

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

-----  
Session 2013  
-----

**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 5)
- Graphiques et tableaux de la méthode de calcul d'engin (pages 6 à 11)
- Seuil de plasticité (page 12)
- Parc machines (pages 13)

DOCUMENTS DISPONIBLES : \_\_\_\_\_

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

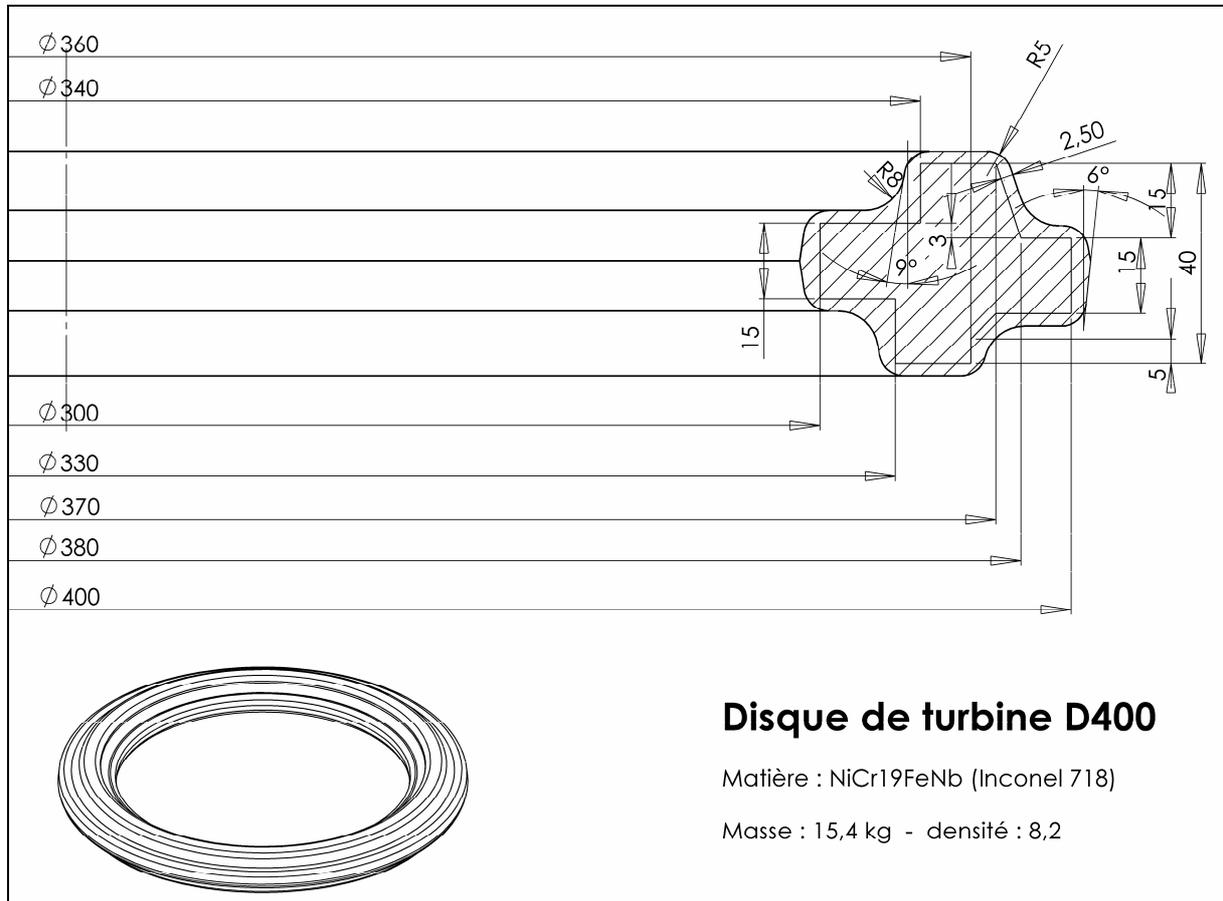
DOCUMENTS PERSONNELS AUTORISES :

- TOUS

# Comparaison de deux gammes pour forger un Disque de turbine D400

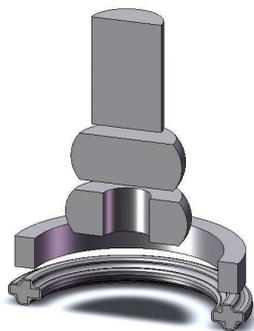
## Dossier technique

L'ébauche estampée d'un disque de turbine peut être produite par deux procédés de forgeage qui diffèrent essentiellement par le mode d'épanouissement de la matière.



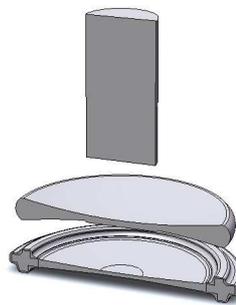
### Gamme 1

La première gamme consiste à réaliser une couronne laminée qui est utilisée comme ébauche avant estampage finition. Cette gamme nécessite donc un laminoir circulaire.



