



ÉCOLE
POLYTECHNIQUE
MONTREAL

Le génie
sans frontières

DÉPARTEMENT DE GÉNIE PHYSIQUE
ET DE GÉNIE DES MATÉRIAUX

Note finale:

125

NOM (en majuscules):

Corrigé

PRÉNOM :

SIGNATURE :

MATRICULE :

SECTION :

COURS ING1035 - MATÉRIAUX

Contrôle N° 1

du 16 février 2001

de 8h45 à 10h20

FORMULAIRE DE RÉPONSES

- NOTES :
- ◆ Aucune documentation permise.
 - ◆ Moyen de calcul : calculatrices autorisées seulement.
 - ◆ Les nombres en marge de droite indiquent le nombre de points accordés à la question. Le total est de **25** points.
 - ◆ **Pour les questions nécessitant des calculs, aucun point ne sera accordé à la bonne réponse si le développement n'est pas écrit.**
 - ◆ **Utilisez les espaces prévus ou la page opposée pour vos calculs**
 - ◆ Le questionnaire comprend **7** pages, incluant les annexes (si mentionnés) et le formulaire général.
 - ◆ Le formulaire de réponses comprend **5** pages.
 - ◆ Vérifiez le nombre de pages de votre questionnaire et de votre formulaire de réponse.

1. EXERCICE n° 1

1.a) Paramètres de la courbe $U = f(d)$

Inscrivez le paramètre **A, B, C, D, ou F** dans les cases appropriées

Propriété	Paramètre	Propriété	Paramètre
Distance interatomique à la température de fusion	---	Module d'Young	D
Distance interatomique au zéro degré absolu	B	Conductivité thermique	---
Énergie de déformation élastique	---	Coefficient de dilatation linéique	C
Température de vaporisation	A	Résistance théorique à la traction	F
Ductilité	---	Conductivité électrique	---

(5 pts)

2. EXERCICE n° 2

2.a) Module d'Young

Justification :

Pente de la droite élastique : $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/S_0}{\Delta L/L_0}$

E = 195 GPa

 (1 pt)

(voir figure en annexe)

2.b) Limite proportionnelle d'élasticité R_e

Justification :

Contrainte pour laquelle il y a déviation à la loi de Hooke (écart à la droite élastique (voir figure en annexe))

$R_e = 250$ MPa

 (1 pt)

2.c) Limite conventionnelle d'élasticité $R_{e0,2}$

Justification :

Contrainte définie par l'intersection de la courbe de traction et d'une droite parallèle à la droite élastique et passant par le point à 0,2% de déformation (voir figure en annexe)

$R_{e0,2} = 295$ MPa

 (1 pt)

2.d) Résistance à la traction R_m

Justification :

Contrainte nominale maximale atteinte au cours de l'essai de traction (voir figure en annexe). Ordonnée du point le plus élevé de la courbe de traction.

$R_m = 500$ MPa

 (1 pt)

2.e) Déformation totale ϵ_t juste avant rupture

Justification :

Déformation totale ϵ_t (élastique ϵ_{el} + plastique ϵ_{pl}) atteinte juste avant la rupture. Abscisse du dernier point de la courbe de traction (voir figure en annexe)

$$\epsilon_t = 38 \% \quad (1 \text{ pt})$$

2.f) Allongement final A après rupture

Justification : Déformation plastique permanente A après la rupture.

$A = (\epsilon_t - \epsilon_{el})$, où ϵ_{el} est le retour élastique après rupture. Si R_f est la contrainte finale à la rupture, $\epsilon_{el} = R_f/E$ (voir figure en annexe)

$$A = 37,78 \% \quad (1 \text{ pt})$$

2.g) Énergie élastique W_{el} libérée à la rupture

Justification :

$W_{el} = \frac{1}{2}\sigma\epsilon = \sigma^2/2E$ (voir figure en annexe)

$$W_{el} = 476 \text{ kJ/m}^3 \quad (1 \text{ pt})$$

2.h) Coefficient de Poisson ν de l'acier inoxydable 316

Justification :

$\nu = -\epsilon_d/\epsilon_l$, où ϵ_d est la déformation élastique diamétrale (contraction) et ϵ_l est la déformation élastique longitudinale (élongation).

