

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

Session 2016

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 6).
- ANNEXE 1 : Plan de la pièce estampée « **Tube de couple** » (format A3)
- ANNEXE 2 : Résultats de la simulation (page 7).
- ANNEXE 3 : Extrait d'une base de données matériaux (page 8).
- ANNEXE 4 : Tableaux et graphiques 1 à 7 de la démarche de 'Calcul d'engin' (pages 9 à 14).

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'un « Tube de couple » sur le marteau contre frappe « BÊCHÉ 32 000 kg.m »

Objectif

Vérifier la faisabilité mécanique du forgeage de la pièce nommée « **Tube de couple** » sur le marteau pilon « **BÊCHÉ 32 000 kg.m** » et, si possible, prévoir les conditions de forgeage.

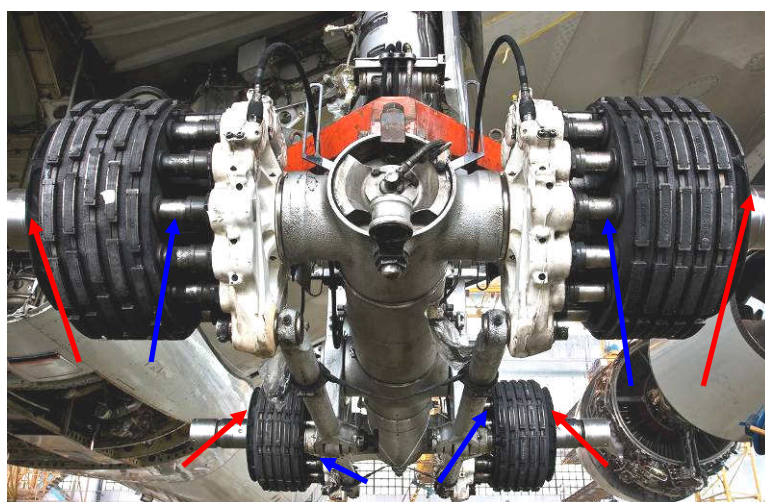
Dossier technique

Fonction du « Tube de couple »

Le tube de couple est une pièce que l'on trouve en quatre exemplaires sur un train d'atterrissage tel que sur la photo.



Pour arrêter un avion au cours de son atterrissage, il faut que toutes les roues soient freinées en rotation. Pour cela un système de freinage multi-disques est installé sur chaque roue.

