



ÉCOLE
POLYTECHNIQUE
MONTREAL

Le génie
sans frontières

PROGRAMME DE GÉNIE DES MATÉRIAUX

Note finale:

125

NOM (en majuscules):

CORRIGÉ

PRÉNOM :

SIGNATURE :

MATRICULE :

SECTION :

COURS ING1035 - MATÉRIAUX

2^e contrôle

Vendredi, le 1^{er} novembre 2002

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 **10** pages, incluant les annexes (si mentionnés) et le formulaire général.
 - ◆ Le formulaire de réponses comprend **7** pages.
 - ◆ Vérifiez le nombre de pages de votre questionnaire et de votre formulaire de réponse.

1. Exercice n° 1 : Ténacité

1.a) **Ténacité la plus élevée selon l'essai de résilience Charpy.**

Justification:

L'acier qui requiert le plus d'énergie pour être rompu au cours d'un essai de résilience Charpy est celui qui est le plus tenace

Acier : **B** (1 pt)

1.b) **Plus grand allongement A%.**

Justification:

Si l'on estime semi-quantitativement la ténacité en utilisant l'aire sous la courbe de traction, on en déduit que l'acier B aura un allongement final à la rupture plus élevé que l'acier A, car il présente une limite conventionnelle d'élasticité et une résistance à la traction légèrement plus faibles que celles de l'acier A. Par conséquent, sa ductilité, caractérisée par l'allongement final à la rupture A (%), sera plus élevée.

Acier : **B** (1 pt)

1.c) **Ténacité K_C**

Justification :

En utilisant la définition du facteur d'intensité de contrainte K associé à une fissure, on en déduit la valeur de la ténacité K_C sachant que la rupture brutale se produit pour une valeur de la contrainte appliquée égale à la moitié de la limite conventionnelle d'élasticité $R_{e0,2}$ de l'acier considéré.

$$K_C = \alpha \sigma_{\text{nom}} \sqrt{\pi a} = \alpha \frac{R_{e0,2}}{2} \sqrt{\pi a}$$

Pour chaque acier, avec les valeurs données de la longueur a de fissure et celle de $R_{e0,2}$, on obtient ainsi les valeurs données au tableau ci-dessous :

Acier	K_C (MPa.m ^{1/2})
A	53,6
B	68,2

(2 pts)

1.d) Longueur maximale de fissure (en mm) permettant d'éviter toute rupture brutale apparemment fragile

Justification :

La rupture brutale, apparemment fragile, de l'acier ne se produira pas si la contrainte nominale appliquée atteint la valeur de la limite conventionnelle d'élasticité $R_{e0,2}$ de l'acier considéré. Par conséquent, de l'équation donnée à la réponse précédente, on en déduit la longueur maximale de fissure que pourra contenir l'acier pour ne pas se rompre de façon fragile :

$$K_C = \alpha \sigma_{nom} \sqrt{\pi a} = \alpha R_{e0,2} \sqrt{\pi a_{max}} \quad \Rightarrow \quad a_{max} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_C}{\alpha R_{e0,2}} \right)^2$$

Pour chaque acier, on obtient ainsi les valeurs données au tableau ci-dessous :

Acier	Longueur (mm)
A	2,2
B	3,8

(2 pts)

Exercice n° 2 : Diagramme d'équilibre Mg – Pb

1.e) Formule chimique du Mg_xPb_y .

Justification:

L'axe horizontal du diagramme étant gradué en % molaire, il est aisé d'en déduire que le composé Mg_xPb_y contient 33,3 % mol. de plomb et 66,4 % mol. de Mg., donc il contient 2 fois plus d'atomes de Mg que d'atomes de Pb.

Sa formule chimique est donc **Mg_2Pb** .

De plus, ce composé n'accepte pas de variation de sa composition en fonction de la température (ligne verticale sur le diagramme d'équilibre).

C'est donc un **composé parfaitement stoechiométrique**.

x = 2
y = 1

(1 pt)

Mg_xPb_y est-il stoechiométrique ? (oui ou non)? → **OUI**

1.f) Phases présentes dans les domaines 1 et 2.

Domaine	Phases	
1	α	Mg_2Pb
2	Liquide	Mg_2Pb

(1 pt)

1.g) Température.

T = 466 °C (1 pt)

1.h) Réactions eutectiques.

