



ÉCOLE
POLYTECHNIQUE
M O N T R É A L

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 5.110 - MATÉRIAUX

Contrôle N° 1

du 2 octobre 1998

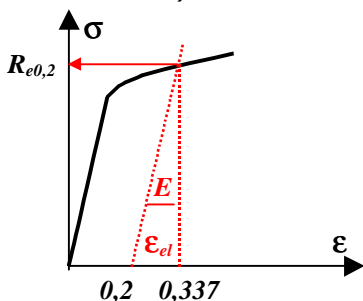
de 9h00 à 10h20

FORMULAIRE DE RÉPONSES

- NOTES :
- ◆ Aucune documentation permise.
 - ◆ Tout moyen de calcul autorisé.
 - ◆ Les nombres entre 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 le verso de la page opposée pour vos calculs**
 - ◆ Le questionnaire comprend 4 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) Module d'Young du fer polycristallin.

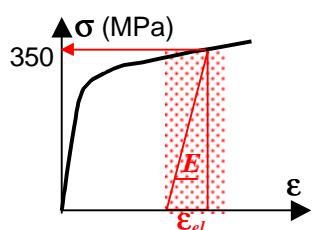


La courbe de traction est représentée schématiquement ci-contre. À la limite conventionnelle d'élasticité $R_{e0,2}$, la déformation totale ϵ_t est égale à 0,337 % et la déformation élastique ϵ_{el} est égale à : $\epsilon_{el} = (\epsilon_t - 0,2)\% = 0,137\%$.

Le module d'Young du fer est donc égale à : $E = R_{e0,2} / \epsilon_{el} = 280\text{MPa} / 0,137\%$ (2 pts)

$E = 204,3 \text{ GPa}$

1.b) Énergie élastique W_{el} sous une contrainte de 350 MPa.



L'énergie élastique W_{el} emmagasinée par unité de volume est égale à l'aire du triangle élastique représenté ci-contre.

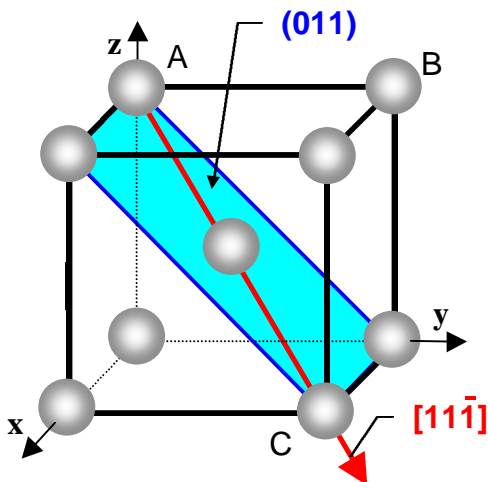
$$W_{el} = \frac{1}{2} \sigma \epsilon_{el} = \frac{\sigma^2}{2E} = \frac{(350 \times 10^6)^2}{2 \times 204,7 \times 10^9} \text{ J/m}^3$$

(2 pts)

$W_{el} = 299,2 \text{ kJ/m}^3$

2. EXERCICE n° 2

2.a) Position et indices d'un système de glissement du fer (réseau CC)



Un système de glissement est composé d'un plan de plus grande densité atomique et d'une direction de plus grande densité atomique contenue dans ce plan.

Dans le réseau CC, les plans de glissement sont des plans $\{110\}$ et les directions de glissement sont des directions $\langle 111 \rangle$.

(2 pts)

La figure ci-contre montre un système de glissement du fer monocristallin.

Plan :	(011)
Direction :	$[11\bar{1}]$

2.b) Densité de nœuds

Paramètre a de la maille CC : $a\sqrt{3} = 4r$ donc $a = 4r/\sqrt{3}$

Avec $r = 0,125 \text{ nm}$, on obtient $a = 0,289 \text{ nm}$

Dans un plan de glissement de type $\{110\}$, la densité surfacique

de nœuds est égale à :

$$\frac{\left[\left(4 \times \frac{1}{4} \right) + 1 \right] \text{ nœuds}}{a \cdot a \sqrt{2}} = \frac{2}{a^2 \sqrt{2}}$$

Le long d'une direction de glissement de type $\langle 111 \rangle$, la densité linéique de nœuds est égale à :

$$\frac{\left[\left(2 \times \frac{1}{2} \right) + 1 \right] \text{ nœuds}}{a \sqrt{3}} = \frac{2}{a \sqrt{3}}$$

Densité de nœuds	
Plan	$16,93 \text{ nm}^{-2}$
Direction	$\approx 4 \text{ nm}^{-1}$

(2 pts)

2. Exercice n° 2 (suite)

2.c) Cission résolue τ sur le système de glissement pour $\sigma_{nom} = 150$ MPa.

D'après la figure ci-dessus, on peut appliquer la contrainte nominale $\sigma_{nom} = 150$ MPa selon l'axe y . La cission réduite τ s'exerçant sur le système de glissement est donnée par l'équation suivante : $\tau = \sigma_{nom} \cos\theta \cos\chi$

Ici, l'angle χ est l'angle fait par l'axe y et la direction $[011]$, normale au plan (011) : $\chi = 45^\circ$.

L'angle θ , mis en évidence sur la figure ci-dessus, peut être calculé grâce au triangle ABC ou en faisant le produit scalaire $[011] \cdot [11\bar{1}]$ des indices de la direction de glissement et de l'axe de traction. $\theta = 54,74^\circ$.

La cission réduite τ s'exerçant sur le système de glissement est donc égale à :

(2 pts)

$$\tau = 150 \cdot \cos(45) \cdot \cos(54,74) = 61,24 \text{ MPa}$$

$\tau = 61,24 \text{ MPa}$

2.d) Limite proportionnelle d'élasticité R_e du fer polycristallin.

