	10	260	22
(26)	5	(85)	12	(270)	24
28	5	90	12	280	24
(30)	6	(95)	12	(290)	24
32	6	100	12	300	24
(34)	6	(110)	12		
36	6	120	14		
(38)	7	(130)	14		
40	7	140	14		
(42)	7	(150)	15		

Les valeurs entre parenthèses sont à éviter

Document technique DT4

b. Cannelures à flancs parallèles.



c. Roulement à une rangée de billes à contact radial (série 10)

Ecart sur B (sauf roulements coniques)				d ≤ 50		d > 50	
d**	D	B	r	C ₀	N		
1	3	1	0,04	15			
1,5	4	1,2	0,05	20			
2	5	1,5	0,05	30			
2,5	7	2,5	0,15	75			
3	10	4	0,1	230			
4	13	5	0,2	490	1		
5	16	5	0,3	680	1		
6	19	6	0,3	1050	2		
8	22	7	0,3	1360	3		
9	24	7	0,3	1640	3		
9	26	8	0,3	1960	4		
10	26	8	0,3	1970	4		
10	30	9	0,6	2650	6		
10	35	11	0,6	3450	8		
12	28	8	0,3	2370	5		
12	32	10	0,6	3100	6		
12	37	12	1	4200	9		
15	32	9	0,3	2850	5		

Série légère					Série moyenne					Série forte*				
n	d	D	B	s	n	d	D	B	s	n	d	D	B	s
6	23	26	6	5	6	11	14	3	5	10	16	20	2,5	12
	26	30	6	7,2		13	16	3,5	5		18	23	3	16
	28	32	7	7,2		16	20	4	7,2		21	26	3	16
8	32	36	6	8,4		18	22	5,5	7,2		23	29	4	19
	36	40	7	8,4		21	25	5	7,2		26	32	4	19
	42	46	8	8,4		23	28	6	9,5		28	35	4	22
	46	50	9	8,4		26	32	6	10,8		32	40	5	25
	52	58	10	12		28	34	7	10,8		36	45	5	29
	56	62	10	12		32	38	6	14,4		42	52	6	30
	62	68	12	12		36	42	7	14,4		46	56	7	30

PARTIE B : TECHNOLOGIE DE PRODUCTION

PRESENTATION :

On désire produire une série de 1000 exemplaires des poignets porte pince du robot (voir Document Technique DT1). Dans cette partie, on se limite à l'étude de la production de la vis (5) et de la biellette (6).

Dans les documents techniques DT 6, DT 7, DT 8 et DT 9 ; on présente :

- Le dessin de définition de la vis (5) (DT 6) ;
- Le dessin de la vis (5) avec la numérotation des surfaces à usiner par des lettres A, B... (DT 7) ;
- La gamme d'usinage de la vis (5) (DT 8) ;
- Le dessin de définition de la biellette (6) (DT 9).

L'atelier de fabrication dispose d'un parc machines composé :

- De tours à Commande Numérique (CN) à 2 axes;
- D'un centre d'usinage à 4 axes ;
- D'une machine à centrer ;
- D'une presse pour le découpage et le poinçonnage des tôles.

PARTIE B.I : Etude de la production de la vis (5)

On désire produire une série de 1000 vis (5). L'usinage de la vis (5) se fait en deux étapes, ébauche et finition directe. La surépaisseur moyenne pour l'usinage de finition est de 0,5 mm.

PROJET DE GAMME DE FABRICATION

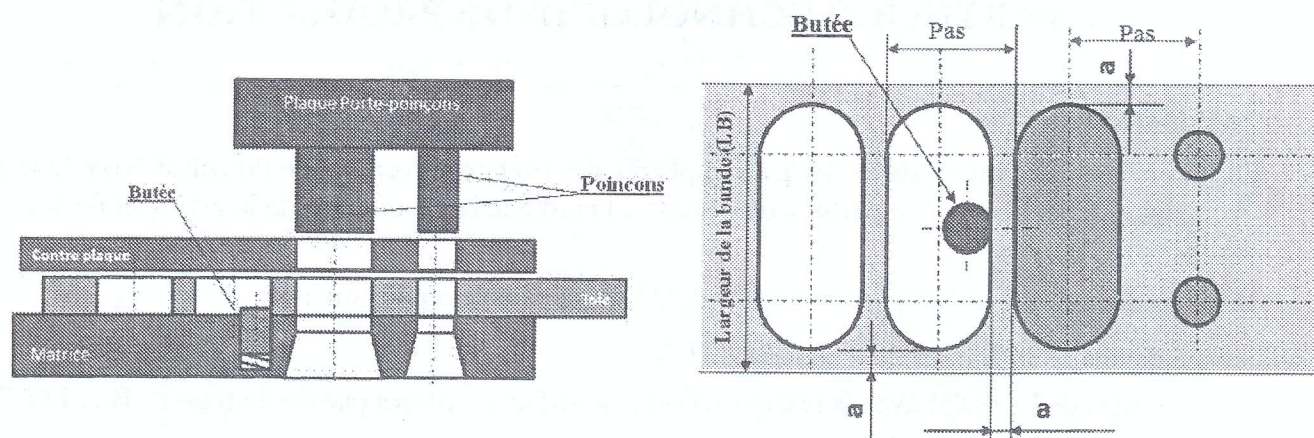
L'usinage de la vis (5), est effectué en cinq phases (DT 8) :

- Phase 10 : Contrôle de brut ;
- Phase 20 : Centrage (chariotage, dressage et centrage des deux cotés) ;
- Phase 30 : Tournage ;
- Phase 40 : Fraisage ;
- Phase 50 : Contrôle final.

PARTIE B.II : Etude de la production de la biellette (6)

On désire produire 2000 biellettes (6) par découpage sur une presse à partir de tôles d'épaisseurs 8 mm. Les étapes de la production des biellettes sont définies comme suit (figure B. II. 1) :

- Découpage en bandes de tôle ;
- Poinçonnage ;
- Découpage



La valeur de a est égale à 4 mm.

Figure B. II. 1 : Caractéristiques et analyse de l'opération de poinçonnage et de découpage.

L'effort total F de découpage et de poinçonnage est déterminé par la relation suivante :

$$F = P_t \cdot e \cdot R_c$$

P_t : périmètre total à poinçonner et à découper.

e : épaisseur de la tôle.

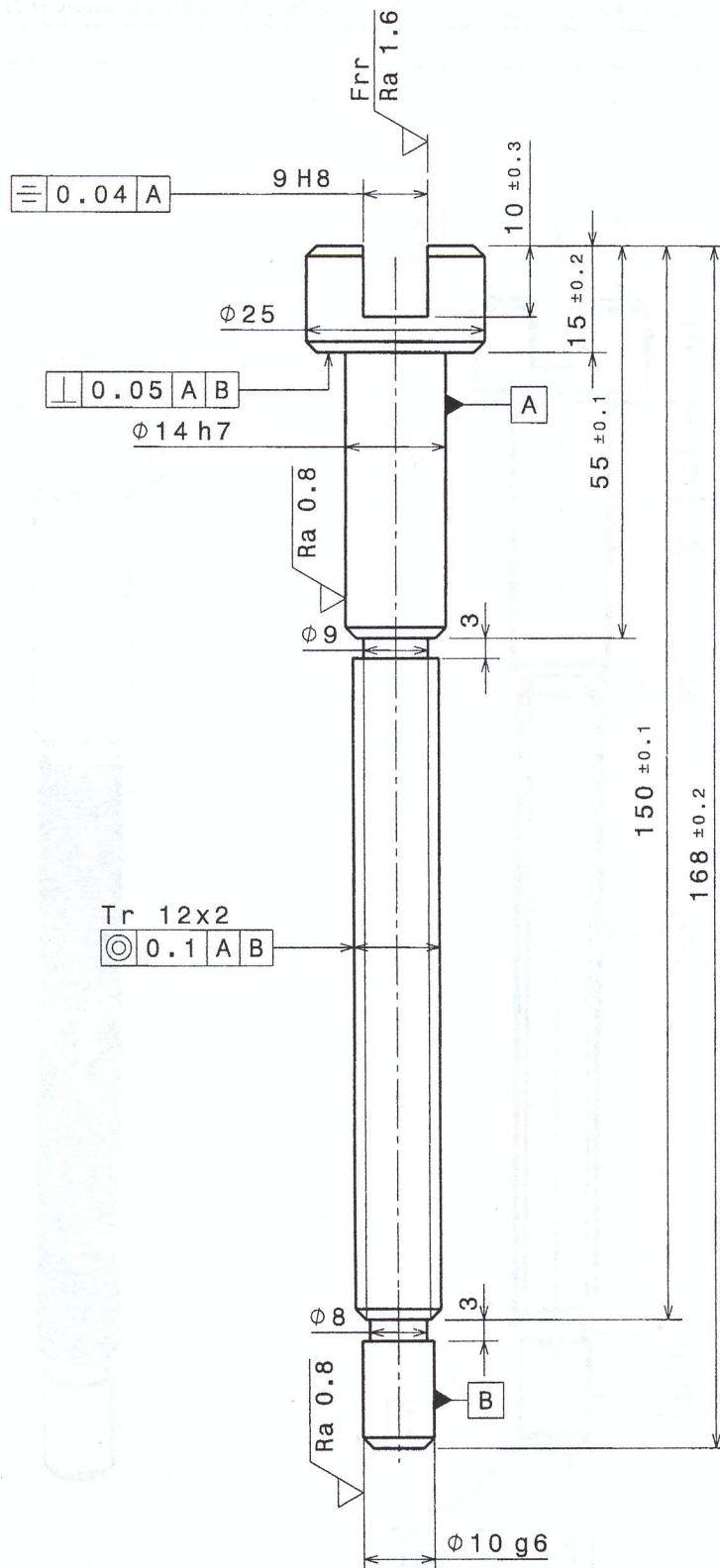
R_c : résistance pratique au cisaillement ($R_c = 0,8 \times R_m$).

