

**Brevet de Technicien Supérieur**  
**en**  
**Mise en Forme des Matériaux par Forgeage**

---

Session 2012

---

**Epreuve E 4**  
**Etude des Systèmes d'outillage**

-----  
**Sous épreuve U 4.1**  
**Comportement mécanique d'une machine et de son outillage**

---

Temps alloué : 2H00

Coefficient : 1

---

DOCUMENTS REMIS AU CANDIDAT :

- Sujet de l'épreuve (pages 2 à 4).
- ANNEXE 1 : Plan de la pièce « **Branche de tenaille de forge** » (format A3)
- ANNEXE 2 : Courbes résultats des simulations (page 5).
- ANNEXE 3 : Extrait d'une base de données matériaux (page 6).
- ANNEXE 4 : Tableaux et graphiques 1 à 7 de la démarche de 'Calcul d'engin' (pages 7 à 12).

DOCUMENTS DISPONIBLES :

- Copies de rédaction
- Feuilles préimprimées de « Calcul prévisionnel de l'effort et de l'énergie »
- Feuilles de brouillon

DOCUMENTS PERSONNELS AUTORISES :

- Tous

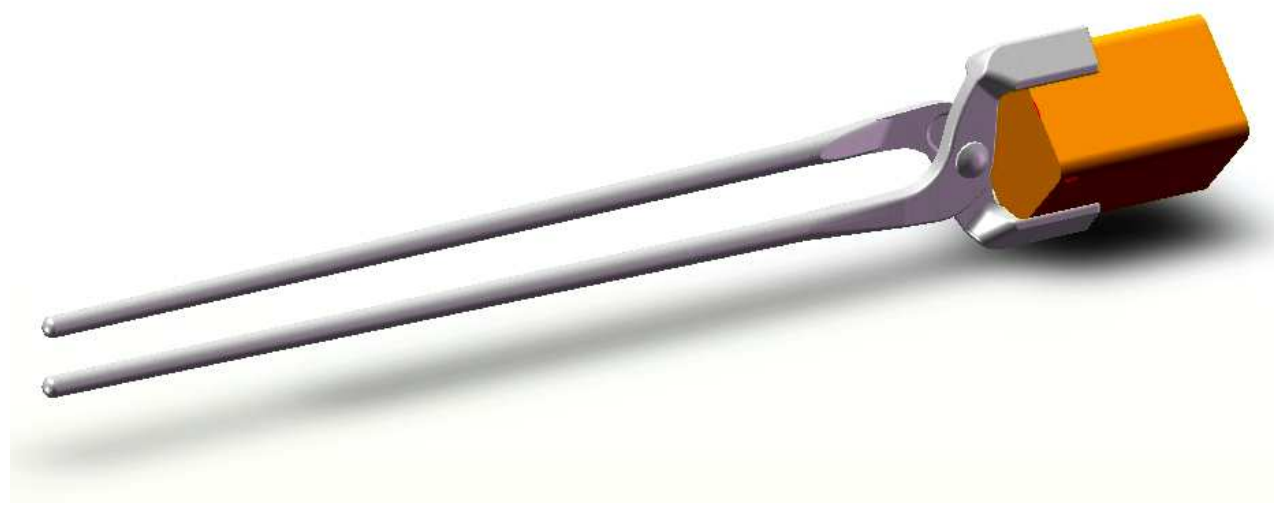
## Estampage d'une « Branche de tenaille de forge » sur le marteau pilon « Montbard LG 1000 »

### Objectifs

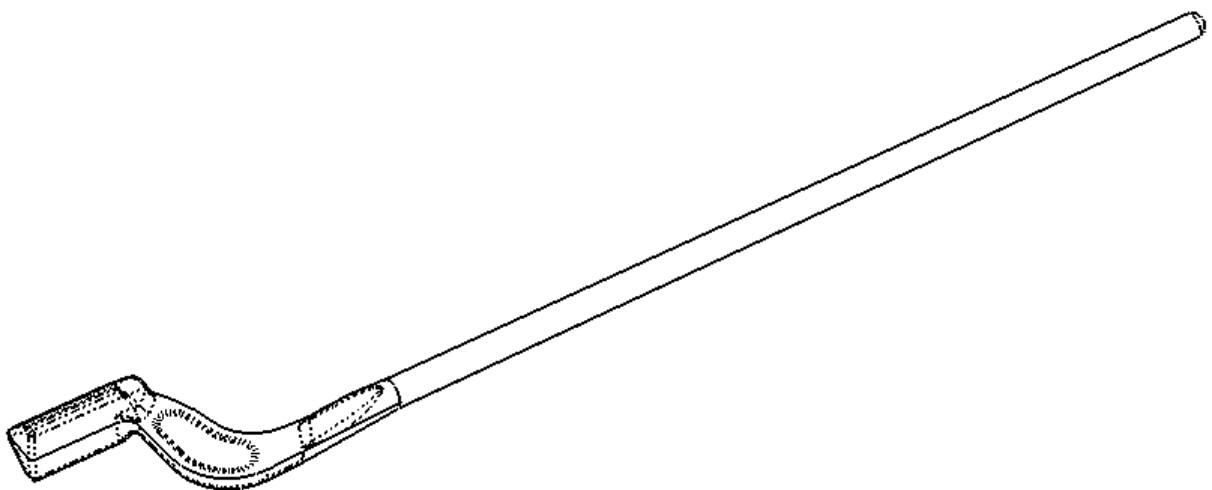
Vérifier la faisabilité mécanique des opérations de forgeage de la pièce nommée « **Branche de tenaille de forge** » sur le marteau pilon « **Montbard LG 1000** ».

### Dossier technique

La tenaille sera utilisée pour exécuter des étirages en forge libre sur des billettes de fortes dimensions (carré de 100 à 150 mm).