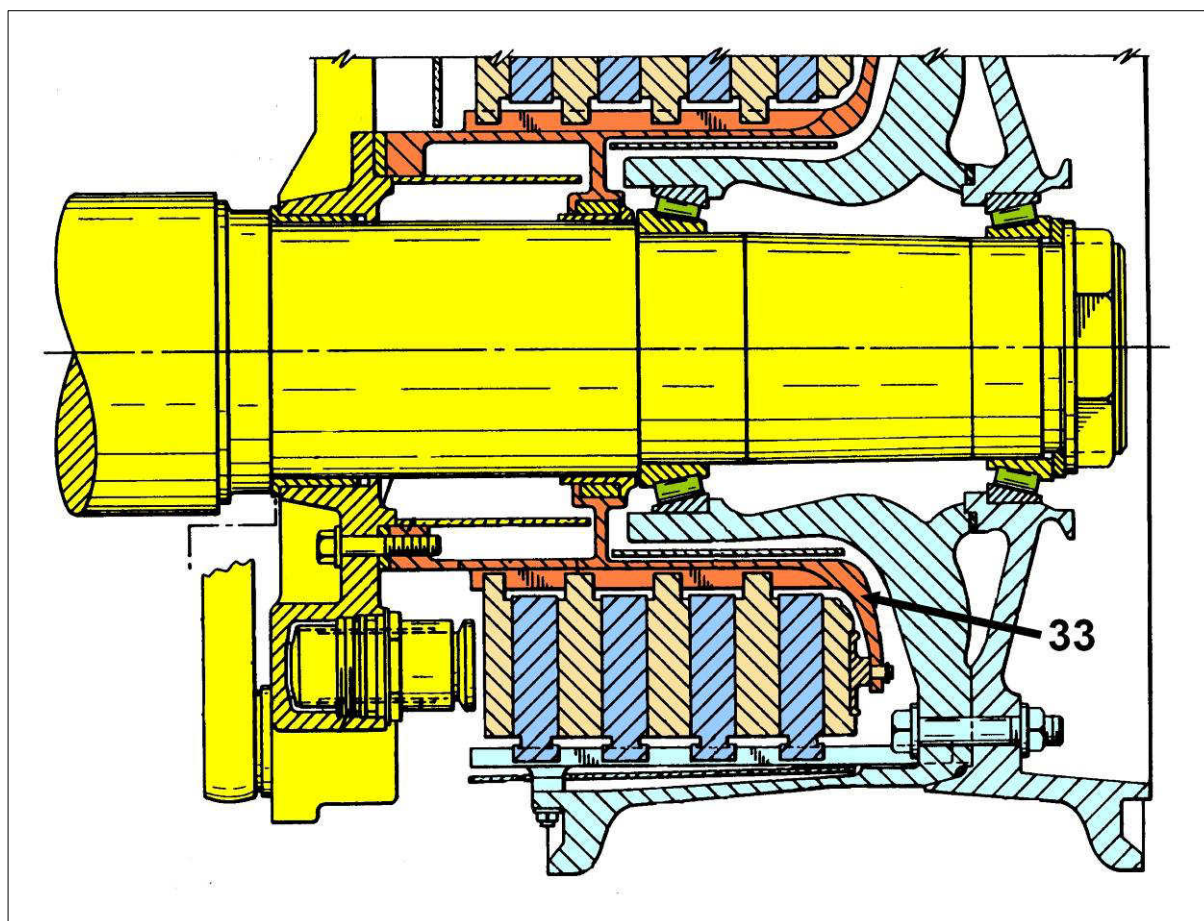


Sur la photo ci dessus les roues son démontées

Le tube de couple est une pièce qui transmet le couple de freinage entre les disques « fixes » et le train d'atterrissage. Il est en liaison complète avec le train d'atterrissage.

Les disques, garnis de plaquettes de frein, « fixes en rotation par rapport au train d'atterrissage », coulissent sur le tube de couple. Ils sont pressés contre l'épaule (flèche rouge sur la photo précédente) du tube de couple « fixe » par les pistons « fixes » (flèche bleue). Ils viennent frotter sur les disques « tournants » qui coulissent dans la roue « tournante ». Ils freinent la rotation des disques et de la roue.

Le tube de couple joue le même rôle qu'un étrier de frein sur un véhicule automobile.



Ci-dessus, le dessin en coupe du mécanisme présente en jaune les pièces « fixes » avec le tube de couple **33** et les pièces « tournantes » en bleu.

Le tube de couple est en orange.

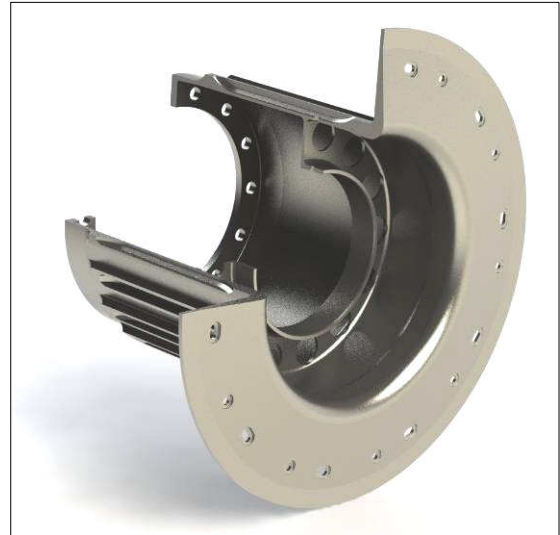
Description de la pièce « Tube de couple »

La pièce « **Tube de couple** » est conçue en acier de nuance 15CrMoV6.

La pièce usinée avoisine les 15,2 kg pour un volume de 1940 cm³.

La masse de la pièce après estampage et ébavurage est de 99 kg.

La masse de la pièce débouchée, telle que livrée au client, est de 96,5 kg.



Pièce usinée (coupée pour la photo)



Pièce estampée et ébavurée (coupée pour la photo)



Pièce livrée débouchée (coupée pour la photo)

Description du processus

Un lopin en 15CrMoV6 de diamètre 220 mm et de longueur 366 mm est débité puis préparé.

Pour des raisons métallurgiques, il ne sera chauffée qu'à 1100 °C dans un four à gaz.

La pièce devra être estampée en une seule chaude et directement à partir du lopin.

Le premier coup de pilon sera donné avec une énergie faible. Il permettra de faire tomber la calamine et de l'évacuer par soufflage avant le deuxième coup.

