

Examen du mardi 11 octobre
8h30 -10h25**GML-10463, Matériaux de l'ingénieur, section A****GML-21452, Science des matériaux**

Professeur : Diego Mantovani

Nom : _____ Prénom : _____
Matricule : _____ Programme : _____
Matériaux de l'ingénieur : _____ Science des matériaux : _____

INSTRUCTIONS

- ♦ L'examen est individuel, aucun échange (verbale ou de documents) n'est permis ;
- ♦ Aucun documentation permise ;
- ♦ Déposez sur la table d'examen votre carte d'étudiant ;
- ♦ Le professeur se réserve le droit d'enlever des notes en regard de la présentation générale et de la correction du français et ce, jusqu'à concurrence de 10 points sur 100 ;
- ♦ Ordinateurs, baladeurs, systèmes complexes de calcul et téléphones cellulaires interdits ;
- ♦ Lisez attentivement l'ensemble de l'examen avant de commencer à répondre ;
- ♦ Maîtrisez votre impulsivité et réfléchissez plusieurs fois avant de répondre ;
- ♦ Écrivez seulement dans les espaces prévus au recto. Le verso est pour votre brouillon. Aucune notion au verso ne sera corrigée, (sauf si le contraire est indiqué) ;
- ♦ Évaluez le temps que vous dédiez à chaque question en fonction de son pointage ;
- ♦ Seulement les calculateurs admis par la faculté sont permis ;
- ♦ Vous devez remettre TOUTES les feuilles de ce formulaire d'examen.

Réservé à la correction

1	2	3	4	Total

- 1 - E1
(25)

Une éprouvette d'un alliage inconnu de 1,45 cm de diamètre est soumise à un essai de traction. La longueur initiale entre les repères est de 8,0 cm. Les résultats de l'essai sont les suivants:

Force (N)	Longueur entre les repères (cm)
38 530	8,005
67 580	8,010
96 510	8,015
116 670	8,020
125 950	8,025
135 370	8,048
143 280	8,050 (max, rupture)

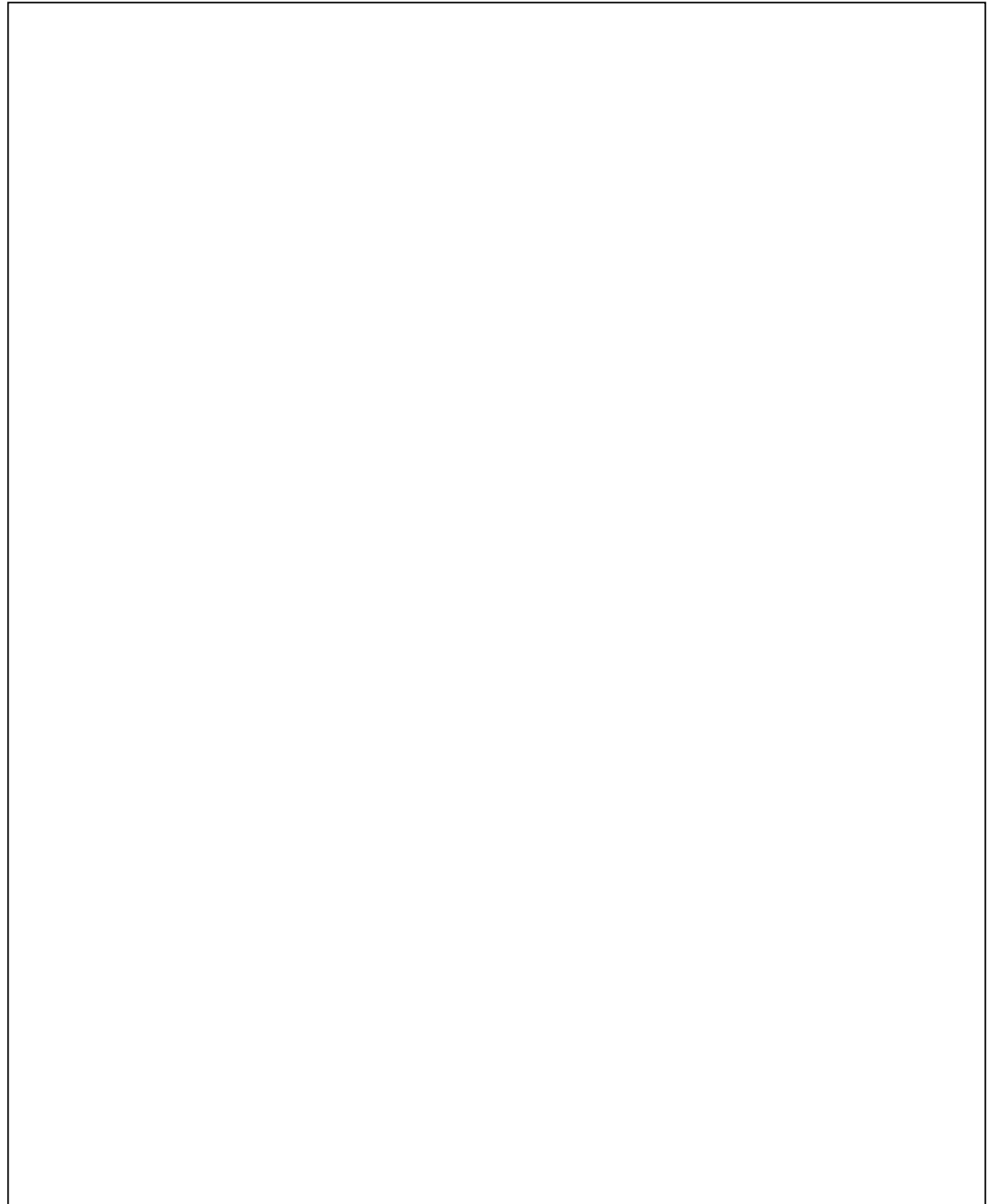
REPONSES (indiquer le développement détaillé avec éventuel graphique aux pages suivantes) :