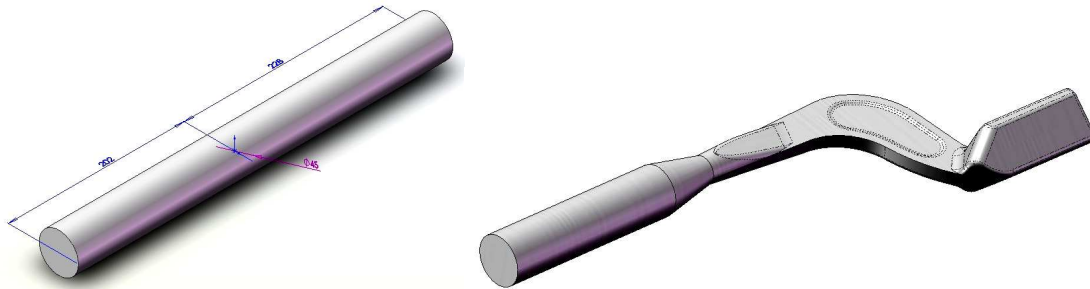


La masse de la « **Branche de tenaille de forge** » avoisine les 5 kilogrammes avant usinage de la mâchoire et perçage de l'œil.



Le volume du lopin est décomposable en deux parties :

- La partie laminée et estampée (bout de branche + œil + mâchoire)
  - Volume réservé :  $\varnothing 45$  , L 228
- La partie étirée en forge libre (branche)
  - Volume réservé :  $\varnothing 45$  , L 200



La pièce dont le dessin de définition est donné en ANNEXE (Plan à l'échelle 1 : 1 sur format A3) doit être fabriquée suivant la gamme :

- Débit du lopin ( $\varnothing 45$ , L 430) par sciage.
- Chauffage à 1250°C par induction sur chauffeuse CELES.
- Laminage de l'ébauche sur laminoir à retour « EUMUCO RW0 »
- Cambrage et estampage sur marteau pilon « Montbard LG 1000 ».
- Ebavurage sur presse BLISS.
- Au besoin, réchauffage partiel au four à gaz.
- Etirage en forge libre de la branche.

*La surface au plan de joint de la partie de la pièce estampée est de 15 000 mm<sup>2</sup> environ.*

*Le volume de la partie de la pièce estampée est de 328 cm<sup>3</sup> environ.*

➤ Le marteau pilon « Montbard LG 1000 »

Les données techniques utiles de ce marteau pilon à chute libre se résument comme suit :

- Masse tombante : 1000 kg + 200 kg de matrice supérieure
- Hauteur de chute maximale en production : 1,7 m.

## Travail demandé

### 1- Déterminer la force ultime de forgeage et l'énergie utile de forgeage de la pièce « Branche de tenaille de forge ».

Pour cette première approche, utiliser exclusivement la méthode de calcul d'engin proposée par André CHAMOUARD.

Pour ce calcul, considérer la température de la pièce en fin d'estampage proche de 1050°C. Le lopin est chauffé à 1250°C.

N. B. : Le document « Calcul prévisionnel de l'effort et de l'énergie » sera complété des calculs et de la justification des choix opérés sur feuille de copie.

### 2- Exploiter les résultats de la simulation

Des simulations du cambrage et de l'estampage ont été lancées.

Le matériau utilisé pour la simulation est le 34CrMo4 (ANNEXE 2).

Pour tenir compte des refroidissements au cours des différentes opérations de forgeage, le cambrage a été simulé avec une température initiale de 1150°C pour l'ébauche et l'estampage a été simulé avec une température de 1120°C pour la pièce cambré.

Dans les deux cas, la cinématique utilisée est celle d'une presse mécanique :

- Vitesse de rotation : 60 tr/min
- Rapport R/L : 0,15
- Rayon d'excentrique : 150 mm.

A partir des courbes d'effort, résultats des simulations, déterminer les valeurs d'effort et d'énergie utile nécessaires sur le marteau pilon.

Différencier le cambrage et l'estampage.

### 3- Comparer les besoins avec les capacités du marteau pilon, puis conclure.

Au besoin, les calculs nécessaires seront correctement présentés et expliqués.

---

Barème :

