

Examen partiel final
Mardi 16 décembre
8h30 -10h25

Matériaux de l'ingénieur, section A et B
GML-10463

Professeurs : Diego Mantovani et Daniel Larouche

Nom : _____ Prénom : _____

Matricule : _____ Programme : _____

Matériaux de l'ingénieur : section A _____ ou section B _____

INSTRUCTIONS

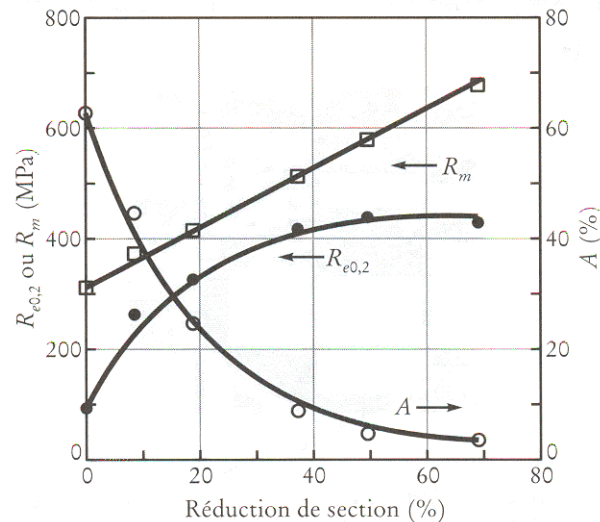
- ♦ L'examen est individuel, aucun échange (verbale ou de documents) n'est permis ;
- ♦ Une (1) feuille recto verso d'aide mémoire pour les formules est permise ;
- ♦ Déposez sur la table d'examen votre carte d'étudiant ;
- ♦ Le professeur se réserve le droit d'enlever des notes en regard de la présentation 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 là où 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	Bonus-A	Bonus-B	Total
/25	/25	/25	/25	/10	/10	/110

EXERCISE I (17-8 points)**E1**

1. On reçoit des tôles de laiton Cu-35%Zn à l'état recuit dont l'épaisseur est de 1,3 cm. Les propriétés mécaniques de ce laiton en fonction du pourcentage de réduction de section sont données dans le graphique ci-joint. On souhaite obtenir une tôle de 0,7 cm d'épaisseur dont la résistance à la traction (R_m) soit supérieure à 450 MPa et ayant un allongement à la rupture ($A\%$) qui soit supérieur à 10%.



Sachant qu'on ne peut réduire la section de plus de 40% pour garantir un bon fini de surface des tôles mais qu'il est possible de réaliser un recuit qui restaure les propriétés du matériau entre deux opérations de laminage, on vous demande d'établir en détail la procédure à suivre pour obtenir les tôles demandées.

Remarque : Étant donné la grande largeur des tôles, on peut supposer que l'élargissement au laminage est négligeable et que l'épaisseur seulement varie.

$$\% \text{ de réduction de section} = \left(\frac{A_{\text{initial}} - A_{\text{final}}}{A_{\text{initial}}} \right) \times 100$$



E2

2. À chacune des classes d'aimant (colonne A), associez les énoncés (colonne B) qui lui conviennent.

A	B
Aimant doux	a) champ coercitif élevé.
Aimant dur	b) pertes par hystérésis faibles.
	c) est un matériau paramagnétique.
	d) est utilisé comme noyau de transformateur.
	e) a une induction rémanente élevée.
	f) a une microstructure à grains fins et avec beaucoup de précipités.
	g) les parois de Bloch s'y déplacent facilement.
	h) est difficilement désaimanté par un champ magnétique extérieur.