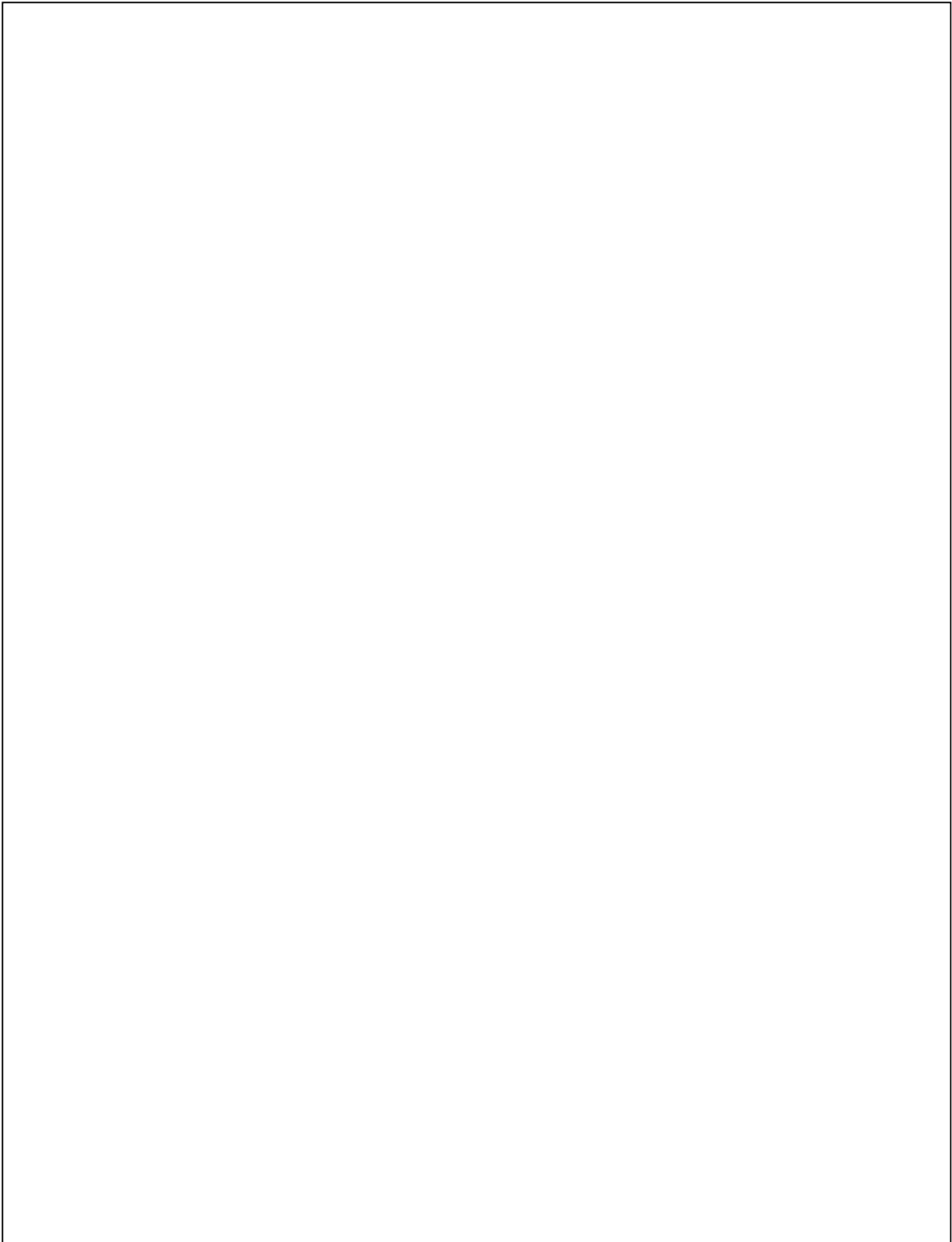
a) Quelle est la valeur du module d'élasticité de ce matériau?

b) Quelle est la valeur de la limite élastique de l'ingénieur (0,2%)?

c) Cet alliage devant servir à fabriquer un câble pour transporter des lingots ayant une masse de 1 tonne métrique; quel est le diamètre de celui-ci sachant qu'on ne peut tolérer un allongement supérieur à 12 cm par 120 mètres de câble?