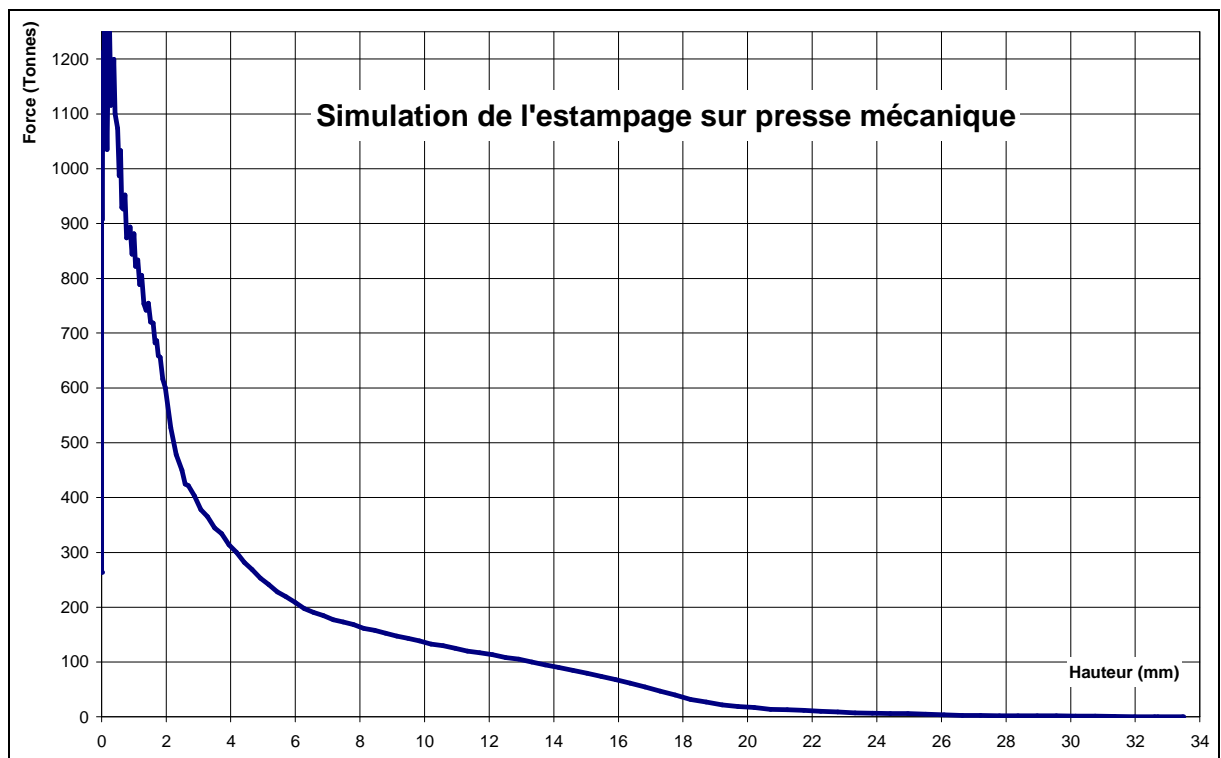
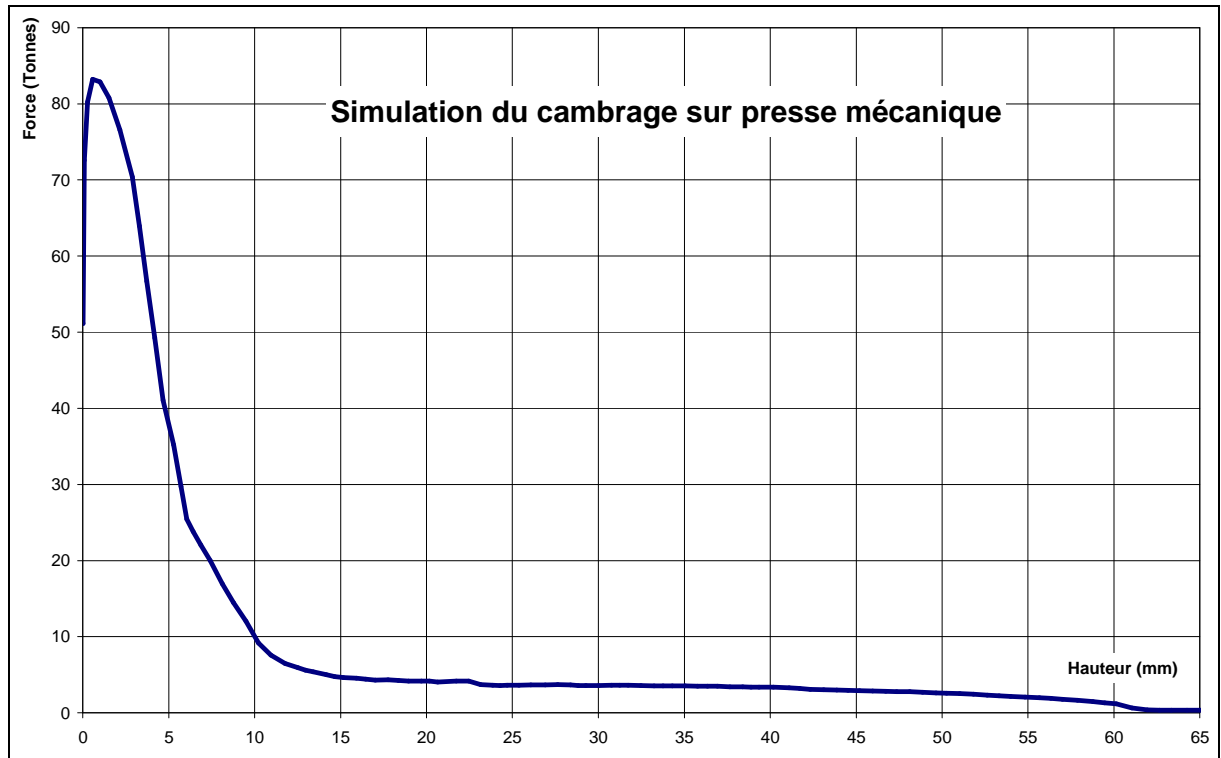
1 – noté sur 10

2 – noté sur 5

3 – noté sur 5

ANNEXE 2

Courbes résultats des simulations



## ANNEXE 3

## Extrait d'une base de données matériaux

Dans une base de données de métaux forgés on trouve les coefficients de la loi de

comportement suivante  $\sigma = A.e^{m_1.T} . \bar{\epsilon}^{m_2} . \dot{\epsilon}^{m_3} . e^{m_4/\dot{\epsilon}}$  pour les nuances suivantes :

→ 34CrMo4

→ C35.

Dans cette loi de comportement les paramètres sont exprimés dans les unités suivantes :

$$\sigma \text{ en MPa ; } T \text{ en } ^\circ\text{C} ; \bar{\epsilon} \text{ en m/m ; } \dot{\epsilon} \text{ en (m/m)/s.}$$

Les valeurs des coefficients dans ce système d'unité sont données dans le tableau suivant :

	A	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$
34CrMo4	1533	-0,00269	-0,142	0,148	-0,0576
C35	1500	-0.00269	-0.127	0.145	-0.0596

Le domaine de validité de ces deux modèles est le même :

$$750 \text{ } ^\circ\text{C} < T < 1200 \text{ } ^\circ\text{C} ; 0.04 \text{ m/m} < \bar{\epsilon} < 1.5 \text{ m/m} ; 0.01 \text{ (m/m)/s} < \dot{\epsilon} < 500 \text{ (m/m)/s}$$

Comparaison graphique établie pour

$$T = 1200^\circ\text{C} \text{ et } \dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$$



ANNEXE 4

**TABLEAU 1**

**Caractère de complexité (ou de simplicité) des gravures d'estampage**

CRITERES			Classification par les contraintes (en MPa ou N/mm <sup>2</sup> ) En fonction de ses deux critères : - filage par un orifice	CONTRAINTES EXERCÉES		
Par le filage <i>h/e</i>	Par l'acuité <i>r/L</i> ou <i>2r/D</i>	Frein ( $\epsilon \geq 1,5$ mm) <i>λ/ε</i>		Sur la pièce <i>p</i> à <i>1050°</i>	Sur le cordon <i>q</i> à <i>950°</i>	
1	0,036	3,75		Pièces extra simples (pas de filage)	475	270
	<b>0,035</b>	<b>4</b>			<b>490</b>	<b>280</b>
1,5	0,0335	4,25		Pièces simples (pas de filage)	500	285
	<b>0,032</b>	<b>4,5</b>			<b>520</b>	<b>290</b>
2	0,0315	4,75		Pièces semi simples (filage insignifiant)	540	300
	<b>0,029</b>	<b>5</b>			<b>560</b>	<b>310</b>
2,5	0,028	5,25		Pièces semi complexes (léger filage)	580	320
	<b>0,027</b>	<b>5,5</b>			<b>600</b>	<b>330</b>
3	0,026	5,75		Pièces complexes (filage important)	625	350
	<b>0,025</b>	<b>6</b>			<b>650</b>	<b>360</b>
3,5	0,023	6,25		Pièces très complexes (filage très important)	690	370
	<b>0,022</b>	<b>6,5</b>			<b>720</b>	<b>380</b>