Nombre de réactions eutectiques : **2**

(2 pts)

Réaction eutectique	Température (°C)	Phase	Composition (% mol. Pb)
Liq. ⇌ α + Mg₂Pb	466	Liq.	19,1
		α	7,75
		Mg₂Pb	33,3
Liq. ⇌ β + Mg₂Pb	253	Liq.	84,3
		β	94,1
		Mg₂Pb	33,3
-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----

1.i) Phases et constituants présents à 465 °C.

Nom	Phases			Constituants		
	α	Mg₂Pb	-----	α proeutectique	Eutectique	-----
Composition (%mol. Pb)	7,75	33,3	-----	7,75	19,1	-----
Proportion (%mol.)	91,2	8,8	-----	80,2	19,8	-----

(2 pts)

1.j) Refroidissement de l'alliage à 10 %mol. Pb de 465 °C à 20 °C.

Cochez la (ou les) affirmations vraies. **ATTENTION !** Une mauvaise réponse en annule une bonne.:

Il n'y a aucune modification microstructurale car les phases formées à 465 °C sont stables.	
Il y a précipitation de phase Mg_xPb_y dans la phase α .	X
La proportion de phase α augmente.	
La proportion de constituant eutectique augmente.	
La phase α s'appauvrit en plomb (Pb).	X
La phase Mg_xPb_y s'enrichit en plomb (Pb)	

(1 pt)

2. Exercice n° 3 : Diagramme d'équilibre Fe - C

2.a) Phases, compositions et proportions dans l'acier 1050 à différentes températures.

(voir figure en annexe)

θ (°C)	Phases	Composition (%m C)	Proportion (%m)	(avec calculs au besoin)	
1550	Liquide	0,5	100		
	-----	-----	-----		
1450	γ	0,42	89,3	On applique la règle des bras de levier	(3 pts)
	Liquide	1,17	10,7		
722	α	0,022	92,8	On applique la règle des bras de levier	
	Fe ₃ C	6,68	7,2		

2.b) Microstructure après trempe de 724 à 20 °C.

Constituant	Composition (%m C)	Proportion (%m)	
Ferrite	0,022	38,6 (proportion de ferrite existant à 724 °C)	(2 pts)
Martensite	0,8	61,4 (proportion d'austénite existant à 724 °C)	
-----	-----	-----	

2.c) Dureté de l'acier 1050.

Justification:

Il n'est pas possible de déduire la dureté de l'acier car celui-ci est constitué de ferrite, très pauvre en carbone (0,022 %m) et de martensite riche en carbone (0,8 %m). Comme on ne dispose pas de valeur pour la dureté de la ferrite, il n'est même pas concevable d'appliquer la règle des mélanges aux duretés des constituants de l'acier.

La dureté est donc **INDÉTERMINÉE (ND)**

Dureté = **ND** HRC (½ pt)

2.d) *Traitement thermique de l'acier 1050 pour obtenir une dureté de 42 HRC.*
 (voir figure en annexe)

	Nom de l'étape	Constituants en présence	Température de l'étape (°C)	Durée de l'étape (secondes)
Traitement de trempe isotherme	Austénitisation	Austénite γ stable	825 ($A_3 + 50$ °C)	Jusqu'à équilibre (selon dimensions de la pièce)
	Trempe isotherme	1) Austénite γ instable → 2) (γ instable + bainite inférieure) → 3) Bainite inférieure	365	1) 0 à 15 s → 2) 15 à 180 s → 3) > 180 s
	Refroidissement	Bainite inférieure	20	Vitesse quelconque
Trempe + Revenu	Austénitisation	Austénite γ stable	825 ($A_3 + 50$ °C)	Jusqu'à équilibre (selon dimensions de la pièce)
	Trempe à l'ambiante	Martensite	20	Instantanée
	Revenu isotherme	Martensite revenue	520	3600 (1 heure)

(1½ pts)

2.e) *Microstructure obtenue.*

Justification:

La microstructure obtenue dépend du type de traitement thermique choisi (voir question ci-dessus).

Dans le cas où l'on choisit un traitement de trempe isotherme à 365 °C, on obtient de la **bainite inférieure**.

Dans le cas, où l'on choisit une trempe martensitique suivie d'un revenu de 1 heure à 520 °C, on obtient une **martensite revenue**.

Microstructure :	Bainite inférieure ou Martensite revenue
-------------------------	---

(½ pt)

3. Exercice n° 4 : Durcissement structural

3.a) Teneur maximale en Cu.

Teneur maximale en Cu = **5,65** %m

 (½ pt)

3.b) Formule chimique théorique de la phase θ .