DÉVELOPPEMENT :

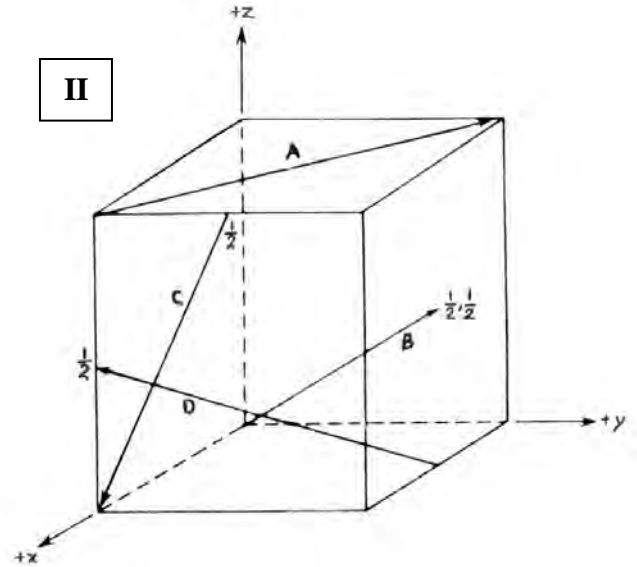
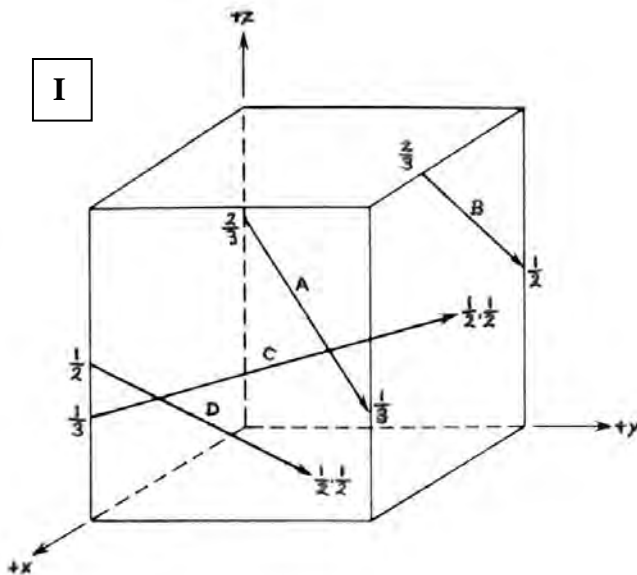




d) Lors d'un essai de traction ultérieure, l'éprouvette fabriquée à partir de cet alliage inconnu est soumise à une force croissante allant jusqu'à 128 000 N. L'essai est ensuite arrêté, l'éprouvette déchargée. Quelles seront les déformations induites dans l'éprouvette après déchargement ? Pourquoi ? Expliquer brièvement mais de manière précise.

- 2 - **E1**
(25)

a) Déterminez les indices de direction correspondant aux vecteurs illustrés aux figures ci-dessous.

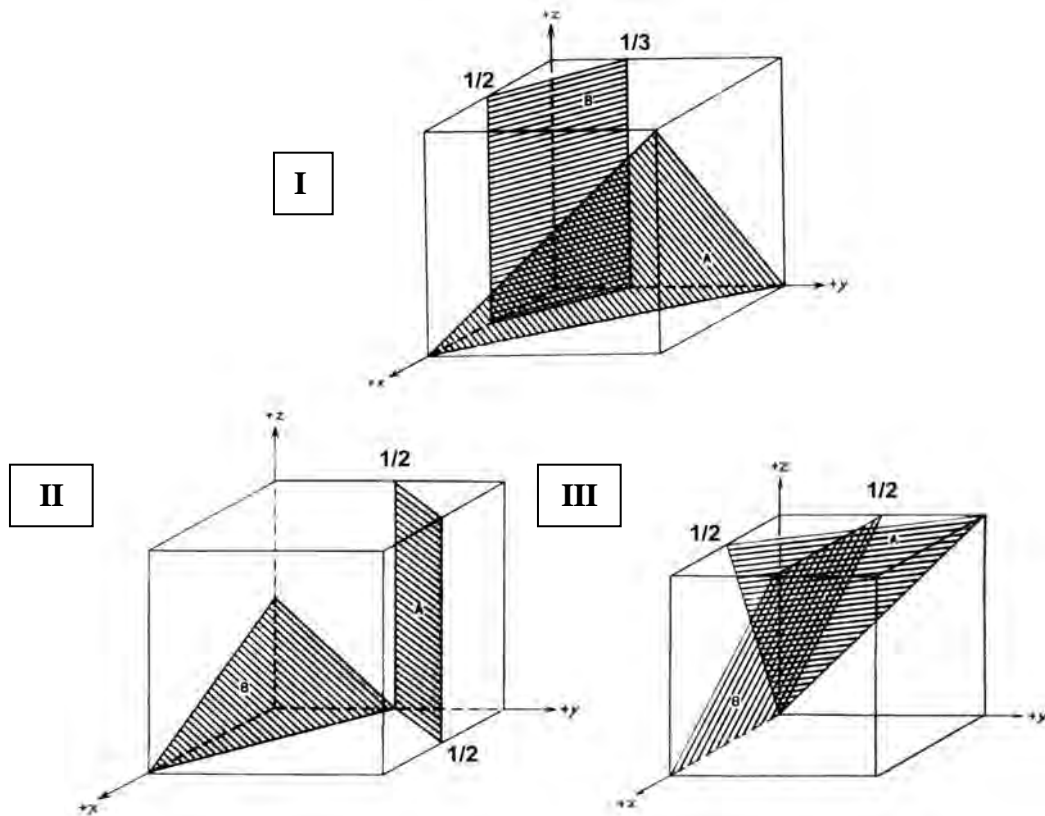


REPONSES

Directions	Indices
AI	
BI	
CI	
DI	

Directions	Indices
AII	
BII	
CII	
DII	

b) Déterminez les indices de Miller des plans illustrés dans les cubes suivants.