La machine d'estampage

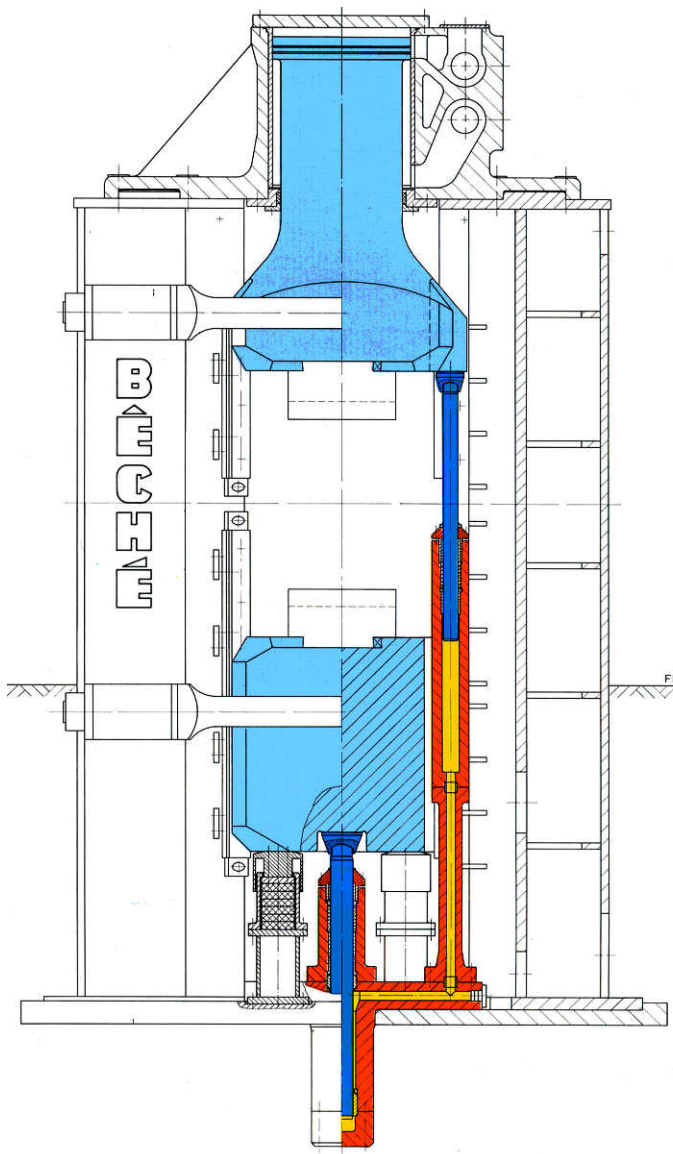
L'engin servant à fabriquer cette pièce est un pilon de type contre frappe de la marque BÊCHÉ, dont l'énergie maximale vaut environ 32.000 kg.m (320 kJ).

La masse inférieure avec son outillage fait environ 54 tonnes.

La masse supérieure avec son outillage fait environ 48 tonnes.

La vitesse de chacune des masses est à peu près égale juste avant le choc.

Dans les chocs à pleine énergie, la vitesse relative des deux masses au moment de l'impact peut-être évaluée à 5 m/s. C'est la vitesse de fermeture des outillages.



Comportement des marteaux pilons à contre frappe

Pour estimer la capacité en effort de l'engin, on utilisera la règle expérimentale suivante :

L'effort maximal développé par un marteau pilon à contre frappe est lié à son énergie maximale par la formule suivante : $\text{Force max. (kN)} = 390 \times \text{Energie max. (kJ)}$

Travail demandé

1- Déterminer la force ultime de forgeage et l'énergie utile de forgeage de la pièce « Tube de couple ».

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

- a. Calculer l'effort ultime de forgeage et l'énergie minimale de forgeage pour un acier ordinaire (C35) chauffé à 1200°C.

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

- b. Calculer l'effort ultime de forgeage et l'énergie utile de forgeage du « Tube de couple » en prenant en compte le matériau, sa température de chauffage et la machine.

2- Exploiter les résultats de la simulation

Une simulation de l'estampage a été faite en 2D. Les conditions de simulation sont les suivantes :

- Le matériau utilisé pour la simulation a été choisi de composition chimique proche de l'acier qui compose la pièce. Pour le 15CrMoV6 c'est le 17CrMoV10 qui a été choisi. La comparaison du comportement plastique du 17CrMoV10 avec celui de l'acier ordinaire C35 est donnée en ANNEXE 3.
- Le refroidissement de la sortie de four jusqu'à la première frappe a été modélisée par une perte de température de l'ordre de 10°C, soit 1090°C en début de forgeage.
- La cinématique utilisée est celle d'une presse mécanique :
 - Vitesse de rotation : 20 tr/min
 - Rapport R/L : 0,15
 - Rayon d'excentrique : 500 mm.
- a. A partir de courbe d'effort (ANNEXE 2), résultat de la simulation d'estampage sur presse mécanique, déterminer les valeurs d'effort et d'énergie utile nécessaires sur le marteau pilon.
- b. Confronter les résultats obtenus par ces deux démarches.

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

- a. Estimer le nombre de coups à donner sur la pièce avec le sur le marteau contre frappe « BÊCHÉ 32 000 kg.m ».
- b. Conclure sur la faisabilité mécanique du forgeage.

Barème :