Justification:

Le diagramme d'équilibre comporte une échelle horizontale supérieure graduée en % molaire de Cu. On constate que la phase θ se situe à 33,3 %mol. de Cu. Par conséquent, il y a 2 fois plus d'atomes de Al que de Cu dans cette phase. Sa formule chimique théorique est donc **Al₂Cu**.

NB : on notera que ce composé n'est pas stoechiométrique puisque sa composition peut légèrement changer en fonction de la température.

Al₂Cu

 (½ pt)

3.c) Traitement thermique de l'alliage.

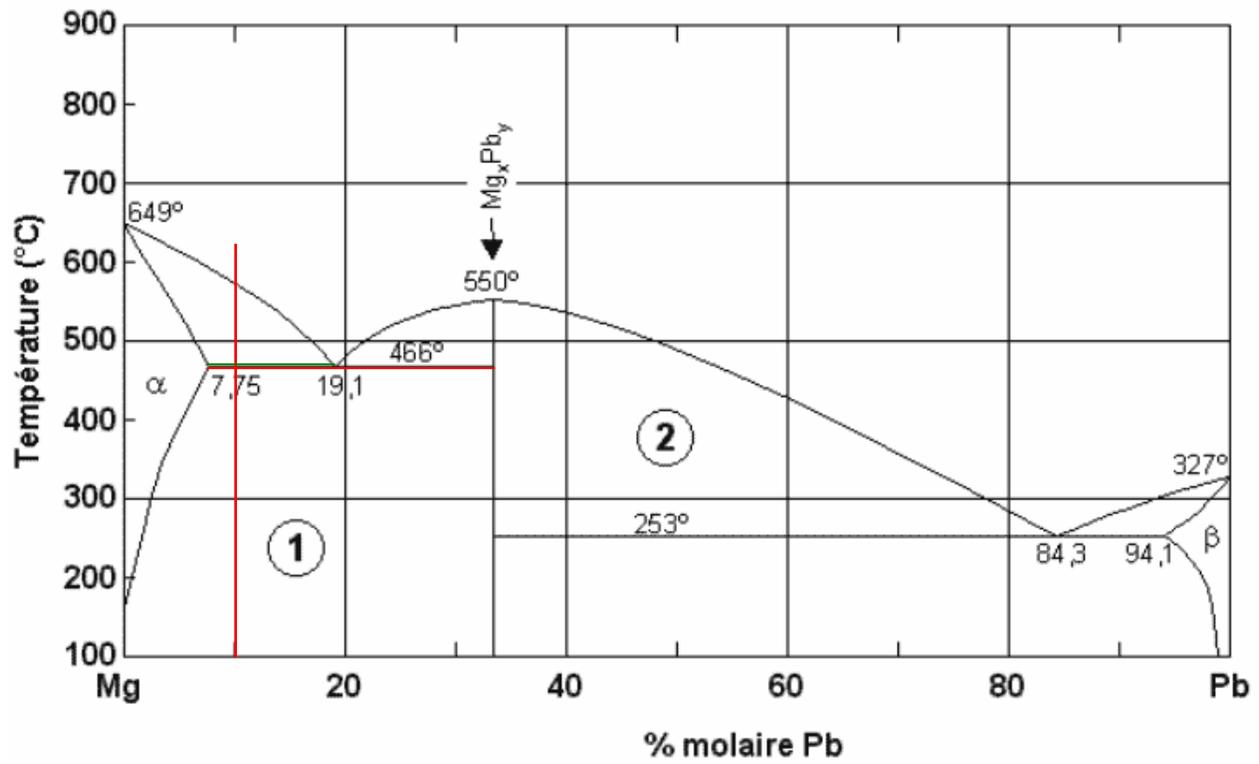
(voir figure en annexe)

Nom de l'étape	Durée de l'étape (h)	Température de l'étape (°C)
Mise en solution solide d'équilibre	Jusqu'à dissolution complète de toute la phase θ. (Dépend des dimensions de la pièce)	548
Trempe à l'ambiante	Instantanée	20
Vieillissement (revenu)	1,4 < t < 5,5	190
	12 < t < 13	175
	600 < t < 1000	130

(2½ pts)