R_m : résistance à la rupture par extension.

Tableau B.1: Caractéristiques mécaniques des matériaux candidats pour la production de la bielle (6).

Matériaux	R_m (daN/mm ²)	$A(\%)$
Acier à 0,1% de carbone (recuit)	19	22
Acier à 0,2% de carbone (recuit)	25	20
Acier à 0,45% de carbone (recuit)	30	15
Acier inoxydable	49 à 69	40
Aluminium	12,5	40
Duralumin	45	17
Laiton (recuit)	18	25

Le travail demandé est explicité dans les pages de 10/30 à 15/30 du dossier document réponses.



Tolérances générales ISO 2768 mk

Les chanfreins 1x45°

Echelle 1:1

Vis 5

Session 2016

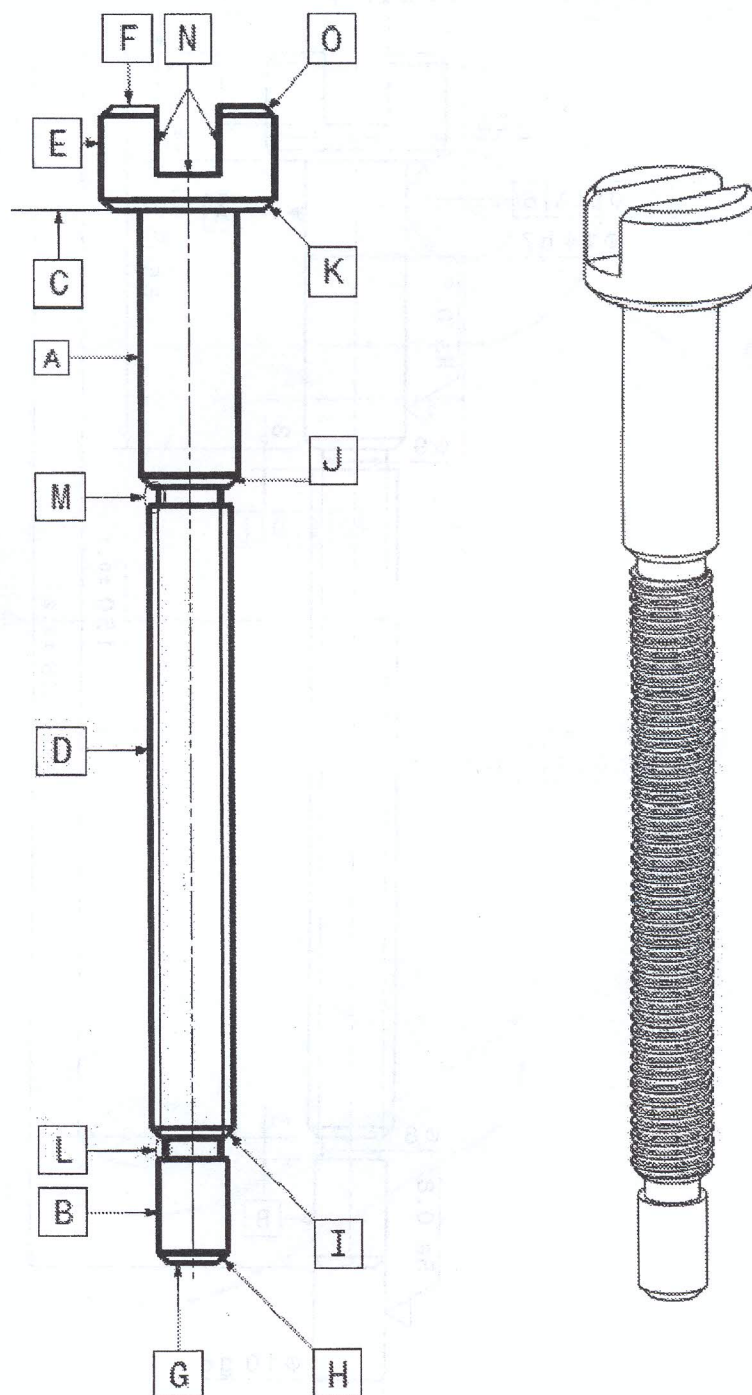
Format A4

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

Atelier de Fabrication

Ensemble Poignet porte pince

DT 6



Echelle 1:1

**Vis 5**

Session 2016

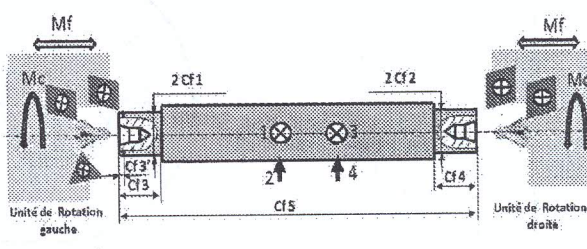
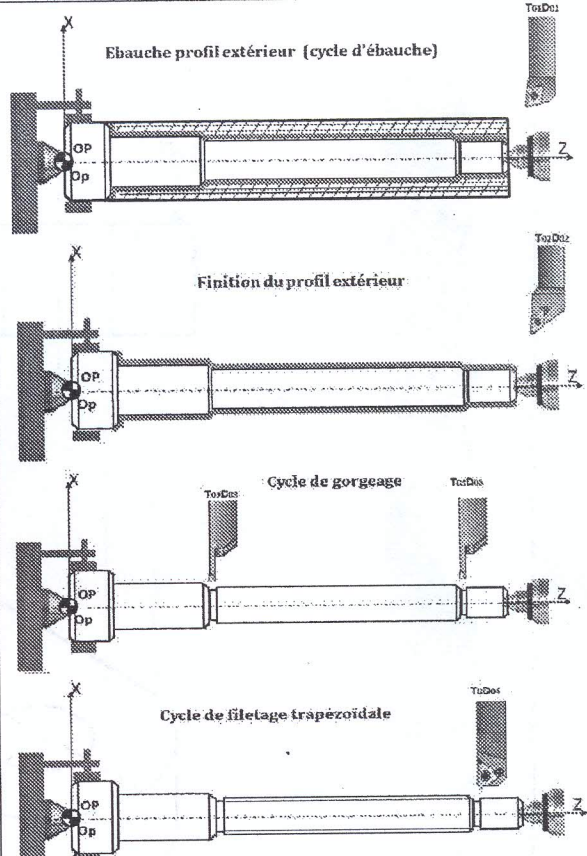
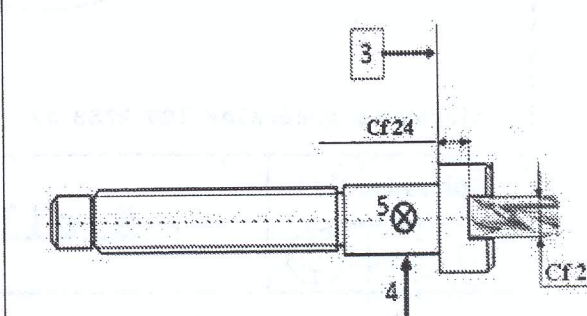
Format A4

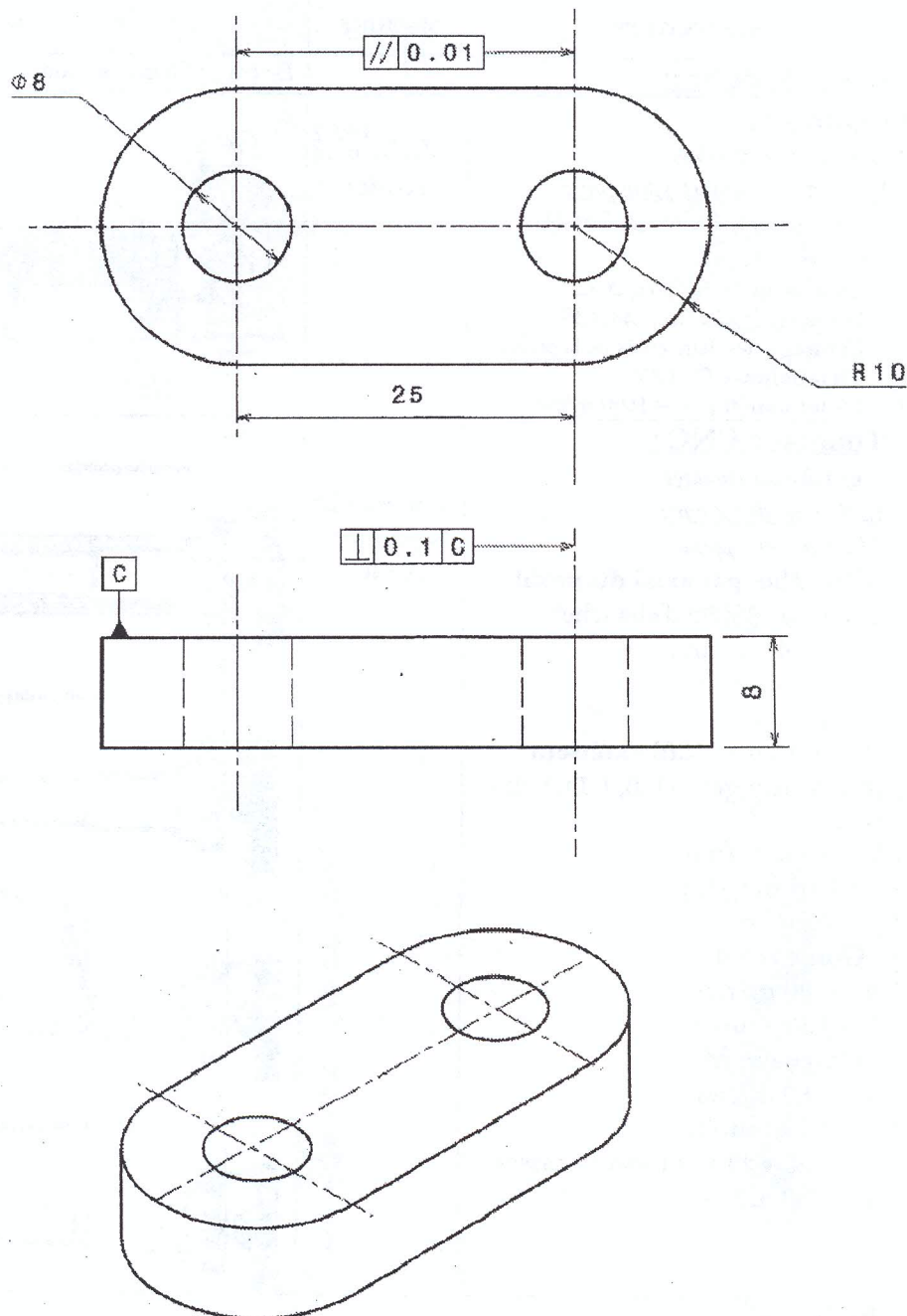
Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs

Atelier de Fabrication

Ensemble Poignet porte pince

DT 7

NOMENCLATURE DES PHASES		Ensemble : Poignet porte pince du robot Pièce : Vis(5)..... Matériau : Série : 1000 pièces		DT 8
PHASE	DESIGNATION	MACHINE	CROQUIS	
10	Contrôle de brut		Le brut : Diamètre 26mm, Longueur 170mm	
20	Centrage : <i>Une pièce au montage</i> <u>Référentiel de départ défini par :</u> - Centrage long 4N (1, 2, 3 et 4). - Serrage de la pièce. - Chariotage E, B: 2Cf1, 2Cf2 - Dressage F, G : Cf3, Cf4, Cf5 - Centrage des deux cotés de la pièce. - Chanfreinage O : Cf3' f = 0.1 mm/tr ; N = 1600 tr/mn	Machine à centrer		
30	Tournage CNC : <i>Une pièce au montage</i> <u>Référentiel défini par :</u> <i>Montage entre-pointes</i> -Ebauche par axial du profil extérieur (Cycle d'ébauche) Vc = 100 m/mn ; f = 0.2 mm/tr ; p = 1mm. -Finition du profil extérieur (contournage) : H, B, I, D, J, A, C et K. Vc = 150 m/mn ; f = 0.05 mm/tr ; p = 0.5 mm. - Gorgeage L Vc = 80 m/mn ; f = 0.01 mm/tr ; - Gorgeage M Vc = 80 m/mn ; f = 0.01 mm/tr. - Filetage D en plusieurs passes Vc = 50 m/mn.	Tour à Commande Numérique CNC		
40	Fraisage: <i>Une pièce au montage</i> <u>Référentiel défini par :</u> -Appui plan 3N (1, 2, 3) sur C -Centrage court 2N (4, 5) sur A -Immobilisation de la pièce par serrage contre le centrage court. Usinage de la rainure N avec une fraise à rainurer à 2 dents de diamètre Ø 9 mm. Vc = 100 m/mn ; fz = 0.05 mm/dent.	Centre d'usinage CNC à 4 axes		
50	Contrôle final			



Tolérances générales ISO 2768 mk

Matériau : C10

Echelle 2:1

Bielle 6

Session 2016

Format A4

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

Atelier de Fabrication

Ensemble Poignet porte pince

DT 9

Les questions relatives à la partie B sont explicitées dans le document réponses.

PARTIE C : MECANIQUE & RDM

C.1- ETUDE MECANIQUE

L'étude porte sur le mécanisme d'une presse mécanique représentée par le schéma cinématique plan équivalent de la figure C.1.

La presse dispose de :

- Un vilebrequin (1), figure C.2, muni de trois excentriques, est entraîné en rotation par un motoréducteur (non représenté sur la figure C.1).
- Un coulisseau (3) entraîné en translation par l'intermédiaire de la bielle (2), elle-même entraînée par l'excentrique situé au centre du vilebrequin (1).
- Un coulisseau (7) entraîné en translation par les deux autres excentriques du vilebrequin (1) et à travers un système {(4, 4'), (5, 5') et (6, 6')}, (figure C.2). Les biellettes (4) et (4') sont disposées en parallèle et transmettent des efforts identiques aux manivelles (5) et (5') qui sont, eux aussi, disposées en parallèles pour agir, respectivement, sur les biellets (6) et (6').

La presse mécanique est spécialement conçue pour la mise en forme (déformation plastique) de pièces mécaniques à l'aide d'un poinçon solidaire du coulisseau (3). La pièce à mettre en forme est placée entre deux matrices ; l'une inférieure, est fixée au bâti (0) de la presse et l'autre, supérieure, est solidaire du coulisseau (7).

Ainsi la rotation du vilebrequin (1) engendre la translation des coulisseaux (3) et (7). La mise en forme de la pièce exige que les deux moitiés de la matrice soient fermées avant que le coulisseau (3) n'introduise le poinçon dans la pièce. Le coulisseau (7) descend pour la fermeture et le maintien de la matrice supérieure. Durant le temps de la fermeture, le poinçon, fixé au coulisseau (3), descend pour déformer la pièce. Les figures C.4 et C.5 montrent l'évolution des positions et des vitesses des coulisseaux (3) et (7).

Schéma cinématique et repérage

Le schéma cinématique plan équivalent de la presse ainsi que l'orientation des bases des différents repères liés aux solides sont représentés sur la figure C-1.