Largeur ou diamètre (en mm)	Valeurs de λ en mm
20	5
50	6
80	7
110	8
140	9
170	10
200	11
240	12
270	13
300	14
330	15
360	16
400	17

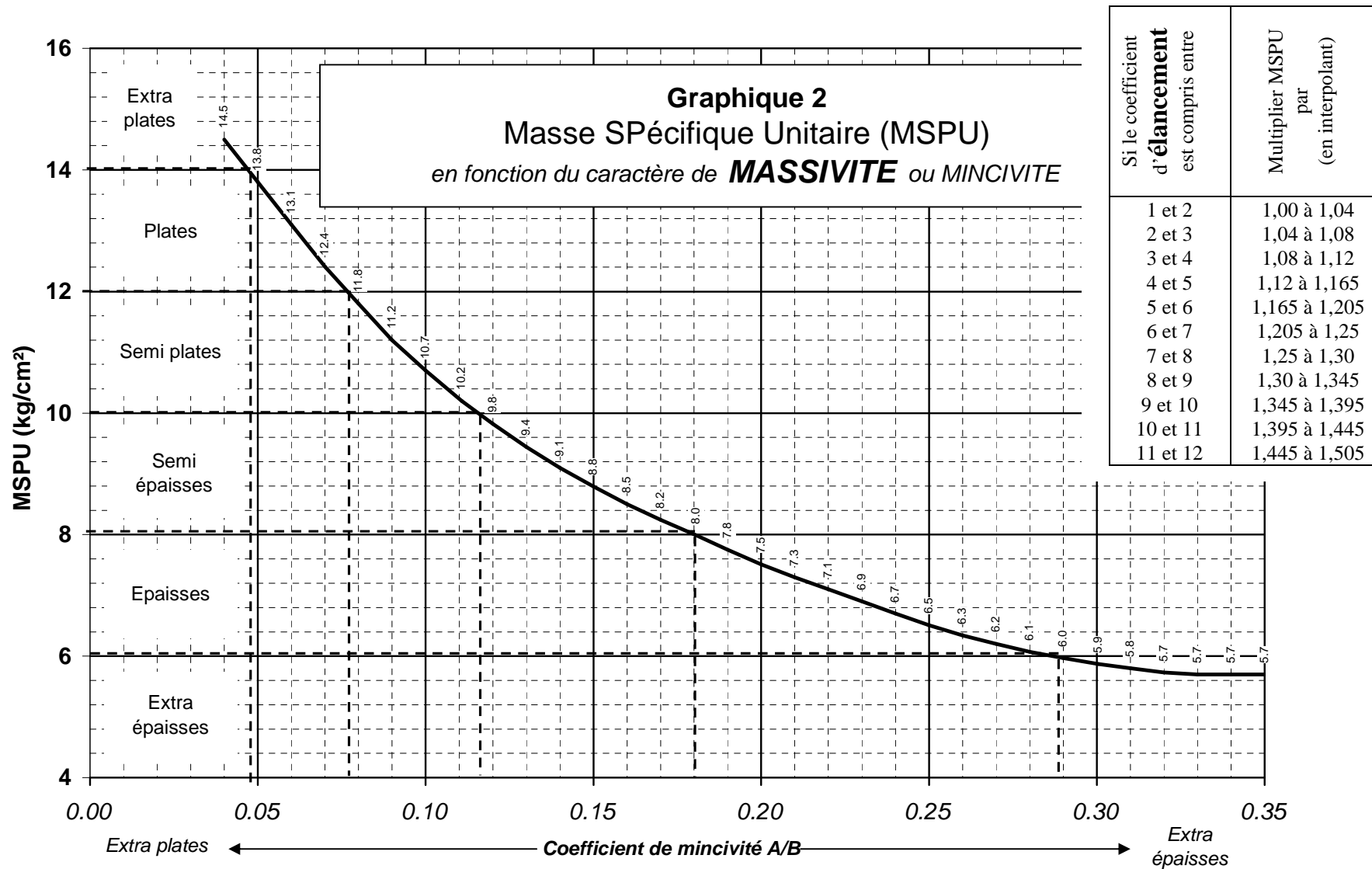


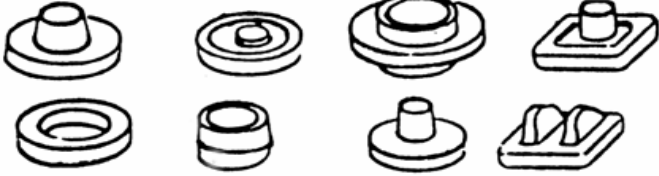






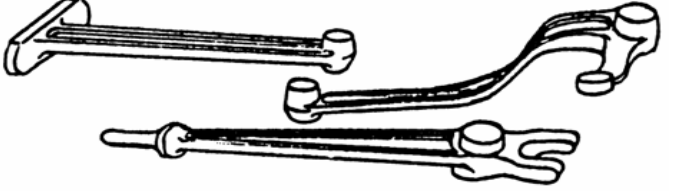



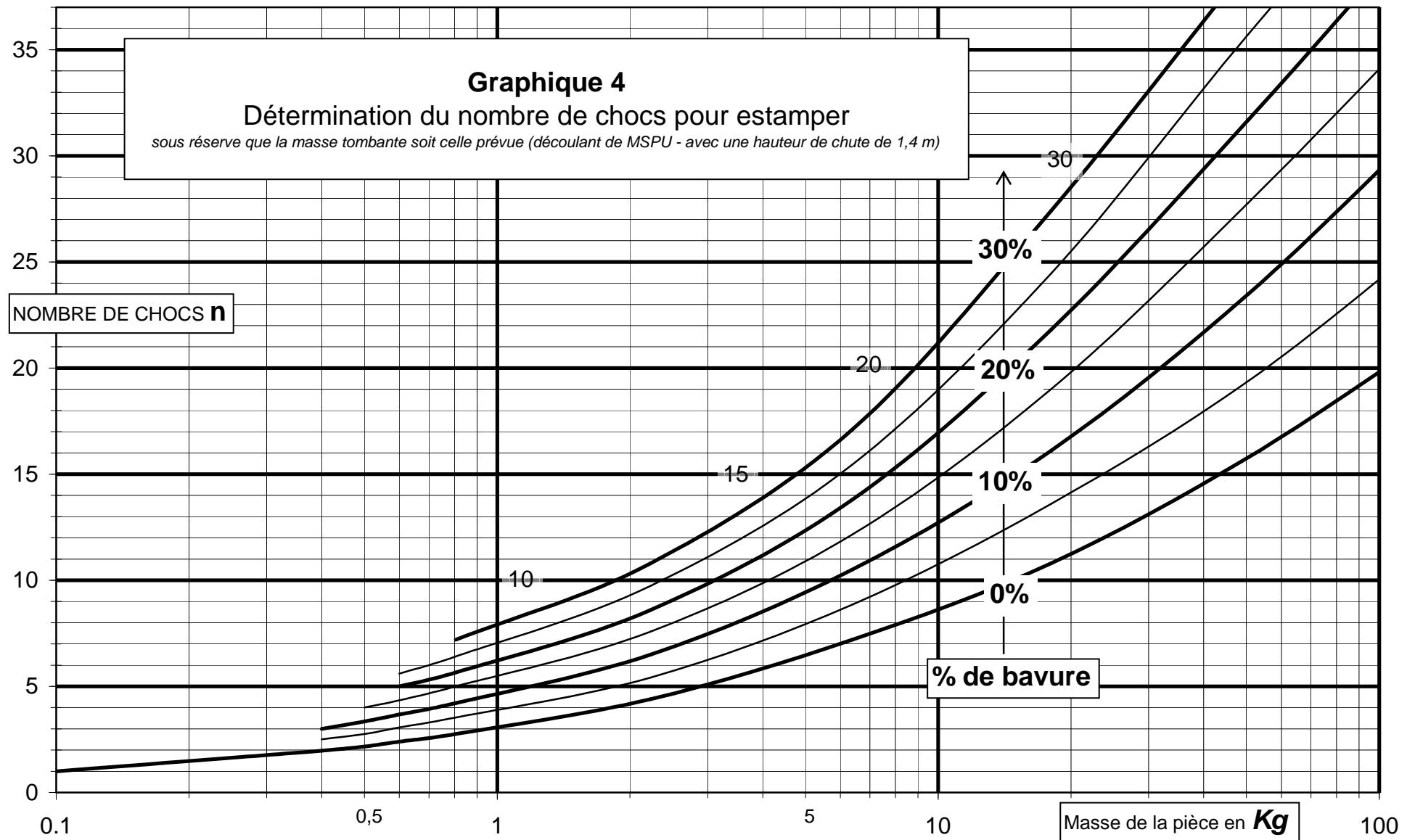
TABLEAU 3