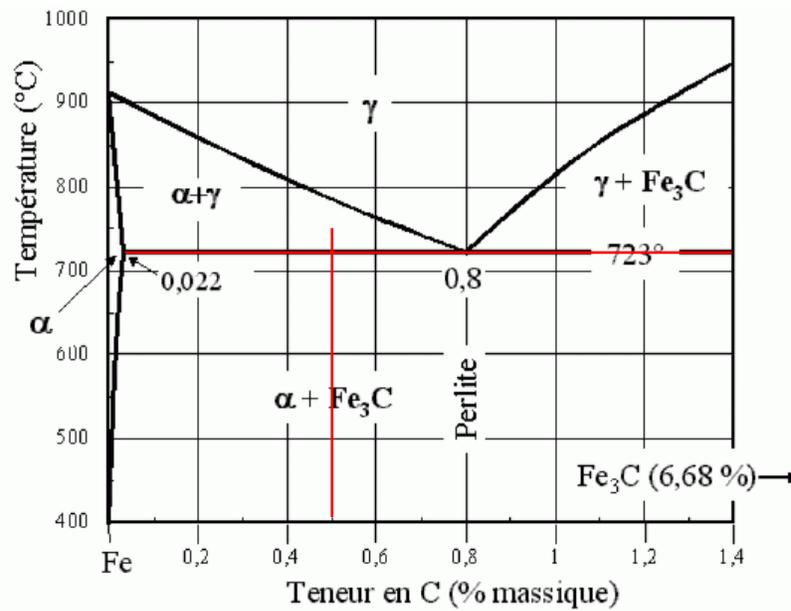
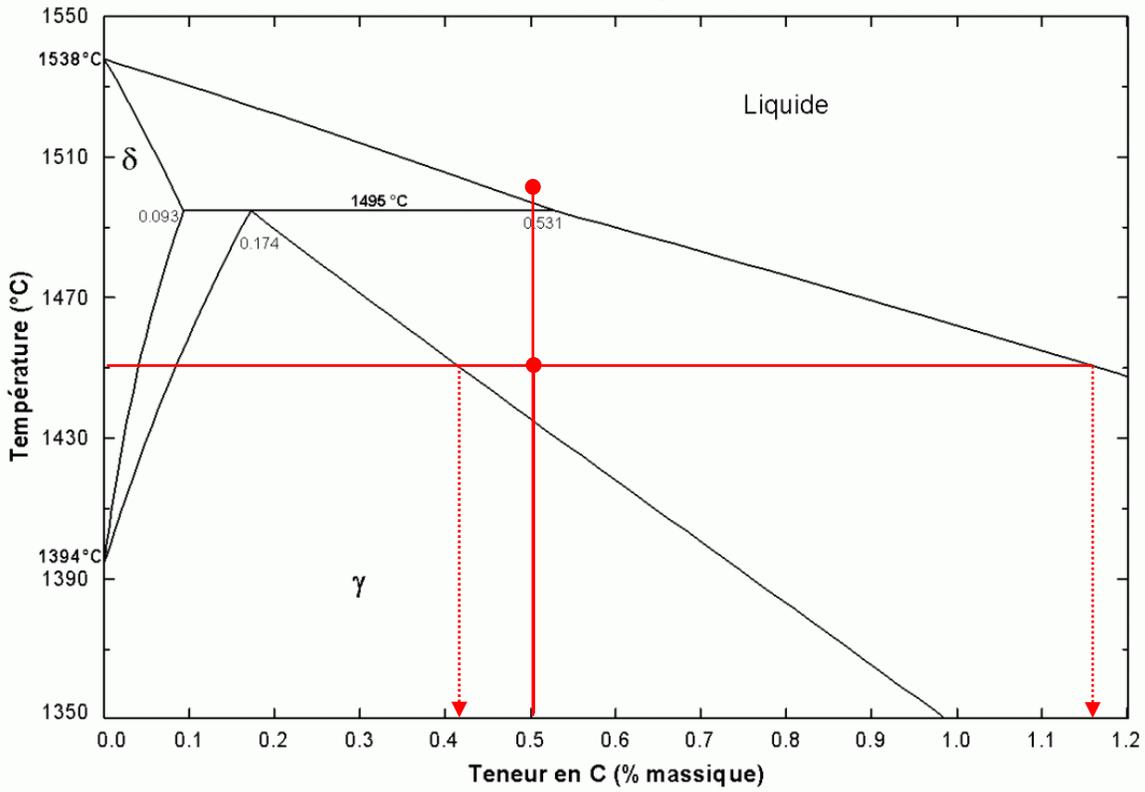
ANNEXES

