

SESSION DE 2001

**concours externe
de recrutement de professeurs agrégés****section : génie mécanique**

composition sur les technologies de fabrication

Durée : 8 heures

Moyens de calculs autorisés : calculatrice électronique de poche - y compris programmable, alphanumérique ou à écran graphique - à fonctionnement autonome, non imprimante, conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout document et de tout autre matériel électronique est interdit.

Documents remis aux candidats**THEME DE L'ETUDE****PREMIERE PARTIE : Matériaux et caractéristiques mécaniques de tôles**

- . Dossier I.A : Sujet
- . Dossier I.B : Données techniques
- . Dossier I.C : Document réponse

DEUXIEME PARTIE : Outillage à suivre

- . Dossier II.A : Sujet
- . Dossier II.B : Données techniques
- . Dossier II.C : Document réponse

TROISIEME PARTIE : Matrice d'emboutissage

- . Dossier III.A : Sujet
- . Dossier III.B : Données techniques
- . Dossier III.C : Document réponse

IMPORTANT

Après avoir complété les en-têtes, le candidat remettra en fin d'épreuve ses copies paginées et ses documents-réponses insérés à plat, l'en-tête détachable placé en haut, regroupés dans **trois chemises distinctes** :

- Première partie. – **Matériaux et caractéristiques mécaniques de tôles**
- Deuxième partie. – **Outillage à suivre**
- Troisième partie. – **Matrice d'emboutissage**

Tournez la page S.V.P.

THEME DE L'ETUDE

SUPPORT DE COLONNE DE DIRECTION DU VEHICULE XSARA

Ce dossier comprend :

DOCUMENT 1 – Dessin d'ensemble du support de colonne de direction

DOCUMENT 2 – Dessin de définition de la patte gauche

DOCUMENT 3 – Dessin de définition de l'équerre

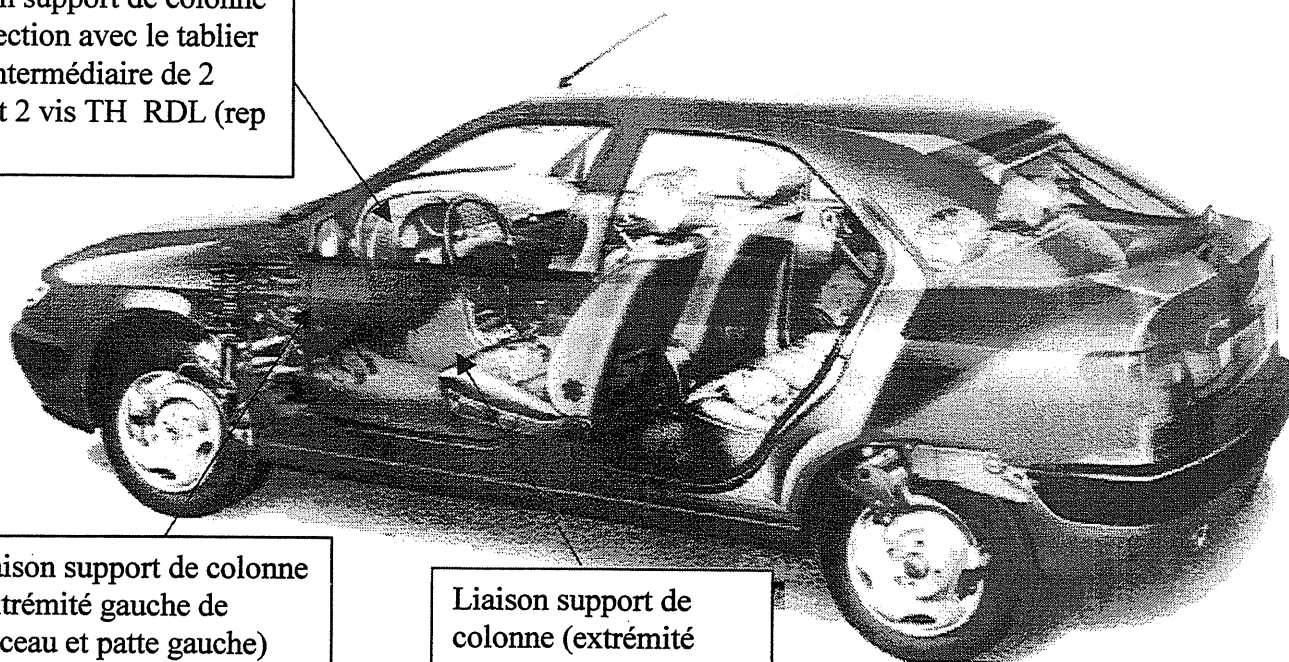
Présentation

L'ensemble "Support de colonne de direction" réalise les liaisons entre la colonne de direction, le tablier (la paroi séparant l'habitacle de la zone de motorisation) et la structure de la carrosserie. Il sert aussi de support à divers éléments du tableau de bord (boîtier de servitude, etc).

Situation du support de la colonne de direction

Un écorché du véhicule visualise la situation de l'ensemble « support de colonne de direction ».

Liaison support de colonne de direction avec le tablier par l'intermédiaire de 2 axes et 2 vis TH RDL (rep 74).



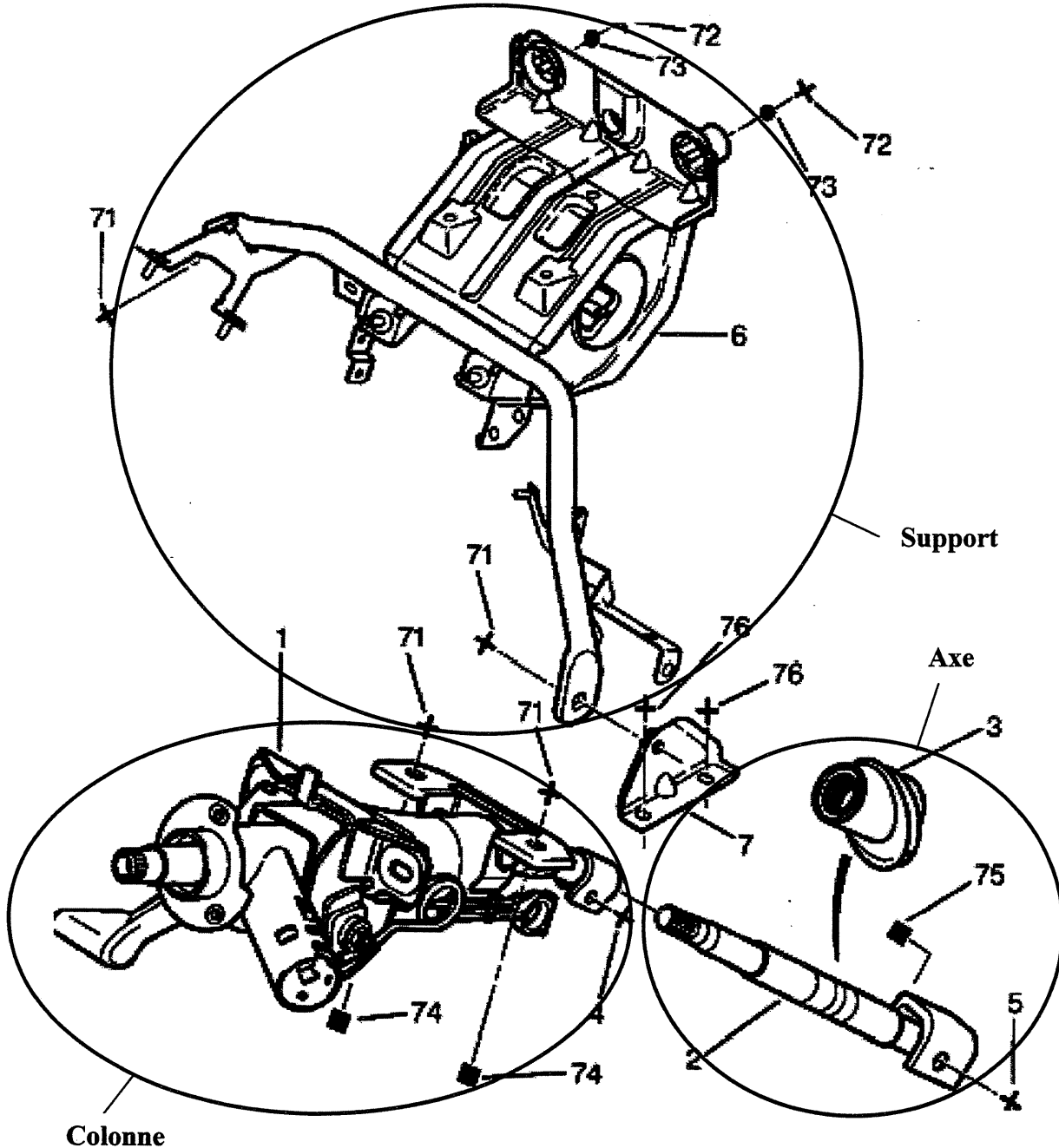
Liaison support de colonne (extrémité gauche de l'arceau et patte gauche) avec la carrosserie par l'intermédiaire d'une vis TH RDL (rep 71) et 2 goujons soudés à la patte gauche)

Liaison support de colonne (extrémité droite avec équerre de fixation) sur la carrosserie par l'intermédiaire d'une vis TH RDL (rep 71)

Tournez la page S.V.P.

Constitution et fixation de l'ensemble support et de la colonne de direction

Un extrait de la documentation du constructeur permet de visualiser l'ensemble "Support de colonne de direction", la colonne, l'axe du volant et les éléments permettant la fixation à la carrosserie.



Cet ensemble est constitué :

- d'un support de colonne de direction,
- d'une colonne de direction,
- d'un axe de volant avec son joint.

La nomenclature des sous ensembles et des éléments de fixation est la suivante:

Repère	Référence constructeur	Nombre	Désignation
1	4123 G8	1	Colonne
2	4103 G8	1	Axe de volant
3	4152 69	1	Joint
4	4105 24	1	Vis de cardan CHC 8x125-35
5	4103 E2	1	Vis de cardan
6	4138 35	1	Support de colonne
7	4140 12	1	Equerre de fixation
71	6923 78	4	Vis TH RDL Diam 8x125-25
72	6917 53	2	Vis TH RDL Diam 8x125-80
73	6947 C1	2	Rondelle plate 10x27-2,5
74	6936 71	2	Ecrou avec RDL 8x125-9-22
75	6939 83	1	Ecrou frein Diam 8x125-7-13
76	6923 77	2	Vis TH RDL Diam 6x100-16

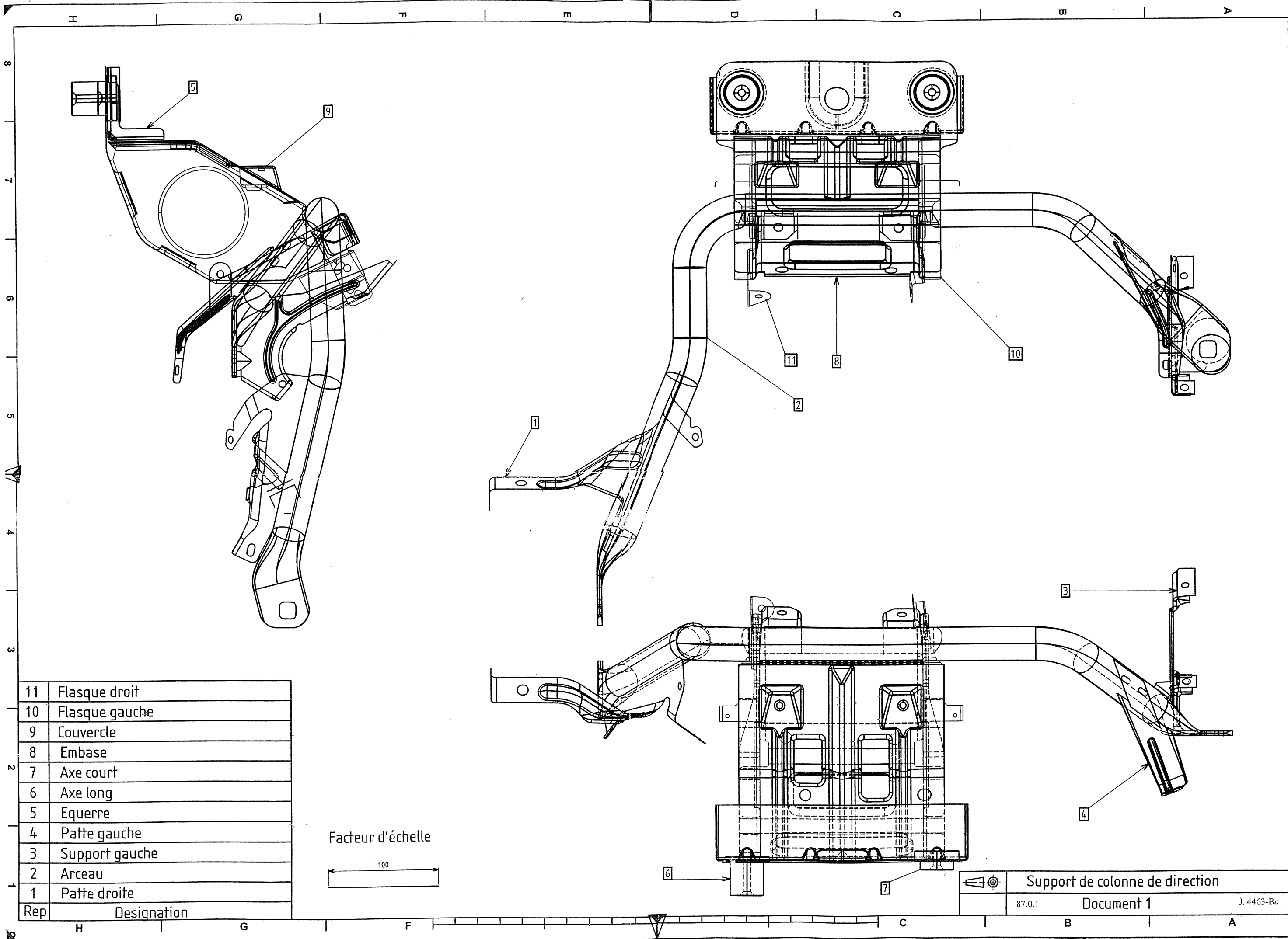
Constitution de l'ensemble support de colonne

L'ensemble "Support de colonne de direction" (**Document 1**) est constitué des éléments suivants :

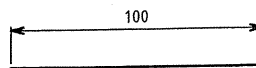
- Un arceau tubulaire de diamètre 30 et d'épaisseur 2,5 aux extrémités aplaties et poinçonnées d'un carré de 15 x 15 (Document 1 - Repère : 2)
- Une patte gauche (Document 1 – Repère : 4),
- Un support gauche (Document 1 – Repère : 3),
- Une patte droite (Document 1 – Repère : 1),
- Un boîtier central constitué de :
 - Une équerre munie de 2 axes de diamètre 30.4 (Document 1 – Repère : 5),
 - Deux flasques (droit et gauche) (Document 1 – Repère : 10 et 11),
 - Une embase (Document 1 – Repère : 8),
 - Un couvercle (Document 1 – Repère : 9),
 - et de divers supports, écrous et goujons soudés (non représentés).