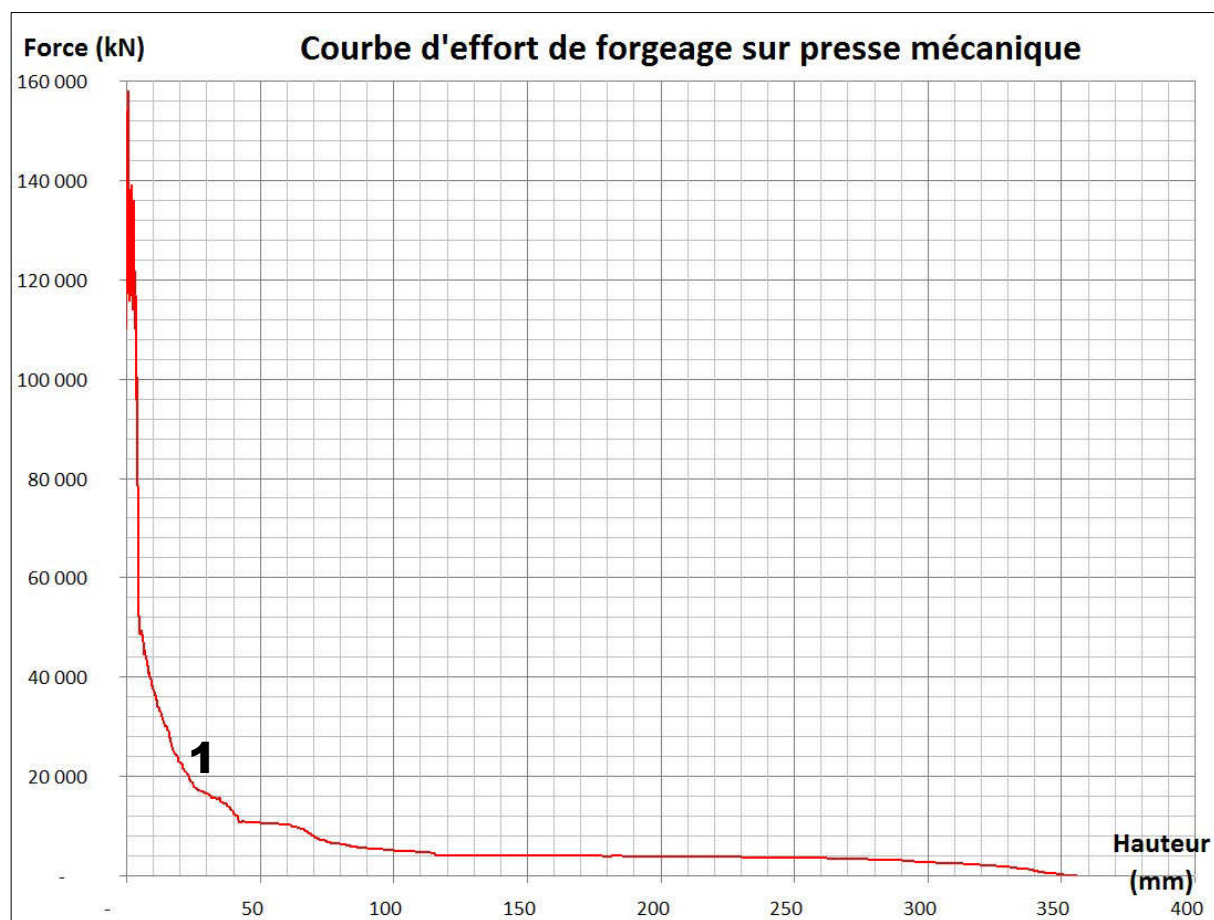
Question-1 – notée sur 10

Question-2 – notée sur 5

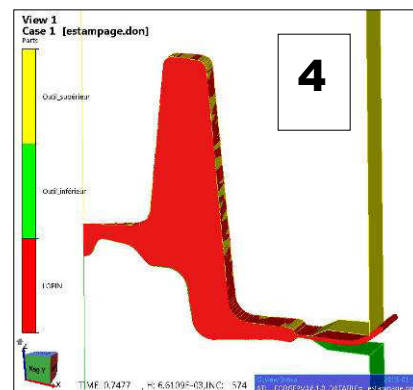
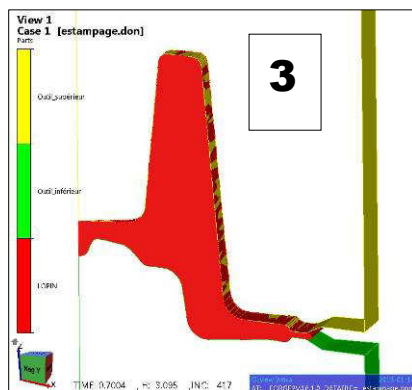
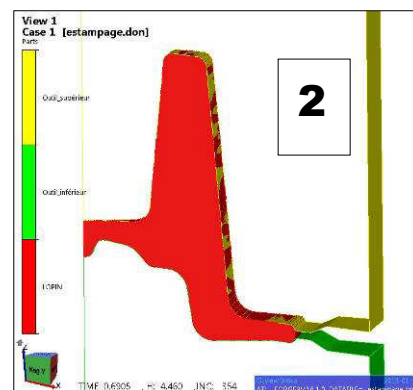
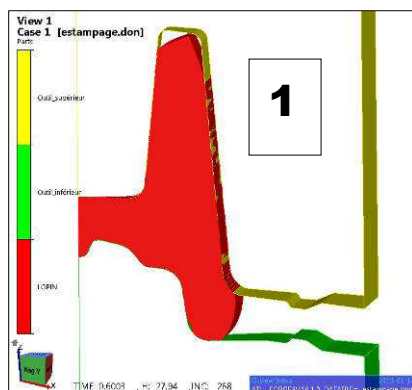
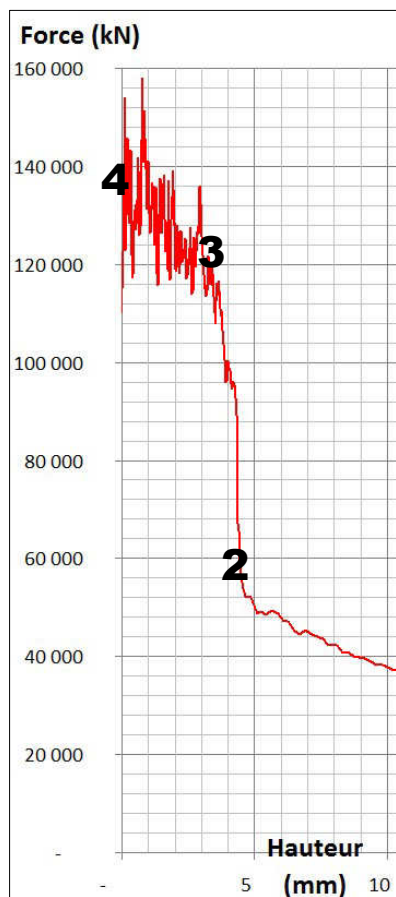
Question-3 – notée sur 5