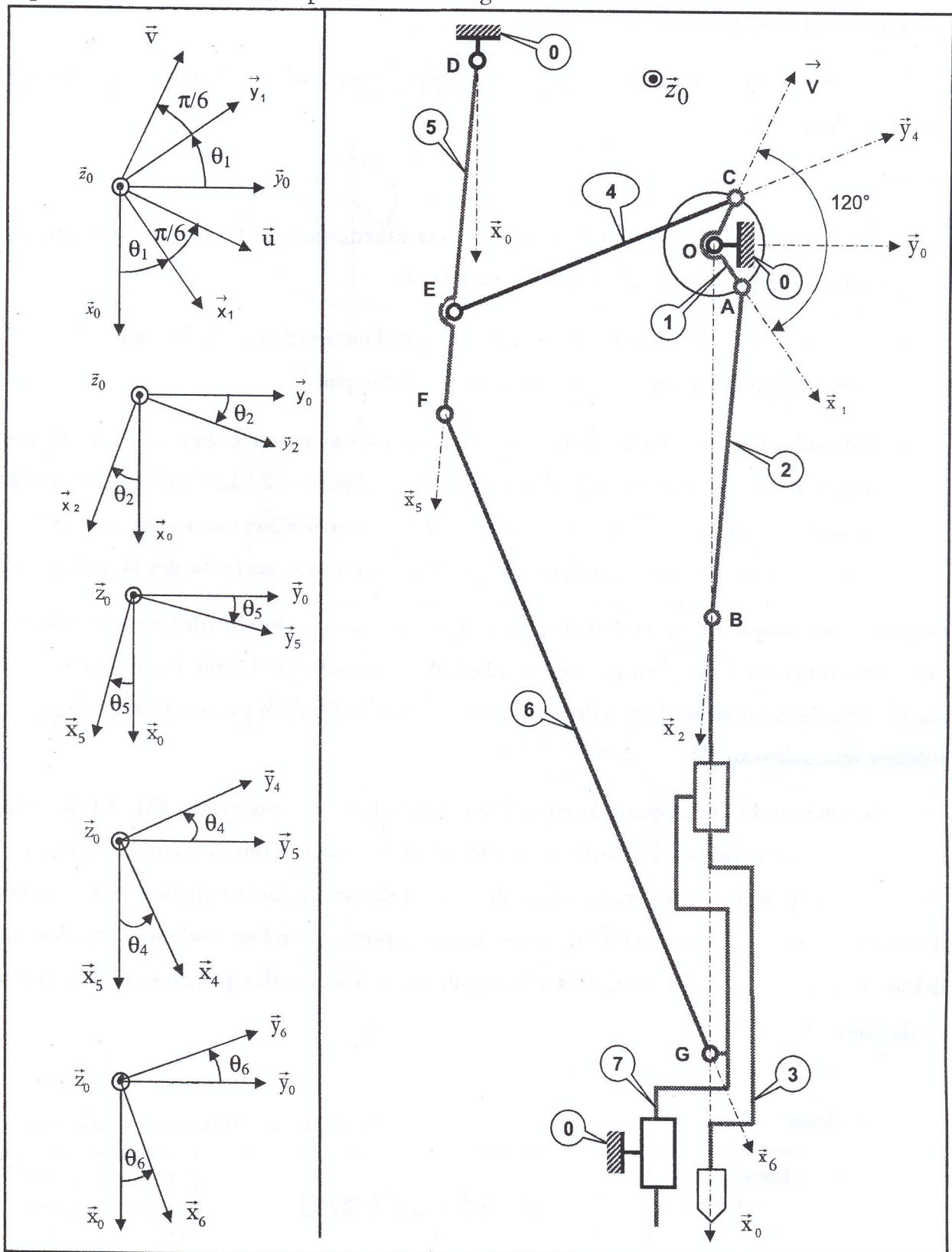


Figure C. 1 : Schéma cinématique plan équivalent du mécanisme de la presse

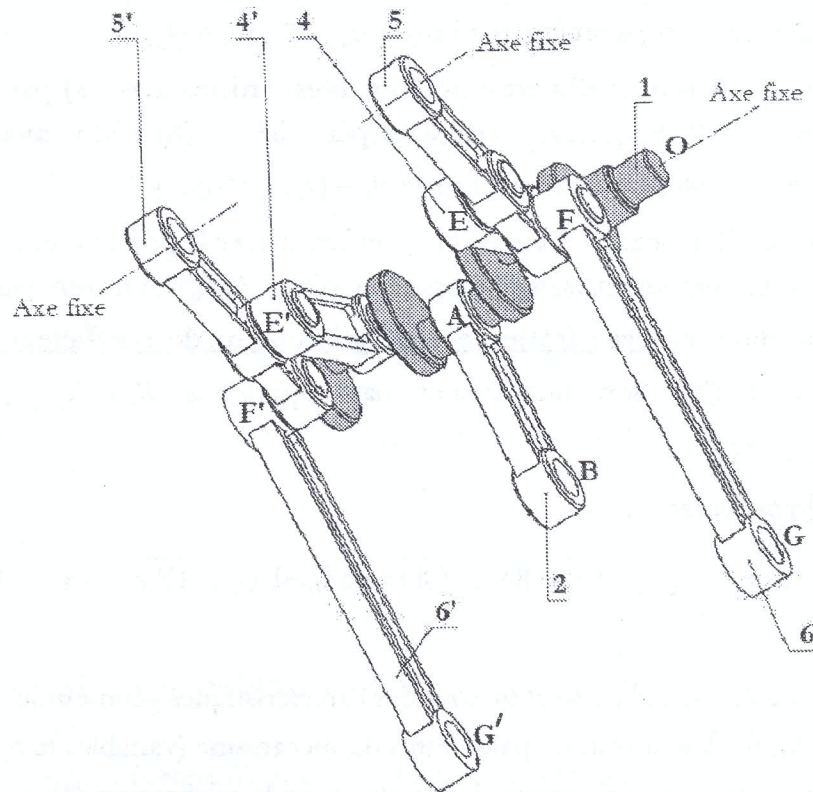


Figure C.2.

Le mécanisme de la presse est composé des solides suivants (figure C.1):

- Un bâti (0) auquel est lié le repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ supposé galiléen. L'axe $(O, \vec{x}_0)$ étant vertical descendant. Tous les mouvements sont plans, parallèles au plan $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$,
- Un vilebrequin (1) de centre d'inertie G_1 (confondu avec le point O) et de masse m_1 , articulé sur (0) par une liaison pivot parfaite d'axe $(O, \vec{z}_0)$. $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ et $R_1^*(O, \vec{u}, \vec{v}, \vec{z}_0)$ sont deux repères liés à (1) tel que l'angle $(\vec{x}_1, \vec{u}) = (\vec{y}_1, \vec{v}) = \pi/6$. Le mouvement de $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ par rapport à $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est paramétré par l'angle $\theta_1 = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$.
- Une bielle (2) de masse et d'inertie négligeables, articulée avec (1) par une liaison pivot parfaite d'axe $(A, \vec{z}_0)$. $R_2(A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_0)$, est le repère lié à (2). Son mouvement par rapport à $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est paramétré par l'angle $\theta_2 = (\vec{x}_0, \vec{x}_2) = (\vec{y}_0, \vec{y}_2)$.
- Un coulisseau (3), de centre d'inertie G_3 et de masse m_3 , est d'une part en liaison glissière, de direction $\vec{x}_0$, avec le coulisseau (7) et d'autre part articulé avec (2) par une liaison pivot d'axe $(B, \vec{z}_0)$. $R_3(B, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_0)$ est le repère lié à (3). Son mouvement par rapport à $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est paramétré par $\vec{OB} = (\lambda_0 + \lambda) \vec{x}_0$. Le guidage en translation rectiligne du coulisseau (3) par rapport à (7) est avec frottement de glissement de coefficient f .
- Une manivelle (5) de masse et d'inertie négligeables, articulée avec (0) par une liaison pivot parfaite d'axe $(D, \vec{z}_0)$. $R_5(D, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_0)$, est le repère lié à (5). Son mouvement par rapport à $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est paramétré par l'angle $\theta_5 = (\vec{x}_0, \vec{x}_5) = (\vec{y}_0, \vec{y}_5)$.
- Une biellette (4), de masse et d'inertie négligeables, articulée d'une part avec (1) par une liaison pivot parfaite d'axe $(C, \vec{z}_0)$ et d'autre part avec la manivelle (5) par une liaison pivot parfaite

d'axe $(E, \vec{z}_0)$. $R_4(E, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_0)$ est le repère lié à (4). Le mouvement de $R_4(E, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_0)$ par rapport à $R_5(D, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_0)$ est paramétré par l'angle $\theta_4 = (\vec{x}_5, \vec{x}_4) = (\vec{y}_5, \vec{y}_4)$.

- Un bras (6) de **masse et d'inertie négligeables**, articulé avec (5) par une liaison pivot parfaite d'axe $(F, \vec{z}_0)$. $R_6(F, \vec{x}_6, \vec{y}_6, \vec{z}_0)$ est le repère lié à (6). Son mouvement par rapport à $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est paramétré par l'angle $\theta_6 = (\vec{x}_0, \vec{x}_6) = (\vec{y}_0, \vec{y}_6)$.
- Un coulisseau (7), de centre d'inertie G_7 (confondu avec le point G) et de masse m_7 , est d'une part articulé sur (6) par une liaison pivot parfaite d'axe $(G, \vec{z}_0)$ et d'autre part en liaison glissière avec (0) de direction $\vec{x}_0$ **avec frottement de glissement de coefficient f** . $R_7(G, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est le repère lié à (7). Son mouvement par rapport à $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est paramétré par $\overrightarrow{OG} = (\mu_0 + \mu) \vec{x}_0$.

Données et hypothèses

- $\overrightarrow{OA} = R \vec{x}_1$; $\overrightarrow{AB} = L_2 \vec{x}_2$; $\overrightarrow{OC} = R \vec{v}$; $\overrightarrow{OD} = -a \vec{x}_0 - b \vec{y}_0$; $\overrightarrow{DE} = L_{51} \vec{x}_5$; $\overrightarrow{EF} = L_{52} \vec{x}_5$; $\overrightarrow{EC} = L_4 \vec{y}_4$; $\overrightarrow{FG} = L_6 \vec{x}_6$.
- $a, b, R, L_2, L_4, L_{51}, L_{52}, L_6, \lambda_0$ et μ_0 sont des caractéristiques géométriques constantes;
- $\theta_1, \theta_2, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \lambda$ et μ sont les paramètres du mécanisme (variables temporelles) ;
- L'axe $(O, \vec{z}_0)$ est considéré principal d'inertie pour le vilebrequin (1). Le moment d'inertie de (1) par rapport à cet axe est « I_1 » ;
- L'accélération de la pesanteur est : $\vec{g} = g \vec{x}_0$ où g est une constante positive;
- Le vilebrequin (1) est actionné par un motoréducteur produisant un couple : $\vec{C}_e = C_e \vec{z}_0$;
- Au moment de l'opération de l'estampage de la pièce, l'action du coulisseau (3) sur la pièce à déformer est modélisée par le torseur glisseur $\{\tau(3 \rightarrow \text{pièce})\}_B = \left\{ \begin{matrix} F_3 \vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_B$ et l'action du coulisseau (7) sur la pièce à déformer est modélisée par le torseur glisseur $\{\tau(7 \rightarrow \text{pièce})\}_G = \left\{ \begin{matrix} F_7 \vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_G$;
- Le torseur des actions mécaniques transmissibles au niveau d'une liaison mécanique de centre Q

$$\text{entre deux solides (i) et (j) est noté : } \{\tau(i \rightarrow j)\}_Q = \left\{ \begin{matrix} X_{ij} \\ Y_{ij} \\ Z_{ij} \end{matrix} \middle| \begin{matrix} L_{ij} \\ M_{ij} \\ N_{ij} \end{matrix} \right\}_Q^{\mathbf{B}_0} \text{ avec } \mathbf{B}_0(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0).$$

C.2- RESISTANCE DES MATERIAUX

On se propose de vérifier la résistance du vilebrequin (1) vis-à-vis des actions mécaniques extérieures qui lui sont appliquées. L'étude sera menée selon une approche simplifiée dans laquelle le vilebrequin est modélisé par une poutre droite cylindrique pleine, de section constante et de longueur $L=600\text{mm}$. Le vilebrequin est guidé en rotation autour de l'axe $(O, \vec{z}_0)$ par deux paliers. Le premier est modélisé par une liaison rotule parfaite de centre O_1 et le second est modélisé par une liaison linéaire annulaire parfaite d'axe $(O_2, \vec{z}_0)$ (figure C.3).

Une étude statique préliminaire, du vilebrequin (1) au cours de l'opération de mise en forme de la pièce, a permis la modélisation et l'évaluation des actions mécaniques extérieures appliquées à la poutre droite par les torseurs suivants :

- $\{\tau_0\}_{O_1} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 5500 \end{Bmatrix}_{O_1}^{B_0}$: Torseur d'actions mécaniques du motoréducteur sur le vilebrequin (1).
- $\{\tau_1\}_{O_1} = \begin{Bmatrix} -14016 \\ 10082 \\ 0 \end{Bmatrix}_{O_1}^{B_0}$: Torseur d'actions mécaniques transmises par la liaison rotule.
- $\{\tau_2\}_{C_1} = \begin{Bmatrix} 15739.5 \\ 7097 \\ 0 \end{Bmatrix}_{C_1}^{B_0}$: Torseur d'actions mécaniques de la bielle (4) sur le vilebrequin (1).
- $\{\tau_3\}_{A_1} = \begin{Bmatrix} -3447 \\ -34358 \\ 0 \end{Bmatrix}_{A_1}^{B_0}$: Torseur d'actions mécaniques de la bielle (2) sur le vilebrequin (1).
- $\{\tau_4\}_{C_2} = \begin{Bmatrix} 15739.5 \\ 7097 \\ 0 \end{Bmatrix}_{C_2}^{B_0}$: Torseur d'actions mécaniques de la deuxième bielle (4')
(identique à la bielle (4)) sur le vilebrequin (1) au point C2 (voir figure C.2),
- $\{\tau_5\}_{O_2} = \begin{Bmatrix} -14016 \\ 10082 \\ 0 \end{Bmatrix}_{O_2}^{B_0}$: Torseur d'actions mécaniques transmises par la liaison linéaire annulaire.