Justification :

Dans un polycristal constitué d'un très grand nombre de grains dans chacun desquels il existe un ou plusieurs systèmes de glissement actifs, la valeur moyenne des facteurs de Schmid $\cos\theta \cos\chi$ associés à ces systèmes de glissement est égale à $\frac{1}{2}$. Par conséquent, si la cission critique requise pour activer un système de glissement est égale à τ^* , la limite proportionnelle d'élasticité R_e du polycristal est atteinte quand :

$$\tau^* = \frac{1}{2} R_e \quad \text{Donc} \quad R_e = 2 \tau^* = 2 \times 125 \text{ MPa} = 250 \text{ MPa}$$

(2 pts)

$R_e = 250 \text{ MPa}$

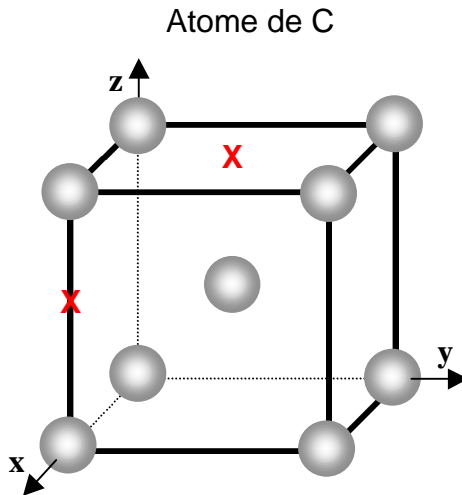
2.e) Phénomène physique apparaissant à R_e :

Quand la limite proportionnelle d'élasticité R_e du polycristal est vint d'être dépassée, **les dislocations présentes dans les grains ont été mises en mouvement** sous l'effet de la cission critique τ^* s'exerçant dans les systèmes de glissement actifs de ces grains.

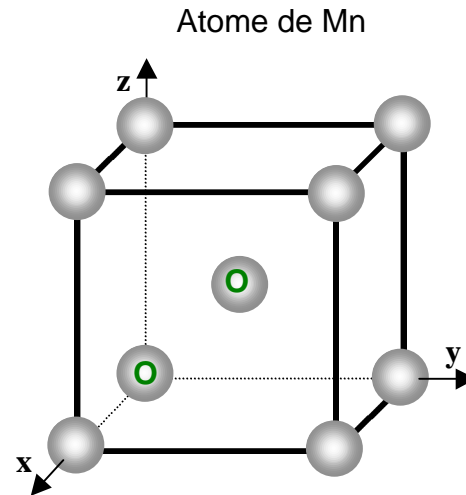
(2 pts)

3. Exercice n° 3

3.a) Position d'un atome de carbone (X) et d'un atome de manganèse (O) en solution solide dans le réseau du fer.



Coordonnées de l'atome de C	x	1/2	1
	y	1/2	0
	z	0	1/2



Coordonnées de l'atome de Mn	x	0	1/2
	y	0	1/2
	z	0	1/2

(4 pts)

Justification :

L'atome de carbone ayant un rayon (0,077 nm) beaucoup plus petit que celui des atomes de fer (0,125 nm), il se logera **en position interstitielle dans les sites octaédriques** définis par les atomes de fer. Dans un réseau CC, ces sites octaédriques se trouvent au centre des faces du cube et au milieu des arêtes du cube. Par contre, l'atome de manganèse est plus gros que celui de fer (0,140 et 0,125 nm respectivement). Le manganèse se substituera aux atomes de fer et sera donc localisé à un des nœuds du réseau CC. **Le manganèse est alors un atome étranger de substitution.**

3.b) Nom de l'effet du carbone et du manganèse sur la limite d'élasticité de l'acier extra doux :

L'augmentation de la limite d'élasticité constatée chez un élément qui contient des atomes étrangers en solution solide (soit d'insertion, soit de substitution) est appelé le **DURCISSEMENT PAR SOLUTION SOLIDE**. (1 pt)

3.c) Mécanisme physique responsable de cet effet :

Le durcissement par solution solide est la conséquence des **contraintes internes qui apparaissent dans la structure cristalline de l'alliage, aux alentours des atomes étrangers d'insertion ou de substitution**, car, dans le cas des solutions solides d'insertion, les atomes étrangers ont très généralement un diamètre supérieur à la dimension du site qu'ils occupent, alors que pour les solutions solides de substitution, les atomes étrangers ont un diamètre légèrement différent de celui des atomes hôtes (plus petit ou plus grand). Ces contraintes internes rendent plus difficile la mise en mouvement et le déplacement des dislocations, donc la limite d'élasticité de la solution solide est plus élevée que celle du corps pur. (1 pt)

4. Exercice n° 4

Dites si les affirmations suivantes sont vraies (**V**) ou fausses (**F**)

Attention : une mauvaise réponse en annule une bonne.

Le coefficient de dilatation thermique α d'un matériau est d'autant plus élevé que la température de fusion de ce matériau est élevée.	F
Le module d'Young E d'un matériau est d'autant plus élevé que la température de fusion de ce matériau est élevée.	V
Dans un matériau cristallin ductile, les dislocations sont mises en mouvement lorsque l'on atteint la limite conventionnelle d'élasticité $R_{e0,2}$ du matériau.	F
La différence marquée entre la résistance théorique R_{th} à la traction d'un matériau fragile et sa résistance expérimentale R_m est due à la présence de défauts microscopiques dans le matériau (porosités, rayures, inclusions).	V
La compacité de la structure cristalline cubique à faces centrées (CFC) est moins élevée que celle de la structure hexagonale compacte (HC).	F

(5 pts)