ANNEXE 2

RESULTATS DE LA SIMULATION



< Zoom de la courbe d'effort sur les 10 derniers mm de forgeage



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

→ **17CrMoV10**

→ **C35**.

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

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

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

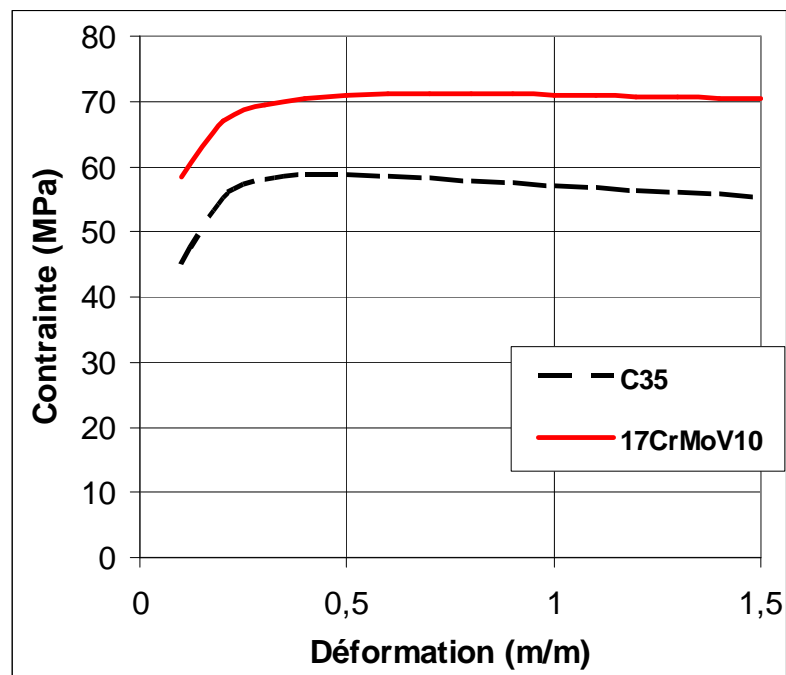
	A	m_1	m_2	m_3	m_4
17CrMoV10	1490	-0,00252	-0,049	0,136	-0,0347
C35	1500	-0.00269	-0.127	0.145	-0.0596

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

$$750\text{ }^\circ\text{C} < T < 1250\text{ }^\circ\text{C} ; 0.04\text{ m/m} < \bar{\epsilon} < 1.5\text{ m/m} ; 0.01\text{ (m/m)/s} < \dot{\bar{\epsilon}} < 500\text{ (m/m)/s}$$

Comparaison graphique
établie pour




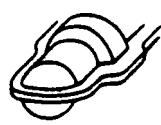
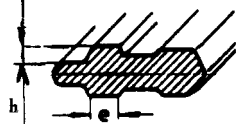

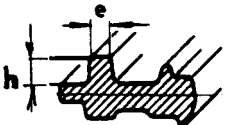
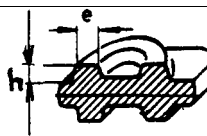
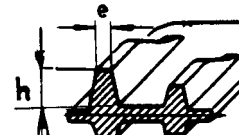
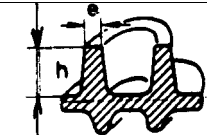
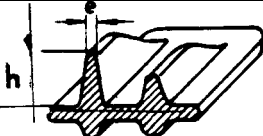
$$T = 1200\text{ }^\circ\text{C} \text{ et } \dot{\bar{\epsilon}} = 1\text{ s}^{-1}$$