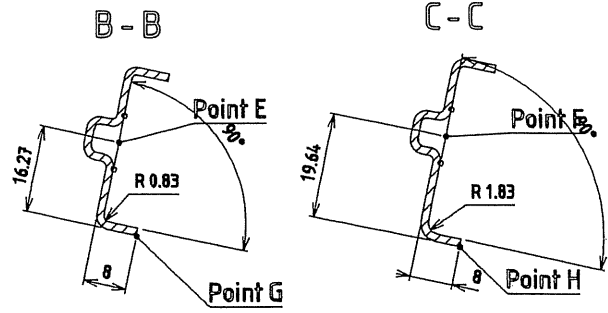
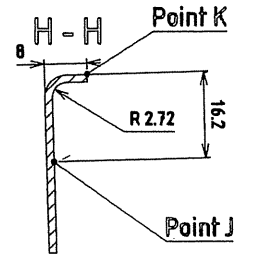
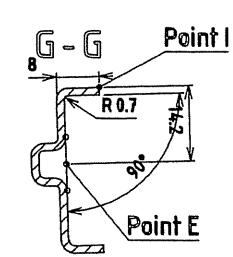
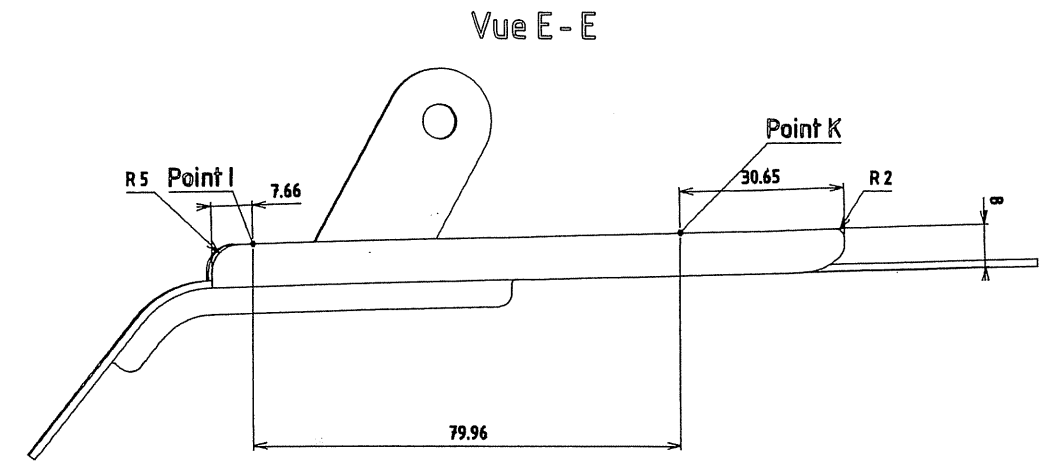
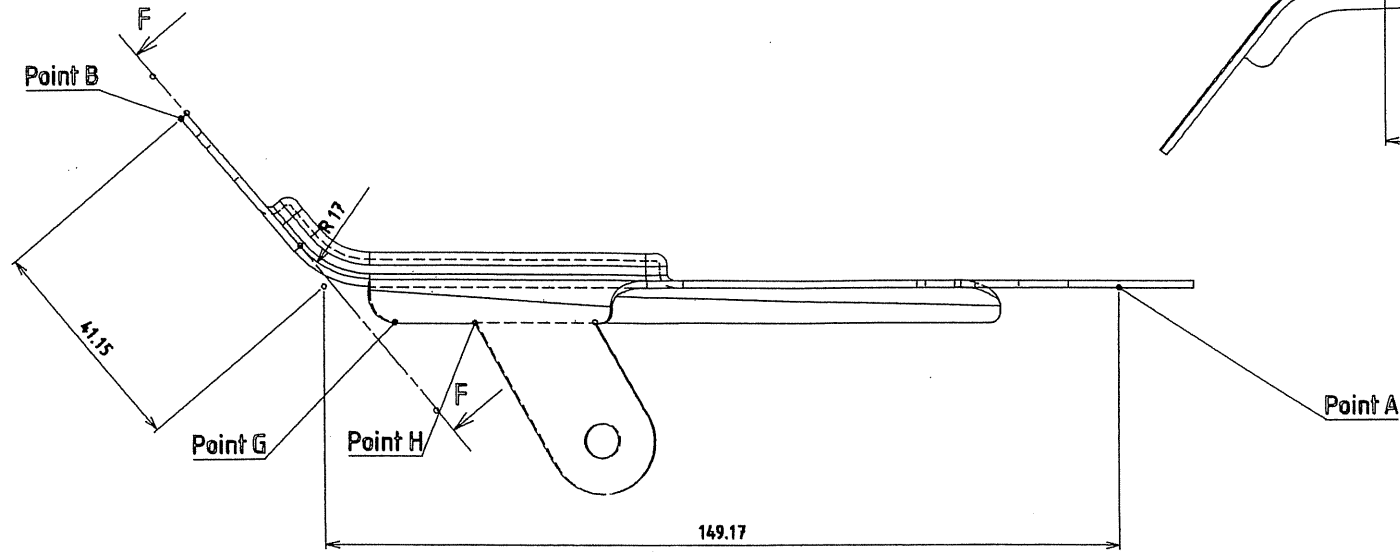
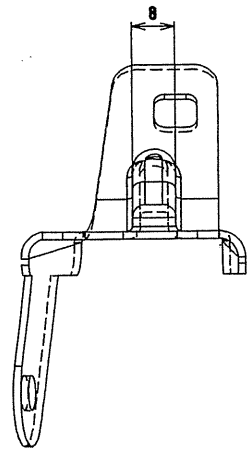
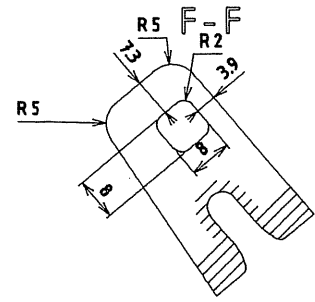
L'épreuve porte sur :

- l'obtention de la patte gauche (**Document 2**) avec un outillage à suivre
- l'obtention de l'empreinte permettant de réaliser la forme emboutie sur l'équerre de fixation (**Document 3**).

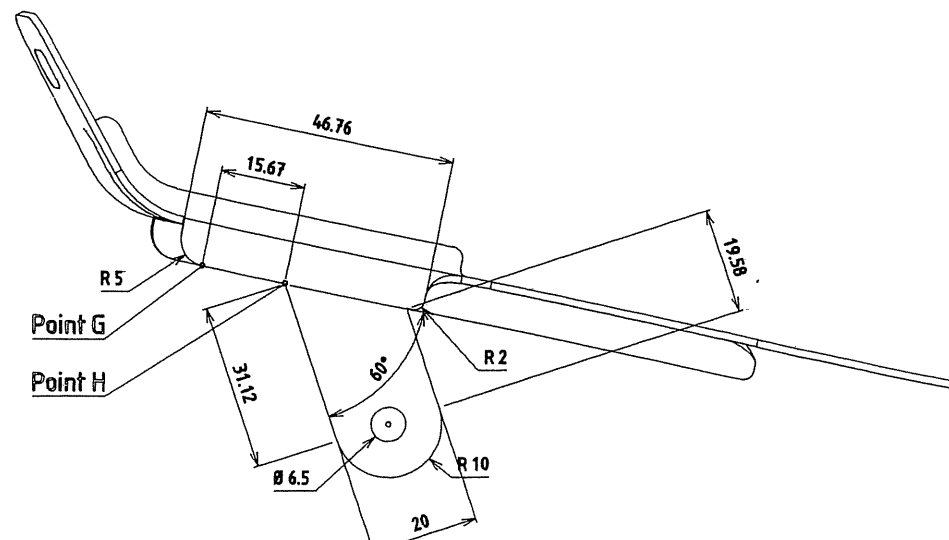
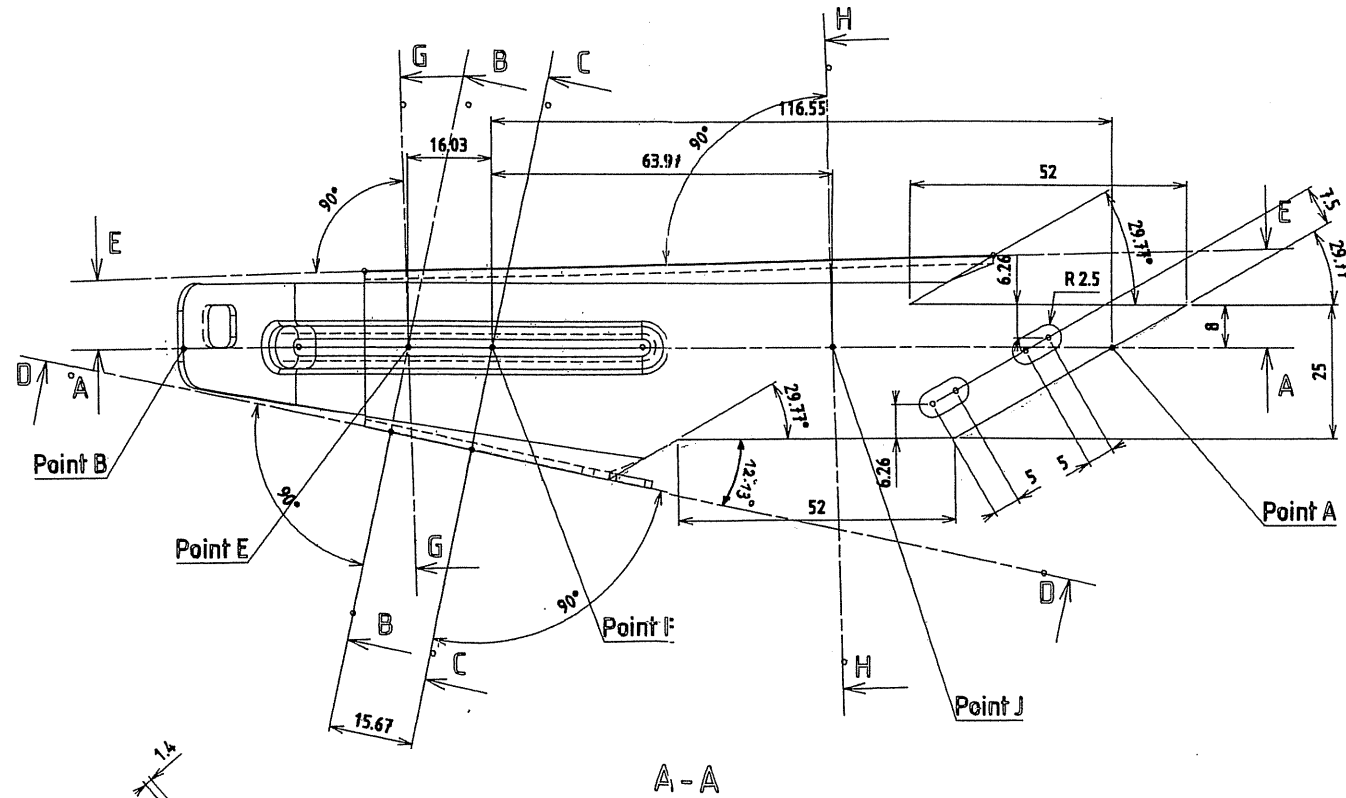


11	Flasque droit
10	Flasque gauche
9	Couvercle
8	Embase
7	Axe court
6	Axe long
5	Equerre
4	Patte gauche
3	Support gauche
2	Arceau
1	Patte droite
Rep	Designation

Facteur d'échelle




Vue D-D



$e = 1,4$

Rayons intérieurs à évolution linéaire de 0,5 mm à 3,5 mm pour les bords rabattus

Rayons de découpe non inscrits R = 5

ÉCHELLE	1:1	Patte Gauche	E 275 D
		Document 2	

I PREMIERE PARTIE

Matériaux et Caractéristiques mécaniques des tôles

Cette partie comprend :

DOSSIER I.A : LE SUJET

- 1 – Caractéristiques des matériaux et des tôles d'emboutissage
- 2 – Emboutissage – Sollicitations – Courbes limites de formage

DOSSIER I.B : LES DONNEES TECHNIQUES

- 1 – Essai de traction d'une éprouvette ISO 50 en E 275 D **Document I.B.1**

DOSSIER I.C : DOCUMENT-REPONSE

- 1 – Domaines de sollicitations et caractéristiques mécaniques **Document I.C.1**

Tournez la page S.V.P.

DOSSIER I.A

SUJET

I. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET DES TOLES D'EMBOUTISSAGE

II. EMBOUTISSAGE – SOLLICITATIONS – COURBES LIMITES DE FORMAGE

PRELIMINAIRES :

Le support de colonne de direction est principalement constitué de pièces obtenues à partir de tôles (métaux en feuille) excepté l'arceau.

Les tôles les plus utilisées en emboutissage sont des tôles d'acier de type extra doux, c'est à dire essentiellement des tôles d'acier contenant moins de 0,2% de carbone.

I. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET DES TOLES D'EMBOUTISSAGE

I.1. Appellation et techniques d'obtention des tôles

En emboutissage, les tôles en acier sont classées dans des catégories dont le classement tient plutôt compte des caractéristiques favorables en emboutissage que des caractéristiques concernant la composition chimique de l'acier.

Les caractéristiques retenues en emboutissage sont les suivantes :

- aptitude à réaliser des emboutis peu profonds et simples,
- aptitude à réaliser des emboutis profonds et complexes,
- aptitude à réaliser des pièces d'aspect,
- aptitude à réaliser des pièces de structures.

Dans le négoce des métaux en feuille, il existe trois principales classes d'aciers qui par leurs différences d'un point de vue élaboration et d'un point de vue composition chimique, correspondent aux 3 catégories d'appellation courantes :

- *les aciers laminés à chaud (LAC),*
- *les aciers laminés à froid (LAF),*
- *les aciers à haute résistance (HLE: haute limite élastique, HR: haute résistance).*

Travail à réaliser sur feuille de copie

I-1-1 : Pour les 3 catégories d'appellation : les aciers laminés à chaud, les aciers laminés à froid, les aciers à haute résistance, donner les valeurs courantes des caractéristiques techniques suivantes :

- Composition des aciers (% d'éléments d'addition)
- Plage d'épaisseur des tôles obtenues,
- Caractéristiques de dureté,
- Caractéristiques de résistance (Re, Rm, A%).

I-1-2 : Comment reliez-vous la classification d'obtention des tôles d'acier : laminés à chaud, (LAC), laminés à froid (LAF), à haute résistance (HLE, HR) aux caractéristiques attendues en emboutissage ?

I.2. Structure et caractéristiques mécaniques

Les tôles minces d'acier ont pour principale caractéristique d'être des agrégats polycristallins. Dans le cas d'un acier extra doux, il s'agit d'un agrégat de grains ferritiques. Les propriétés mécaniques (limite élastique : R_e , limite à la rupture : R_m , coefficient d'écroutissage : n , coefficient d'anisotropie : r), dépendent de la taille des grains mais aussi de la texture cristallographique.