### Gamme 2

La deuxième gamme consiste à préparer une ébauche par écrasement et évasement en gravure de répartition.

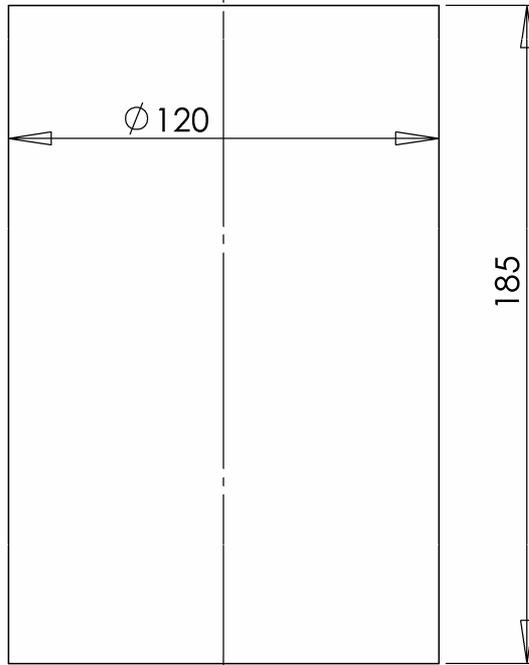


Le détail des gammes est donné dans les deux pages suivantes. N. B. : Les ébavurages et débouchages ne sont pas étudiés).

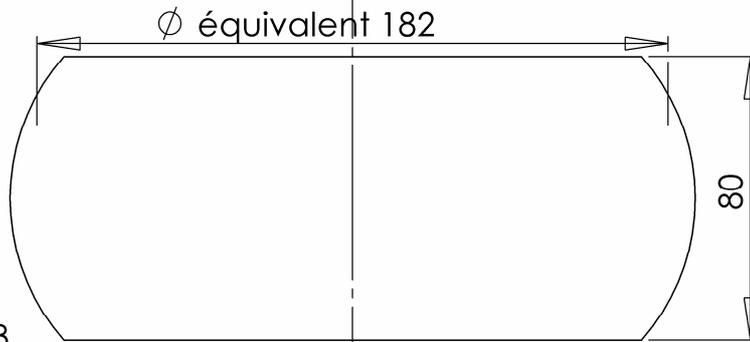
La parc machine disponible est donné en annexe.

# Gamme 1

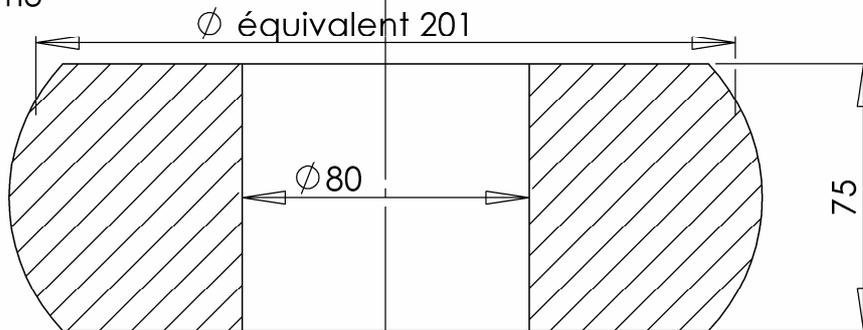
Lopin 2,09 dm<sup>3</sup>



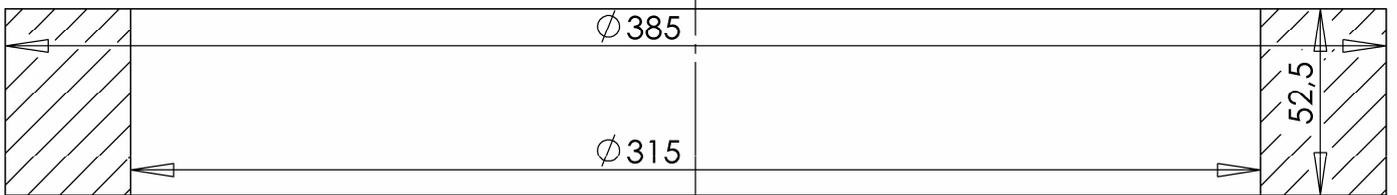
Galet 2,09 dm<sup>3</sup>



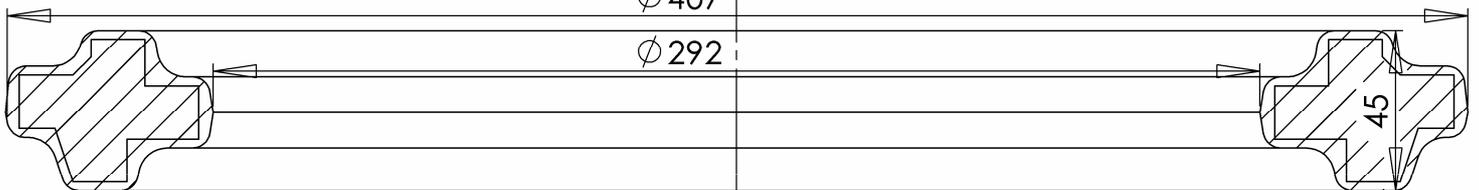
Galet percé et débouché 2,0 dm<sup>3</sup>