Aimant doux									
Aimant dur									

Remarque : On enlève 1 point par mauvaise réponse

EXERCISE II (4-4-3-10-4 points)

E2

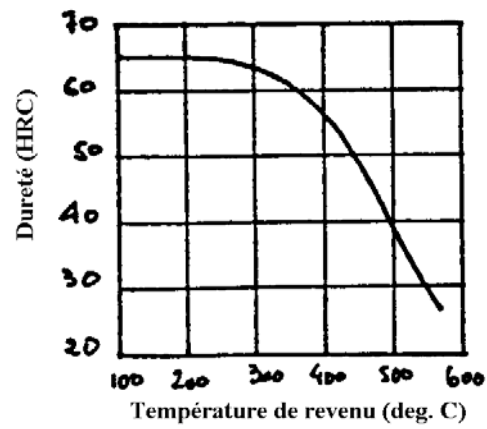
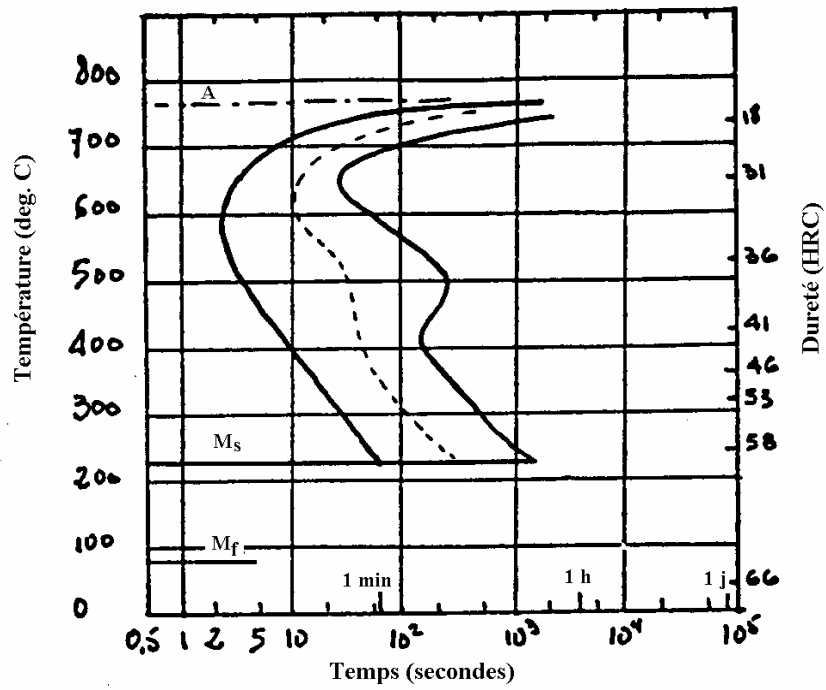
1. Donner les 4 raisons (propriétés) pour lesquelles on utilise maintenant des vitrocéramiques comme plaques de cuisson des cuisinières.

- a) _____
- b) _____
- c) _____
- d) _____

2. Trois pièces faites d'acier 52100 sont traitées de façon à obtenir les structures et les propriétés suivantes.

Pièce	Structure	Dureté (HRC)	Re _{0,2} (MPa)	Rm (MPa)	A (%)
A	Perlite	31	650	925	11
B	Bainite	53	2000	2200	5
C	Martensite	55	2150	2200	2

Les diagrammes relatifs à cet acier sont donnés à la page suivante.



a) Quel traitement thermique (transformation isotherme) après austénitisation conduit aux propriétés des pièces A et B? (Donnez la température de transformation et le temps requis pour que la transformation soit complétée).

	Température de transformation	Temps minimal de maintien
A	°C	sec.
B	°C	sec.

b) Quelle est la dureté de la martensite après trempe?

HRC

c) Décrivez le traitement subi par la pièce C.

d) Quelle serait la microstructure finale d'un acier 52100 ayant subi le traitement thermique suivant :

- a. Austénitisation
- b. Trempe à 350°C, maintien pendant 60 secondes
- c. Trempe à l'eau

EXERCISE III (9-5-5-6 points) **E2**

Vous travaillez pour une industrie dans le domaine des télécommunications, et les questions relatives aux polymères relèvent directement de votre activité quotidienne. Le matériau employé pour l'assemblage des fils de connexions entre différentes unités d'un réseau est un polymère thermoplastique. Le technicien directement sous votre supervision vous informe que suite à un accident, un de ces fils a été brusquement étiré dans le sens longitudinal après l'assemblage des unités chez le client et que, suite à cet accident, le fil a subi un allongement mesurable de 60 %. Votre technicien vous questionne afin de prédire le comportement du fil.