REPOSES :

Plans	Indices de Miller
AI	
BI	
AII	
BII	
AIII	
BIII	

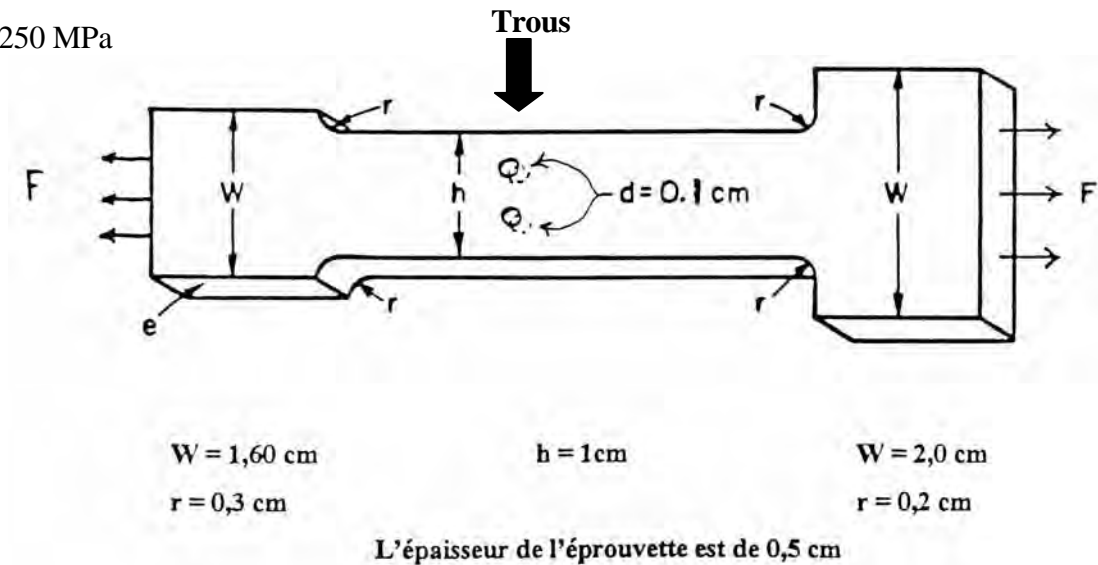
- c) Les feuilles d'aluminium servant à l'emballage des aliments ont environ 0,0254 mm d'épaisseur. En assumant que toutes les cellules unitaires sont arrangées de façon à ce que l'axe a_0 soit perpendiculaire à la surface de la feuille, déterminez l'épaisseur de la feuille exprimée en nombre de cellules unitaires. Tenez présent que l'aluminium présente une structure cubique à faces centrées, et que son rayon atomique est de 0,1432 nm.

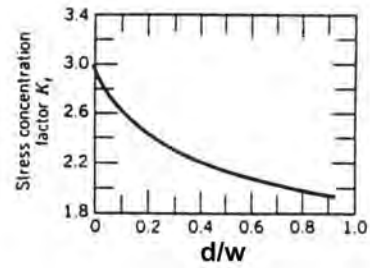
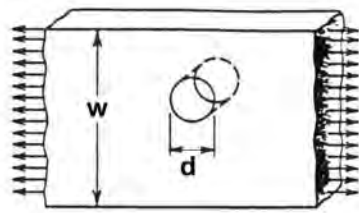
- d) À partir de 42,6 K, et jusqu'à sa fusion ($T_{\text{fus}} = 54,2$ K), l'oxygène (O_2) cristallise selon une structure cubique de paramètre $a = 683$ pm. Sa masse volumique est évaluée à $1,32 \times 10^3$ kg/m³. Combien de groupement d' O_2 contient cette maille élémentaire?

- 3 - **E1**
(25)

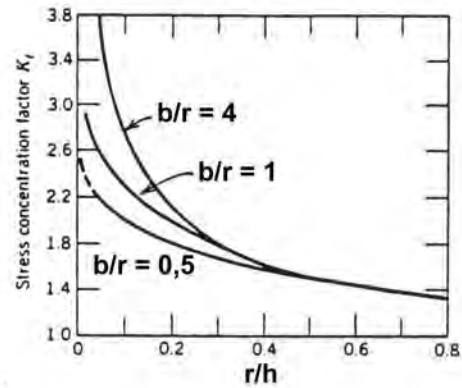
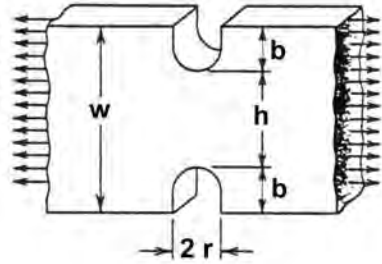
Une tige d'alumine est fabriquée selon la géométrie et les dimensions présentées ci-dessous. Au milieu de sa longueur, deux petits trous doivent être percés pour des raisons techniques liées au montage de la pièce finale. Sous quelle charge cette tige d'alumine se rompra-t-elle ?