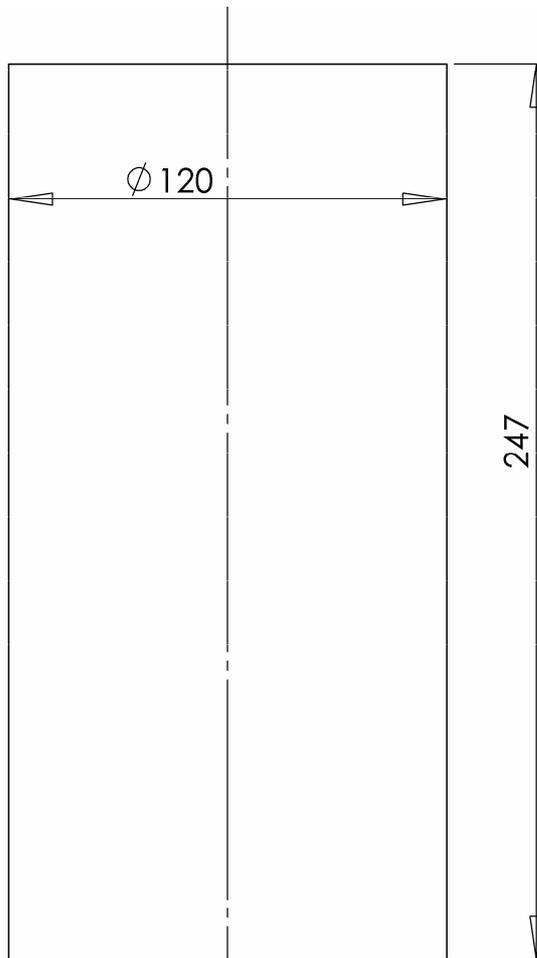
Couronne laminée 2,0 dm<sup>3</sup>



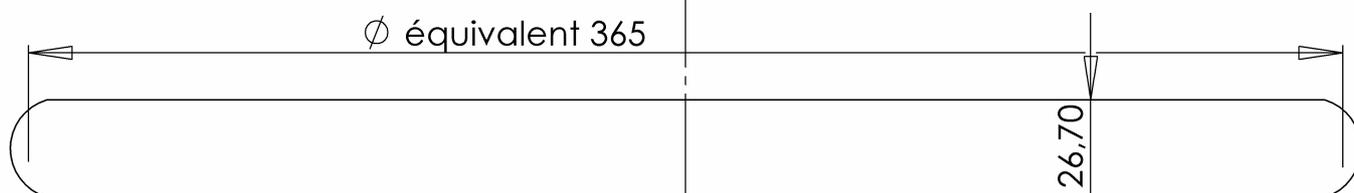
Pièce ébavurée intérieur et extérieur 1,88 dm<sup>3</sup>