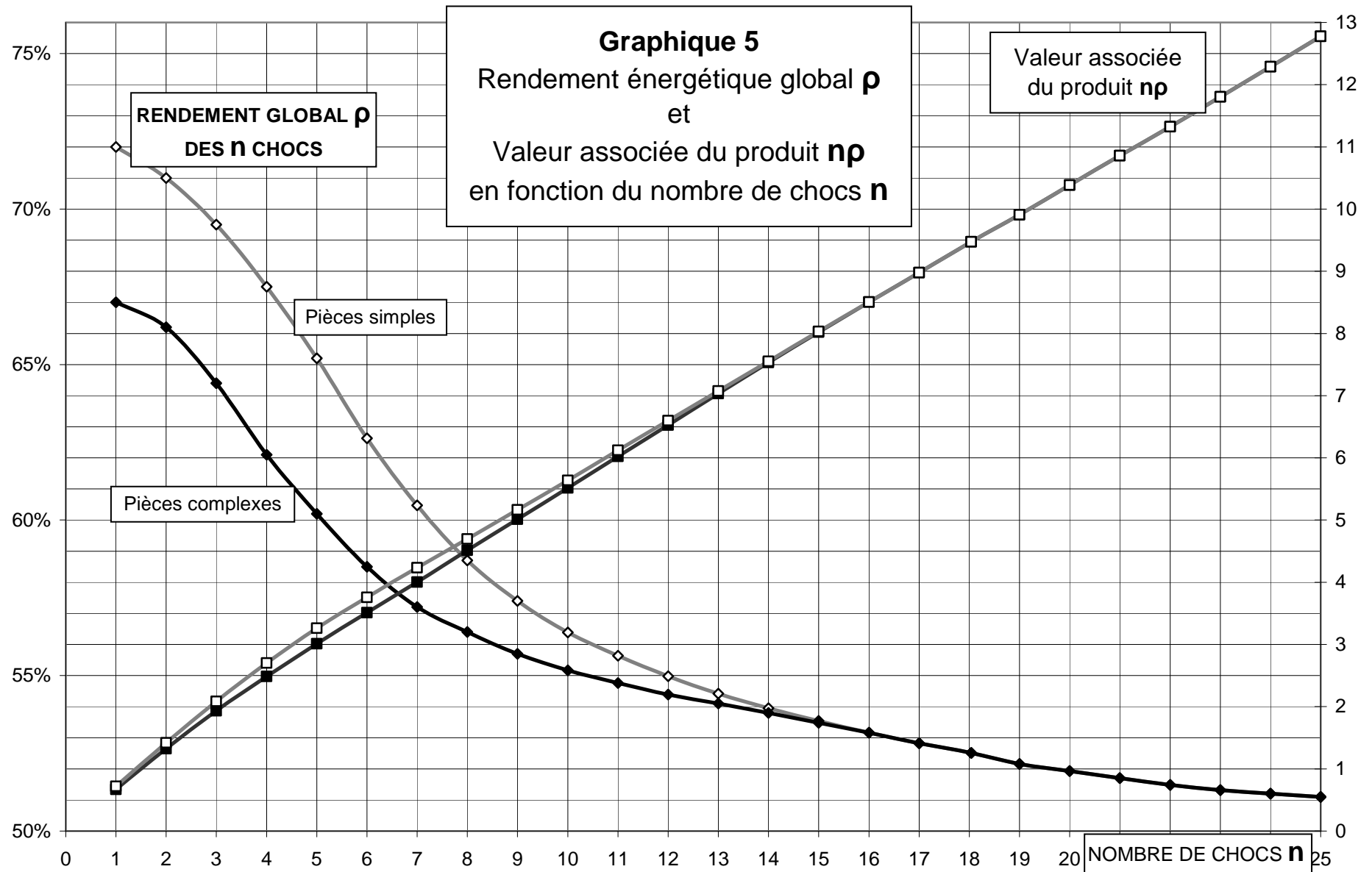
Ce tableau donne le % de bavure en vue de déterminer le nombre de chocs pour matricer une ébauche préfabriquée.  
 La tenue, quand elle est prévue, n'intervient pas dans ce % (elle ne modifie pas le nombre de chocs).  
*L'utilisation de ce tableau se fait qu'en l'absence d'étude précise de fabrication.*