Travail à réaliser sur feuille de copie

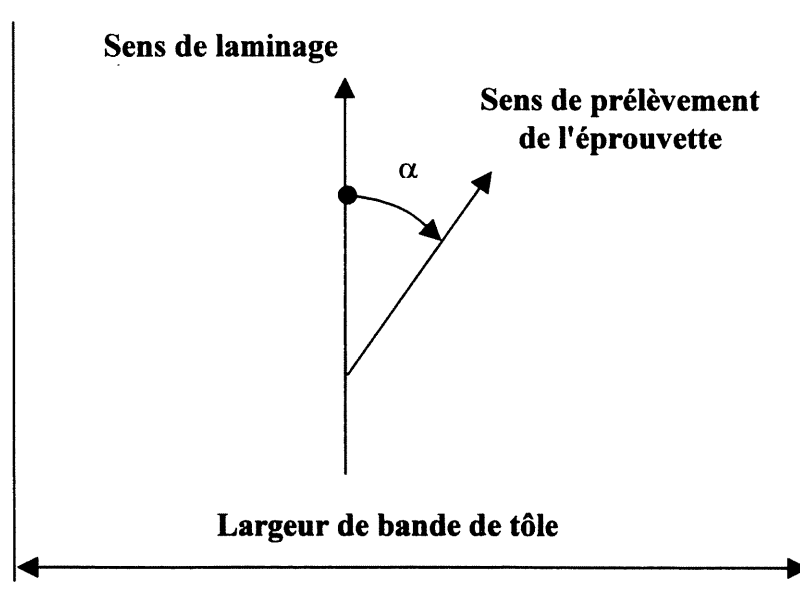
I-2-1 : Décrire qualitativement et quantitativement l'évolution de la caractéristique R_e (limite élastique) d'un acier type extra doux en fonction de la taille des grains.

I-2-2 : Quels sont les traitements thermiques ou mécaniques, permettant de modifier la dimension des grains ou de modifier la texture cristallographique pour améliorer la caractéristique R_e ?

I.3. Essai de traction et caractéristiques mécaniques

On vous fournit sur *le document I.B.1*, la courbe de traction et les résultats numériques d'un essai de traction d'une éprouvette de type ISO 50 de tôle d'acier E 275 D.

La direction générale de découpe de l'éprouvette correspond au sens de laminage de la tôle (angle d'inclinaison $\alpha = 0$).



Travail à réaliser sur feuille de copie

I-3-1 : Donner l'interprétation que vous faites concernant la dénomination de l'acier E 275 D (Norme : NFA 36-203). Décrire la composition chimique et cristallographique attendue. Donner les caractéristiques mécaniques attendues.

Travail à réaliser sur feuille de copie et sur Document-Réponse I.C.1

I-3-2 : Définir sur la courbe de traction (*document réponse I.C.1*) le domaine élastique, le domaine plastique et le domaine de striction.

I-3-3 : A partir des relevés numériques positionner sur le graphique le point correspondant à la mesure numéro 4.

Travail à réaliser sur feuille de copie

I-3-4 : Pour caractériser le comportement mécanique de l'acier, on définit des caractéristiques R_e , R_m et $A\%$. Après description des hypothèses et des calculs menés, déterminer ces valeurs.

I-3-5 : Que représente physiquement le coefficient d'érouissage "n" ? Donner l'expression permettant de déterminer sa valeur.

I-3-6 : A partir de la courbe de traction et des valeurs numériques relevées, déterminer la valeur du coefficient d'érouissage "n".

I-3-7 : Que représente physiquement le coefficient d'anisotropie "r" ? Donner l'expression permettant de déterminer sa valeur.

I-3-8 : A partir de la courbe de traction et des valeurs numériques relevées, déterminer la valeur du coefficient d'anisotropie "r".

I.4. Influence du sens de laminage et des éléments de composition sur les caractéristiques mécaniques

Les coefficients d'érouissage et d'anisotropie dépendent évidemment de la direction (angle α) générale de l'éprouvette (essai de traction) par rapport à la direction de laminage.

Travail à réaliser sur feuille de copie

I-4-1 : Tracer, en donnant des ordres de grandeurs des valeurs numériques, pour une tôle d'acier extra-doux, l'évolution du coefficient d'érouissage "n" et du coefficient d'anisotropie "r" en fonction de l'angle α .

I-4-2 : Quelles vont être les répercussions sur un emboutissage cylindrique ? Comment peut-on déterminer alors une valeur représentative "conventionnelle" des coefficients d'érouissage et d'anisotropie ?

I-4-3 : Quels seraient les comportements (facilité d'obtention) lors d'un emboutissage d'une tôle dont le couple "r" et "n" aurait les caractéristiques suivantes :

1^{er} cas : si "n" et "r" sont élevés

2^{ème} cas : si "n" est élevé et "r" faible

Tournez la page S.V.P.

3^{ème} cas : si "n" est faible et "r" élevé

4^{ème} cas : si "n" et "r" sont faibles

Quelles sont les raisons qui permettent de justifier qu'une configuration donnée (couple "r" et "n") est plus pertinente que les autres ?

I-4-4 : Quels sont les éléments d'addition à apporter dans la composition chimique de l'acier, permettant de modifier les valeurs de ces coefficients ?

Quelles seront les influences sur les coefficients n et r ?

II. EMBOUTISSAGE – SOLLICITATIONS – COURBES LIMITES DE FORMAGE

II.1. Déformations – Diagramme ϵ_1 et ϵ_2

L'emploi en emboutissage de courbes dites limites de formage CLF (striction, rupture) dans un diagramme ϵ_1 et ϵ_2 , permet de déterminer la réussite ou l'échec d'une opération d'emboutissage.

En reportant sur les courbes limites d'emboutissage, les valeurs de déformation dans des zones sensibles sur un embouti donné, nous pouvons connaître les risques encourus lors d'une opération d'emboutissage et l'état de sollicitation de la pièce à l'endroit considéré.

L'établissement de ces courbes s'effectue à l'aide de réseaux (ou de grilles) de cercles sur lequel on mesure les déformations des cercles (ellipses).

Travail à réaliser sur feuille de copie

II-1-1 : Comment à partir de la mesure de caractéristiques d'une ellipse (diamètre du grand axe d_1 et diamètre du petit axe d_2), qui est la déformée d'un cercle initial de diamètre d_0 , pouvons nous établir l'état de déformation à l'endroit donné (centre du cercle initial) et le représenter sur un diagramme de déformations ϵ_1 et ϵ_2 (déformations) ?

II-1-2 : Comment évolue un cercle de la grille lorsque nous avons à l'endroit donné (centre du cercle initial) :

- une sollicitation de type "expansion uni-axiale",
- une sollicitation de type "rétreint",
- une sollicitation de type "expansion bi-axiale".

II.2. Courbe de formage

Travail à réaliser sur feuille de copie

II-2-1 : Quelle est l'allure générale d'une courbe de formage d'un acier extra-doux ?

Lors d'essais simples d'emboutissage permettant d'augmenter progressivement les déformations, on peut reporter les déformations constatées sur le diagramme de déformations ϵ_1 et ϵ_2 .

La succession des points reportés constitue le "chemin de déformation".

Les chemins de déformation peuvent être :

- directs (lorsque l'on déforme la tôle en seule opération),
- ou complexes (lorsque l'on déforme la tôle en plusieurs opérations).

Travail à réaliser sur feuille de copie

II-2-2 : Sur un diagramme ϵ_1 et ϵ_2 , représenter une sollicitation de type "rétreint", une sollicitation de type "expansion".

II-2-3 : Justifier que l'utilisation d'un chemin complexe (1^{ère} sollicitation de type "rétreint" suivie d'une sollicitation de type "expansion") permet d'obtenir une déformation plus importante qu'en utilisant le chemin direct.

DOSSIER I.B

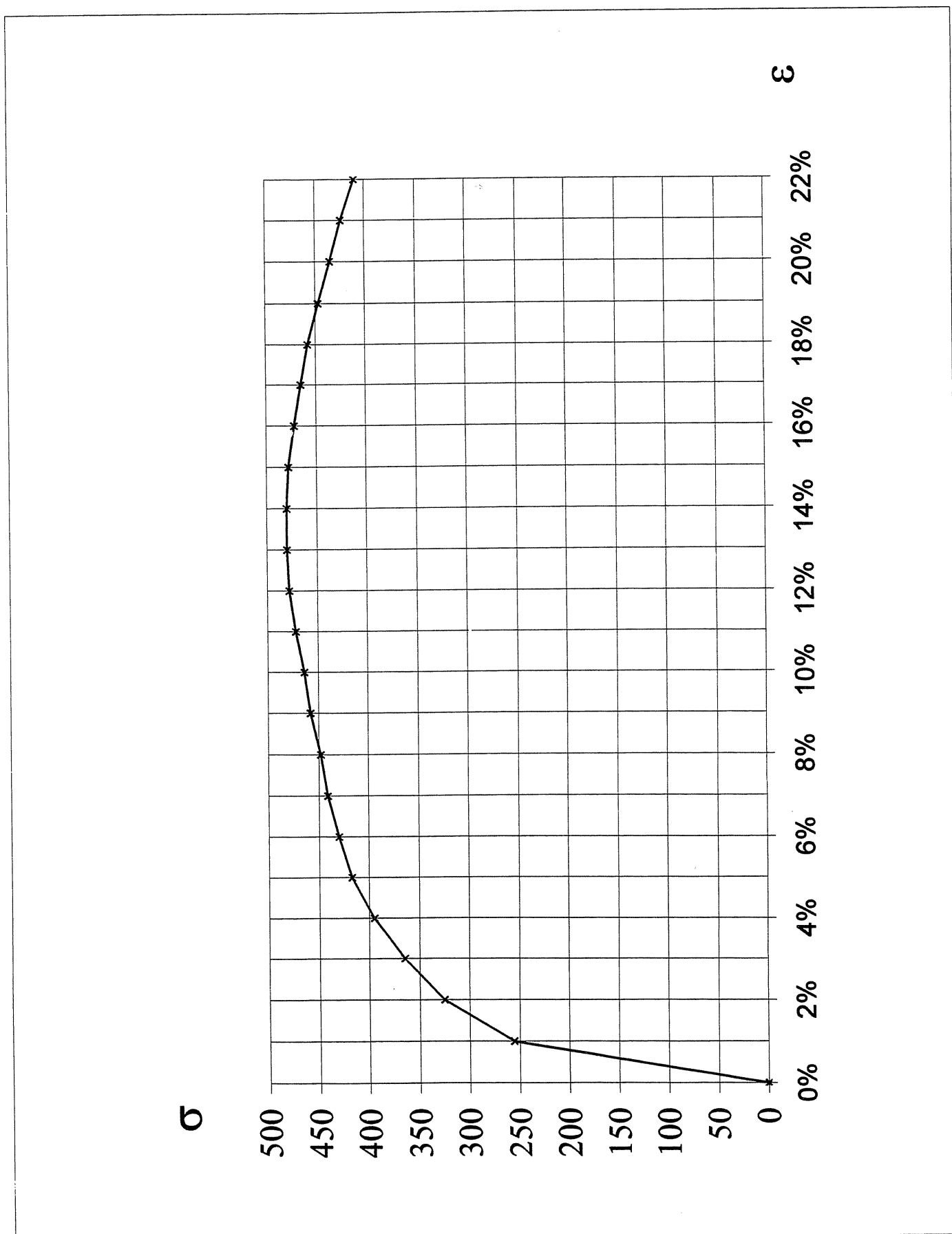
DONNEES TECHNIQUES

Document I.B.1 – Essai de traction d'une éprouvette ISO 50 en E 275 D

Tournez la page S.V.P.

J. 4463-Ca

Document I-B-I: Essai de traction d'une éprouvette ISO 50 d'acier E 275 D



Les résultats des mesures ayant participé à la construction de la courbe de traction σ exprimée en N / mm^2 et ϵ en % de l'éprouvette ISO 50 d'épaisseur 2 mm.

N° mesure	L en mm	l en mm
1	50,51	12,43
2	51,48	12,30
3	52,48	12,17
4	53,52	12,04
5	54,50	11,92
6	55,50	11,80
7	56,45	11,69
8	57,52	11,57

Avec :

L_0 : Longueur initiale (entre repères) $L_0 = 50$

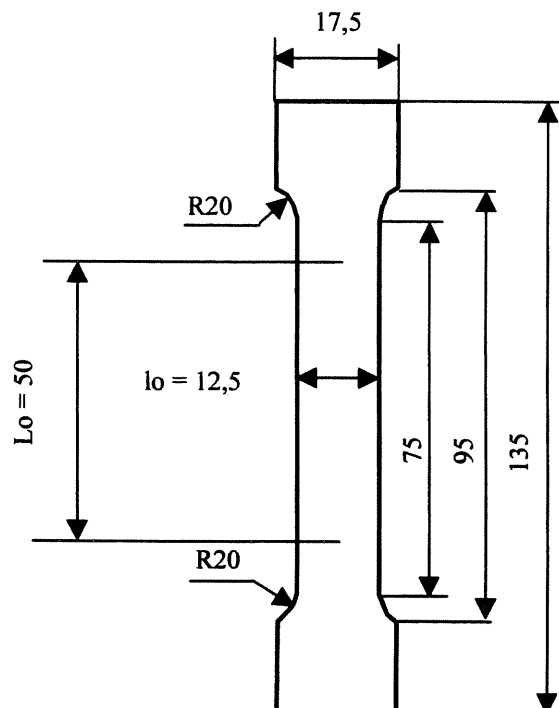
l_0 : Largeur initiale $l_0 = 12,5$

L : Longueur relevée à l'instant donné

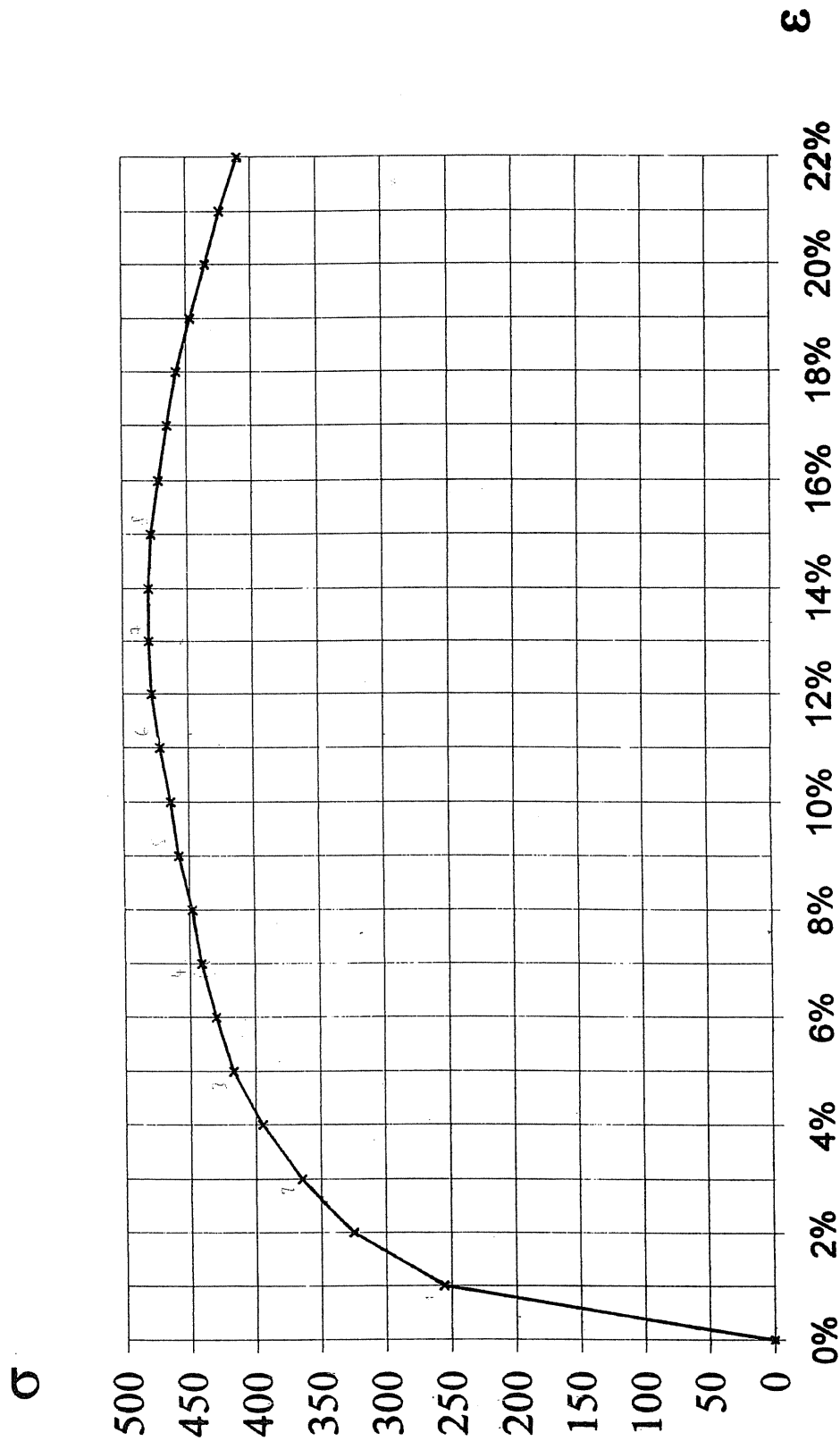
l : Largeur relevée à l'instant donné

Croquis de l'éprouvette ISO 50 d'épaisseur $e = 2$ mm

La longueur servant de référence pendant la mesure de l'allongement est de 50mm.