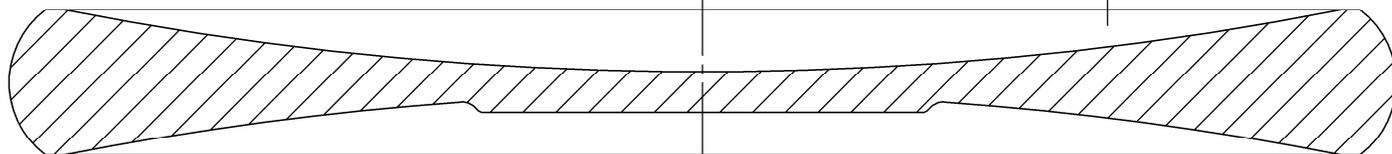
## Gamme 2



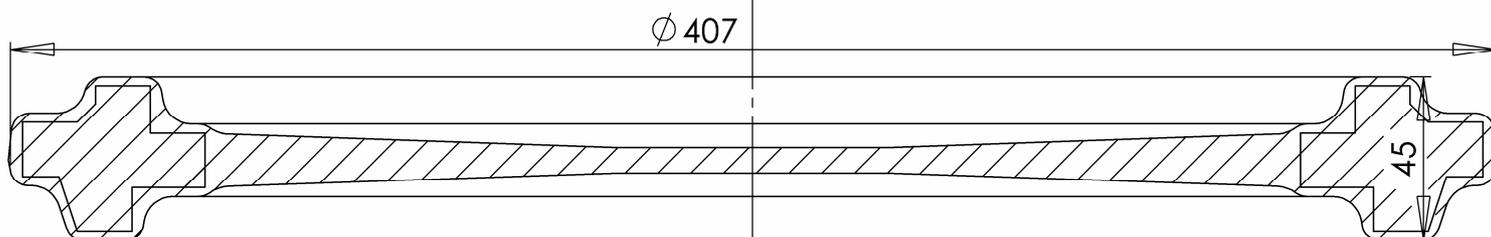
Lopin  
2,8 dm<sup>3</sup>



Galet équivalent à l'ébauche 2,8 dm<sup>3</sup>



Ebauche 2,8 dm<sup>3</sup>



Pièce ébavurée non débouchée 2,64 dm<sup>3</sup>

## Travail demandé

### Comparer les deux techniques de production et définir plus particulièrement les besoins en matériels

Tous les calculs seront faits à partir des méthodes habituelles. Ceci inclut le choix d'un acier ordinaire chauffé à 1200°C dans le cadre des refoulements, et dont la température de pièce en fin d'estampage serait de 1050°C approximativement. Ils seront corrigés en final pour prendre en compte la consistance du matériau « Inconel 718 » qui est environ 4 fois plus importante que celle de l'acier ordinaire dans les conditions normales de forgeage.

Remarque préalable : Pour chacune des étapes suivantes, il est demandé de procéder par élimination. Calculer en premier l'effort, au besoin l'énergie, pour l'opération (gamme 1 ou gamme2) qui semble être la plus difficile.

#### 1- Etape de refoulement

Choisir pour chaque gamme la machine capable d'effectuer le refoulement

Gamme 1 : La machine de refoulement sera aussi utilisée pour percer et déboucher le galet. C'est un ensemble d'opérations de forge libre.

Gamme 2 : L'ébauchage peut être assimilé à un refoulement simple dont le galet final équivalent, tant du point de vue force que du point de vue énergétique, est donné en page précédente : Diamètre 365 et épaisseur 26,70.

#### 2- Etape de laminage

Choisir le laminoir.

#### 3- Etape de matriçage

Choisir pour chaque gamme la machine capable d'effectuer le matriçage

Gamme 1 : L'ébauche étant un anneau, il faut considérer la pièce comme une pièce longue dont la longueur serait égale à la longueur de l'anneau scié et déployé, et dont la largeur serait la différence entre le rayon extérieur et le rayon intérieur. N. B. : L'élançement étant très important, il faut extrapoler les valeurs du coefficient de correction de la « MSPU ».

Gamme 2 : La pièce étant ronde, il n'y a pas de correction due à l'élançement.

Un croquis autour de la section radiale de la pièce permettra d'identifier le cordon de bavure et ses dimensions.

#### 4- Bilan comparatif

Etablir un bilan comparatif des deux gammes. Prendre en compte les moyens et la matière mise en œuvre.

Si possible, conclure.

#### REMARQUES :

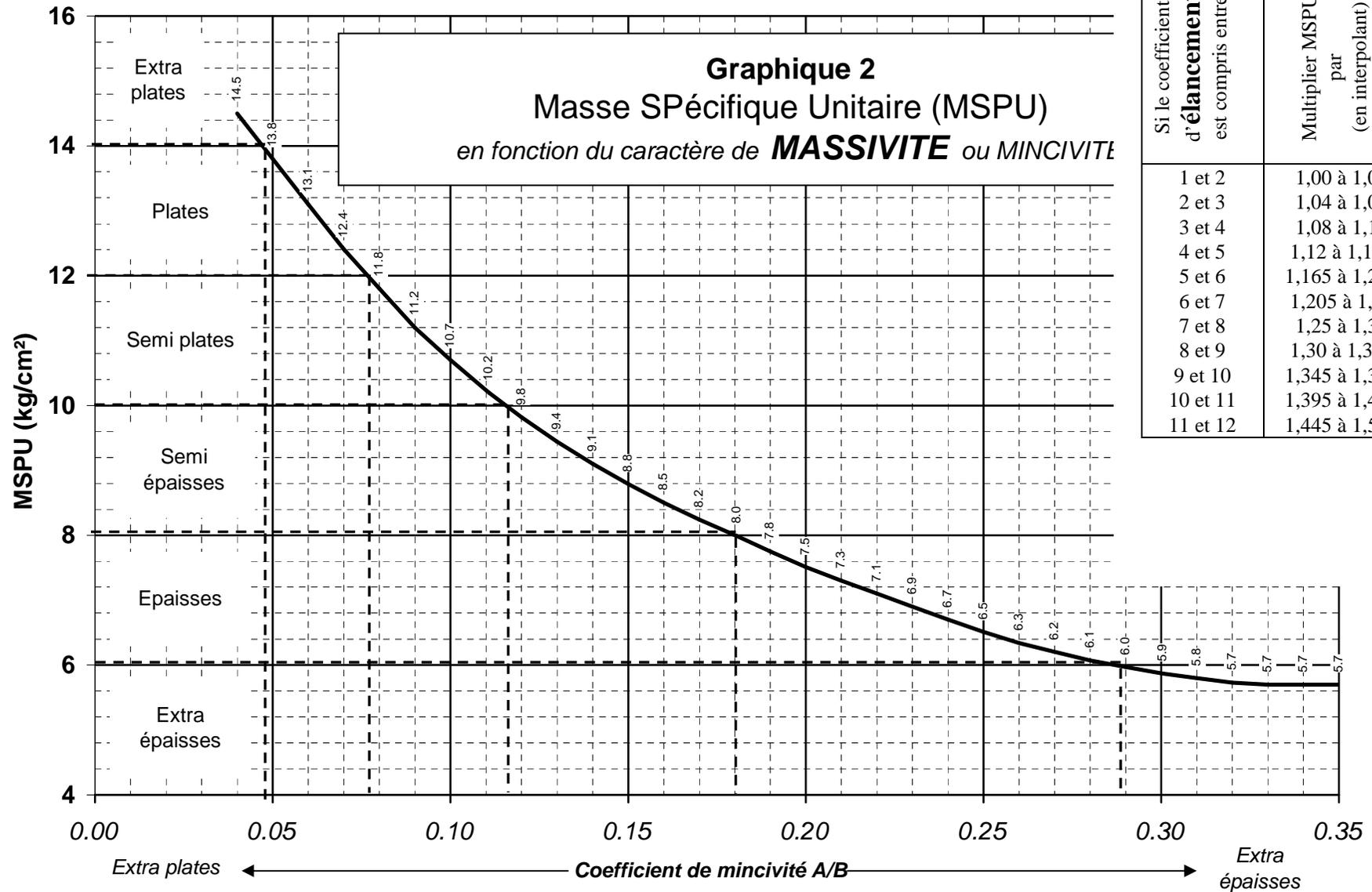
- A partir des valeurs issues du « calcul d'engin sur acier ordinaire », détailler les calculs pour déterminer la force et l'énergie utile pour forger la pièce.
- Le choix d'une machine étant fait, s'il s'agit d'un pilon, estimez le nombre de coups à donner.