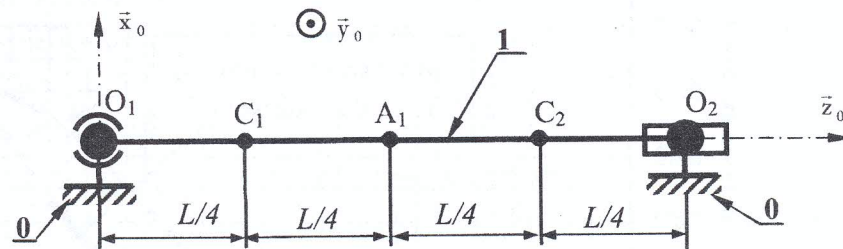


Figure C.3 : Modèle poutre droite du vilebrequin (1).

- Les forces sont exprimées en N et les moments en N.m ;
- Le poids de la poutre (1) est supposé négligeable devant les autres actions mécaniques;
- $L/4 = 150 \text{ mm}$;
- La section droite (S) est de forme circulaire pleine de diamètre D;
- Le vilebrequin est en acier faiblement allié, trempé et revenu, ayant
 - une limite élastique à l'extension $R_e = 580 \text{ MPa}$,
 - une limite élastique au cisaillement $R_{eg} = 0.5 R_e$
 - un Module de Coulomb : $G = 8.10^4 \text{ MPa}$;
- On adopte un coefficient de sécurité $S = 3$ et un facteur de concentration de contrainte en flexion et en torsion $k_{tf} = k_{tt} = 2.5$;
- Angle limite unitaire de torsion : $\theta_{lm} = 0.45^\circ / m$;
- G_s est le centre de la section droite (S) de la poutre tel que : $\overrightarrow{O_1 G_s} = z \vec{z}_0$ (z est un paramètre compris entre 0 et 600 mm);

Diagrammes de positions et de vitesses des coulisseaux (3) et (7)

Remarque : à l'instant $t = 0$ s, $\theta_1 = \pi$ rad.

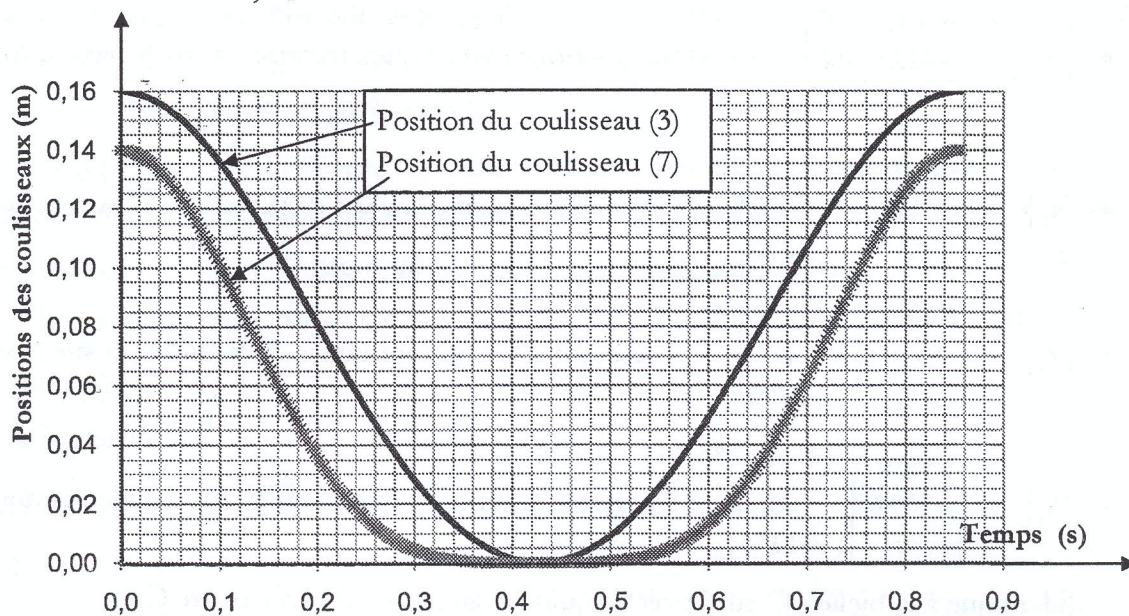


Figure C.4 : Diagrammes de positions des coulisseaux

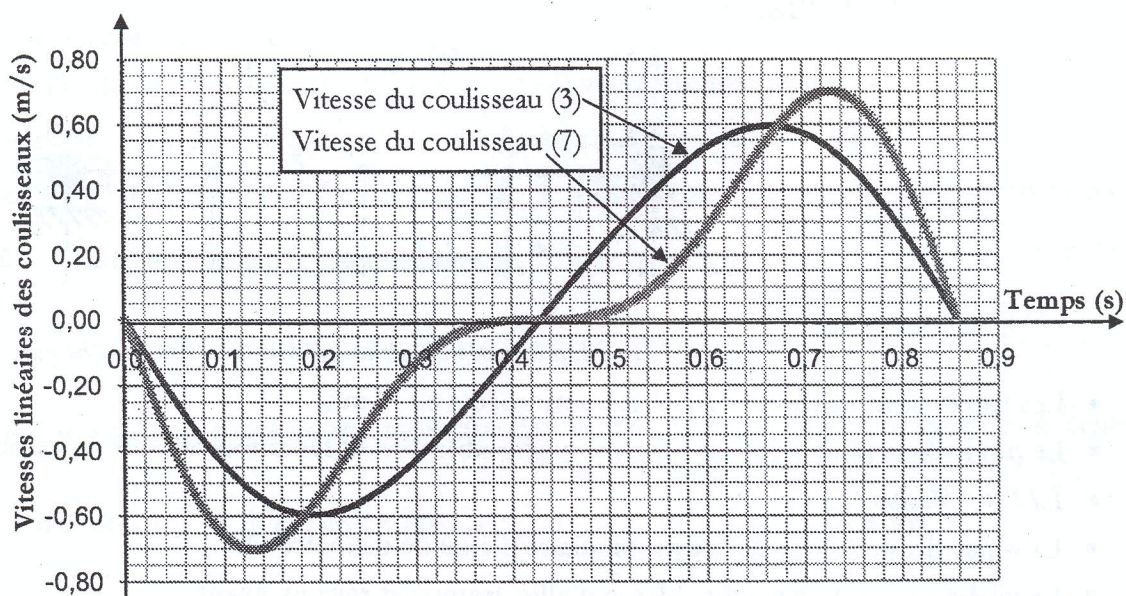


Figure C.5 : Diagrammes de vitesses des coulisseaux

Le travail demandé est explicité dans les pages de 16/30 à 25/30 du dossier document réponses.

PARTIE D : AUTOMATIQUE

PRESENTATION

Le système (figure D.1) constitue une partie de l'atelier de fabrication des pièces mécaniques (figure 1). Il est construit autour d'une unité de chargement et de chauffage des pièces métalliques (lopins), entièrement automatisée. Cette unité comporte un four tunnel à sole motorisée. Ce four est équipé d'un pyromètre à infrarouge qui mesure la température des lopins préalablement chauffés à une température fixée par le cahier des charges. La présente partie D du sujet de concours comporte deux sections :

- La première concerne l'étude séquentielle du fonctionnement de l'unité de chargement et de chauffage,
- La deuxième section, traite l'étude du système de régulation de la température au sein du four.

D.1. Etude séquentielle

Dans cette partie, on s'intéresse à l'étude de la commande séquentielle du système automatisé de chargement et de chauffage.

D1.1. Synthèse de la commande séquentielle

Le schéma synoptique du système à étudier est illustré par la figure D.1. La gestion de fonctionnement de l'atelier est effectuée par un automate programmable dont le programme est écrit en langage GRAFCET. La mise en marche du système est confiée à un opérateur qui dispose d'un pupitre de commande dédié à la supervision et au lancement du cycle.

Les lopins froids empruntent la rampe d'approvisionnement qui les conduit, par gravité, jusqu'au capteur p_1 dont le rôle est de détecter la présence d'un lopin au début de la chaîne de chargement du four.

D.1.2. Mise en route du système

D.1.2.1. Gestion de l'état initial

Nous supposons que les mesures nécessaires pour lancer le cycle de chargement et chauffage sont prises en compte par un Grafcet dédié à l'initialisation non considéré dans la présente étude.

D.1.2.2. Fonctionnement du système

Une élévation de la température des lopins est nécessaire avant de débiter l'opération de mise en forme. Ainsi, le chauffage du four ($R = 1$) est lancé automatiquement dès le départ du cycle ($dcy=1$) par l'opérateur à partir du pupitre de commande et ne s'arrête qu'à la fin de celui-ci.

Le chargement du four, par lot de 3 lopins (**chargés un par un**), est assuré par un vérin de chargement V1 du moment où un lopin est présent devant la tige de celui-ci ($p_1 = 1$). Ce chargement s'arrêtera quand on aura mis 3 lopins dans l'enceinte du four.

Cette opération de chargement se déroule comme suit :

- Avance du vérin V1 jusqu'à l'activation du capteur a_1 suivi d'un retour immédiat en position initiale (vérin simple effet);
- L'avance du tapis TR ($KM = 1$) durant 5s permettant l'introduction du lopin dans le four ;
- Le comptage des lopins s'effectue par un dispositif permettant de délivrer trois signaux binaires c_0 , c_1 et c_3 définis comme suit:
 - ($c_3 = 1$) présence de 3 lopins dans le four, tant que ce nombre n'est pas atteint ($c_3 = 0$), le cycle se relance automatiquement afin de ramener le deuxième ou le troisième lopin,
 - ($c_1 = 1$) présence d'un ou de deux lopins dans le four,
 - ($c_0 = 1$) absence de lopins dans le four.