Document réponse I-C-1 : Domaines de sollicitations et caractéristiques mécaniques.



II DEUXIEME PARTIE

Outillage à suivre

Cette partie comprend :

DOSSIER II.A : LE SUJET

- 1 – Techniques de développement
- 2 – Gamme d'obtention - Outillage

DOSSIER II B : LES DONNEES TECHNIQUES

- 1 – Ligne de presse
- 2 – Ensemble de silhouettes du développé
- 3 – Préconisations pour une mise en bande
- 4 – Dossier de la presse de 120 Tonnes

Document II.B.1
Document II.B.2
Document II.B.3
Document II.B.4

DOSSIER II.C : DOCUMENT-REPONSE

- 1 – Croquis du développé de la patte gauche
- 2 – Succession des opérations de la gamme d'obtention
- 3 – Mise en bande

Document II.C.1
Document II.C.2
Document II.C.3

Tournez la page S.V.P.

DOSSIER II.A

SUJET

I. TECHNIQUES DE DEVELOPPEMENT

II. GAMME D'OBTENTION – OUTILLAGE

PRELIMINAIRES :

On vous fournit le dessin de définition de la patte gauche (**Document 2**).

On envisage de produire cette pièce avec un outil à suivre. Cet outil sera monté sur une presse de 120 tonnes sur la ligne de presse (**Document II.B.1**).

Cette production s'effectuera par lot de 8 000 pièces tous les 2 mois renouvelable sur 5 ans.

La tôle d'épaisseur 1,4 mm en acier E 275 D laminé à froid de qualité E en emboutissage, sera livrée en bobines fournies par votre fournisseur de matières premières. La longueur de la bande de tôle livrée sera de 525 mètres.

Pour des raisons techniques, on enlève de cette longueur :

- la longueur de tôle qui serait endommagée lors du transport (début de bandes),
- la longueur de tôle nécessaire au fonctionnement du système d'engagement de la presse (système redresseur, système d'aménagement, chutes de fin de bandes).

Il restera une longueur de 500 mètres exploitable dans la bande qui pourra être utilisée sur la presse.

La largeur de la bande de tôle à insérer dans l'outil à suivre sera à définir et dépendra de la mise en bande que vous allez étudier.

Dans le processus de réalisation de cette pièce, la partie cambrée, venant se souder par bouchonnage MIG (grâce aux 2 boutonnières prévues à cet effet) sur l'arceau, sera réalisée avec un outillage de reprise spécifique qui ne sera pas intégré dans l'outil à suivre.

I. TECHNIQUES DE DEVELOPPEMENT

I.1. Développé de la patte gauche

L'utilisation de logiciel de CFAO permet de définir l'objet par un modèle volumique. Il permet aussi d'intégrer certaines fonctionnalités et certains savoir-faire ou certaines techniques de type "métier".

Pour cela, il faut paramétrer le logiciel à l'aide de tables de données ou de facteurs qui seront alors pris en compte lors de l'intégration de l'approche métier.

On définit la perte au pli comme étant la longueur de la fibre neutre, dans la partie curviligne du pli ou de l'embouti.

La majeure partie des logiciels qui effectue des développements de pièces (pliées, embouties) utilisent 2 techniques différentes de calcul de pertes aux plis :

Tournez la page S.V.P.

1 – Utilisation d'une table de correction de pertes aux plis. Les corrections sont apportées à la définition numérique de la pièce en agissant sur la topologie de cette pièce par une modification des dimensions. Les paramètres à renseigner sont l'épaisseur de la tôle, l'angle de pliage et le rayon de pliage. Cette technique est couramment utilisée dans les ateliers de métaux en feuille.

2 – Utilisation d'un facteur K qui est le ratio représentant la position de la fibre neutre par rapport à l'épaisseur de la tôle : $K = t / e$.

t : distance de la fibre neutre par rapport au bord intérieur du pli

e : épaisseur de la tôle

Travail à réaliser sur feuille de copie

I-1-1 : Exprimer la perte au pli (longueur de la fibre neutre) en fonction de R (rayon de pliage), $K = t/e$, t (distance de la fibre neutre par rapport au bord intérieur du pli), e (épaisseur de la tôle) et A (angle de pliage).

I-1-2 : En ne prenant pas en compte la partie raidisseur central de la patte, développer la pièce (**Document 2**) en exploitant le principe de la « fibre neutre ». Justifier les hypothèses émises pour réaliser vos calculs nécessaires.

Travail à réaliser document II.C.1 et sur feuille de copie (si besoin)

I-1-3 : En complétant le dessin du **document réponse N°II.C.1**, définir sur le flan coté issu du développement de la pièce, les positions relatives des points B, G, H, I et K.

II. GAMME D'OBTENTION - OUTILLAGE

II.1. Avant projet de gamme d'obtention – Définition des opérations à chaque poste

Le cahier des charges du client vous impose au maximum 7 postes pour l'outil à suivre. Ce nombre de postes a une répercussion non négligeable sur la complexité de l'outillage, sur ses dimensions ainsi que sur le coût de celui-ci.

En utilisant les préconisations spécifiques à la définition d'un outil à suivre (dimensions minimales à respecter) (**Document II.B.3**).

Travail à réaliser sur feuille de copie

II-1-1 : Proposer une solution d'avant projet de gamme d'obtention de la pièce avec un outil à suivre (succession des postes), en décrivant l'ensemble des opérations à effectuer à chaque poste.

Travail à réaliser document II.C.2 a et b et sur feuille de copie (si besoin)

II-1-2 : En exploitant le **document II.B.2** (Ensemble de silhouettes de la pièce développée), réaliser sur le **document réponse II.C.2 a et b** la définition de la succession des postes et des opérations.

II.2. Mise en bande – Caractéristiques de production

On envisage en terme de cadence de produire qu'une seule pièce par coup de presse. La surface de pièce est de 6 720 mm².

La presse envisagée aura une cadence de 120 coups par minute en production.

Travail à réaliser sur feuille de copie et document II-C-3 a et b

II-2-1 : En exploitant le **document II.B.2** (Ensemble de silhouettes de la pièce développée), effectuer une mise en bande sur le **document réponse II.C.3 a et b** en optimisant le nombre de pièces produites par rapport à la consommation matière.

Expliciter la démarche suivie, en détaillant :

- le nombre de poste de l'outillage,
- pour chaque poste les opérations réalisées,
- l'orientation générale de la pièce par rapport à l'axe général de l'outil,
- le pas retenu,
- le format de la tôle prévu (largeur),
- le pourcentage de chute envisagée.

II.3. Efforts – Caractéristiques de production

La presse utilisée sera une presse mécanique de 120 tonnes (**Document II.B.4**). On envisage une pré-détermination des efforts, permettant de vérifier la capacité de la presse retenue et de pré-déterminer les systèmes de dévêtisseurs et de serre-flans.

Travail à réaliser sur feuille de copie

II-3-1 : Pour les postes de poinçonnage, d'emboutissage, de découpage, et de pliage (**rabat de bords**), déterminer les efforts nécessaires aux opérations en faisant les hypothèses simplificatrices nécessaires que vous jugerez utiles.

Le diamètre du trou pilote à réaliser est de 10 mm.

Vous détaillerez les efforts pour les postes :

- de poinçonnage,
- de réalisation de l'embouti,
- de découpage,
- de formage (pliage, rabat de bords).

Tournez la page S.V.P.

II-3-2 : Pour chaque poste précédemment cité, vous détaillerez les efforts annexes :
- les efforts des dévetisseurs,
- et les efforts des serre-flans.

II-3-3 : Est-ce que la presse envisagée convient en terme d'efforts ?
Que pouvez vous faire pour diminuer à chaque poste les efforts ?

II.4. Outillage

L'évacuation des chutes des poinçonnages et des découpages, peut s'effectuer au travers de l'outil à suivre.

Travail à réaliser sur feuille de copie

II-4-1 : Dans le cadre du poinçonnage, pour le matériau et l'épaisseur de tôle utilisée, donner la valeur du jeu à installer entre un poinçon et sa matrice.

II-4-2 : A l'aide d'une section définir la (ou les) forme(s) à réaliser sur la matrice permettant l'évacuation de la chute.

II-4-3 : Décrire en le justifiant, le moyen technique envisagé permettant l'obtention de cette forme.

DOSSIER II.B

DONNEES TECHNIQUES

Document II.B.1 – Ligne de presse

Document II.B.2 – Ensemble de silhouettes du développé (4 exemplaires)

Document II.B.3 – Préconisations pour une mise en bande

Document II.B.4 – Dossier de la presse de 120 tonnes

Tournez la page S.V.P.

Document II-B-1 : Ligne de presse

La presse fait partie intégrante d'une ligne de presse. Cette ligne de presse est constituée de divers éléments pouvant participer à la réalisation des pièces depuis la bobine, jusqu'à l'évacuation des pièces et des chutes :

Constitution de la ligne de presse (figure 1) :

La presse est constituée de :

- 1) Un chariot de chargement de bobine effectuant le transfert d'une bobine neuve vers le système dérouleur.
- 2) Un système dérouleur en continu permettant d'effectuer l'acheminement de la tôle.
- 3) Un groupe d'introduction permettant le déroulement par dessus ou par dessous de la tôle.
- 4) Une cisaille d'éboutage assurant le découpage de chutes en début ou fin de bande.
- 5) Un système redresseur permettant "d'aplanir" la tôle en la déformant entre divers rouleaux avant introduction dans la presse.
- 6) Un système d'amenage permettant de faire progresser la tôle de façon discontinue. Il y a donc une nécessité de créer une "fosse tampon" pour permettre d'absorber les à coups produits par la différence de progression de la tôle (continue du dérouleur, discontinue du système d'amenage).
- 7) Une presse
- 8) Un tapis d'évacuation (au besoin)
- 9) Un système empileur (au besoin).

Il est possible de modifier la ligne de presse dans sa partie évacuation et empileur, en y intégrant des systèmes d'évacuation sur le coté et un système de cisailage appelé coupe déchet (squelette) en bout de ligne.

Caractéristiques et contraintes de chaque système

- 1) Chariot de chargement de la bobine
Charge maxi : 20 tonnes
- 2) Dérouleur
Diamètre extérieur maxi bobine : 1 000mm
Diamètre extérieur mini bobine : 300 mm

Largeur maxi bobine : 600 mm
Largeur mini bobine : 80 mm
- 3) Groupe d'introduction
Largeur maxi feuillard : 600 mm
Largeur mini feuillard : 100 mm
- 4) Cisaille hydraulique d'éboutage
Epaisseur maxi : 3,2 mm
Epaisseur mini : 0,6 mm
Cadence maxi : 20 cps / min

Pas maxi : 30 mm

5) Système redresseur

Berceau supérieur réglable en pénétration et en inclinaison

Épaisseur mini : 0,6 mm

Épaisseur maxi : 3,2 mm pour 300 mm de largeur

Épaisseur maxi : 2,5 pour 600 mm de largeur

Vitesse de défilement de la bande de 0 à 30 m/min

9 rouleaux motorisés : 2 rouleaux d'entrée : Ø 60 mm

7 rouleaux redresseurs : Ø 45 mm

6) Système d'amenage

Pas de 0 à 850 mm

Précision du pas : ± 0,05 mm

Pas de réglage de 0,1 mm à 999,99 mm

Hauteur de défilement de la bobine par rapport au sol : 1 200 mm ± 150 mm

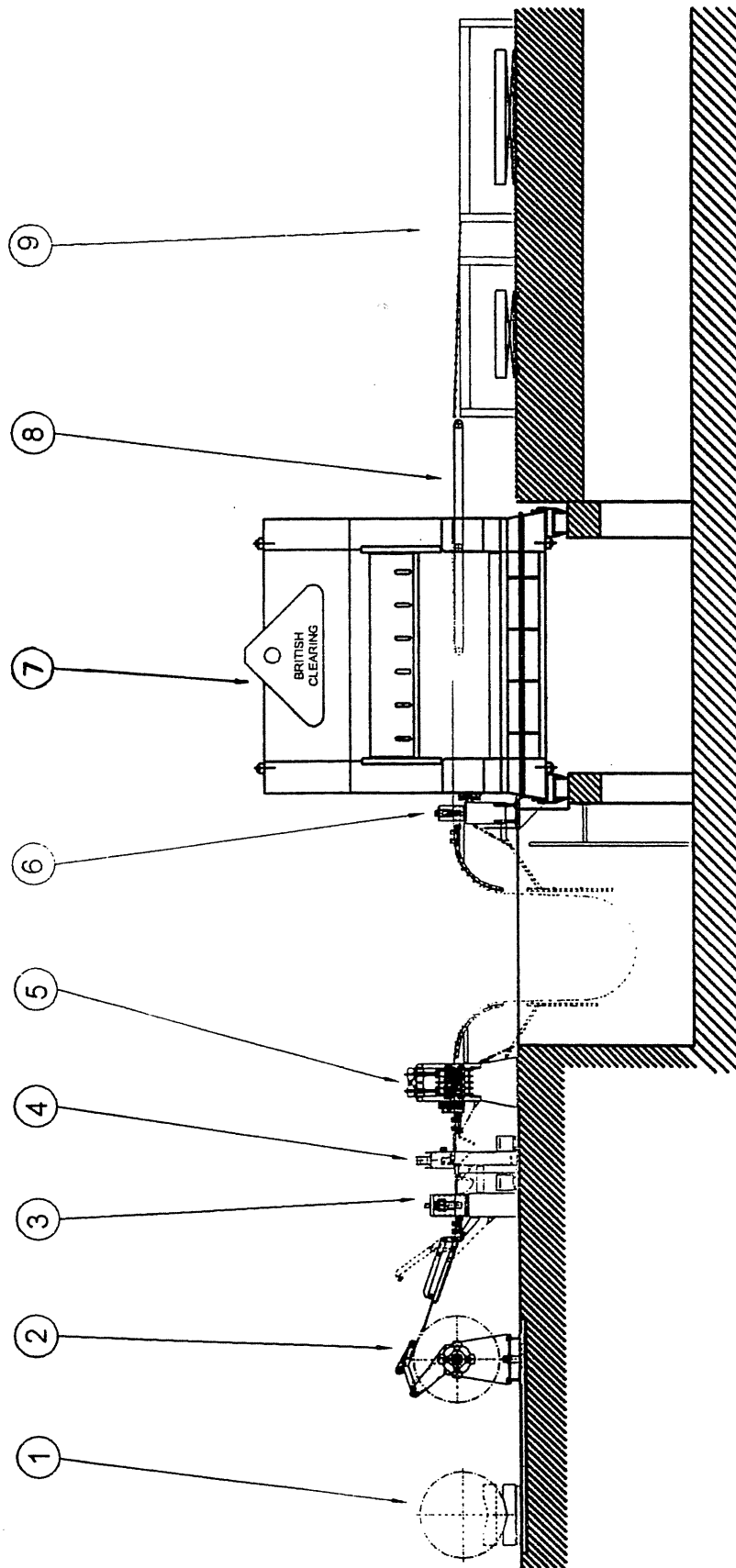
Vitesse d'avancement de 0 à 50 m/min

Système de détection de soudure

7) Presse de 120 Tonnes

Caractéristiques définies dans le dossier de la presse (Document II.B.4)

Figure 1 : Schéma de la ligne de presse



Le **dernier poste** doit effectuer la séparation de la pièce du "squelette" restant sur la bande.