**ATTENTION :** Le % de bavure indiqué ci dessous est celui de la bavure sans compter le cordon :  

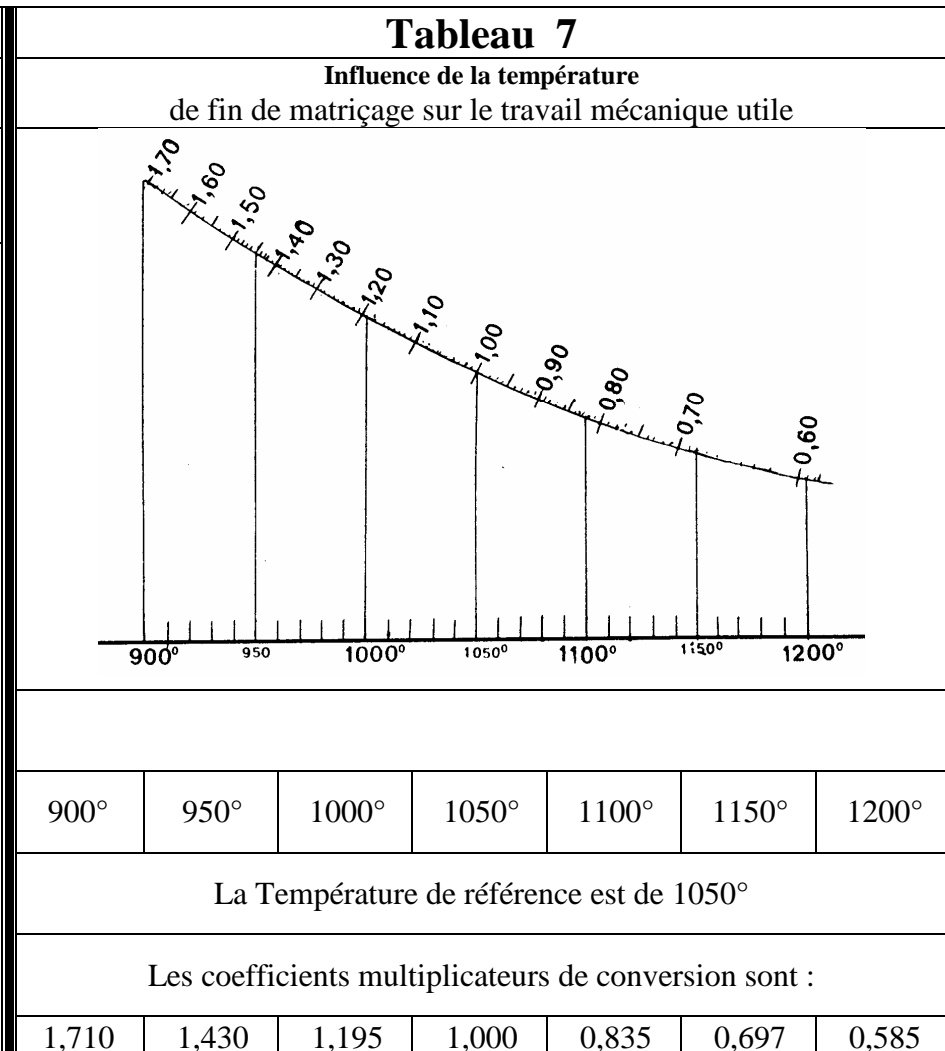
$$\% \text{ bavure} = (\text{Vol. bavure} / \text{Vol. pièce} + \text{toile} + \text{cordon}) \times 100$$

	5 à 8%		22 à 25%
	8 à 12%		25 à 30%
	12 à 15%		30 à 33%
	15 à 18%		33 à 37%
	19 à 22%		





<b>Tableau 6</b>			
<b>Influence de la vitesse sur le travail mécanique utile au matriçage</b>			
Engins	Vitesse m/s	Valeur du rapport travail utile / travail minimal	
Presse à vitesse négligeable	≈ 0	1,00	
Presse hydraulique très lente	< à 0,05	1,03	± 1 %
Presse hydraulique moins lente	< à 0,20	1,08	± 1 %
Vitesse Tg <sup>elle</sup> de l'excentrique	0,7 à 0,8	1,28	± 2 %
Maxipresse Vitesse Tg <sup>elle</sup> de l'excentrique	0,8 à 0,9	1,30	± 2 %
Vitesse Tg <sup>elle</sup> de l'excentrique	0,9 à 1,0	1,32	± 2 %
Vitesse Tg <sup>elle</sup> de l'excentrique	1,0 à 1,1	1,34	± 2 %
Presse à vis	Vitesse d'impact	0,8 à 0,9	1,36 ± 4 %
	Vitesse d'impact	0,9 à 1,0	1,39 ± 4 %
Mouton à chute libre ou Contre frappe ou Course réduite ou Double effet	Hauteur de chute 1,00	4,40	1,77 ± 4 %
	Hauteur de chute 1,20	4,85	1,92 ± 5 %
	Hauteur de chute 1,40	5,25	2,10 ± 5 %
	Hauteur de chute 1,70	5,75	2,39 ± 5 %
	Hauteur de chute 2,00	6,30	2,54 ± 6 %
	Hauteur de chute 2,20	6,55	2,72 ± 6 %
	Hauteur de chute 2,35	6,80	2,82 ± 6 %