$\epsilon_d = \Delta D/D_0$; $\epsilon_l = \Delta L/L_0$ pour la valeur de $F = 40 \text{ kN}$ appliquée à l'éprouvette Ici, $\Delta D = -0,005 \text{ mm}$; $\Delta L = 0,175 \text{ mm}$

$$\nu = 0,285 \quad (1 \text{ pt})$$

2.i) Module d'Young E du matériau pré-écroui

Justification :

L'écrouissage (ou déformation plastique) ne modifie pas la rigidité du matériau.

Donc le module d'Young ne change pas et sa valeur est identique à celle obtenue à

$$E = 195 \text{ GPa} \quad (1 \text{ pt})$$

2.j) Limite d'élasticité R_e du matériau pré-écroui

Justification :Après la prédéformation de l'éprouvette ($\Delta L = 30 \text{ mm}$), le volume de l'éprouvette est resté le même ($V = V_0$). On en déduit la nouvelle section S de l'éprouvette : $V = V_0 = L_0 S_0 = (L_0 + \Delta L)S$. On obtient ainsi $S = 0,833 S_0$. À la remise en charge, la force pour mettre en mouvement les dislocations est égale à celle appliquée quand on a déchargé l'éprouvette. Mais, en terme de contrainte ($\sigma = F/S$), la contrainte nominale est plus élevée car l'éprouvette a une section S plus faible. Il suffit donc de multiplier la contrainte obtenue à la prédéformation, pour $\Delta L = 30 \text{ mm}$, par le rapport des surfaces

$S_0/S = 1/0,833 = 1,2$. Donc $\sigma_{prédéformée} = R_{e,prédéformée} = 1,2 * \sigma_{initiale}$

$$R_e = 543 \text{ MPa} \quad (1 \text{ pt})$$

2.k) Résistance à la traction R_m du matériau pré-écroui

Justification :

Pour les mêmes raisons que celles présentées à la question précédente, il suffit de multiplier la contrainte obtenue avant prédéformation par le rapport des surfaces $S_0/S = 1/0,833 = 1,2$.

Donc $\sigma_{prédéformée} = R_{m,prédéformée} = 1,2 * R_{m,initiale}$

$$R_m = 600 \text{ MPa} \quad (1 \text{ pt})$$

3. EXERCICE n° 3

3.a) Système cristallin de l'étain blanc

Justification :

$a = b \neq c$ et $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

C'est donc le système **quadratique**

Quadratique	(½ pt)
-------------	--------

3.b) Réseau de Bravais de l'étain blanc

Justification :

La maille possède un nœud supplémentaire en son centre.

C'est donc le réseau de Bravais **Quadratique centré**

Quadratique centré	(½ pt)
--------------------	--------

3.c) Masse volumique théorique ρ de l'étain blanc

Justification :

Nombre d'atomes appartenant en propre à la maille: $(8 \cdot 1/8) + 1 = 2$

Masse de ces atomes : $m_{at} = 2 \cdot A / N_A$,

A est la masse atomique de l'étain ($A = 118,7$ g/mole) et N_A est le nombre d'Avogadro.

Volume de la maille : $V = a \cdot a \cdot c = ca^2$

masse volumique théorique : $\rho = m_{at} / V$

$\rho = 6,68$ g/cm ³	(1 pt)
---------------------------------	--------

3.d) Densité linéique d'atomes selon la direction $[\bar{1} \bar{1} 1]$.

Justification :

La direction $[\bar{1} \bar{1} 1]$ est une des grandes diagonales de la maille (voir figure en annexe).

La longueur l de cette diagonale est égale à : $l = \sqrt{2a^2 + c^2}$.

Il y a **2 atomes en propre** appartenant à ce segment

2,715 at/nm	(1 pt)
-------------	--------

3.e) Densité surfacique d'atomes dans les plans (101) et $(1\bar{1}0)$.

Justification :

Voir la figure en annexe pour la position des plans (101) et $(1\bar{1}0)$ dans la maille.