La **découpe du squelette** s'effectue par une cisaille automatique en bout de presse.

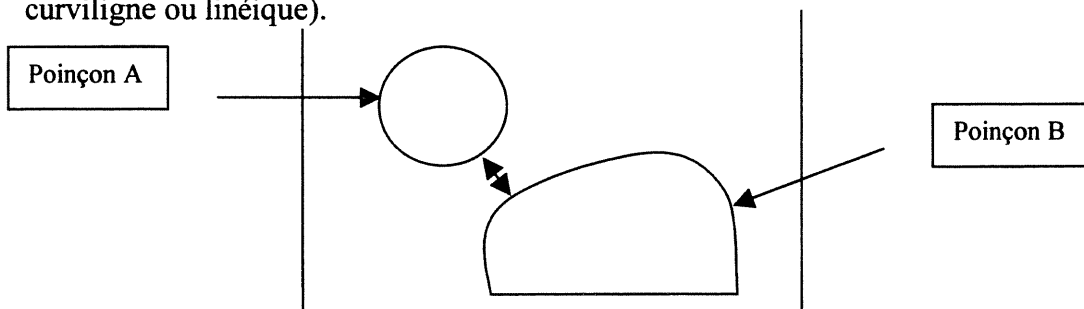
Respect des distances préconisées pour une mise en bande

Afin d'assurer une cohérence, la faisabilité (perturbations entre éléments ; poinçons, bords de tôles) et une certaine rapidité dans la conception d'une mise en bande, il est demandé de respecter certaines préconisations dans les distances entre les poinçons et le bord des tôles, mais aussi entre les poinçons entre eux.

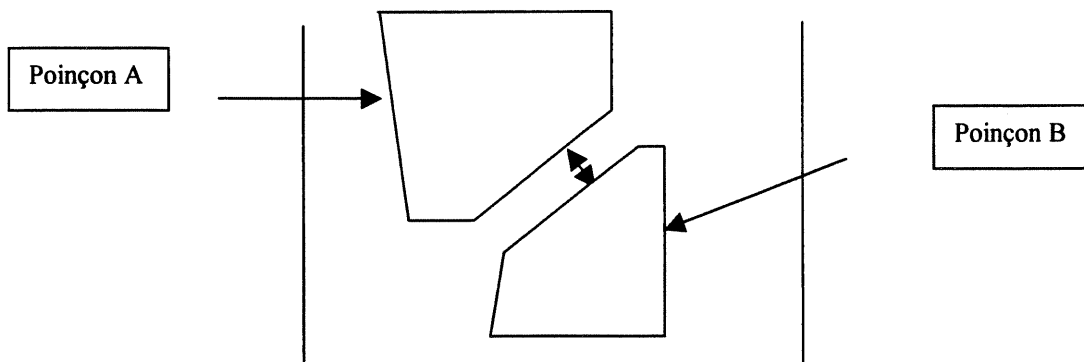
On évitera la combinaison d'opérations de poinçonnage et de mise en forme que ce soit de l'emboutissage ou du pliage (rabat de bords).

Respect des distances minimales entre poinçons pour l'épaisseur considérée:

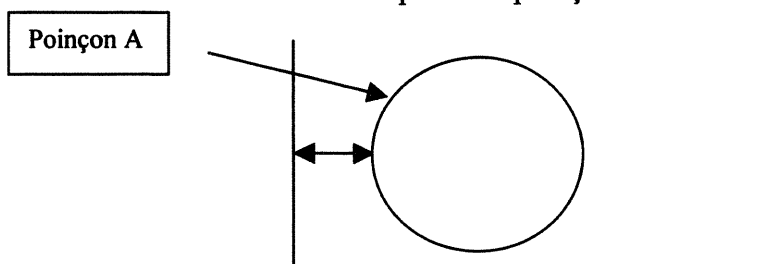
- Distance d'un point d'un poinçon A à un point d'un poinçon B = 3 mm
(le poinçon A de forme cylindrique ou curviligne ; le poinçon B de forme cylindrique, curviligne ou linéique).



- Distance d'une ligne d'un poinçon A à une ligne d'un poinçon B = 6 mm
(le poinçon A de forme linéique; le poinçon B de forme linéique).



- Distance minimale entre un point du poinçon et bord tôle = 4 mm.



Document II-B-4 : Dossier de la presse 120 T

Presse :

Presse : Type presse à découper de 120 Tonnes

Cadence réglable de 40 à 120 coups / min

HOF (Hauteur outil fermé) : 795 mm

HBDC = HOF + Réglage du coulisseau

Pour mettre en concordance les hauteurs d'aménagement réglable avec la hauteur d'admission dans l'outillage, on interpose des rehausses entre la table mobile et l'outil.

Passage entre montant Gauche et Droit : 1 620 mm

Passage entre montant Avant et Arrière : 820 mm

Coulisseau :

Course du coulisseau : 175 mm

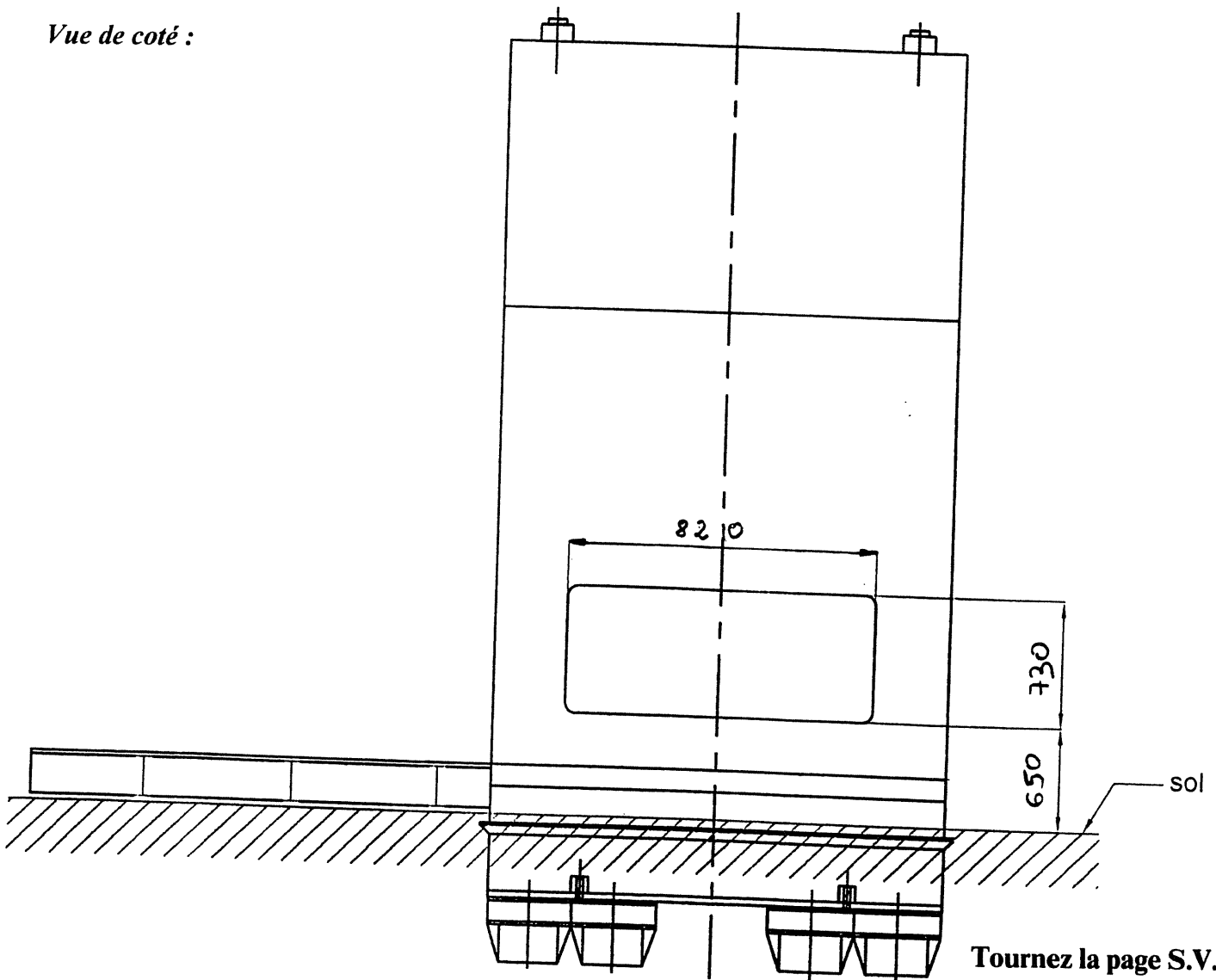
Réglage du coulisseau : 225 mm

Dimensions du coulisseau utile : 1 450 mm * 850 mm

Table :

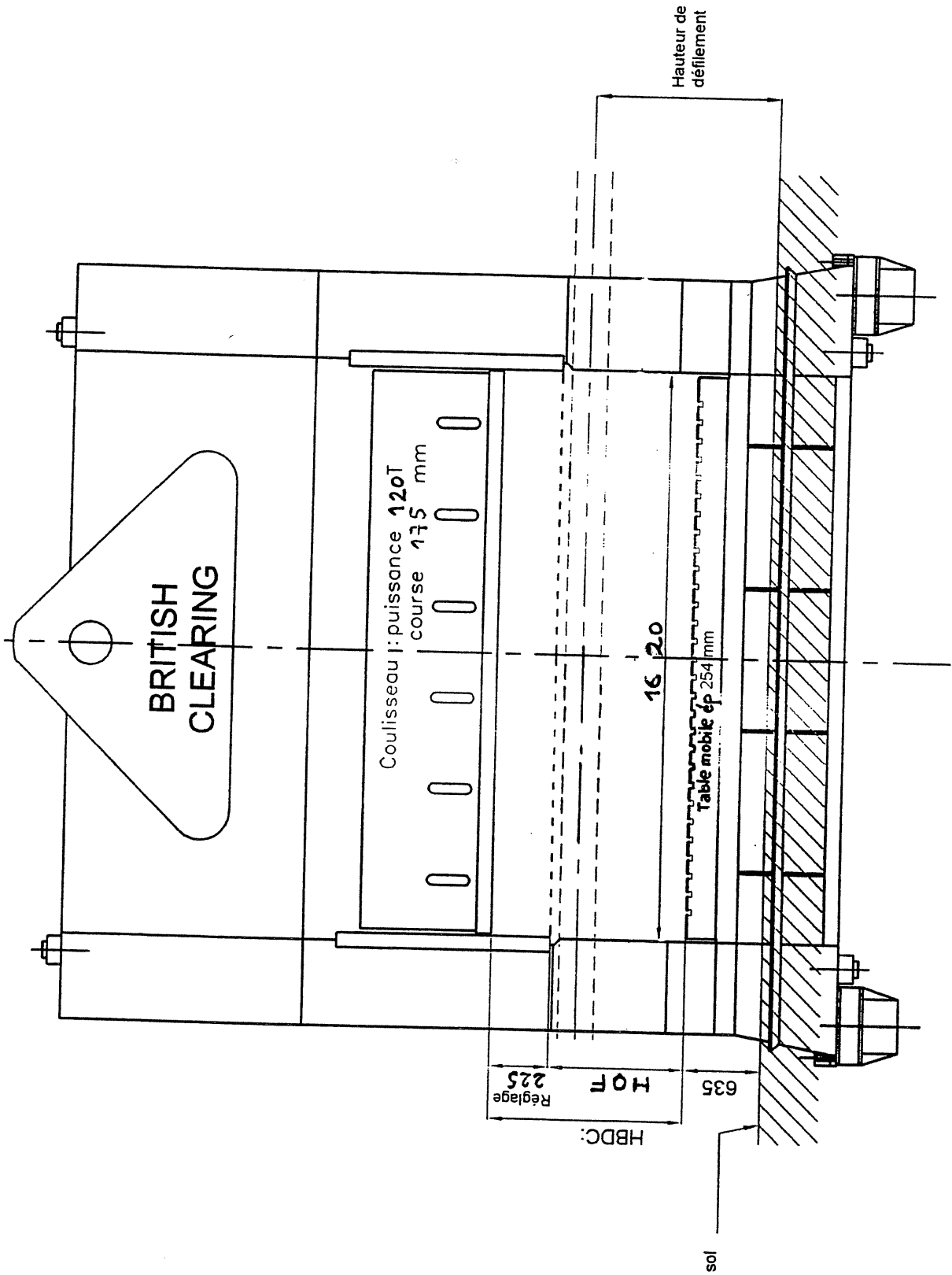
Dimensions de la table utile : 1 450 mm * 850 mm

Vue de coté :



Tournez la page S.V.P.