Exercice n° 2 : Diagramme Mg – Pb

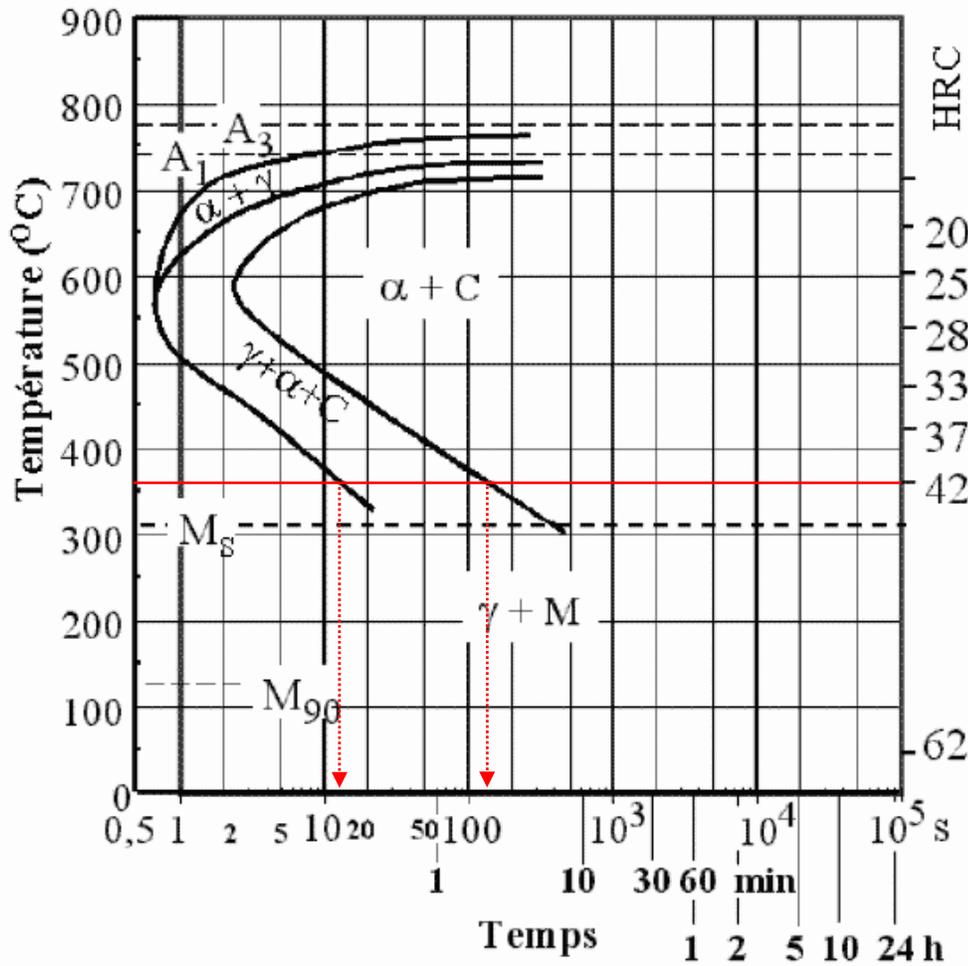


ANNEXES
Exercice n° 3 : Acier AISI 1050

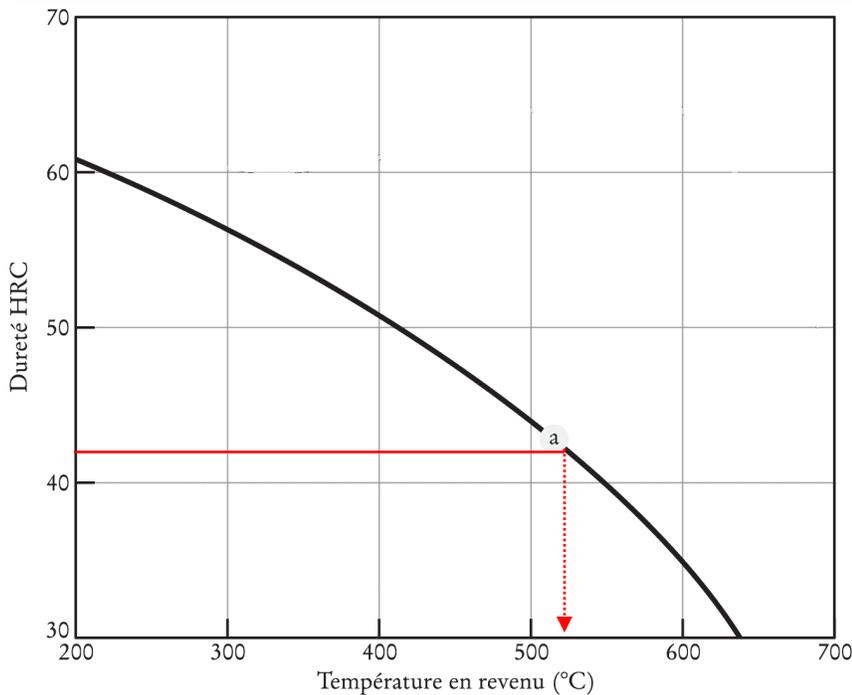
Fe - C
Péritectique



ANNEXES

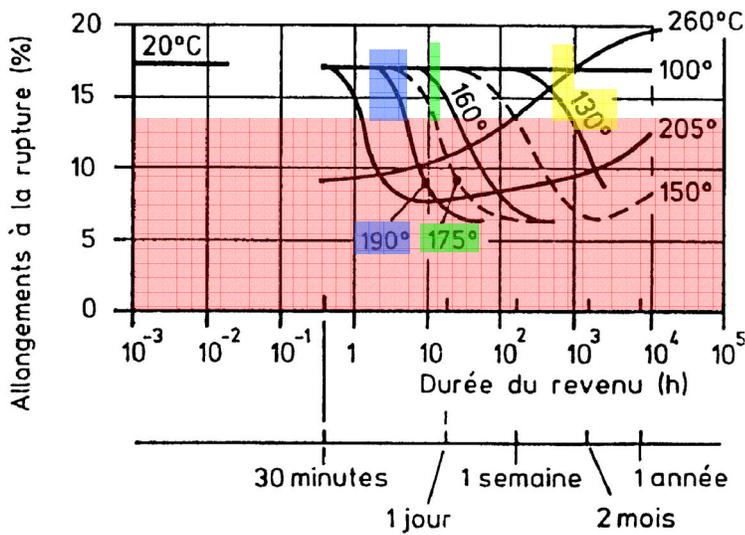