Plan (101) :

Surface de la maille plane $S = a\sqrt{a^2 + c^2} = 0,2114$ nm²

Il y a **2 atomes en propre** appartenant à cette surface de référence

Plan $(1\bar{1}0)$:

Surface de la maille plane $S = ca\sqrt{2} = 0,2624$ nm²

Il y a **2 atomes en propre** appartenant à cette surface de référence

(101) : 9,462 at/nm ²	(1 pt)
$(1\bar{1}0)$: 7,622 at/nm ²	

3.f) Nombre de plans particuliers appartenant aux familles {101} et {110}.

Justification :

On constate que les plans étudiés à la question ci-dessus n'ont pas la même densité surfacique d'atomes. Ils n'appartiennent donc pas à la même famille de plans admettant pour indices 1, 1 et 0. Il faut donc dénombrer les plans particuliers en faisant des permutation et des changement de signe des indices 1, 1, et 0 et calculer leur densité surfacique d'atomes.

Voir la figure en annexe pour la position des plans particuliers

appartenant aux familles {101} et {110} de la maille quadratique centrée.

{101} : 4	(1 pt)
{110} : 2	

4. EXERCICE n° 4

4.a) Force maximale F_{max}

Justification :

Calcul du facteur de concentration de contrainte K_t associé à l'entaille ::

$h = (W - 2b) = (200 - 2 \cdot 40) \text{ mm} = 120 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad r/h = 10/120 = 0,0833$

$b/r = 40/10 = 4 \quad \rightarrow \quad K_t = 2,93 \pm 0,03$

Contrainte locale: $\sigma_{loc} = K_t \sigma_{nom} = K_t F/S = K_t F/he$

Donc: $F = \sigma_{loc} he / K_t$

Pour le verre (matériau fragile) :

$\sigma_{loc,max} = R_m \quad \rightarrow \quad F = R_m he / K_t$

Pour l'aluminium (matériau ductile) :

$\sigma_{loc,max} = R_{e0,2} \quad \rightarrow \quad F = R_{e0,2} he / K_t$

	Fmax (kN)
Verre	165 ± 3
Aluminium	479 ± 4

(2 pts)

4.b) Que se passe-t-il si $F > F_{max}$?

Pour chaque matériau, expliquez ce qui se produit dans la plaque :