$$\sigma_r = 250 \text{ MPa}$$

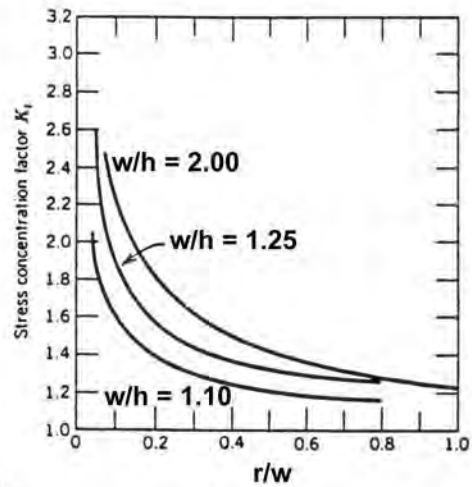
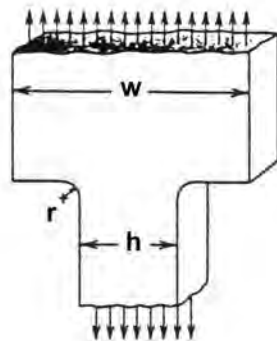




(a)



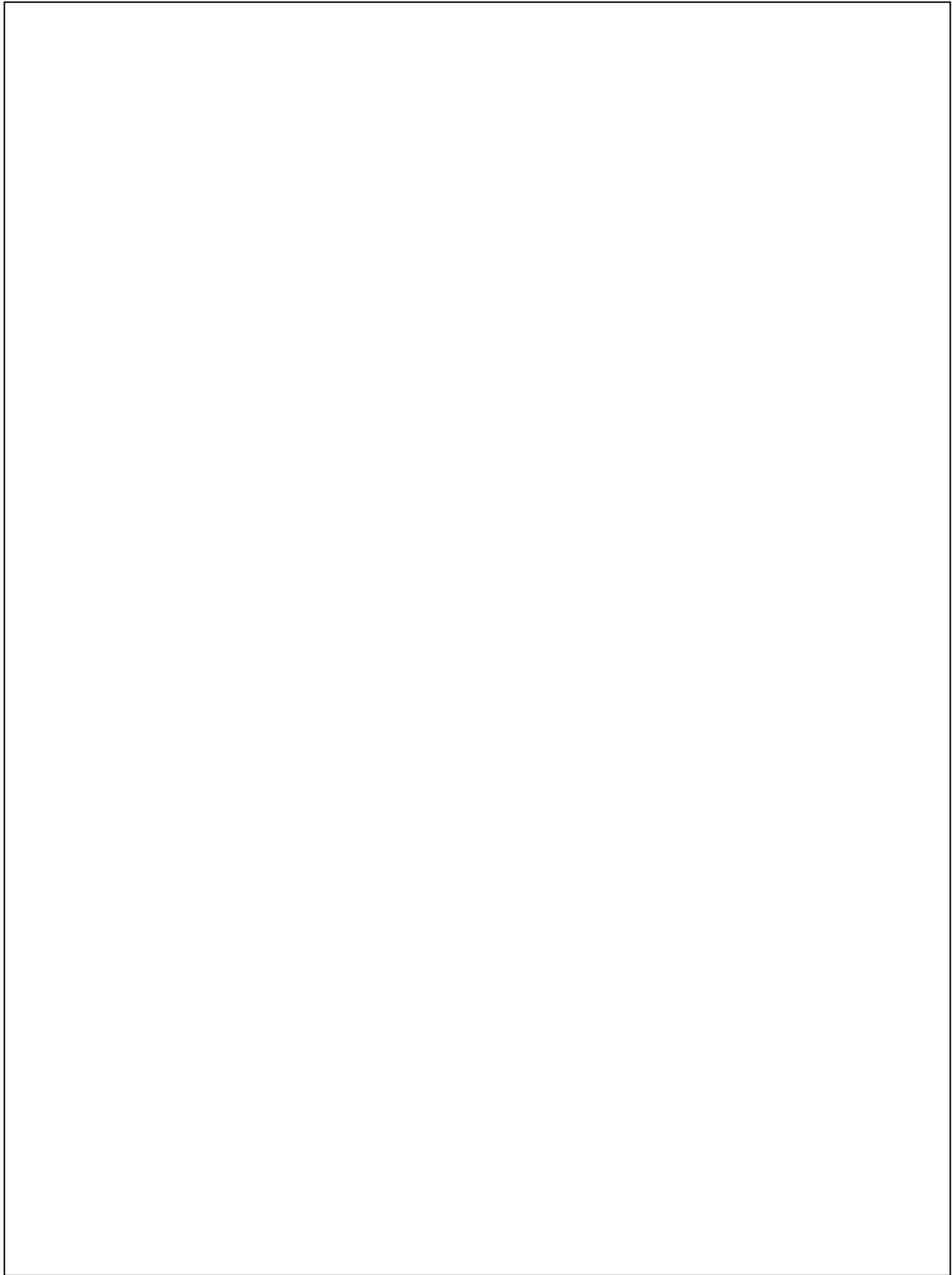
(b)



(c)

Facteur de concentration de contraintes
en fonction de la géométrie de la pièce soumise en traction

REPONSES ET DÉVELOPPEMENT :



Un acier inoxydable type 305 possède les caractéristiques mécaniques en fonction du pourcentage de travail à froid (% CW) telles que données sur le graphique à la page suivante.