**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 EXERCEES	
Par le filage	Par l'acuité	Frein ( $\epsilon \geq 1,5$ mm)			Sur la pièce	Sur le cordon
$h/e$	$r/L$ ou $2r/D$	$\lambda/\epsilon$			$p$ à $1050^\circ$	$q$ à $950^\circ$
	0,036	3,75		Pièces extra simples (pas de filage)	475	270
<b>1</b>	<b>0,035</b>	<b>4</b>			<b>490</b>	<b>280</b>
	0,0335	4,25		Pièces simples (pas de filage)	500	285
<b>1,5</b>	<b>0,032</b>	<b>4,5</b>			<b>520</b>	<b>290</b>
	0,0315	4,75		Pièces semi simples (filage insignifiant)	540	300
<b>2</b>	<b>0,029</b>	<b>5</b>			<b>560</b>	<b>310</b>
	0,028	5,25		Pièces semi complexes (léger filage)	580	320
<b>2,5</b>	<b>0,027</b>	<b>5,5</b>			<b>600</b>	<b>330</b>
	0,026	5,75		Pièces complexes (filage important)	625	350
<b>3</b>	<b>0,025</b>	<b>6</b>			<b>650</b>	<b>360</b>
	0,023	6,25		Pièces très complexes (filage très important)	690	370
<b>3,5</b>	<b>0,022</b>	<b>6,5</b>		prévoir arrêt de métal	<b>720</b>	<b>380</b>

Largeur ou diamètre (en mm)	Valeurs de $\lambda$ 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**

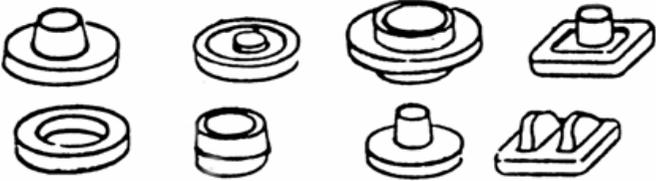
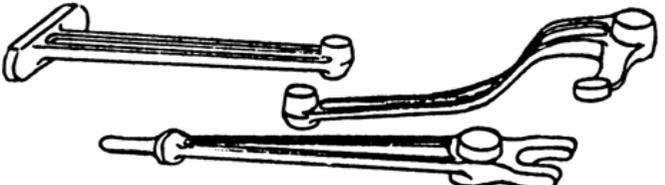
Ce tableau donne le % de bavure en vue de déterminer le nombre de chocs pour matricer une ébauche préfabriquée.