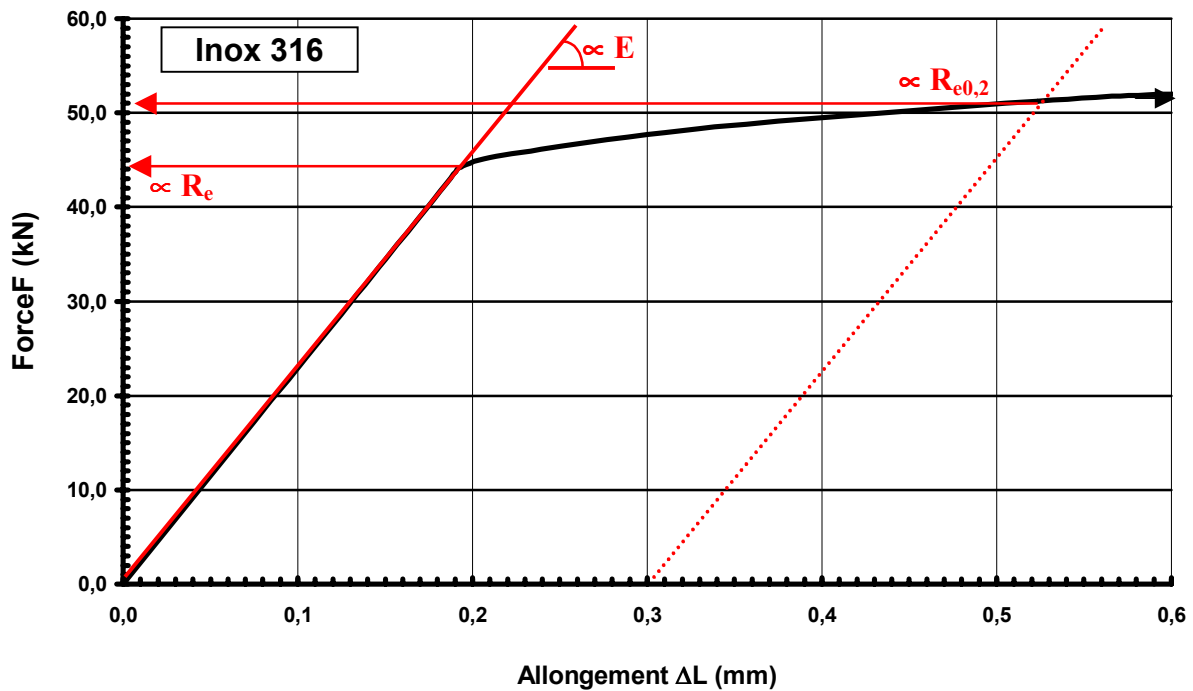
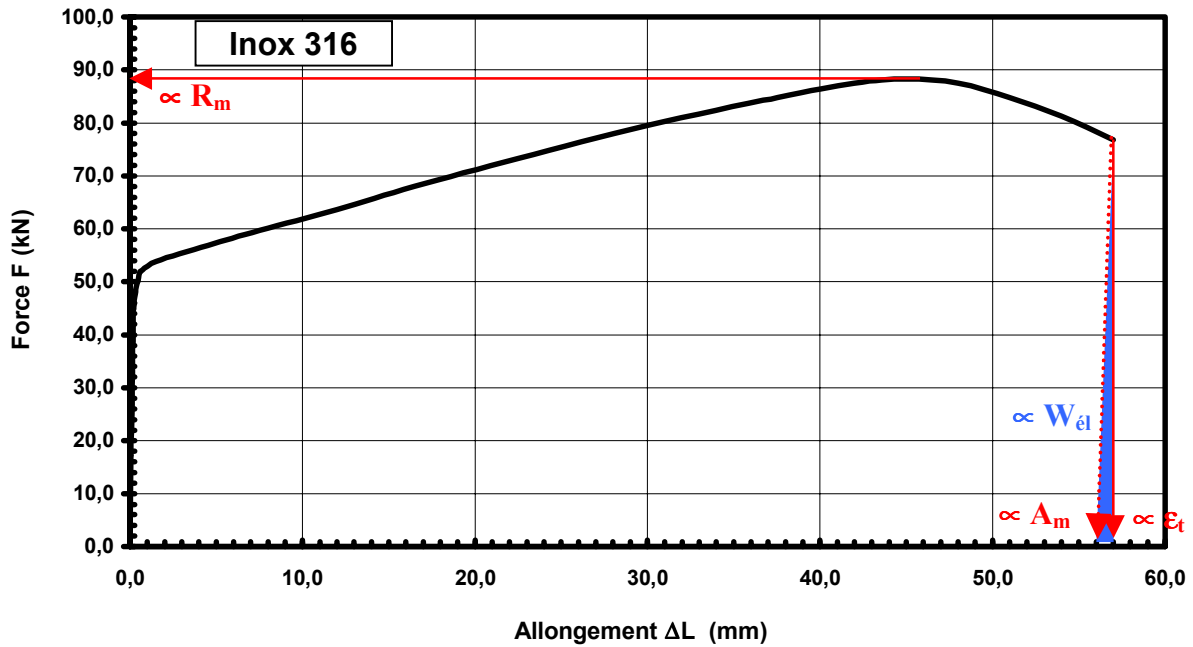
Verre trempé	Aluminium 2024-T6
<p>Si la force appliquée dépasse la valeur maximale calculée ci-dessus, la contrainte locale à la racine des entailles atteint la résistance à la traction du matériau et il y a <u>rupture fragile</u> de celui-ci.</p>	<p>Si la force appliquée dépasse la valeur maximale calculée ci-dessus, la contrainte locale à la racine des entailles atteint la limite d'élasticité du matériau et il y a <u>déformation plastique localisée à la racine des entailles</u>.</p>

(2 pts)

ANNEXES

Exercice n° 2 : Courbe brute de traction $F = f(\Delta L)$ de l'acier inoxydable 316