Dix minutes après le chargement, on enclenche de nouveau le tapis TR pour amener les lopins en face du pyromètre afin de mesurer leurs températures un par un. Cet action s'opère par un avancement du tapis jusqu'à l'arrivée du lopin sur le capteur $p_2 = 1$. L'arrêt du tapis durant 20s permet de mesurer la température du lopin T_m par le pyromètre qui délivre un signal logique d'information t : (si $T_m \geq T_c \Rightarrow t = 1$, sinon $t = 0$). T_c étant la température de consigne.

Le vérin V2 évacue vers une benne le lopin dont la température n'est pas conforme ($T_m < T_c$). Par contre, un lopin dont $T_m \geq T_c$ sera saisi par un robot (non représenté sur la figure D.1) pour être transféré vers l'opération de mise en forme. Ces deux macro-étapes (évacuation ou transfert/mise en forme) ne seront pas développées dans cette étude.

Au terme de cette première séquence (mesure, évacuation ou transfert), le compteur délivre un signal ($c_1=1$), auquel cas, les dites séquences reprennent effets. En l'absence de lopins dans le four ($c_0=1$), le cycle prend fin.

Tableau D.1. Repérage des entrées/sorties de la partie commande

ENTREES DE LA PARTIE COMMANDE	
Abréviation	Description
p_1	Présence d'un lopin devant le vérin de chargement V1
p_2	Présence d'un lopin à la sortie du four
a_1	La tige du vérin V1 de chargement est sortie
t	Signal délivré par le pyromètre indiquant que la température de chauffage est adéquate
c_0	Variable logique associée à l'état du compteur : absence de lopins dans le four
c_1	Variable logique associée à l'état du compteur : présence d'un ou de deux lopins dans le four
c_3	Variable logique associée à l'état du compteur : présence de 3 lopins dans le four
d_{cy}	Bouton poussoir de lancement du cycle.

SORTIES DE LA PARTIE COMMANDE	
Abréviation	Description
KM	Contacteur de commande du moteur du tapis roulant TR
R	Chauffage du four
$V1$	Vérin simple effet de chargement (monostable)

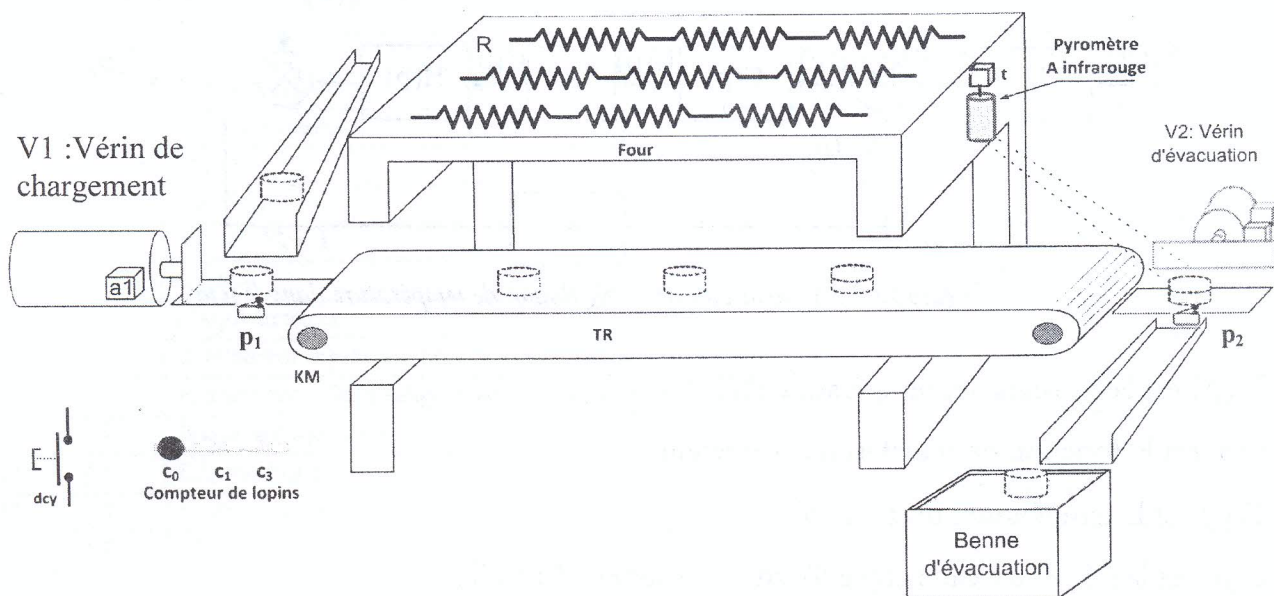


Figure D.1 : Unité de chargement et de chauffage.

D.2. Régulation de la température du four de chauffage

La mise en forme du lopin nécessite l'élévation de leur température à des niveaux élevés. Cette température impose une régulation optimale afin de ne pas dégrader la qualité de surface des pièces. Le système de régulation de la température du four est représenté par le schéma de principe de la figure D.2.

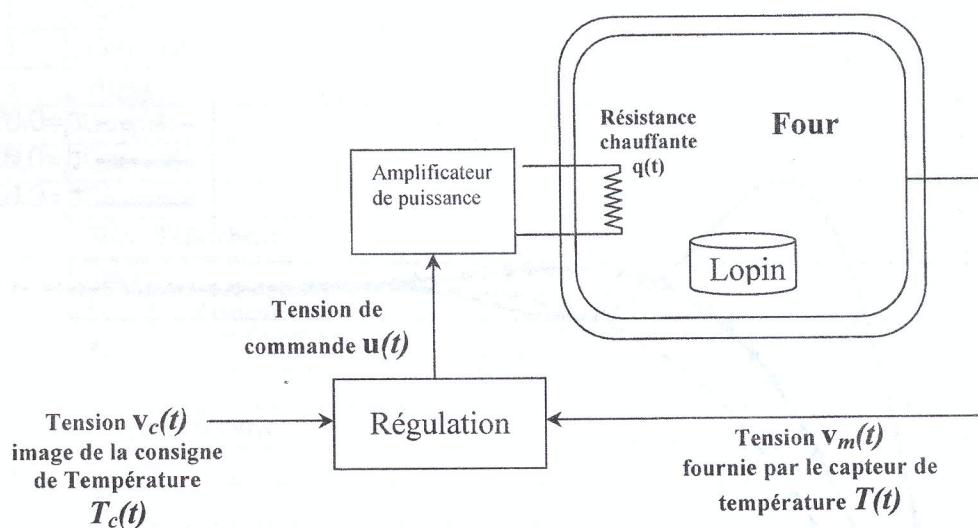


Figure D.2 : Schéma de principe de la régulation de la température dans le four

Le schéma bloc de l'asservissement de température est illustré sur la figure D.3. Cette modélisation tient compte de l'effet d'une perturbation $T_a(p)$ (effet de la température ambiante lors de l'ouverture de la porte du four et l'influence des lopins froids lors de leur introduction). Toutes les températures utilisées dans la présente étude représentent des écarts à la température ambiante afin de satisfaire des conditions initiales nulles.

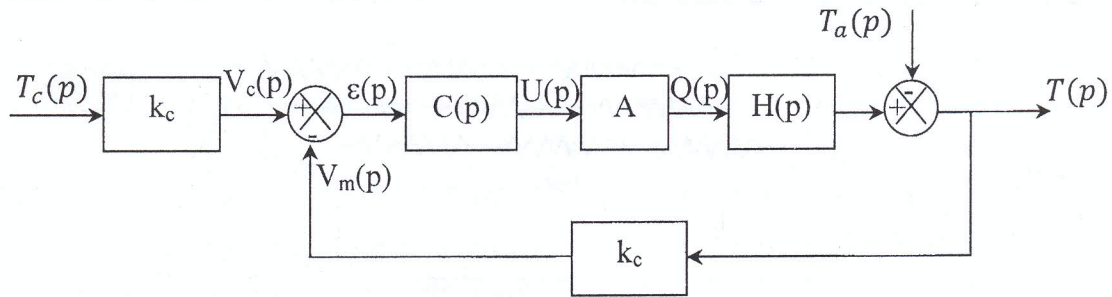


Figure D.3 : Schéma bloc de la régulation de température dans le four

$T_c(p)$ est la consigne en température ($^{\circ}\text{C}$),

$C(p)$ est la fonction de transfert du correcteur,

$T(p)$ est la température du four ($^{\circ}\text{C}$),

$Q(p)$ est la puissance calorifique fournie au four en Watt (W),

A est le gain de puissance de valeur : $A = 200 \text{ W/V}$,

$H(p) = \frac{K_f}{(1+\tau_1 p)(1+\tau_2 p)}$ avec $K_f = 0.4^{\circ}\text{C/W}$; $\tau_1 = 20\text{s}$; $\tau_2 = 300\text{s}$,

k_c est le gain du capteur de température, $k_c = 10^{-2}\text{V}/^{\circ}\text{C}$,

Notons par $F(p)$ la transformée de Laplace d'une fonction $f(t)$; $F(p) = \mathcal{L}(f(t))$.

La figure D.4 représente la réponse indicielle en boucle fermée du système avec un correcteur PI.