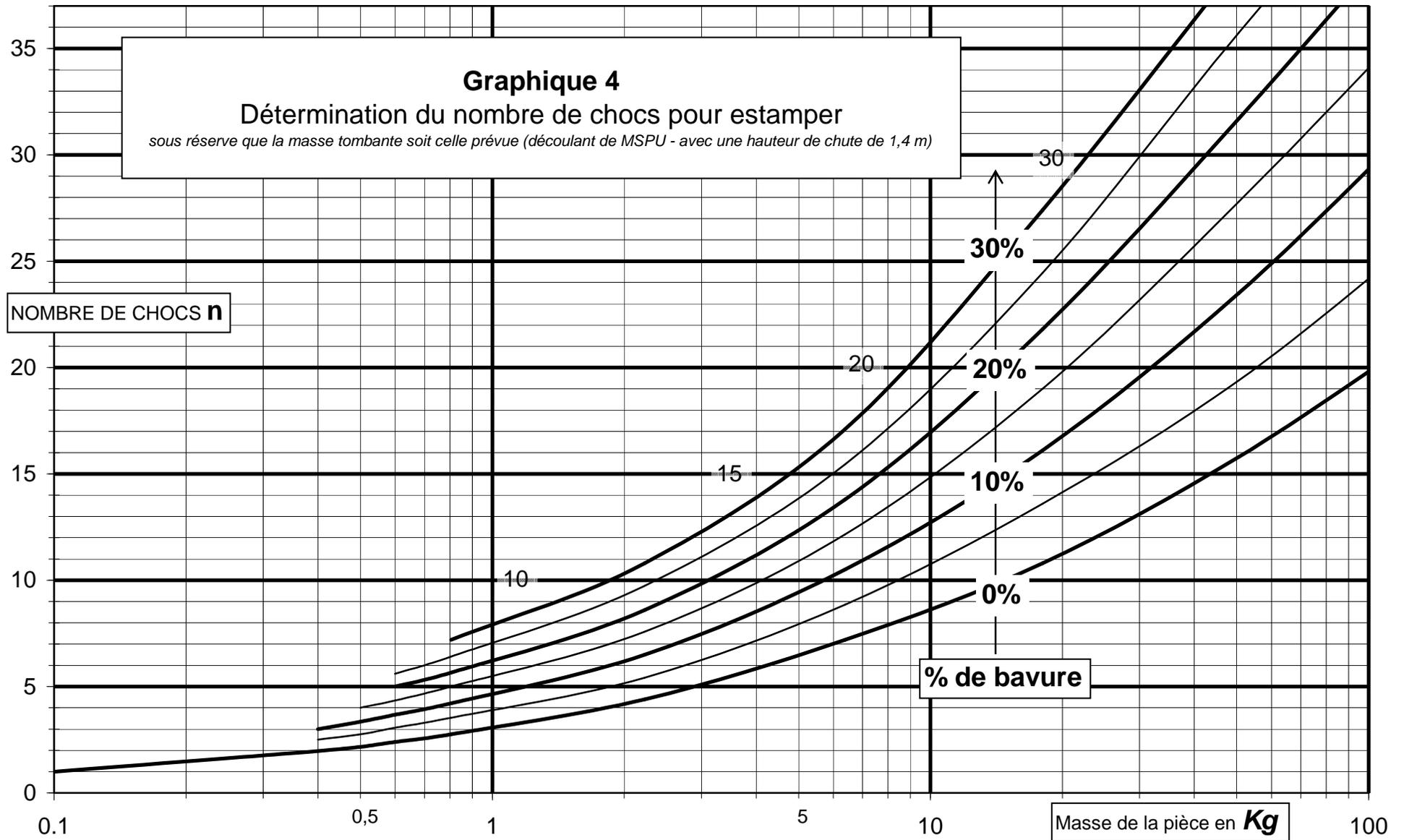
La tenue, quand elle est prévue, n'intervient pas dans ce % (elle ne modifie pas le nombre de chocs).