Vue de face :



DOSSIER II.C

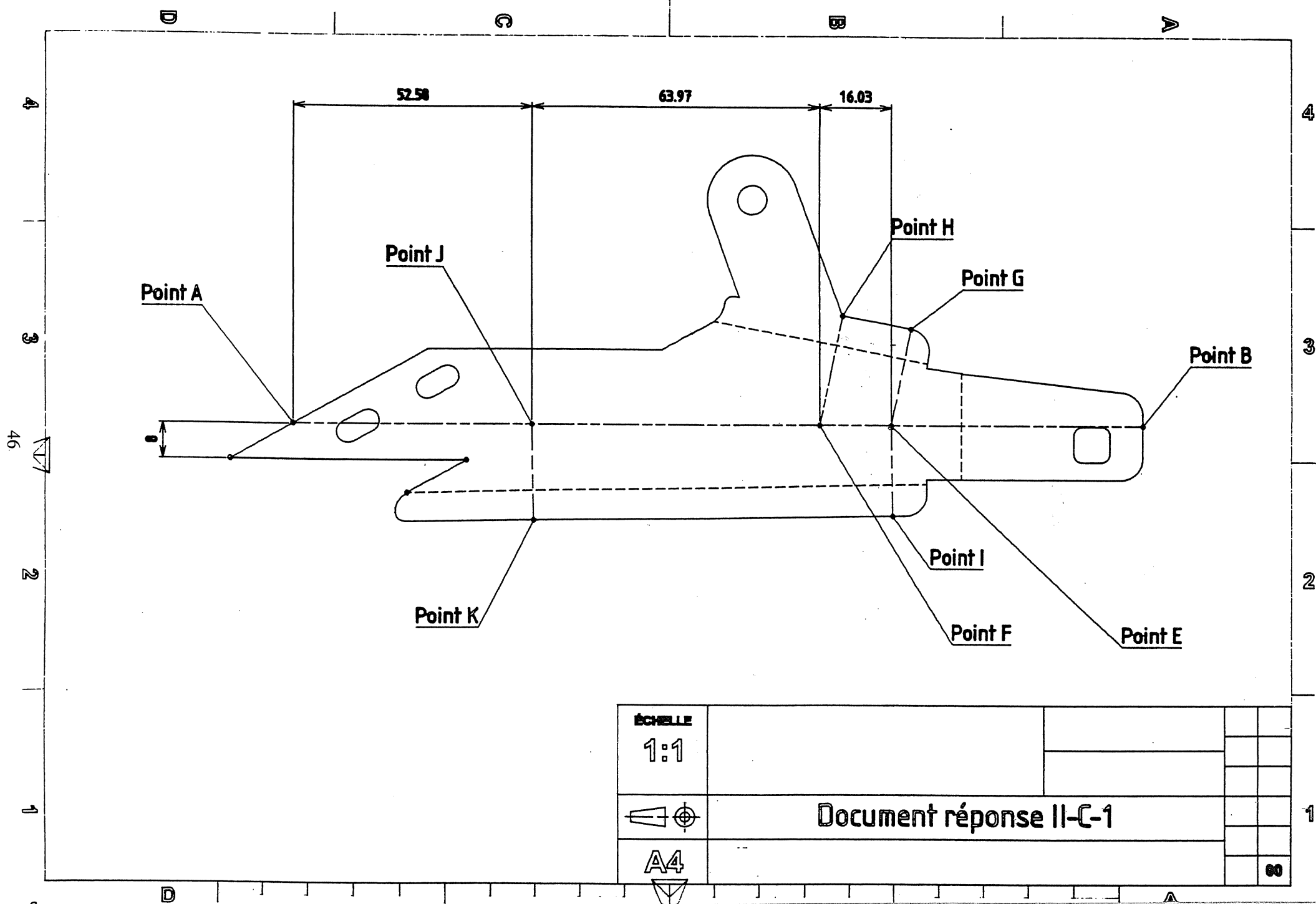
DOCUMENTS - REPONSES


Document II.C.1 – Croquis de développé de la patte gauche

Document II.C.2 – Succession des opérations de la gamme d'obtention

Document II.C.3 – Mise en bande

Tournez la page S.V.P.




ÉCHELLE				
1:1				
	Document réponse II-C-1			
A4				60

Poste 1

Poste 2

Poste 3


Poste 4

ÉCHELLE	1:1	Succession des opérations		
		Document réponse II-C-2a		
A2	87.0.1	J. 4463-Dc 2		00

Poste 5

Poste 6

Poste 7

ÉCHELLE	1:1	Succession des opérations		
		Document réponse II-C-2b		
A2	87.0.1	J. 4463-Dc 3		00


Poste 1

Poste 2

Poste 3

Poste 4

axe de l'outillage


ÉCHELLE	1:1	Mise en bande	
	Document réponse II-C-3a		
A2	87.0.1		J. 4463-Dc 4

Poste 5

Poste 6

Poste 7

axe de l'outillage

ÉCHELLE			
1:1	Mise en bande		
	Document réponse II-C-3b		
A2	87.0.1		J. 4463-Dc 5

III TROISIEME PARTIE

Matrice d'emboutissage

Cette partie comprend :

DOSSIER III.A : LE SUJET

- 1 – Usinage de l'outillage sans empreinte
- 2 – Usinage de l'empreinte
- 3 – Actions mécaniques et paramètres de coupe
- 4 – Electroérosion
- 5 – Métrologie

DOSSIER III B : LES DONNEES TECHNIQUES

- | | |
|--|-------------------------|
| 1 – Dessin de définition de la matrice | Document III.B.1 |
| 2 – Repérage de surfaces | Document III.B.2 |
| 3 – Rayons de courbure et hauteur de crêtes | Document III.B.3 |
| 4 – Surépaisseur et repérage angulaire | Document III.B.4 |
| 5 – Modèles d'actions mécaniques en fraisage | Document III.B.5 |
| 6 – Paramètres électriques en électroérosion | Document III.B.6 |
| 7 – Machines et outillages | Document III.B.7 |

DOSSIER III.C : DOCUMENT-REPONSE

- | | |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1 – Spécifications et opérations | Document III.C.1 |
| 2 – Contrats de phase | Document III.C.2 |

Tournez la page S.V.P.

DOSSIER III.A

SUJET

I. USINAGE DE L'OUTILLAGE SANS EMPREINTE

II. USINAGE DE L'EMPREINTE

III. ACTIONS MECANIQUES ET PARAMETRES DE COUPE

IV. ELECTROEROSION

V. METROLOGIE

PRÉLIMINAIRES

Il est envisagé d'effectuer l'usinage de la matrice d'emboutissage (**Document III.B.1**) permettant l'obtention de l'empreinte sur de l'équerre du support de colonne de direction (**Document 3**)

La fabrication de cet outillage est envisagée de façon unitaire.

La matrice est usinée à partir d'une plaque brute de dimensions 145 x 185 x 36.

Cet outillage permet d'emboutir deux pièces simultanément qui seront séparées ultérieurement.

I USINAGE DE L'OUTILLAGE SANS EMPREINTE

On se propose de définir la gamme d'usinage permettant l'obtention de la matrice équerre dont le dessin de définition est fourni sur le **document III.B.1**. L'usinage de la partie centrale appelée empreinte sera envisagée dans la gamme mais ne sera pas traitée dans cette partie I. Les cotes et spécifications sont à obtenir avant électro-érosion de l'empreinte. On cherchera à minimiser le nombre de phases.

Travail à réaliser sur feuille de copie et sur Document-réponse III.C.1

I-1 : Pour toutes les surfaces repérées sur le **document III.B.2**, définir les opérations élémentaires (ébauche, $\frac{1}{2}$ finition, finition) en justifiant ce choix par les spécifications concernées. Compléter les colonnes (numéro de surface, spécifications et opérations) du **document-réponse III.C.1** de la même manière que l'exemple donné.

I-2 : On appelle surface élémentaire, une surface géométrique associée à une opération élémentaire. Pour toutes les surfaces élémentaires, indiquer l'orientation de l'axe de l'outil et son sens dans le repère pièce du **document III.B.2**. Le sens positif sera défini de l'extrémité de l'outil vers le cône de broche. Les outils disponibles et le parc machine sont fournis sur le **document III.B.7**.

I-3 : Pour chaque surface élémentaire, définir un outil (diamètre, angle d'attaque, géométrie de plaquette, caractéristique de plaquette, ...). Justifier vos choix.

I-4 : On appelle usinage élémentaire, un ensemble de surfaces élémentaires associées à un même outil (même géométrie, caractéristiques, orientation). Associer les usinages élémentaires entre eux pour constituer des groupes d'usinage. Justifier.

I-5 : Ordonnancer les groupes en justifiant les choix effectués.

Travail à réaliser sur feuille de copie et sur Documents-réponses III.C.2.a/b/c/d.

Tournez la page S.V.P.

I-6 : Rédiger les quatre premiers contrats de phase (**Documents-réponses III.C.2.a/b/c/d**) en précisant :

- les surfaces usinées,
- la mise en position,
- le serrage,
- les opérations successives,
- les outils choisis précédemment.

Mettre en place les silhouettes des outils avec le sens de déplacement.

Pour les surfaces réalisées sur centre d'usinage, préciser sur le contrat de phase le repère de programmation.

I-7 : En fonction de quels paramètres ou critères sont évalués les paramètres de coupe (avance, vitesse de coupe, profondeur de passe).

II USINAGE DE LA PARTIE EMPREINTE

Le dessin de la matrice d'emboutissage est issu d'un système de conception assistée par ordinateur qui a modélisé la peau de l'empreinte par une surface paramétrique à coefficients vectoriels de type NURBS (surface B-spline rationnelle non uniforme). Ces surfaces sont d'une manière générale définies sous la forme :

$$S(u, v) = \begin{cases} X(u, v) \\ Y(u, v) \\ Z(u, v) \end{cases}$$

$X(u, v)$, $Y(u, v)$ et $Z(u, v)$ sont trois équations indépendantes de type NURBS avec $u \in [u_{\min}, u_{\max}]$ et $v \in [v_{\min}, v_{\max}]$. Pour tout couple (u, v) appartenant à l'espace paramétrique, il existe un point unique de la surface dans R^3 . Ces surfaces sont appelées plus couramment surfaces gauches.

Travail à réaliser sur feuille de copie

II-1 : Pour les trois géométries d'outils (fraises deux tailles, à bout hémisphérique, à bout torique), donner les avantages et les inconvénients dans l'utilisation de ces outils pour l'usinage de surfaces gauches. Vous les analyserez dans le cadre de l'ébauche et de la finition.

II-2 : L'outil choisi pour réaliser l'ébauche de l'empreinte est une fraise deux tailles. Les diverses passes se font par plans parallèles entre eux et perpendiculaires à l'axe Z défini sur le **document III.B.2**. L'usinage en ébauche se fait en laissant une surépaisseur minimale de 0.5 mm par rapport à la surface nominale. La quantité de matière laissée entre deux passes successives s'appelle hauteur de crête et est notée h.

Donner le diamètre maximum de l'outil en le justifiant.

II-3 : Calculer le pas (distance entre deux passes successives) dans la zone 2 (**Document III.B.3a**) en fonction de l'angle α et de la hauteur de crête h .

II-4 : Calculer le temps d'usinage d'une passe et de l'ensemble de la zone 2 en prenant $\alpha = 63^\circ$, $h=0.5$ mm, $V_c=100$ m/min, et $f=0.2$ mm/dent pour une fraise de diamètre 30 en carbure monobloc à quatre dents. On suppose que la zone 1 est parfaitement réalisée.

II-5 : Calculer le pas dans les zones 1 et 3 en fonction de α , de la hauteur de crête h et des rayons de courbure ρ_1 (ρ_1) et ρ_2 (ρ_2) (**Document III.B.3a**).

II-6 : L'usinage en finition se fait par un outil hémisphérique suivant des plans parallèles entre eux et perpendiculaires à l'axe X (**Document III.B.3b**). Choisir le diamètre maximum de l'outil en le justifiant.

II-7 : Calculer le pas dans la zone 4 en fonction du rayon de l'outil R et de la hauteur de crête (**Document III.B.3b**).

II-8 : Calculer le pas dans la zone 2 en fonction du rayon de l'outil R , de l'angle α et de la hauteur de crête h . Mettre en évidence les deux cas de calcul du pas pouvant se produire dans la zone 2. Calculer la condition limite entre ces deux cas. Dans quel cas se trouve-t-on pour $h=0.1$, $R=5$.

II-9 : Calculer le pas dans les zones 1 et 3 en fonction du rayon de l'outil R , des rayons de courbure ρ_1 et ρ_2 et de la hauteur de crête h .

II-10 : La programmation de la pièce se fait sans assistance informatique. Pour définir le positionnement de l'outil en un point donné de la pièce il est nécessaire de donner les coordonnées dans le repère de programmation du point « centre-outil ». Ce point est situé sur l'axe à l'extrémité basse de l'outil quelle que soit la géométrie de l'outil. Donner la relation (pour les trois géométries d'outil) permettant de situer le point « centre-outil » P_∞ en un point donné P_0 de la surface de telle sorte que l'outil soit tangent à la surface en P_0 (**Document III.B.3b**).

II-11 : Le déplacement de l'outil se fait suivant des trajectoires composées de segments de droite. D'un point de vue géométrique, calculer dans chacune des zones le nombre de points nécessaires pour rester dans la tolérance de forme avec une fraise 2 tailles et une fraise sphérique. Comparer et conclure.

II-12 : L'usinage de cette matrice se fait suivant des courbes isoparamétriques. Les points de contact entre l'outil et la pièce sont sur des courbes isoparamétriques en u (le paramètre u est fixé, le paramètre v varie sur son domaine de définition). Le nombre de points décrivant le balayage de la surface doit être limité. Le calcul du passage d'un point pièce $P(u_0, v_0)$ au point suivant $P(u_0, v_1)$ se fait en faisant varier le paramètre v . Calculer le paramètre v_1 à partir de v_0 en posant les hypothèses nécessaires.

Tournez la page S.V.P.

III ACTIONS MÉCANIQUES ET PARAMÈTRES DE COUPE

Travail à réaliser sur feuille de copie

III-1 : Dans les différentes zones 2 et 4, déterminer la zone angulaire de l'outil en coupe pour un outil hémisphérique donné en fonction de la surépaisseur d'usinage (**Document III.B.4a**). Étudier selon le sens d'usinage (montée et descente pour la zone 2). Faire l'application numérique à partir des données numériques données sur le **document III.B.5**.

III-2 : En déduire pour une vitesse de coupe maxi imposée, les vitesses de coupe dans les zones 2 et 4. Conclure sur le sens d'usinage.

III-3 : En un point donné d'une arête, déterminer la normale à la fraise dans la partie hémisphérique en fonction des angles κ et ψ définis sur le **document III.B.4b**.

III-4 : Soit V_f le vecteur d'avance instantanée, défini dans le repère pièce par (A_x, A_y, A_z) mm/tr, calculer l'épaisseur du copeau E_c en un point donné d'une arête.

III-5 : Calculer l'épaisseur moyenne du copeau en fonction de la profondeur de passe pour un usinage dans le sens transversal dans la zone 2 en montée et dans la zone 4.

III-6 : Calculer les actions mécaniques de la pièce sur l'outil dans la zone 2 en montée et dans la zone 4. L'axe de l'outil se déplace dans le plan P1. Les actions mécaniques sont modélisées sur le **document III.B.5**.

III-7 : Modéliser la déformée de l'outil, induite par les actions mécaniques. Déterminer les flèches dans les zones 2 et 4 en fonction des actions mécaniques et de l'angle α .

III-8 : Conclure quant à la tolérance de forme imposée et proposer des solutions correctives.

IV ELECTRO-EROSION

Travail à réaliser sur feuille de copie

IV-1 : Décrire les phénomènes intervenant dans l'usinage par électroérosion par enfonçage. Définir le rôle des différents paramètres (amplitude du courant de décharge, tension de travail, durée d'impulsion, durée de repos, polarité de l'électrode par rapport à la pièce) et caractériser leur influence sur le débit d'usinage et la rugosité.