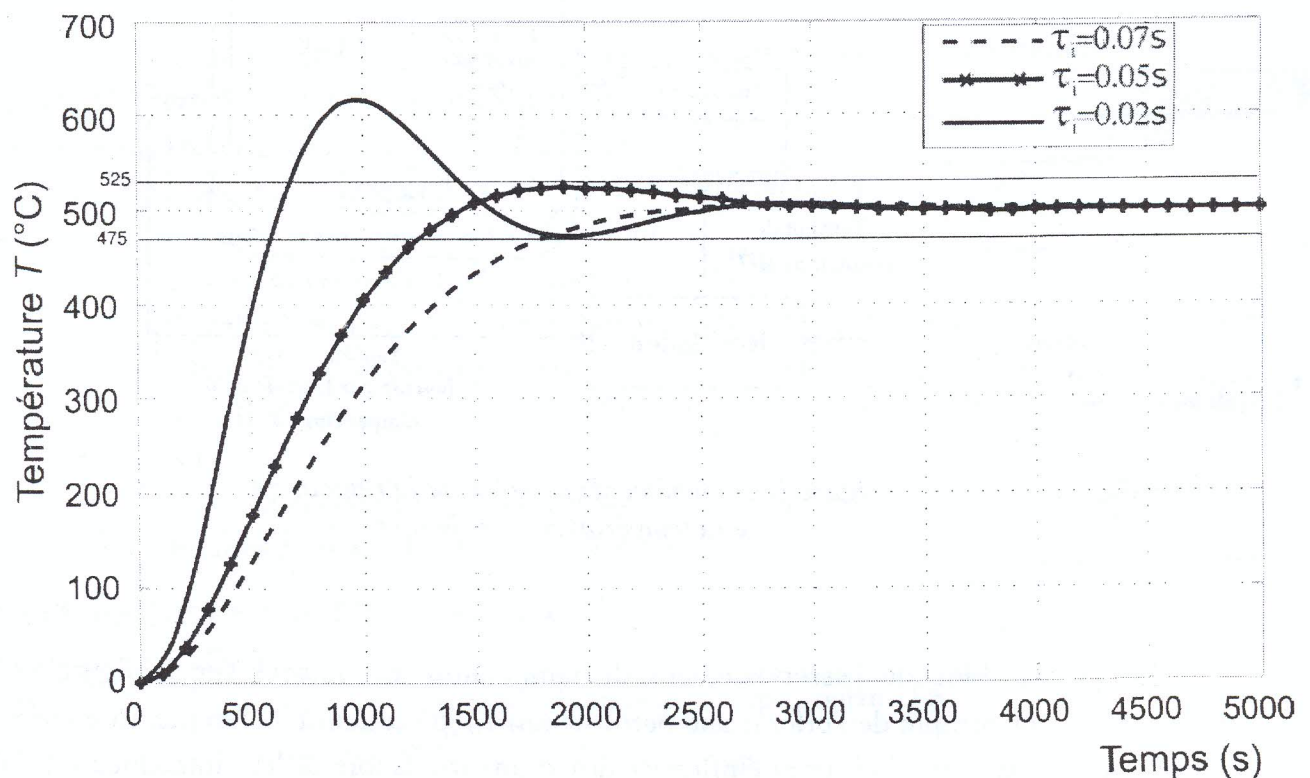


Figure D.4 : Réponse indicielle du système en boucle fermée

Les performances exigées pour ce système de régulation de la température sont représentées dans le tableau D.2:

Tableau D.2. Performances souhaitées du système

Performances	Valeurs souhaitées
Précision	Erreur statique nulle avec rejet de perturbation
Stabilité	Marges de phase $\geq 45^\circ$ Marges de gain ≥ 8 dB
Rapidité	Temps de réponse à 5% ≈ 21 minutes

Les diagrammes de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte (FTBO) du système corrigé avec correcteur PI sont donnés à la figure D.5

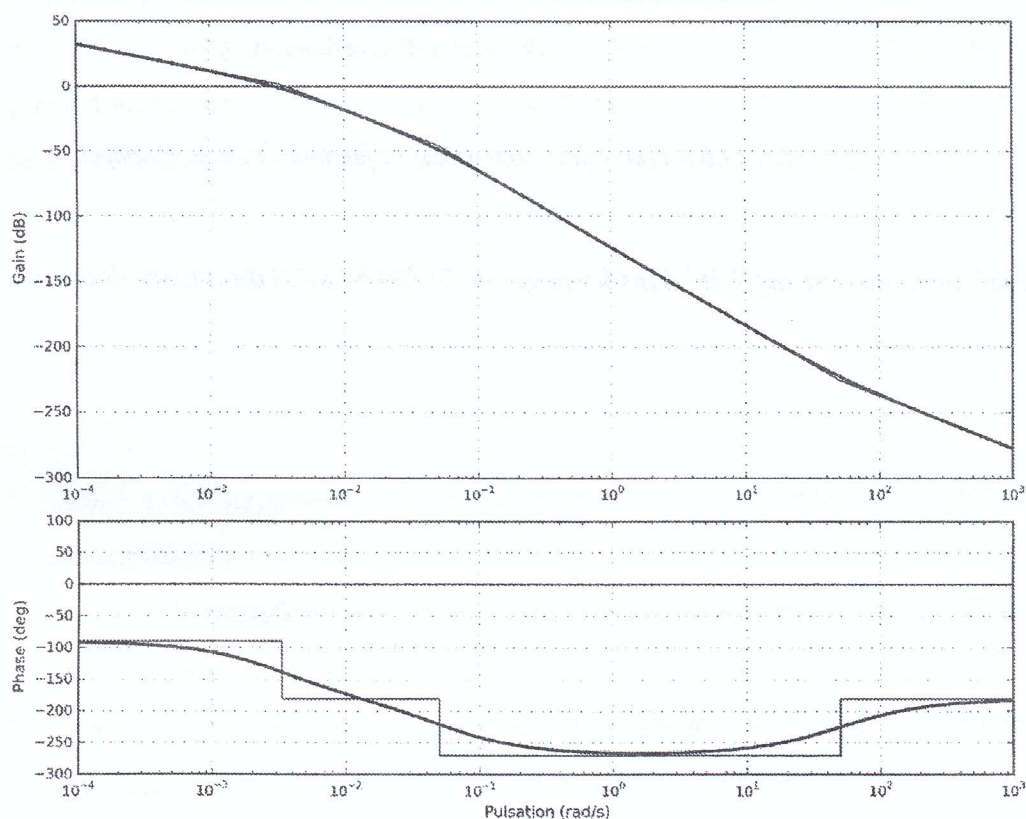


Figure D.5 : Diagrammes de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte FTBO du système corrigé avec correcteur PI

La courbe représentant le temps de réponse réduit ($t_{5\%} \times \omega_0$) d'un système du second ordre en fonction du coefficient d'amortissement ξ est donnée à la figure D.6.

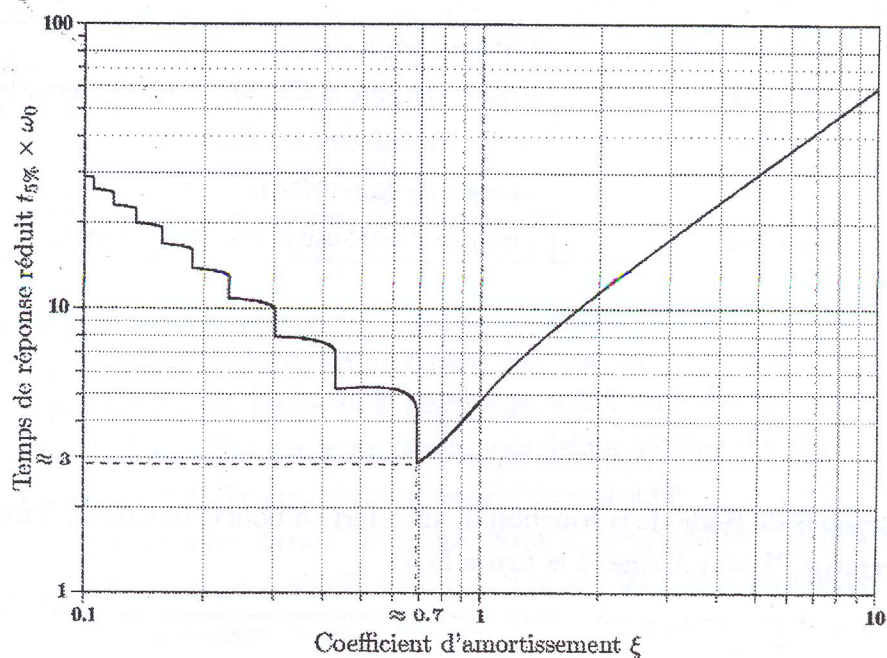
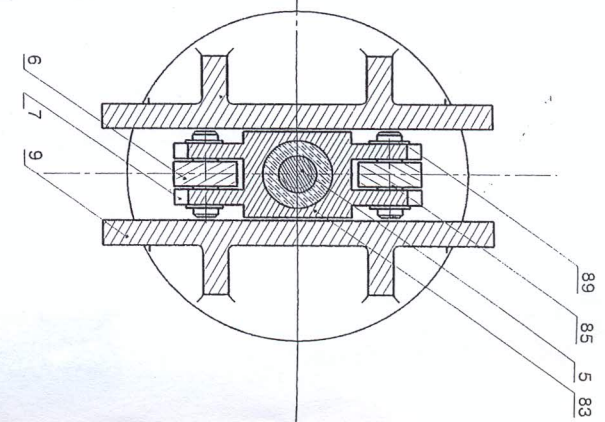
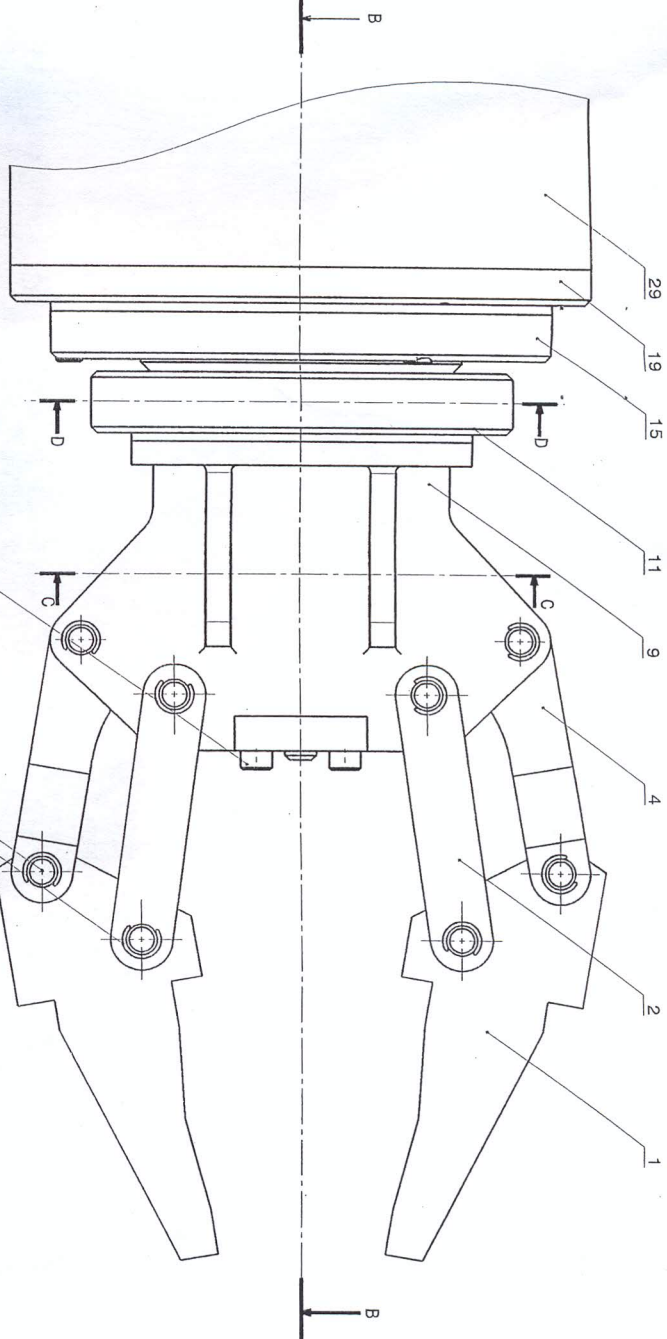