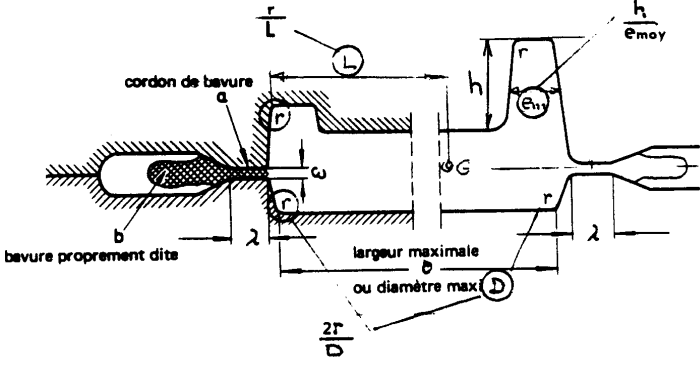
ANNEXE 4

TABLEAU 1

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

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

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	



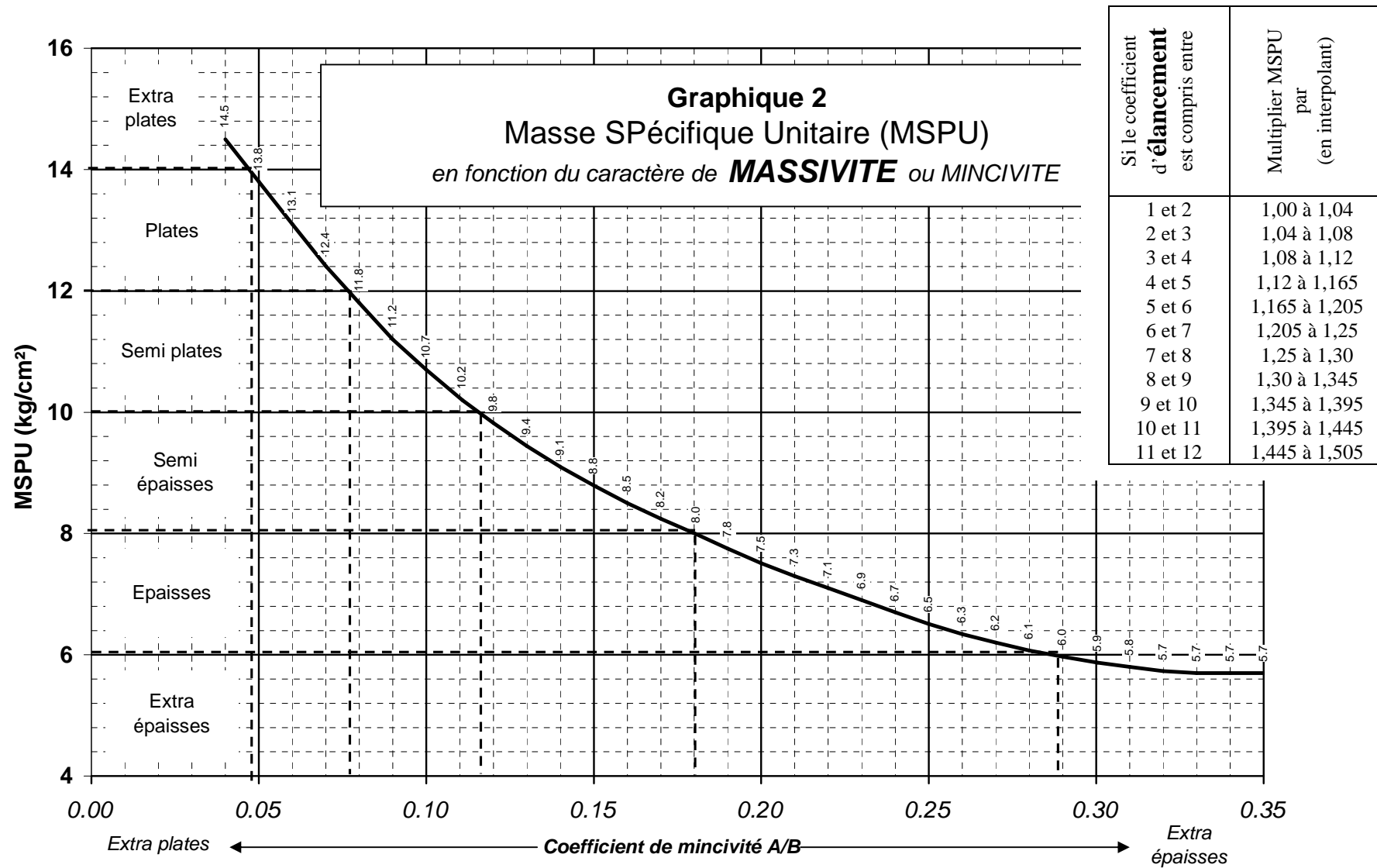


TABLEAU 3

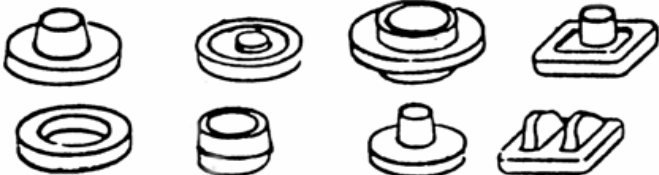






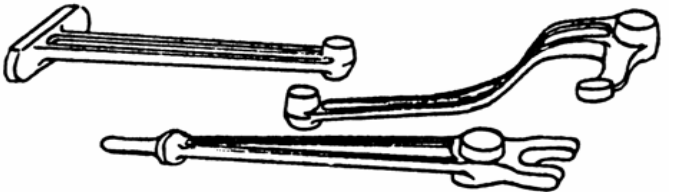

Ce tableau donne le % de bavure en vue de déterminer le nombre de chocs pour matricer une ébauche préfabriquée.