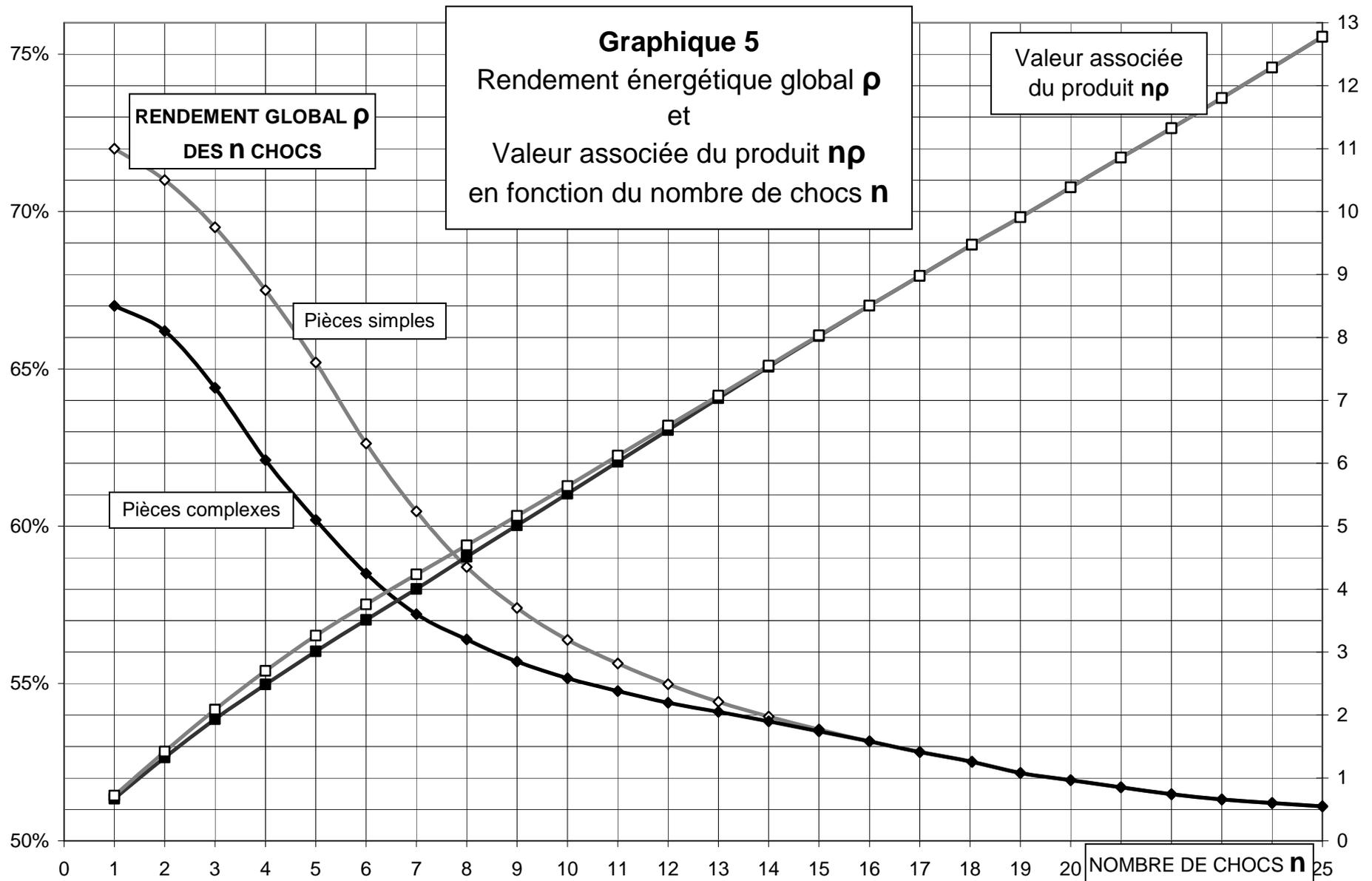
*L'utilisation de ce tableau se fait qu'en l'absence d'étude précise de fabrication.*

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

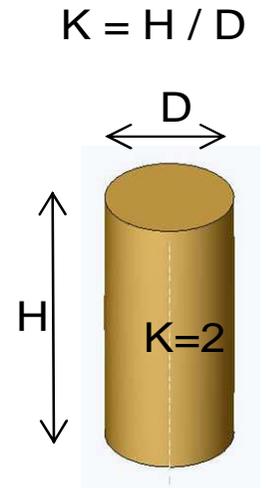
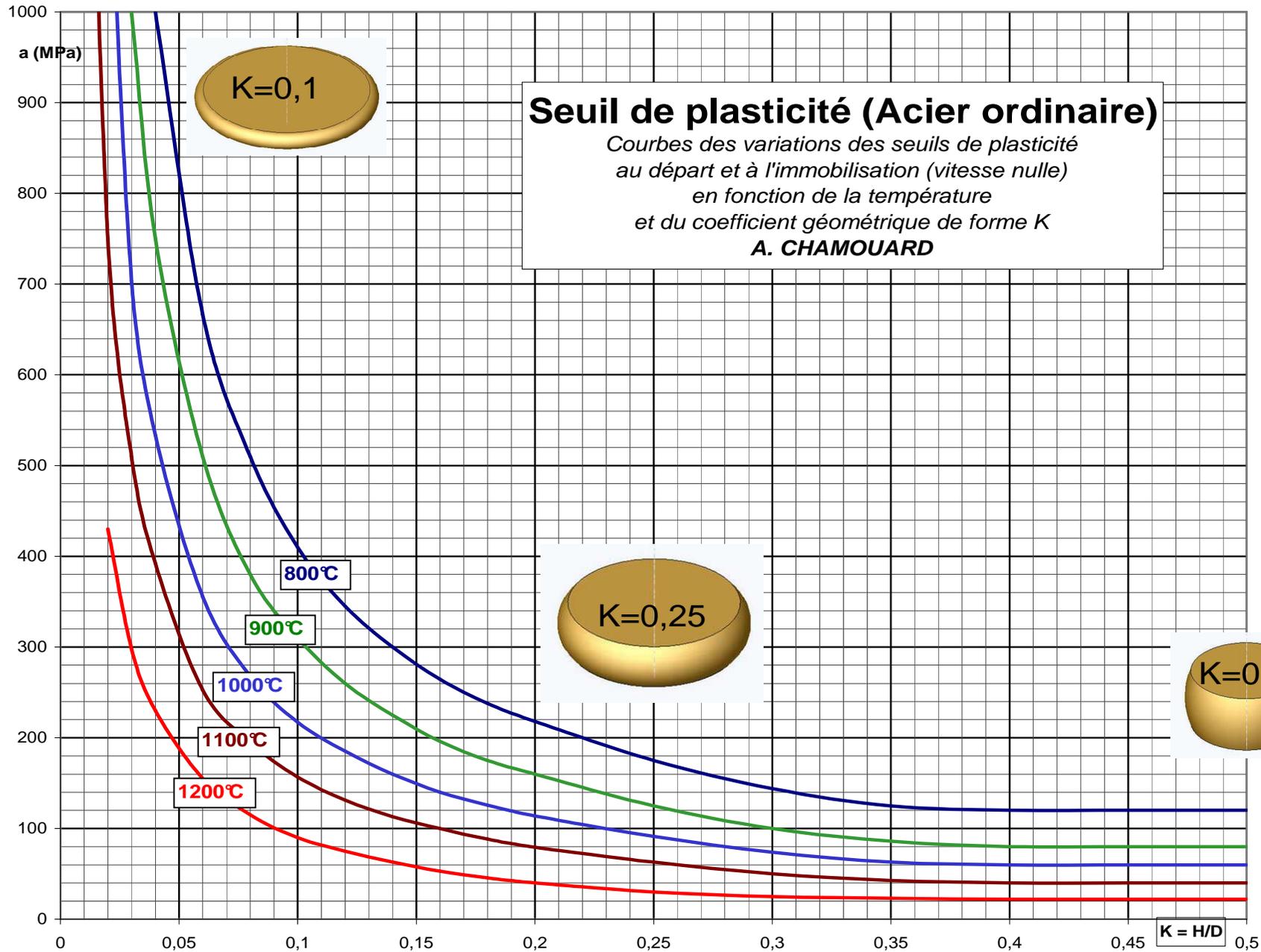
$$\% \text{ bavure} = (\text{Vol. bavure} / \text{Vol. pièce} + \text{toile} + \text{cordon}) \times 100$$