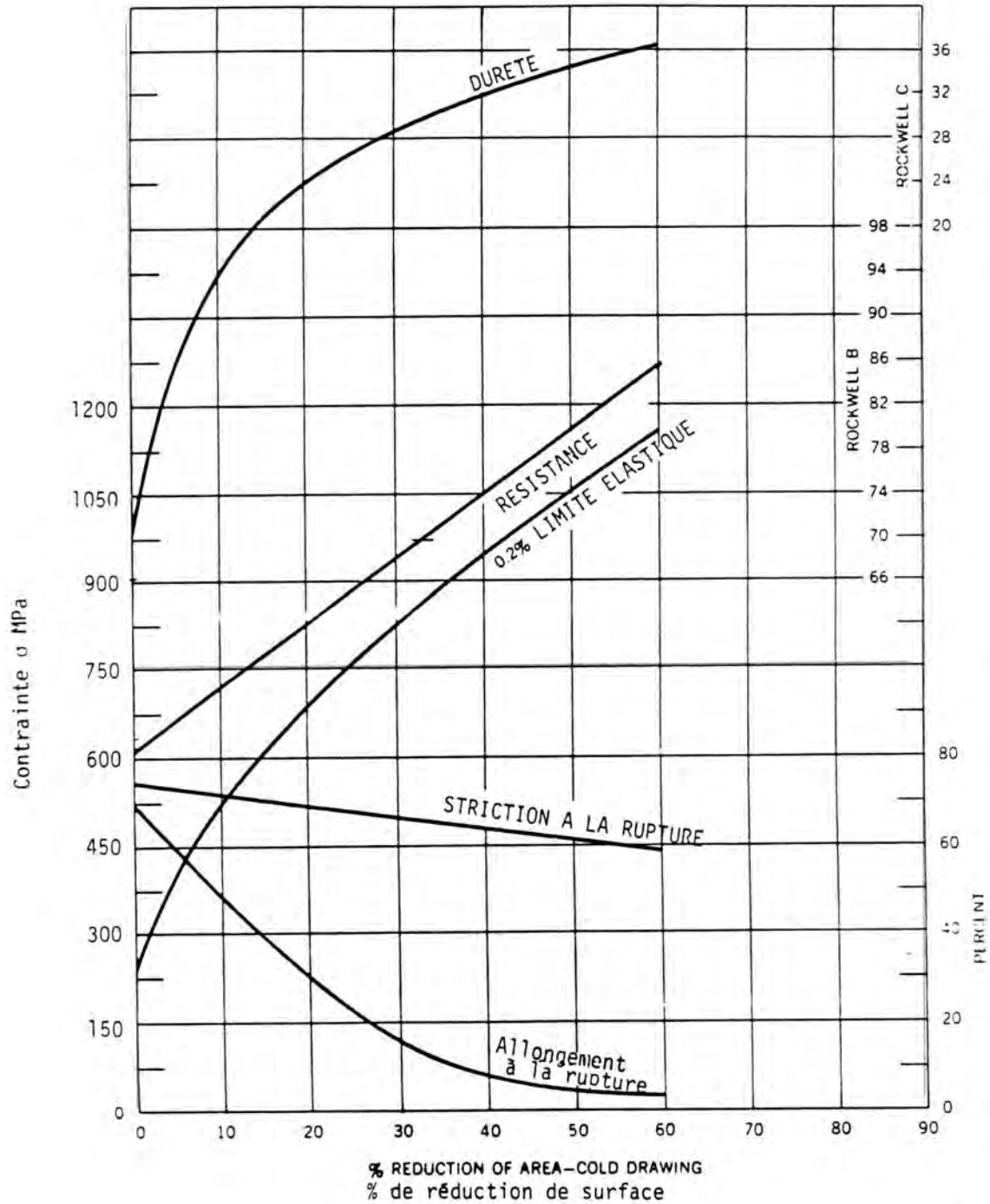
On veut fabriquer des tiges de 0,55 cm de diamètre dont la résistance doit être supérieure à 1050 MPa, la dureté supérieure à 28 Rc et la limite élastique inférieure à 1050 MPa. Le matériau tel que reçu est sous forme de tiges de 1 cm de diamètre dont la dureté est de 28 Rc. L'usine n'est pas équipée pour le travail à chaud (laminages à froid et recuits seulement). De plus, pour des raisons de résistance à l'usure des matrices, la dureté des tiges ne doit jamais être supérieure à 36 Rc et pour éviter la fissuration de ces tiges la striction à la rupture ne doit jamais être inférieure à 60%.

a) Établissez en détail la procédure à suivre pour obtenir le produit demandé en minimisant le nombre d'étape pour réduire les coûts.

b) Sachant que la section d'une tige diminue avec le pourcentage de travail à froid pendant que sa résistance augmente linéairement, après quel pourcentage de travail à froid une tige supportera-t-elle la plus grande charge? La tige de départ est à l'état recuit (0 % de C.W).