Figure D.6 : Temps de réponse réduit en fonction de l'amortissement.

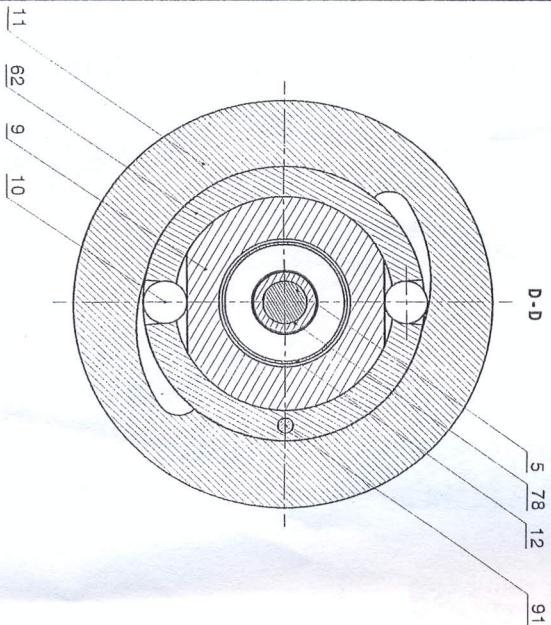
Le travail demandé est explicité dans les pages de 23/28 à 28/28 du dossier document réponses



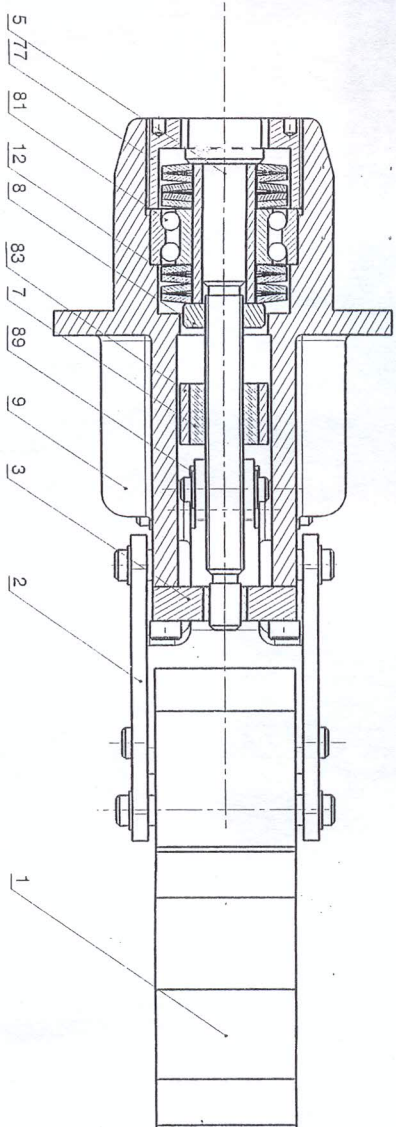
C-C



B-B : Mécanisme pince



D-D



Echelle 1:2

Ensemble

Session 2016

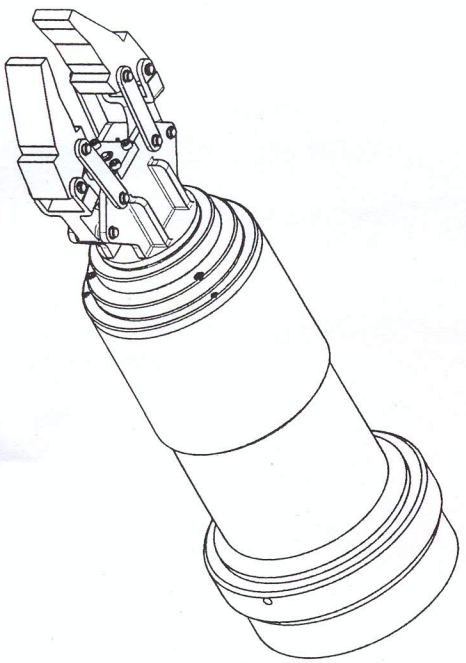
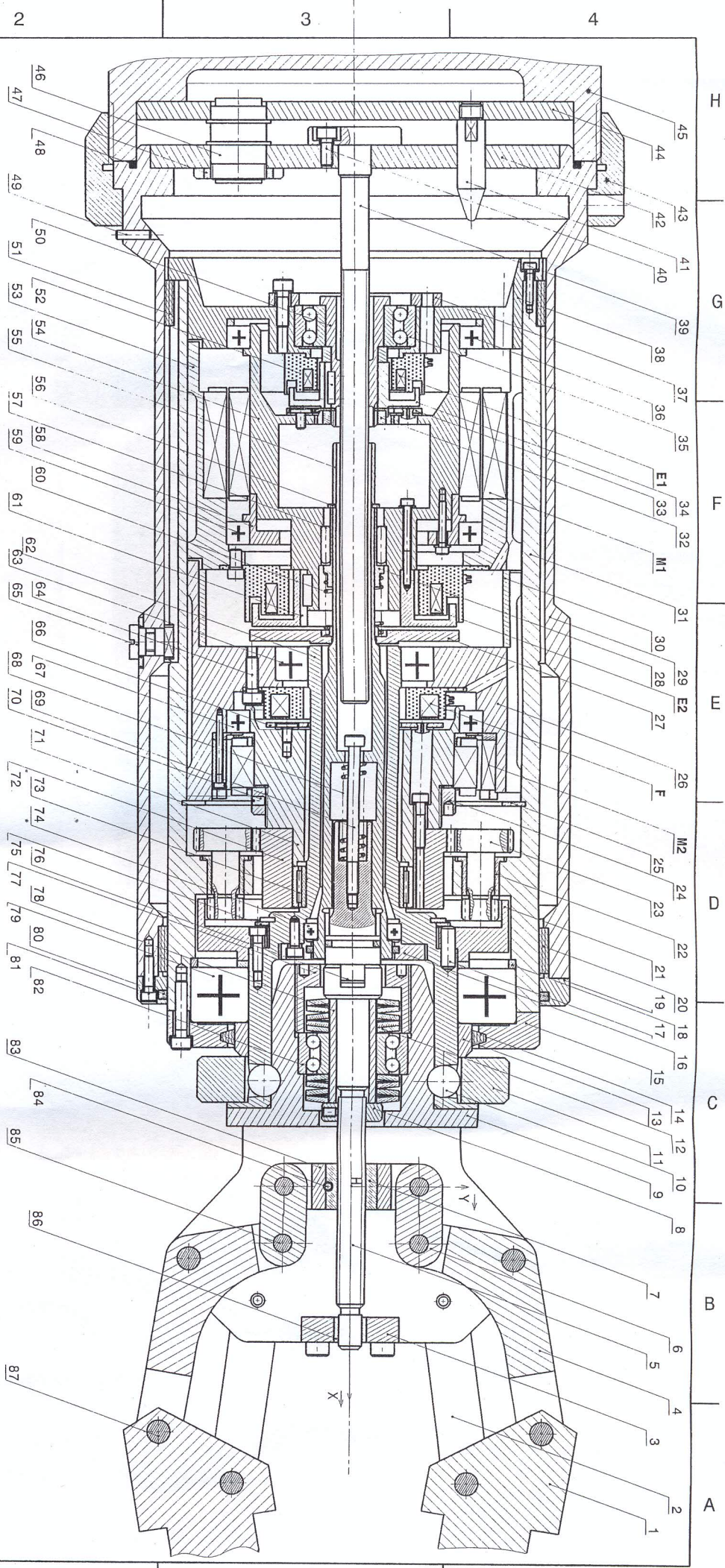
Format A3

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

Atelier de Fabrication

Robot de maintenance

DT 2



Echelle 1:2	Ensemble		Session 2016
	Poignet porte pince	Format A3	
Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs			
Atelier de Fabrication	Robot de maintenance	DT 1	