	<p>5 à 8%</p>		<p>22 à 25%</p>
	<p>8 à 12%</p>		<p>25 à 30%</p>
	<p>12 à 15%</p>		<p>30 à 33%</p>
	<p>15 à 18%</p>		<p>33 à 37%</p>
	<p>19 à 22%</p>		





<b>Tableau 6</b>				<b>Tableau 7</b>						
<b>Influence de la vitesse sur le travail mécanique utile au matriçage</b>				<b>Influence de la température de fin de matriçage sur le travail mécanique utile</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	Hauteur de chute 1,00 ou 1,20	4,40 / 4,85	1,77 / 1,92 ± 4 % / ± 5 %							
	Hauteur de chute 1,40	5,25	2,10 ± 5 %							
Contre frappe	Hauteur de chute 1,70	5,75	2,39 ± 5 %							
Course réduite	Hauteur de chute 2,00	6,30	2,54 ± 6 %							
Double effet	Hauteur de chute 2,20	6,55	2,72 ± 6 %							
	Hauteur de chute 2,35	6,80	2,82 ± 6 %							
				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



## PARC DES MACHINES DISPONIBLES

- 2 Presses hydrauliques pour forgeage libre ou matriçage :

Presse 1 : Force maximale 1000 Tonnes,

Presse 2 : Force maximale 3000 Tonnes.

- 2 laminoirs circulaires dont les capacités suivent :

Modèle		RIWA 10	RIWA 20
Force de laminage max.	kN	100	200
Puissance de commande	kW	30	55
Vitesse de laminage	m/s	1,9	1,7
Puissance de commande hydraulique	kW	7,5	15
Débit de la pompe	l/min.	48	90
Pression de régime	bar	100	100
Encombrement :			
Longueur	mm	2300	2700
Largeur	mm	1250	1700
Hauteur	mm	1750	1900
Dimension max. de l'anneau laminé			
Poids suivant dimensions plus grand	kg	15	30
Diamètre extérieur	mm	400	700
Hauteur	mm	80	100
Diamètre intérieur min. de l'ébauche en utilisant la force max. de laminage			
	mm	65	85
Poids total	env. ca. kg	4000	7000

- 3 marteaux pilons à contre frappe « BÊCHÉ »

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

Modèle		DG h 10	DG h 20	DG h 40
Energie de frappe	kJ	100	200	400
Nombre maxi de coups (pleine puissance)	min-1	55	45	40
Course par masse (Hauteur de matrice normale)	mm	530	710	710
Hauteur de deux matrices (sans queue d'aronde)	normal mm	560	710	1000
	minimal mm	360	450	500
Largeur libre entre les glissières	mm	930	1200	1500
Profondeur du mouton	mm	1150	1600	2150
Poids total de la machine	Mg	74	135	285
Poids de la masse supérieure	Mg	11,8	23,6	49,1
Poids de la masse inférieure	Mg	12,4	24,8	51,5

- Presses d'ébavurage et de débouchage en rapport avec les autres moyens 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
-------------------	---------------------------