REPOSES ET DÉVELOPPEMENT :

Type 305



Variations des propriétés mécaniques de l'acier inoxydable de type 305
en fonction du pourcentage de travail à froid

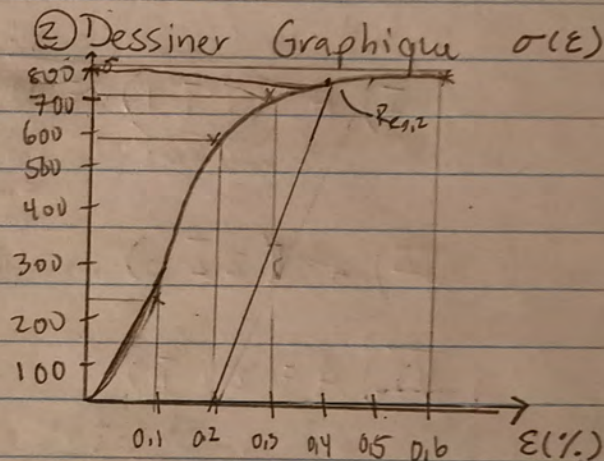
24 septembre 2019 : Chapitre 7

Pratique Examen type: (Partiel)

1) $d = 1.45 \text{ cm}$ a) E ?
 $l_0 = 8 \text{ cm}$ b) $Re_{0.2}$

① 1^{re} chose : σ et ϵ à chaque point $\rightarrow \left[\begin{array}{l} \sigma = \frac{F}{S_0} \rightarrow \text{cte} \\ S_0 = 165 \text{ mm}^2 \\ \epsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \end{array} \right]$

	$\sigma \text{ (MPa)}$	ϵ
	0	0
③ {	x 233	6.25×10^{-4}
	x 410	1.25×10^{-3}
	585	1.88×10^{-3}
	707	2.50×10^{-3}
	763	3.13×10^{-3}
	820	6.00×10^{-3}
	865	6.25×10^{-3}



③ Loi de Hook: $\sigma = E \epsilon$

Alors $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \rightarrow E = 283 \text{ GPa}$ $\epsilon \times 10^{-3}$

Réponse a).

b) $Re_{0.2} \approx 800 \text{ MPa}$ (Graphique)

c) $\left. \begin{array}{l} \text{masse lingot} \\ 1 \text{ tonne métrique} = 1000 \text{ kg} \\ l = 120 \text{ m} \\ \Delta l_{\max} = 12 \text{ cm} = 0.12 \text{ m} \end{array} \right\} \text{ On cherche } D \text{ en sachant que } \left. \begin{array}{l} \Delta \epsilon = ? \\ \epsilon = \frac{\Delta l_{\max}}{l_0} = \frac{0.12 \text{ m}}{120 \text{ m}} = 10^{-3} = 0.001 \end{array} \right\}$

donc $\sigma_{\max} = E \epsilon_{\max} = (283 \text{ GPa})(10^{-3}) = 283 \text{ MPa} = \sigma_{\max}$

② $\sigma = \frac{F}{S_0} = \frac{4F}{\pi D^2} \rightarrow \text{on cherche } F.$

$F = (m_{\text{Lingot}})(g) = (1000 \text{ kg})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) = 9810 \text{ N}$ on peut trouver

$S_0 = \frac{F}{\sigma_{\max}} = \frac{9810 \text{ N}}{283 \text{ MPa}} = 4.06 \text{ mm}^2 \rightarrow d^2 = \frac{4S_0}{\pi} \rightarrow d = 2\sqrt{S_0/\pi} = 6.64 \text{ mm} = d$ Réponse c)

d) $\epsilon_T = \epsilon_{\text{élastique}} + \epsilon_{\text{plastique}}$

$\sigma = \frac{F}{S_0} = 776 \text{ MPa} \rightarrow \text{regarder graphique à } \sigma = 776, \epsilon = ?$

ici, $\epsilon_T = 0,0035 = 0,35\%$
 donc $\epsilon_e = \frac{\Delta \text{caract}}{F} = 0,0027\%$
 $\epsilon_{pl} = \epsilon_T - \epsilon_e = 0,0008 = 8 \times 10^{-4}$

2 a) I : $A = [1 \ 1 \ \bar{1}] = [33 \ \bar{1}] \rightarrow \Pi : A = [\bar{1} \ 1 \ 0]$
 $B = [\bar{4} \ 0 \ \bar{3}]$
 $C = [\bar{3} \ 6 \ 1]$
 $D = [T \ 1 \ \bar{T}]$
 $B = [1 \ 2 \ 1] \rightarrow [\frac{1}{2} \ 1 \ \frac{1}{2}]$
 $C = [0 \ \bar{1} \ \bar{2}]$
 $D = [\frac{1}{2} \ -1 \ \frac{1}{2}] \Rightarrow [1 \ \bar{2} \ 1]$
 Rep.

b) Indices des Plans:
 I) $A = (\bar{1} \ \bar{1} \ 1) =$ ~~$(\bar{1} \ \bar{1} \ 1)$~~
 - croise Axe
 miller
 = inverse

$B = (2 \ 3 \ 0)$
 $\hookrightarrow (\frac{1}{2} \ \frac{1}{3} \ \infty) \rightarrow \text{non inverse}$

II) $A = (2 \ \bar{2} \ 0)$ $B = (1 \ 2 \ \bar{2})$

III) $A = (2 \ 1 \ \bar{1})$ $B = (0 \ 2 \ \bar{1})$
 $\hookrightarrow (\frac{1}{2})$ $\hookrightarrow \frac{1}{2} \rightarrow -1 = (0 \ 2 \ \bar{1})$

\rightarrow Choix origine : chaque Axe croise le plan
 ou chaque Axe Parallèle aux Axes.

c) Aluminium, $R_A = 0,1432 \text{ nm}$, CFC, $T = 0,0254 \text{ mm} = 25,4 \mu\text{m}$
 on cherche le nombre de cellules pour l'épaisseur de la feuille.