Document à agraffer à la copie sous la zone d'anonymat

## Calcul prévisionnel de l'effort et de l'énergie

NOM de la pièce	Matière
Numéro repère	

Largeur maximale de la pièce		Largeur du cordon (lambda)	
	<i>mm</i>		<i>mm</i>

Rayon le plus petit (2xRayon/Largeur pièce)		Frein (Lambda/epsilon)	
Filage le + important (Hauteur/largeur)			

Remarque : epsilon > 1,5 mm

Epaisseur du cordon (epsilon)			
	<i>mm</i>		

Surface de la pièce		Contrainte sur la pièce (p)	
	<i>mm<sup>2</sup></i>		<i>MPa</i>

Surface du cordon		Contrainte sur le cordon (q)	
	<i>mm<sup>2</sup></i>		<i>MPa</i>

Force pour un acier à 1050°C en fin de forgeage

Force			
			<i>kN</i>

Volume pièce		Volume cordon		Epaisseur moyenne
	<i>cm<sup>3</sup></i>		<i>cm<sup>3</sup></i>	$A = V(p+c)/S(p+c)$

Surface pièce		Surface cordon		Largeur moyenne
	<i>cm<sup>2</sup></i>		<i>cm<sup>2</sup></i>	$B = S(p+c)/L(p+c)$

Longueur (pièce + cordon)			
	<i>cm</i>		<i>cm</i>

Coefficient de massivité		Masse spécifique unitaire	
$K = A/B$		MSPU	

Elancement		MSPU corrigée	
$N = L(p+c)/B$		MSPU x	<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>

Masse tombante

Surface (pièce + cordon)		M = MSPU corrigée x S(p+c)	
	<i>cm<sup>2</sup></i>		<i>Kg</i>

Masse (p+c)		Nombre de chocs	
	<i>Kg</i>	n =	

Pourcentage de bavure /(p+c+t)		Nombre de chocs efficaces	
	<i>%</i>	n(ro)	

Energie minimale (de pressage) = $M \times 9,81 \times 1,4 \times n(ro) / 2,1$	
	<i>J</i>

Type d'engin	Energie utile pour un acier à 1050°C en fin de forgeage sur cet engin
Coefficient de vitesse	Energie utile

Adaptation au matériau et à la température	<i>Résistance (Matériau, θ°C fin de forgeage, ε = 1, é = 0,03 s-1)</i>
Matériau	Température (fin de forgeage)
	<i>°C</i>
	<i>MPa</i>

Correction de température et de matière = $Résistance / 50 \text{ Mpa (C35, 1050°C, } \epsilon = 1, \dot{\epsilon} = 0,03 \text{ s}^{-1})$	
--	--

Force de forgeage	Energie utile de forgeage
-------------------	---------------------------

Document à agraffer à la copie sous la zone d'anonymat

## Calcul prévisionnel de l'effort et de l'énergie

NOM de la pièce	Matière
Numéro repère	

Largeur maximale de la pièce		Largeur du cordon (lambda)	
	<i>mm</i>		<i>mm</i>

Rayon le plus petit (2xRayon/Largeur pièce)		Frein (Lambda/epsilon)	
Filage le + important (Hauteur/largeur)			

Remarque : epsilon > 1,5 mm	Epaisseur du cordon (epsilon)	
		<i>mm</i>

Surface de la pièce		Contrainte sur la pièce (p)	
	<i>mm<sup>2</sup></i>		<i>MPa</i>

Surface du cordon		Contrainte sur le cordon (q)	
	<i>mm<sup>2</sup></i>	Force pour un acier à 1050°C en fin de forgeage	<i>MPa</i>

Force	
	<i>kN</i>

Volume pièce		Volume cordon		Epaisseur moyenne
	<i>cm<sup>3</sup></i>		<i>cm<sup>3</sup></i>	$A = V(p+c)/S(p+c)$

Surface pièce		Surface cordon		Largeur moyenne
	<i>cm<sup>2</sup></i>		<i>cm<sup>2</sup></i>	$B = S(p+c)/L(p+c)$

Longueur (pièce + cordon)	
	<i>cm</i>

Coefficient de massivité	Masse spécifique unitaire
$K = A/B$	MSPU

Elancement	MSPU corrigée
$N = L(p+c)/B$	<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>

Surface (pièce + cordon)	M = MSPU corrigée x S(p+c)
	<i>Kg</i>

Masse (p+c)	Nombre de chocs
	$n =$

Pourcentage de bavure $/(p+c+t)$	Nombre de chocs efficaces
	$n(ro)$

Energie minimale (de pressage) = $M \times 9,81 \times 1,4 \times n(ro) / 2,1$	
	<i>J</i>

Type d'engin	Energie utile pour un acier à 1050°C en fin de forgeage sur cet engin
Coefficient de vitesse	Energie utile

Adaptation au matériau et à la température	Résistance (Matériau, $\theta$ °C fin de forgeage, $\epsilon = 1, \dot{\epsilon} = 0,03 \text{ s}^{-1}$ )
Matériau	Température (fin de forgeage)

	<i>MPa</i>

Correction de température et de matière = $Résistance / 50 \text{ Mpa (C35, } 1050^\circ\text{C, } \epsilon = 1, \dot{\epsilon} = 0,03 \text{ s}^{-1})$	
---	--

Force de forgeage	Energie utile de forgeage
-------------------	---------------------------

Document à agraffer à la copie sous la zone d'anonymat

## Calcul prévisionnel de l'effort et de l'énergie

NOM de la pièce	Matière
Numéro repère	

Largeur maximale de la pièce		Largeur du cordon (lambda)	
	<i>mm</i>		<i>mm</i>

Rayon le plus petit (2xRayon/Largeur pièce)		Frein (Lambda/epsilon)	
Filage le + important (Hauteur/largeur)			

Remarque : epsilon > 1,5 mm	Epaisseur du cordon (epsilon)	
		<i>mm</i>

Surface de la pièce		Contrainte sur la pièce (p)	
	<i>mm<sup>2</sup></i>		<i>MPa</i>