IV-2 : Quels sont les matériaux utilisés pour les électrodes. Décrire les propriétés recherchées.

IV-3 : En déduire les domaines d'application de l'usinage par électroérosion par enfonçage.

IV-4 : L'usinage se fait par deux électrodes d'ébauche et de finition. Faire un schéma montrant les positions des électrodes d'ébauche et de finition suivant une direction d'avance perpendiculaire à la surface considérée. Les cratères obtenus par l'usinage par électroérosion seront assimilés à de la rugosité maximale.

IV-5 : A partir du tableau du **document III.B.6**, choisir la valeur du courant de décharge dans le cadre de l'ébauche. Dimensionner les électrodes d'ébauche et de finition à partir du tableau du **document III.B.6**. Entre la surface obtenue en ébauche et la position de l'électrode de finition prendre $3xRt_e$. Rt_e correspond à la rugosité maximale obtenue en ébauche.

V : METROLOGIE DE L'OUTILLAGE

Expliciter clairement et sans aucune ambiguïté (au sens des normes) pour les spécifications notées ci dessous ce que représente :

- les entités assujetties à la spécification concernée,
- la définition des éléments constituant le ou les systèmes de référence à partir des éléments réels,
- la zone de tolérance.

Pour chaque spécification, faire un dessin **clair**.

Travail à réaliser sur feuille de copie

V-1 : $2 \times \varnothing 9$

\oplus	$\varnothing 0.2$	D	B-C	B
----------	-------------------	---	-----	---

V-2 : $2 \times \varnothing 8G6$

\oplus	$\varnothing 0.05$	D
----------	--------------------	---

V-3 :

\triangle	0.2	A	P1	P2
\triangle	0.05			

On dispose d'une machine à mesurer tridimensionnelle équipée d'un palpeur à déclenchement. La machine est dotée d'un logiciel de traitement possédant toutes les fonctions classiques de palpation, de construction, de calcul d'angle et de distance.

Le calcul d'association d'une entité géométrique parfaite par rapport à un nuage de points est fait par le critère de Gauss.

Tournez la page S.V.P.

V-4 : Décrire la gamme de mesurage permettant de contrôler
Vous analyserez les écarts par rapport à la norme.

2 x Ø9

\oplus	Ø0.2	D	B-C	B
----------	------	---	-----	---

V-5 : En posant des hypothèses simplificatrices décrire la gamme de mesurage permettant

de contrôler

2 x Ø8G6

\oplus	Ø0.05	D
----------	-------	---

V-6 : Comment déterminer la validité du résultat ?

V-7 : Quelles sont les informations nécessaires pour effectuer le contrôle de la spécification de forme de l'empreinte sur machine à mesurer tridimensionnelle ?

V-8 : Comment vérifier la conformité de la partie empreinte à partir de ces informations ?

DOSSIER III.B

DONNEES TECHNIQUES

Document III.B.1 – Dessin de définition de la matrice

Document III.B.2 – Repérage des surfaces

Document III.B.3 – Rayons de courbure et hauteur de crête

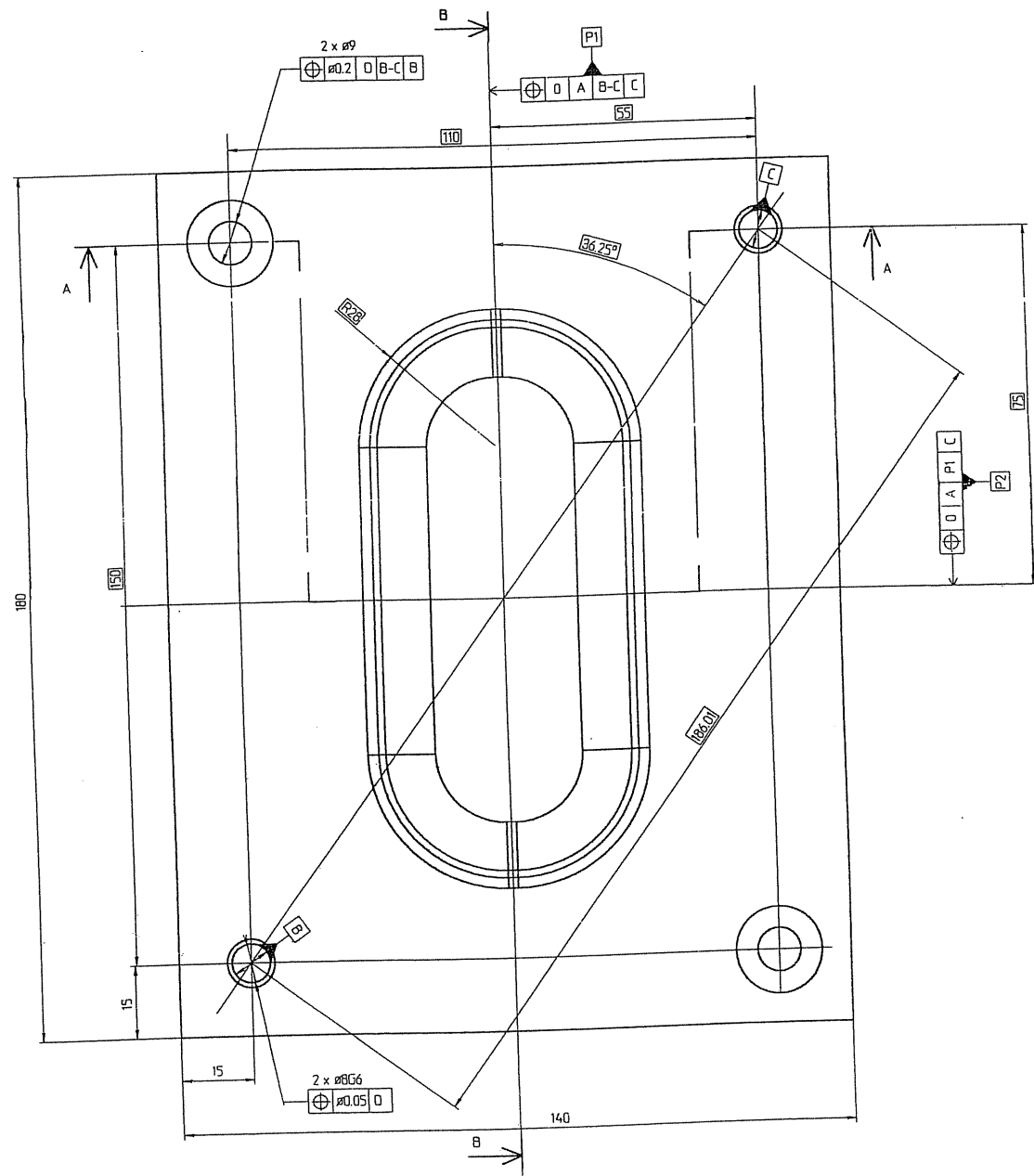
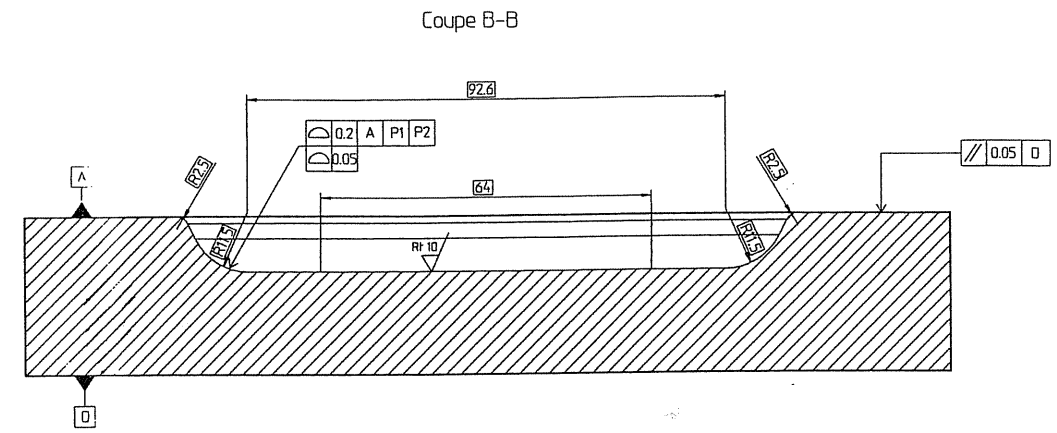
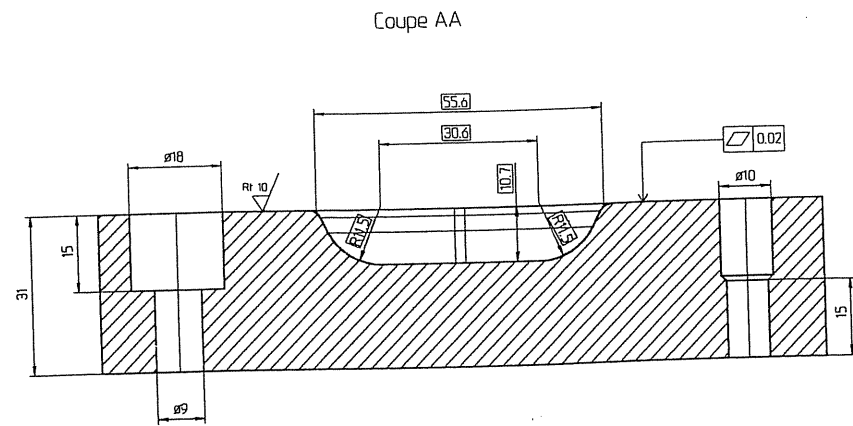
Document III.B.4 – Surépaisseur et repérage angulaire

Document III.B.5 – Modèles d'actions mécaniques en fraisage

Document III.B.6 – Paramètres électriques en électroérosion

Document III.B.7 – Machines et outillages

Tournez la page S.V.P.

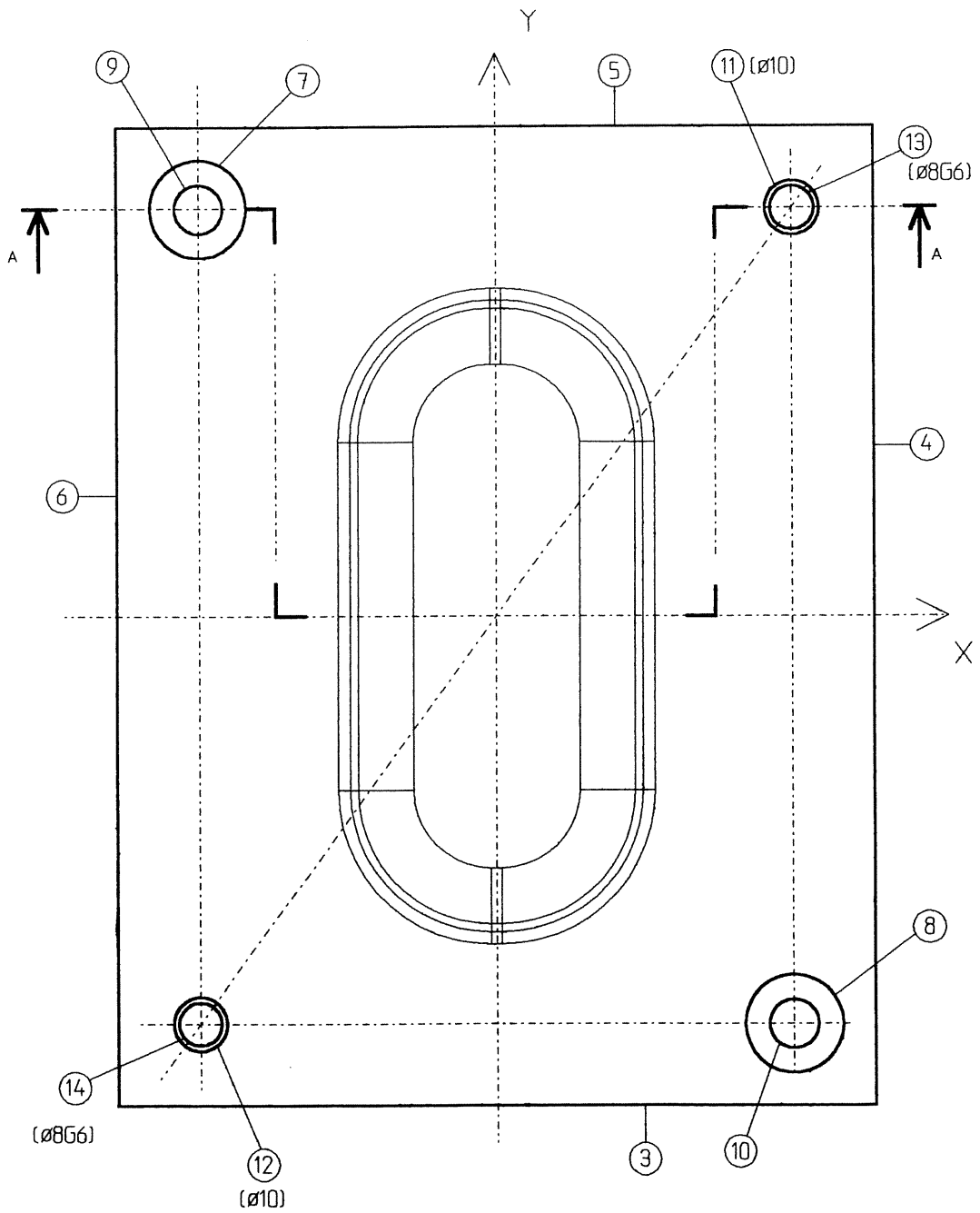
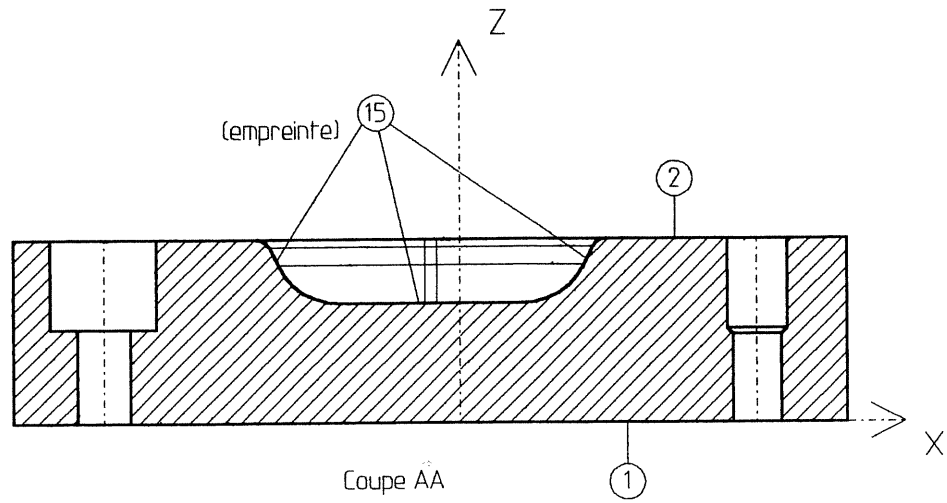