\rightarrow Relation entre a et R_A : $a = 2R\sqrt{2} = 0,41 \text{ nm} = 0,41 \times 10^{-9} \text{ m}$

$n = \frac{t}{a} = \frac{0,0254 \text{ mm}}{0,41 \times 10^{-9} \text{ m}} = 62 \ 711 \text{ cellules unitaires}$

d) CC $\rightarrow h =$

$1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$

$\rightarrow a = 683 \times 10^{-12} \text{ m}$

$\rho = 1.32 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$

Combien de groupements d'O₂ contient cette maille

$$\left[\rho = \frac{n M}{V_m \cdot N_A} \right]$$

$\rightarrow M_{O_2} = 2(16 \text{ g/mol}) = 32 \text{ g/mol} ?$

$N_A = 6.023 \times 10^{23} \text{ atomes/mol}$

$V_m = a^3 = (683 \times 10^{-12} \text{ m})^3 = 0.32 \text{ nm} = 0.32 \times 10^{-9} \text{ m}^3$

$n = 7.95 \approx 8$

Réponse

3) Sous Quelle charge cette tige se rompra-t-elle?

on a:

$R_m = 250 \text{ Mpa}$

$w_1 = 1.6 \text{ cm}$

$r_1 = 0.3 \text{ cm}$

$h = 1 \text{ cm}$

$w_2 = 2 \text{ cm}$

$r_2 = 0.2 \text{ cm}$

$d_{\text{trou}} = 0.1 \text{ cm}$

3 défauts: - r₁ (Petit) ← I

- Trous Au centre ← II

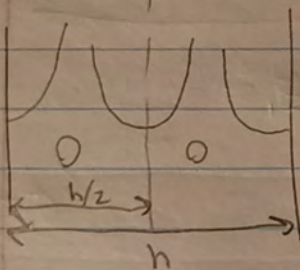
- r₂ (grand) ← III

1) I: 2 valeurs: $\therefore \frac{r_1}{h} = 0.19$

$\frac{w_1}{h} = \frac{1.6}{1} = 1.6$

graphique

$\frac{w}{h} = \frac{1.6}{1} = 1.6 \rightarrow K_t^I \approx 1.75$



2) II: Trous

graphique des trous. Ils sont indépendant. L'épaisseur où le trou

$= \frac{h}{2}$

$\rightarrow II = \frac{2P}{h}$

$= 0.2$

Chaque Trou / graphique

Donc $K_t^{II} = 2.4$

3) III) $\frac{r_2}{w_2} = \frac{0.2}{2} = 0.1$

$\therefore \frac{w_2}{h} = \frac{2}{1} = 2$

\rightarrow Graphique: $K_t^{III} \approx 2.3$

Rupture où les trous.

$\sigma_r = \frac{F}{S_0} \rightarrow S_0 = T(h - 2D)$

enlever les trous!

$F = \sigma_r S_0 = \frac{4167 \text{ N}}{K_t}$

Réponse

4 On veut Fabriquer des tiges avec un
Diamètre Final = 0,55 cm $\rightarrow d_0 = 1 \text{ cm}$

$$R_m \geq 1050 \text{ MPa}$$

$$HRC \geq 28$$

$$R_{e0.2} < 1050 \text{ MPa}$$

$$Str \geq 60\%$$

$$ct \left[HRC_{max} \leq 36 \right] HRC_0 = 28 Rc$$

conditions
de Machine

a) ① cahier des charges : lecture Graphique ?

Intervalle d'Écrouissage
où on obtient
toutes nos Valeurs

- ① pour $R_m \geq 1050 \text{ MPa} \rightarrow 1050 \text{ MPa}$ implique $E\% \geq 40\%$
- ② Dureté $28 < HRC < 36$ (Valeurs à droites)
 $\rightarrow \min E\% = 28\%$
- ③ $R_{e0.2} \leq 1050 \text{ MPa} \rightarrow E\% \leq 49\%$

$$40\% \leq E \leq 49\%$$

$$\left. \begin{array}{l} SR \leq 60\% \rightarrow E < 55\% \\ HRC \leq 36 \rightarrow E < 57\% \end{array} \right\} \text{OK!}$$

on commence par la dernière phase

$$E = \frac{S_1 - S_F}{S_1} \times 100 \Rightarrow E = \frac{\frac{\pi d_1^2}{4} - \frac{\pi d_F^2}{4}}{\frac{\pi d_1^2}{4}} \times 100 \quad (\text{moyenne } = 44,5\%)$$

$$d_0 = 1 \text{ cm}$$

$$\rightarrow d_1^2 \left(1 - \frac{E}{100} \right) = d_F^2$$

$$d_1 = 0,74 \text{ cm}$$

① Recuit

$$② E = 45\% \quad d_1 = 0,74 \text{ cm}$$

③ Recuit

$$④ E_F = 44,5\% \text{ pour obtenir } d_F = 0,55 \text{ cm}$$

$$E_1 = 45\%$$

1 = recuit $\xrightarrow{(2)} \text{écrouissage } 45\%$
pour $d = 0,74 \text{ cm}$

$\xrightarrow{(3)} \text{Recuit} \xrightarrow{(4)} E = 44,5\%$
pour $d_0 = 0,74 \text{ cm}$
à $d_F = 0,55 \text{ cm}$