En y réfléchissant un peu, vous assumez les hypothèses suivantes :

- a) que le fil a été étiré à la température de la pièce ;
- b) que la contrainte initiale appliquée au fil est de 2,76 MPa ;
- c) que cette contrainte est égale à 1,72 MPa après 60 secondes.

1. Quel sera donc le module élastique du fil après 10 seconds d'étirement ? Justifiez votre démarche et indiquez la totalité des calculs. ($\sigma = \sigma_0 e^{-t/\lambda}$; $\sigma(10) = E(10) \epsilon_0$)

2. Qu'est-ce qui s'est passé au niveau de la structure du polymère lorsque l'accident a généré un étirement de 60 % dans le fil ? Comment le fil se comporterait-il s'il était soumis à un nouvel étirement brusque ? Expliquez brièvement.

3. Pouvez vous prédire le comportement du même fil, soumis aux mêmes contraintes mais à une température plus élevée ? Justifiez et discutez votre réponse sur la base de vos connaissances.

4. a) Si ce polymère avait été un polymère thermodurcissable, que serait-il probablement arrivé lors de l'accident ? Justifiez votre réponse.

- b) Si lors de l'accident le fil à la place d'avoir été étiré brusquement, il avait été étiré lentement, d'après vos connaissances, est-ce que l'étirement mesurable aurait été différent ?

EXERCISE IV (12-13points) **E2**

1. Un matériau composite à fibres longues, continues et allongées est constitué de 40 % en volume de fibres de verre dispersées dans une matrice de résine polyester thermodurcissable. Les fibres ont un module d'élasticité de 69 GPa, et la résine, une fois durcies, a un module d'élasticité de 3,4 GPa.

- a) Calculez le module d'élasticité E_C du matériau composite.

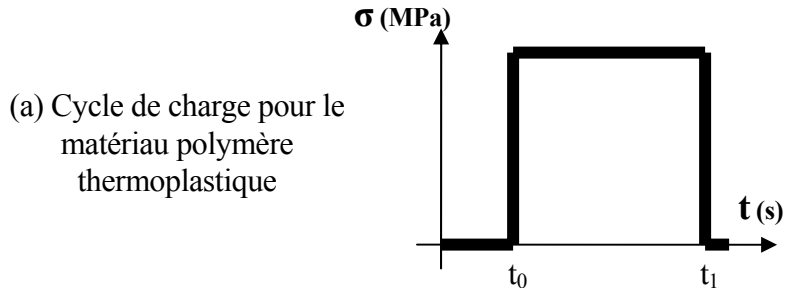
- b) La section transversale du matériau composite est de 250 mm^2 et la contrainte longitudinale est de 50 MPa. Calculez les charges supportées respectivement par les fibres et par la matrice.

- c) Évaluez la déformation subie par les fibres et par la matrice lorsque la contrainte appliquée est de 50 MPa.

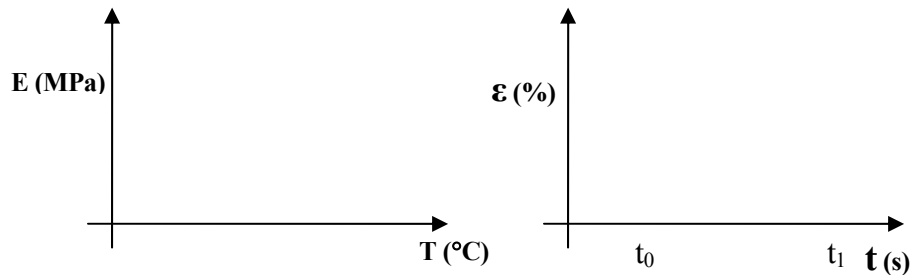
2.