DOCUMENT III.B.1

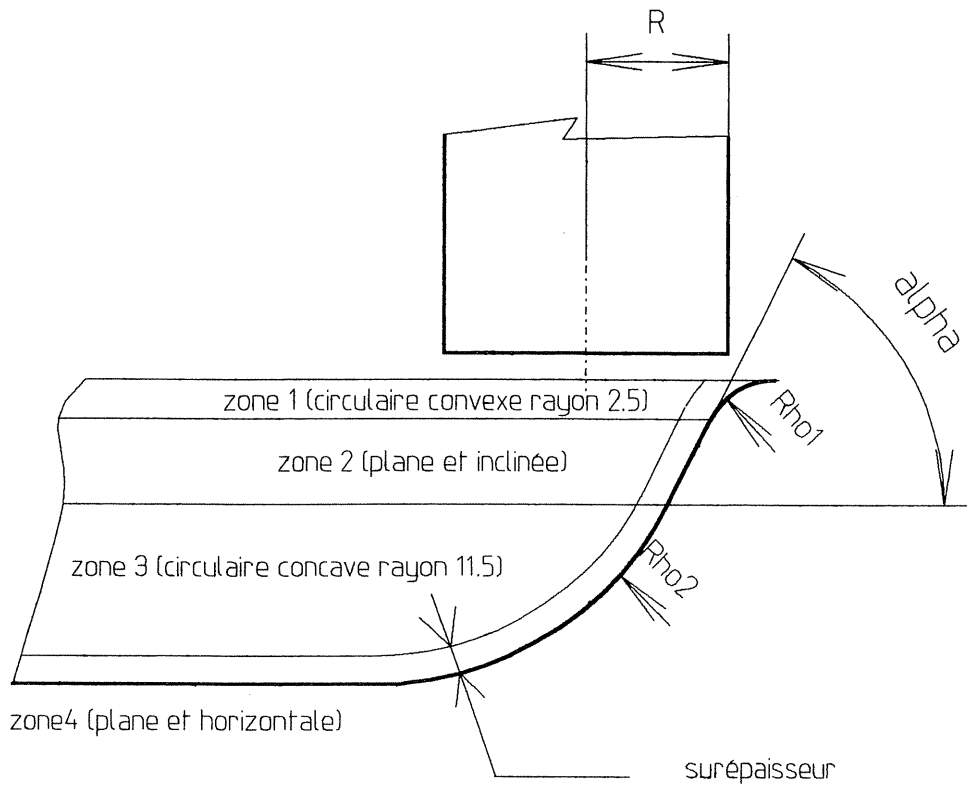
Rugosité générale $\sqrt{Ra 1.6 / (Rt 10)}$
 Tolérancement ISO 8015
 Tolérances générales ISO 2768 mK

1	matrice empreinte	Z160CDV12
Rep.	Désignation	Matière
EQUERRE		AGREGATION DE GENIE MECANIQUE
87.0.1	J. 4463-Eb 1	
A2	Dessiné par : AGM	Le 6/6/2000

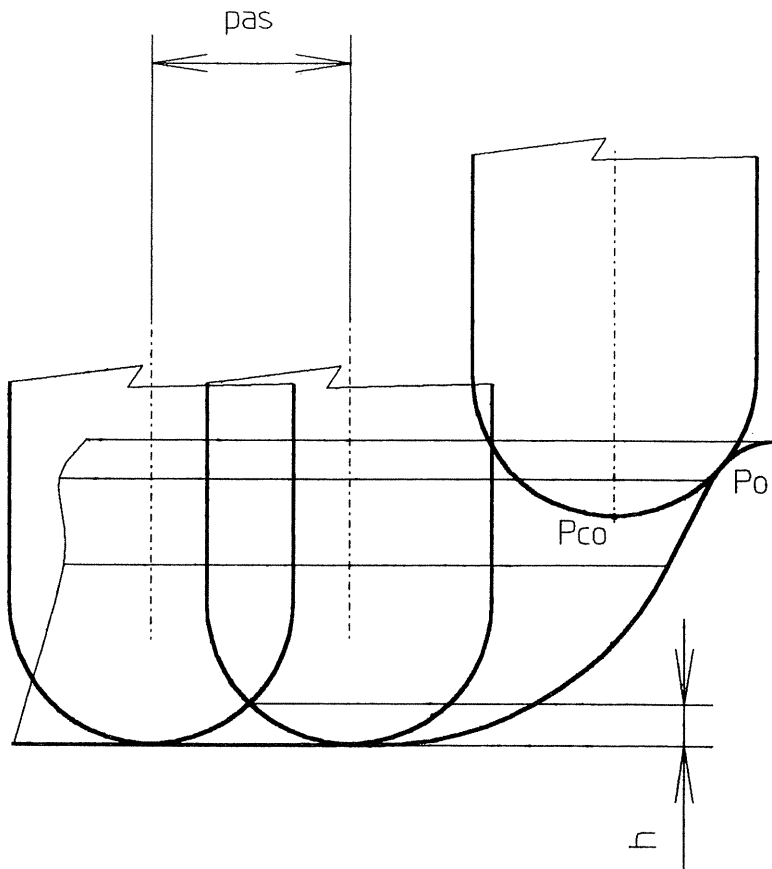
DOCUMENT III.B.2 : Repérage de surfaces



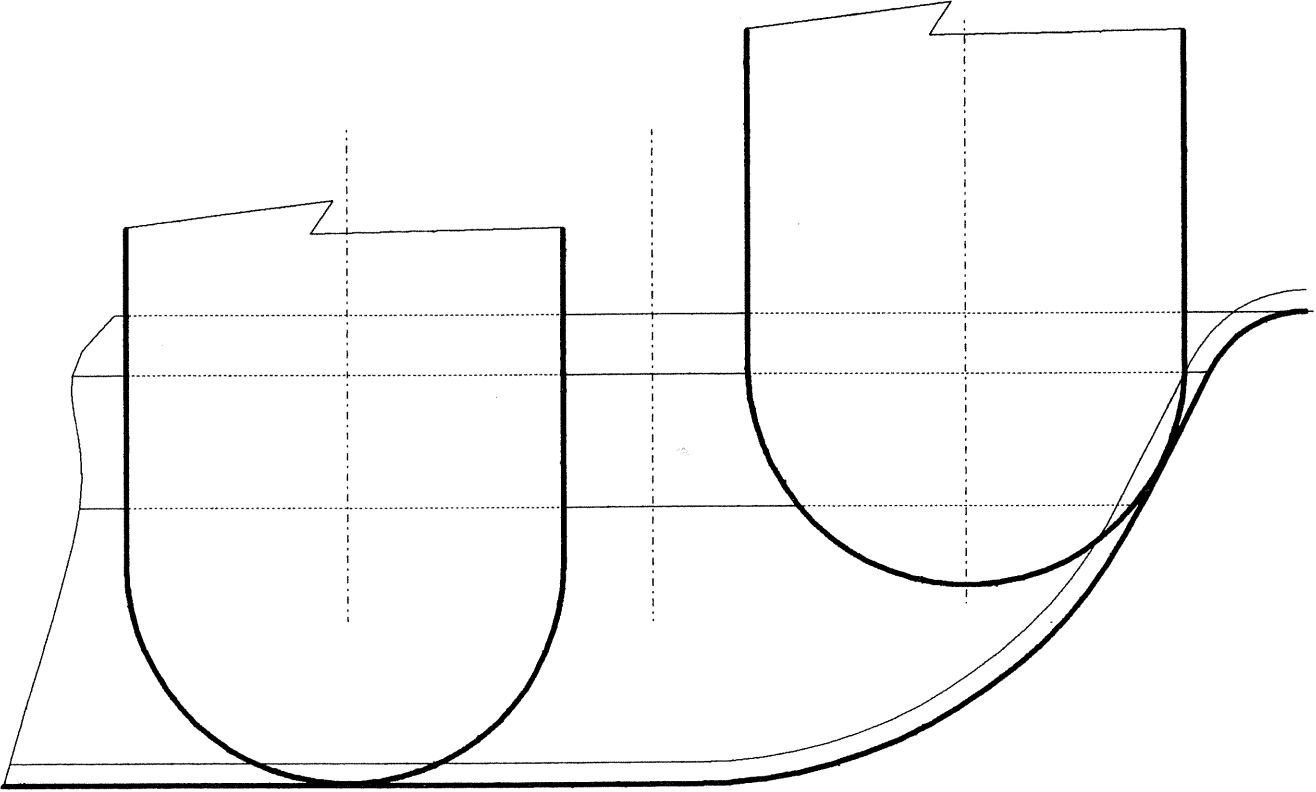
DOCUMENT III.B.3a



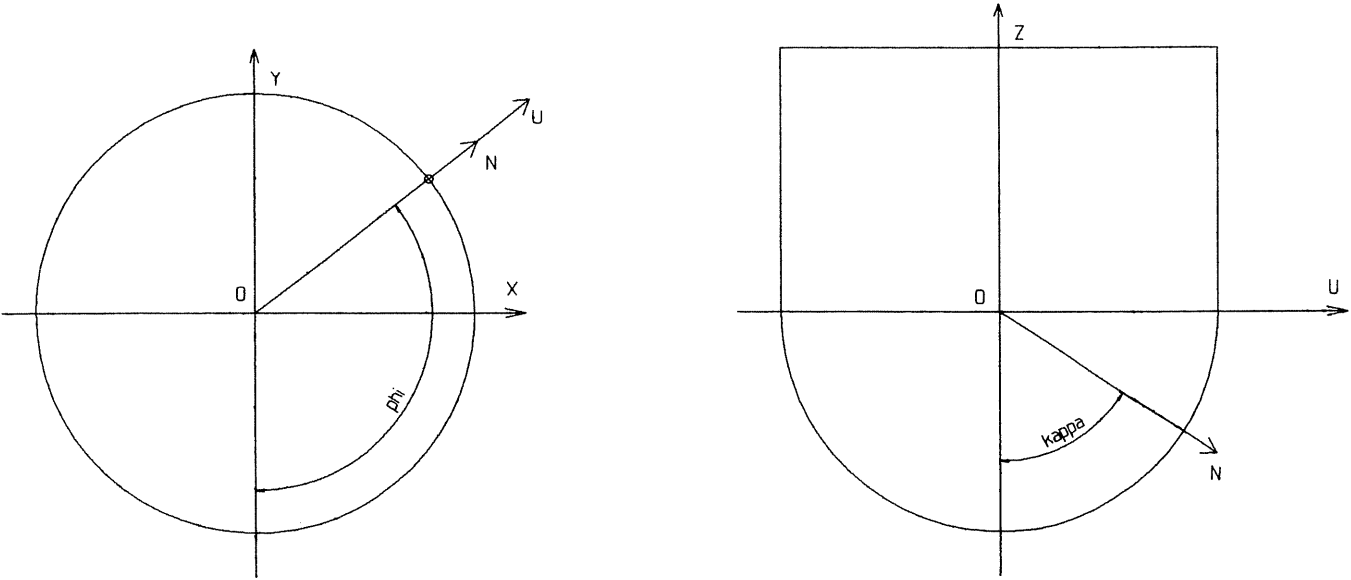
DOCUMENT III.B.3b



Tournez la page S.V.P.



DOCUMENT III.B.4b



DOCUMENT III.B.5

MODÈLES D'ACTIONS MÉCANIQUES EN FRAISAGE

F_c : force de coupe s'appliquant sur l'outil,

F_f : force d'avance s'appliquant sur l'outil,

F_p : force de pénétration s'appliquant sur l'outil,

E_c : épaisseur du copeau suivant la normale au point considéré,

E_{cmoy} : épaisseur du copeau suivant la normale au point considéré,

Kc_1 : force de coupe par unité de surface pour une épaisseur de copeau égale à 1,

Z : nombre de dents en prise dans la matière,

R : rayon de la fraise hémisphérique,

a_p : profondeur de passe.

$$F_c = Z \cdot Kc \cdot E_{cmoy} \cdot a_p$$

$$Kc = Kc_1 (E_{cmoy})^{-0.25}$$

$$F_f = 0.5 F_c$$

$$F_p = \left(\frac{0.65}{\left(\frac{a_p}{R} \right)^{0.3}} \right) F_c$$

Valeurs numériques :

- $a_p = 0.5$,
- fraise diamètre = 10 , 4 dents,
- $V_{c_{max}} = 150 \text{ m/min}$,
- $f_z = 0.08 \text{ mm/dt}$,
- Longueur de la fraise en dehors de la pince = 40 mm,
- Module d'Young de l'outil = 200000 Mpa,
- $Kc_1 = 2000 \text{ Mpa}$

Tournez la page S.V.P.

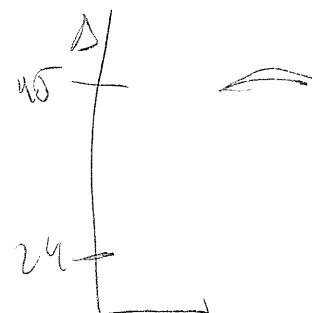
DOCUMENT III.B.6 : Paramètres électriques en électroérosion

Rugosité maximale (μm)	Courant de décharge (A)	Sous mesures = GAP (mm)
140	120	0.4
120	100	0.37
110	90	0.34
90	76	0.3
82	59	0.24
72	35	0.11
68	33	0.1
48	25	0.08
44	18	0.07
36	12	0.065
33	9	0.06
26	7.5	0.055
19	6	0.05
16	5	0.045
14	4	0.04
12	3	0.035
10	1.5	0.03
8	1	0.025
6	0.5	0.02

Rugosité et gap obtenus en fonction d'un couple pièce électrode imposé

Surface projetée de travail (cm^2)	Courant de décharge (A)	
	Débit maximal	Usure minimale
3	16	
6	31	
8	40	
10	45	
20	68	
30	77	
60	90	16
100	95	24
200	102	34
600	109	45
1000	110	48

Courant de décharge en ébauche et finition



DOCUMENT III.B.7

MACHINES DISPONIBLES :

Machines conventionnelles :

- Tours parallèles
- Fraiseuses universelles
- Perceuses à colonne

Machines à commande numérique :

- Tours 2 axes
- Centres d'usinage 3 axes

OUTILS ROTATIFS DISPONIBLES :

- fraises à surfacer, à surfacer-dresser, à lamer, à chanfreiner, fraises-disques, ... (ARS et plaquettes carbure),
- fraises à rainurer 2 tailles, sphériques,
- Forets carbure (longueur de coupe jusqu'à 5 fois le diamètre). Qualité maximale obtenue : 9.
- Alésoirs machine (longueur de coupe jusqu'à 3 fois le diamètre). Qualité maximale obtenue : 7.
- Têtes d'alésage micrométrique (longueur de coupe jusqu'à 2 fois le diamètre). Qualité maximale obtenue : 6.

DOSSIER III.C

DOCUMENTS - REPONSES

Document III.C.1 – Spécifications et opérations

Document III.C.2 – Contrats de phase

Tournez la page S.V.P.

PHASE N :	CONTRAT DE PHASE	
	Elément :	Matière :
Machine Outil :		
Désignation des opérations	Outils	

PHASE N :	CONTRAT DE PHASE	
	Elément :	Matière :
Machine Outil :		
Désignation des opérations	Outils	

PHASE N :	CONTRAT DE PHASE	
	Elément :	Matière :
Machine Outil :		
Désignation des opérations	Outils	

PHASE N :	CONTRAT DE PHASE	
	Elément :	Matière :
Machine Outil :		
Désignation des opérations	Outils	