Surface du cordon		Contrainte sur le cordon (q)	
	<i>mm<sup>2</sup></i>	Force pour un acier à 1050°C en fin de forgeage	<i>MPa</i>

Force	
	<i>kN</i>

Volume pièce		Volume cordon		Epaisseur moyenne
	<i>cm<sup>3</sup></i>		<i>cm<sup>3</sup></i>	$A = V(p+c)/S(p+c)$

Surface pièce		Surface cordon		Largeur moyenne
	<i>cm<sup>2</sup></i>		<i>cm<sup>2</sup></i>	$B = S(p+c)/L(p+c)$

Longueur (pièce + cordon)	
	<i>cm</i>

Coefficient de massivité	Masse spécifique unitaire
$K = A/B$	MSPU

Elancement	MSPU corrigée
$N = L(p+c)/B$	<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>

Surface (pièce + cordon)	M = MSPU corrigée x S(p+c)
	<i>Kg</i>

Masse (p+c)	Nombre de chocs
	$n =$

Pourcentage de bavure $/(p+c+t)$	Nombre de chocs efficaces
	$n(ro)$

Energie minimale (de pressage) = $M \times 9,81 \times 1,4 \times n(ro) / 2,1$	
	<i>J</i>

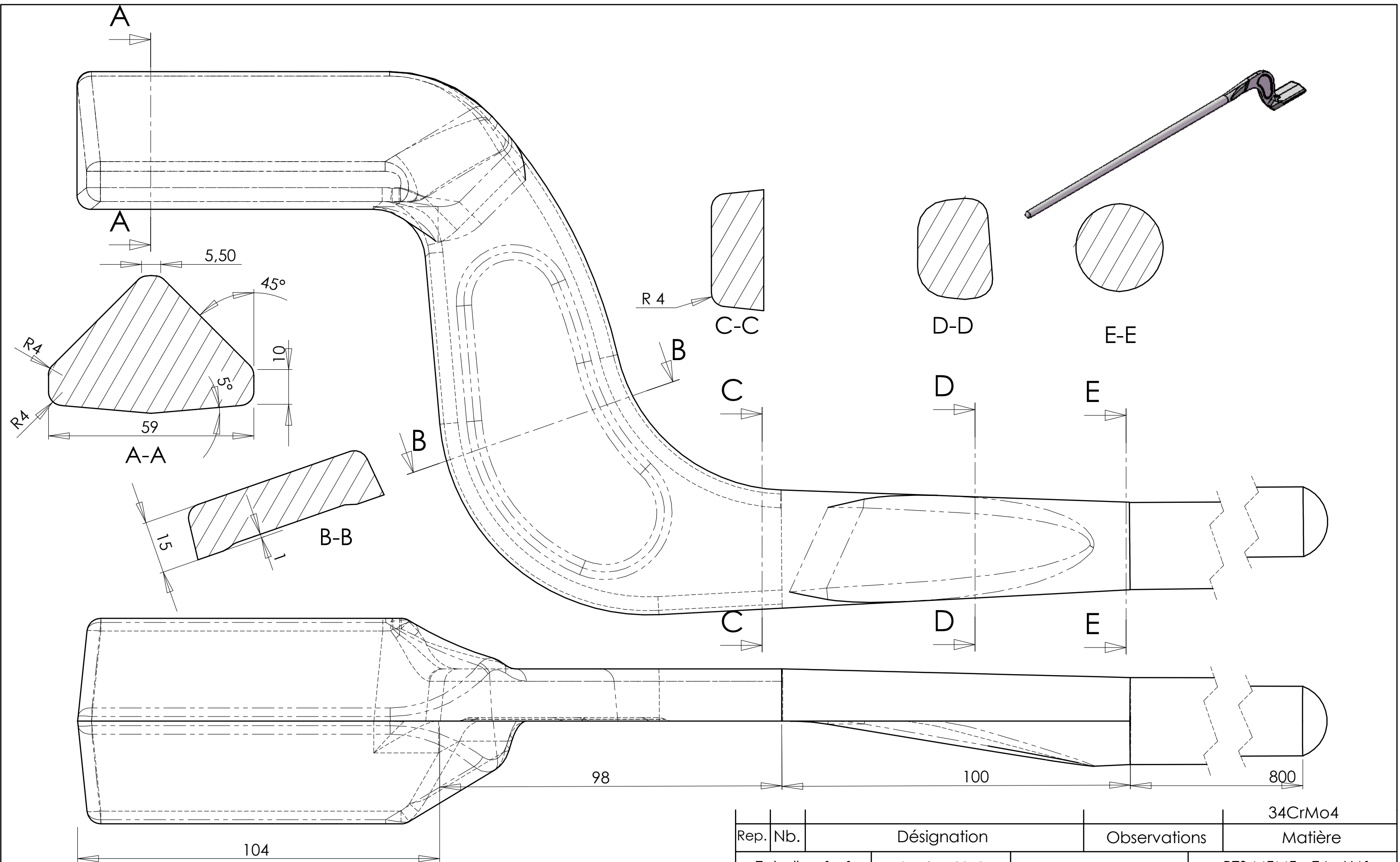
Type d'engin	Energie utile pour un acier à 1050°C en fin de forgeage sur cet engin
Coefficient de vitesse	Energie utile

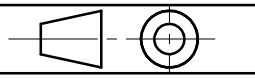
Adaptation au matériau et à la température	Résistance (Matériau, $\theta$ °C fin de forgeage, $\epsilon = 1, \dot{\epsilon} = 0,03 \text{ s}^{-1}$ )
Matériau	Température (fin de forgeage)

	<i>MPa</i>

Correction de température et de matière = $Résistance / 50 \text{ Mpa (C35, } 1050^\circ\text{C, } \epsilon = 1, \dot{\epsilon} = 0,03 \text{ s}^{-1})$	
---	--

Force de forgeage	Energie utile de forgeage
-------------------	---------------------------



Rep.	Nb.	Désignation	Observations	Matière
		Session 2012	Etude d'un système d'outillage	34CrMo4
Echelle 1 : 1				B.T.S. Mise en Forme des Matériaux par Forgeage
 <b>TENAILLES DE FORGE</b> Branche de tenaille estampée étirée				ANNEXE 1