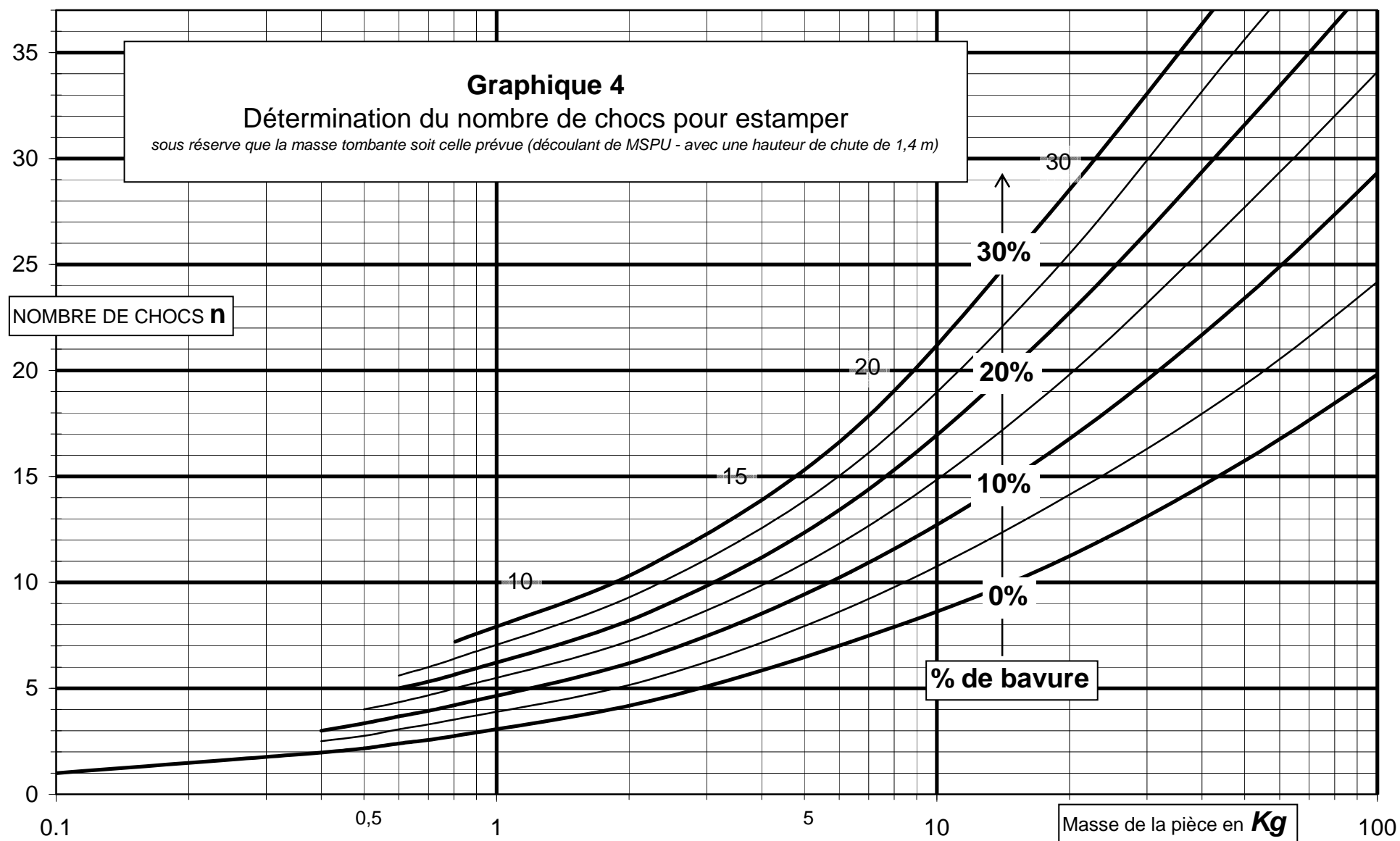
La tenue, quand elle est prévue, n'intervient pas dans ce % (elle ne modifie pas le nombres de chocs).

L'utilisation de ce tableau ne 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%		