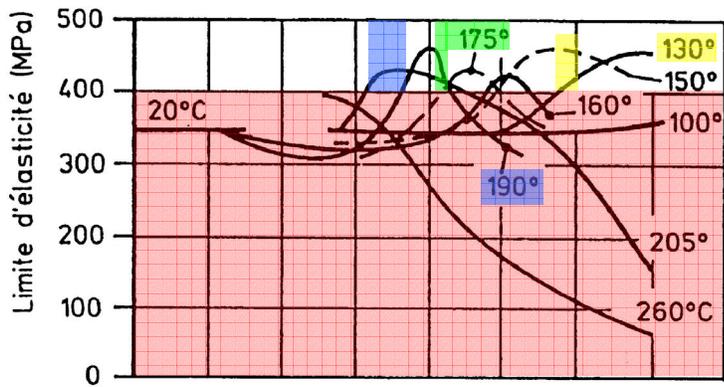
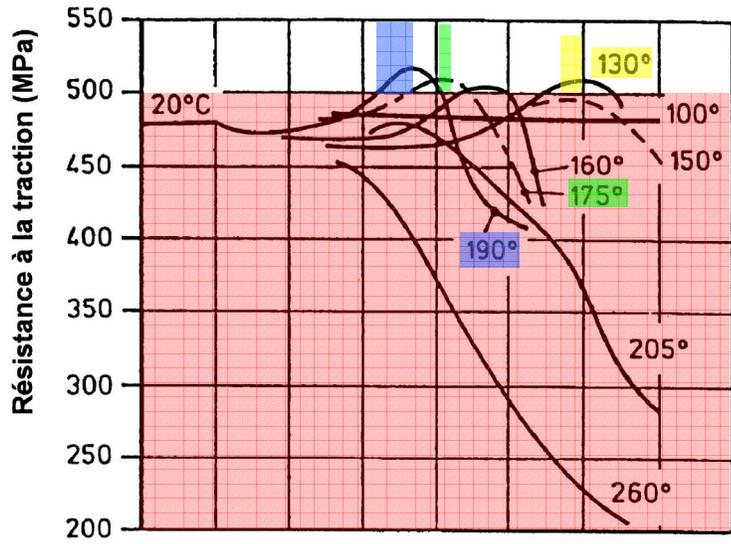


Exercice n° 3 :
 Courbes TTT de l'acier
 1050



Exercice n° 3 :
 Revenu de la martensite
 de l'acier AISI 1050
 Durée : 1 h

ANNEXES



Courbes de vieillissement de l'alliage Al - 4, 5 % Cu