(telle qu'indiquée dans le graphique (a) pour un matériau polymère thermoplastique (MPT)

dans deux différentes phases, pour lequel vous connaissez approximativement sa température de fusion ($T_f = 240\text{ °C}$) et sa température de transition vitreuse ($T_v = 100\text{ °C}$). Tracez les courbes dans les plans suivants, en faisant attention aux variables exprimées par les axes.

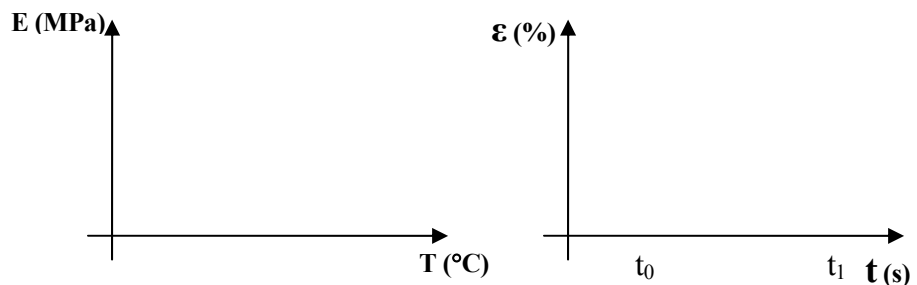


PHASE 1 – Le matériau polymère thermoplastique est quasi amorphe et à 120 °C



Commentaires :

PHASE 2 – Le matériau polymère thermoplastique est quasi cristallin et à 230 °C



Commentaires :

EXERCISE BONUS (10 points)

(pour les étudiants de la section **A** exclusivement)

E2

Matériau	Masse Spécifique (g/cm ³)	Module Élastique (GPa)	Résistance à la Traction (MPa)	Limite d'Elasticité (MPa)	Allongement à la Rupture %	Température de Transition Vitreuse (°C)	Température de Fusion (°C)
Polyéthylène faible densité (PEfd)	0,92	0,23	20	12	350	-110	115
Polyéthylène haute densité (PEhd)	0,95	1,08	27	30	600	-90	137
Polychlorure de vinyle (PVC)	1,4	3	45	42	60	87	212
Polypropylène (PP)	0,90	1,35	37	34	300	-18	175
Polytétrafluoroéthylène (PTFE)	2,17	0,45	27		300	-97	327
Polymétacrylate de méthyle (PMMA)	1,18	3	60	63	4		
Polyester (PET)	1,30	3,4	60	59	165	69	265
Polycarbonate (PC)	1,20	2,4	68	62	130	150	265

Suggérez et justifiez au moins un type de polymère pour chacune des applications suivantes.

1- Fils de suture pour fixer (coudre) une valve cardiaque aux tissus du coeur ;

2- Matériau composite pour fabriquer une perche du sauteur ;

3- Des lentilles pour des verres ophtalmiques ;

4- Une semelle de chaussure.

E2

EXERCISE BONUS (10 points)

(pour les étudiants de la section **B** exclusivement)

L'équation suivante,

$$\sigma = (n_e \mu_e + n_t \mu_t) e$$

établissant la conductibilité électrique en fonction de la densité des porteurs de charges et leur mobilité ne s'applique pas uniquement aux semi-conducteurs mais également à tous les matériaux. Pour le cuivre par exemple, on peut dire que ce métal a un électron de valence par atome qui passe dans la bande de conduction. Si on assume que la mobilité des trous est négligeable par rapport à la mobilité des électrons dans le cuivre, veuillez calculez la mobilité des électrons dans le cuivre pur à 300 K sachant que la résistivité électrique du cuivre à 300 K est de $1,673 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$.

Masse molaire du cuivre : 63.5 g/mole

Densité du cuivre pur à 300 K : 8.9 g/cm^3

Charge de l'électron (e) : $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

1 mole = $6,022 \cdot 10^{23}$ éléments

Bon Noël et Joyeuses Fêtes !

Diego Mantovani, Daniel Larouche et l'équipe de Matériaux de l'ingénieur 2003