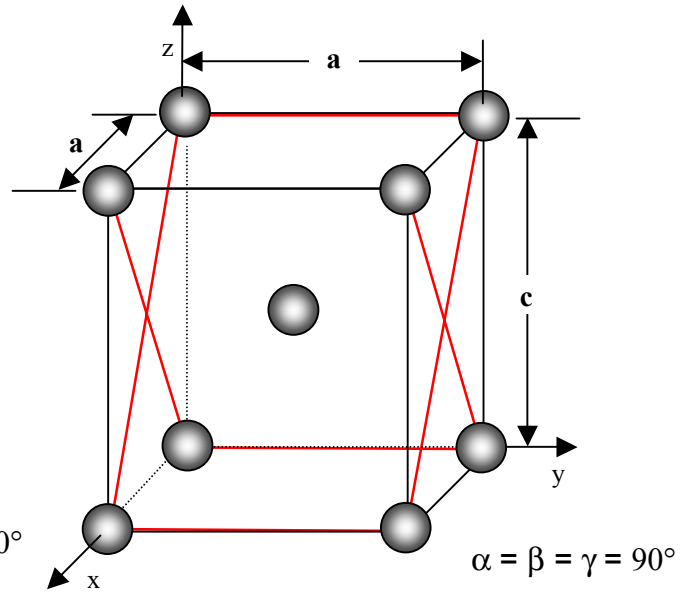
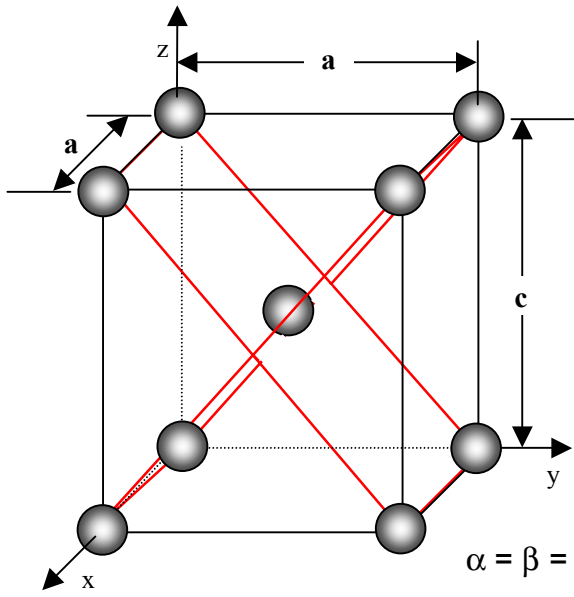
NB : Les forces et les allongements absolus correspondant aux flèches doivent être convertis en contraintes nominales ($\sigma = F/S_0$) et en déformation nominale ($\epsilon = \Delta L/L_0$)



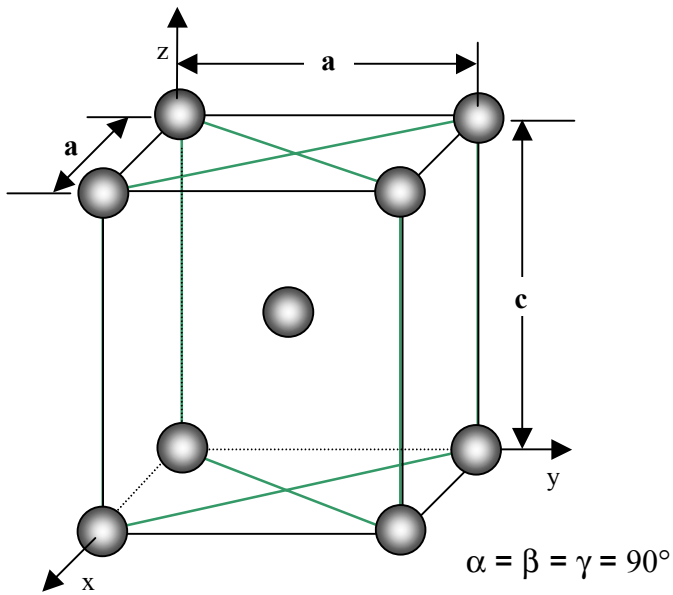
ANNEXES

Exercice n° 3 : Cristallographie de l'étain blanc

Famille **{101}**



Famille **{110}**



ANNEXES

Exercice n° 4 : Facteur de concentration de contrainte K_t pour une plaque entaillée