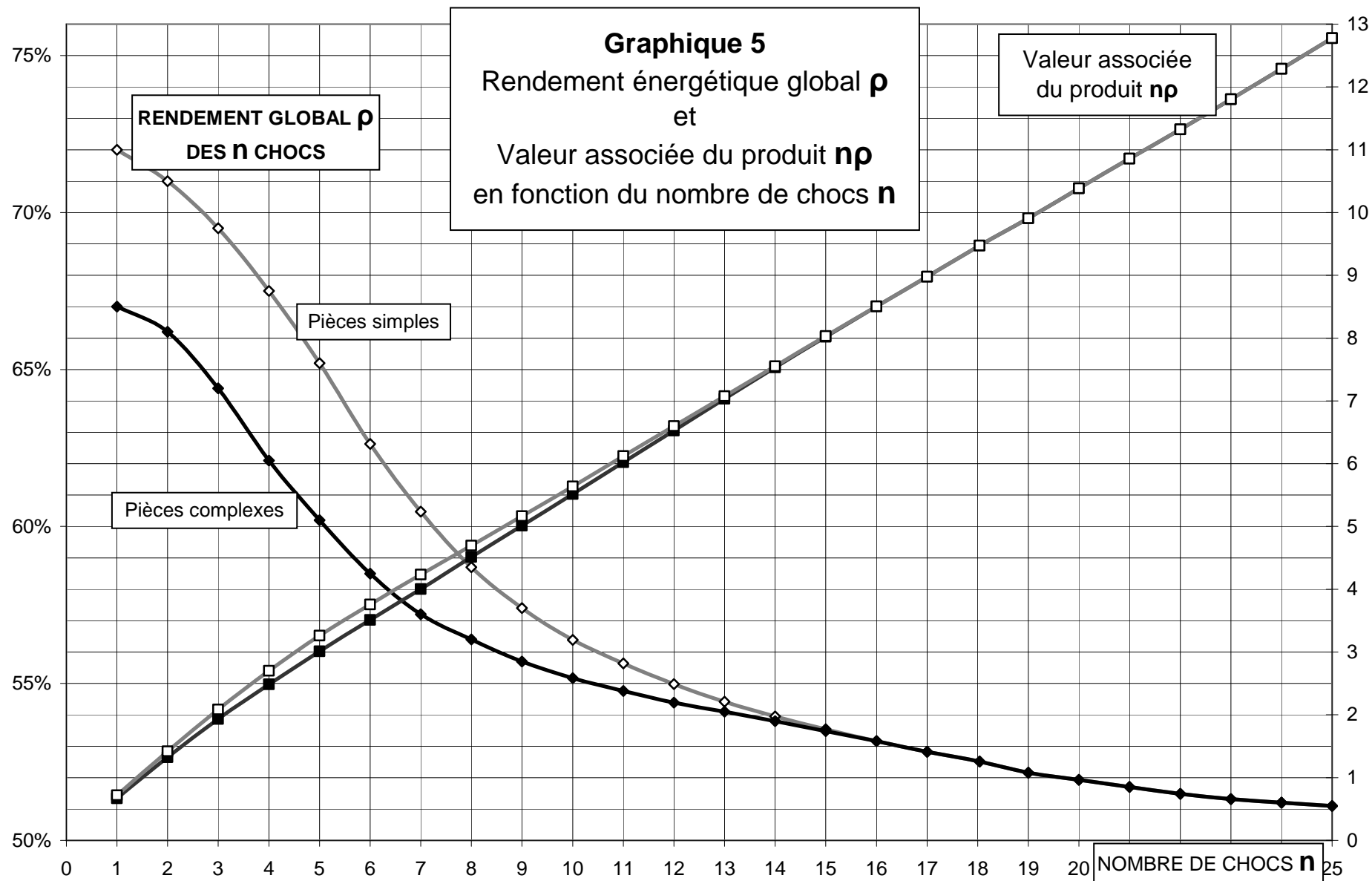


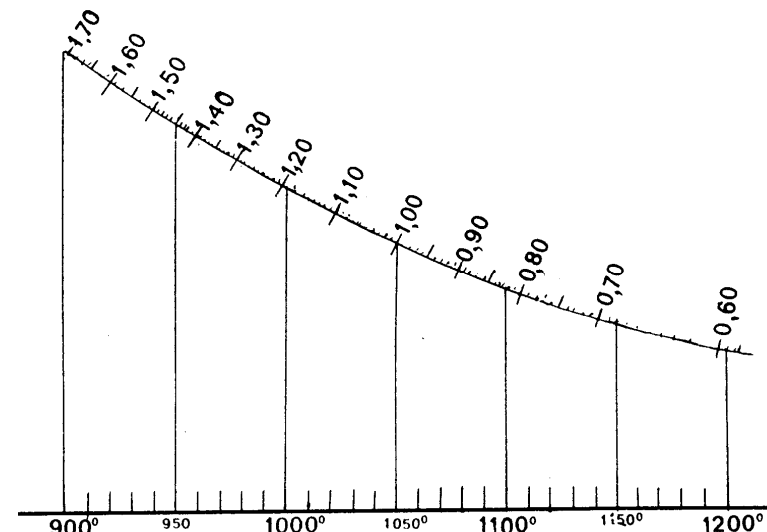
Tableau 6

Influence de la vitesse
sur le travail mécanique utile au matriçage

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 ^{elle} de l'excentrique	0,7 à 0,8	1,28	± 2 %
Maxipresse Vitesse Tg ^{elle} de l'excentrique	0,8 à 0,9	1,30	± 2 %
Vitesse Tg ^{elle} de l'excentrique	0,9 à 1,0	1,32	± 2 %
Vitesse Tg ^{elle} 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 %

Tableau 7

Influence de la température
de fin de matriçage sur le travail mécanique utile



900°	950°	1000°	1050°	1100°	1150°	1200°
------	------	-------	-------	-------	-------	-------

La Température de référence est de 1050°

Les coefficients multiplicateurs de conversion sont :

1,710	1,430	1,195	1,000	0,835	0,697	0,585
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------