

EXAMEN SEMESTRIEL

Matériaux Métallique

Licence Appliquée en Génie Mécanique LA_GM1

1^{ère} Année

Temps alloué : 1h30min

Juin 2014

Nom : Prénom : Classe : N° de place :

Enseignants : Ben Nasser Med, Hassine Hichem

DOCUMENTS NON AUTORISES

NB : les parties indépendantes, Gérer bien votre temps et votre concentration.**Mise en situation**

Les propriétés mécaniques des alliages industriels dépendent, en une grande mesure, de la microstructure des phases en présence ainsi que de leur distribution. La modification de la nature, de la microstructure et de la répartition de ces phases par un traitement isotherme ou anisotherme permet de répondre aux exigences économiques et technologiques de plus en plus imposées par l'industrie mécanique. Les traitements de revenu servent de complément pour les essais de trempe tout en permettant de "corriger" les états microstructuraux extrêmes résultant de ces derniers par amélioration des caractéristiques de déformabilité et de ténacité au détriment de celles de la résistance.

Le sujet porte sur les traitements thermiques de la nuance 45Mn5, il se décompose en quatre parties indépendantes. Prenez votre temps et commencez par la partie qui vous paraisse la plus simple.

PARTIE 1 : DESCRIPTION METALLURGIQUE DE LA NUANCE 35CrMo4 (5 pts)

On dispose dans cette partie du diagramme Fer_Carbone métastable noté **Fe-Fe₃C (Fig.1)** et on assimile la nuance 45Mn5 à un alliage **Fe-Fe₃C** à 0.45% de Carbone. On vous demande de répondre aux questions suivantes :

1. Déduire du digramme **Fe-Fe₃C** les températures du début et de la fin de solidification de cet alliage

A partir du diagramme (p.4/6), T_0 (début) = 1520°C et T_1 (fin)=1480°C (Environ)

2. Déduire du même diagramme la composition en carbone et la nature de la (des) phase (s) en présence à la température $T=1200^\circ\text{C}$. Déduire la variance V .

Une phase austénitique (100% de phase γ), Variance $V=\phi-N=2-1$, Soit un système monovariant

3. Déterminer la température de germination de la phase de ferrite α (Figure 1. b.).

$T=780^\circ\text{C}$ (Environ)

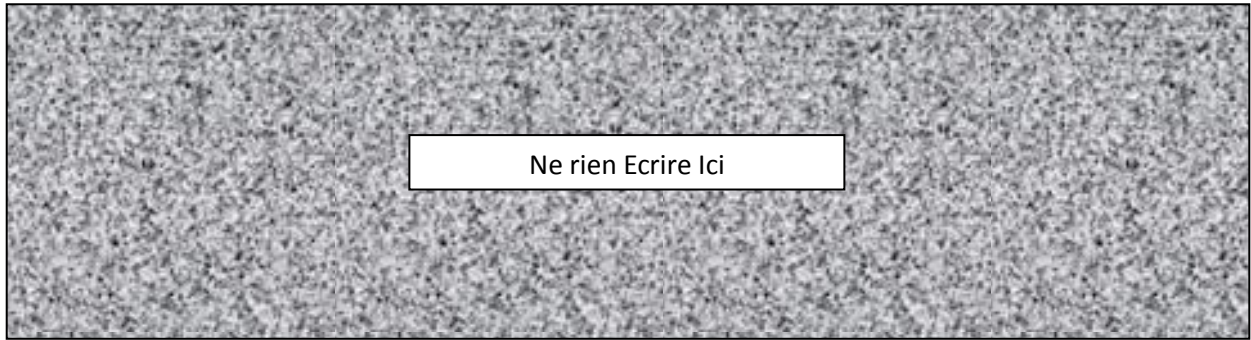
4. Estimer les fractions massiques de chacune des phases en présences à la température de germination. Que peut-on dire sur la teneur en carbone ?

Les phases en présence suite l'approximation de la question 3 sont : Un premier germe solide α et une phase liquide (à 100% environ de la masse totale). D'où :

- Fraction massique du premier germe solide : Quasiment nulle à 0.02% de Carbone
- Fraction massique du liquide n'est encore transformée : 100% à 0.45% de Carbone environ

5. Quelle transformation se produit à $T=723^\circ\text{C}$ par la portion de l'austénite γ résidant de la transformation proeutectoïde. Ecrire donc l'équation de la transformation de l'austénite à cette température.

Transformation eutectoïde de l'austénite γ (transformation en bloc par cisaillement du réseau cristallin). Equation de la transformation : $\gamma \leftrightarrow \alpha_E + \beta_E$ (le constituant appelé perlite)



6. Schématiser et indexer la structure à la température ambiante de la nuance 45Mn5.

*Une structure schématique
révélant la ferrite proeutectoïde
dans les joints de grains perlitique
($\alpha_E + \beta_E$)*

PARTIE 1 : TRANSFORMATION ISOTHERME (5 pts)

On dispose dans cette partie du diagramme TTT de la nuance 45Mn5 (Fig. 2.), et on vous demande de répondre aux questions suivantes:

7. Donner la signification détaillée de la désignation donnée.

Un acier faiblement allié au Mn, à 0.45% de Carbone et 1.25% de Mn (Un acier hypoeutectoïde (% en C inférieur à 0.8%))

8. Quels sont les paramètres d'austénitisation de cet alliage. Conclure.

Selon les données de laboratoire éditeur de diagramme TTT, la nuance 45Mn5 est austénitisé à 875°C pendant 30min. Une austénitisation complète puisque cette température choisie est supérieure à $AC3=50^\circ C = 780+50^\circ C$

9. Etude de la transformation isotherme à $T = 400^\circ C$.

- 9.1. Déterminer le temps (t_0) de début de transformation

D'après le diagramme TTT (voir traçage en couleur) : $t_0 \approx 1.8s$ (en prendra 2 secondes)

- 9.2. Déterminer la durée totale de transformation

$\Delta t_T = t_0 - t_1 \approx 12 \text{ min}$ environ en négligeant la durée d'incubation

- 9.3. Déduire la dureté résultante après transformation

A relever directement sur l'échelle du diagramme : Dureté résultante égale 34HRC

10. Déterminer la marge des températures et des duretés résultantes permettant d'avoir une structure ferrito-perlitique à une durée de transformation inférieure à **500 secondes**.

D'après l'illustration graphique sur les documents réponses (zone hachurée de fig.2 obéissant aux critères de la durée et de la structure), la marge des températures à choisir est dans l'intervalle 450°C-525°C environ.

11. Etude de la transformation isotherme à $T_i = 200^\circ C$.

11.1. Décrire brièvement la cinétique thermodynamique de la transformation à cette température ;

La transformation s'effectue à $t_0=0$ seconde, donc en bloc par cisaillement du réseau cristallin de l'austénite (γ). La transformation associée est dite martensitique.

11.2. Déterminer la fraction massique de l'austénite résiduelle ($Y_{Arés.}$). Conclure. On donne :

$$Y_{Arés.} = \exp [-0.011(M_s - T_i)]$$

On a : $M_s=300^\circ\text{C}$ et $T_i=200^\circ\text{C}$; A.N $Y_{Arés.} = 33.3\%$, c'est la fraction massique de la quantité d'austénite qui n'a transformé lors de refroidissement rapide ($\Delta t=0s$) de la température M_s à la température T_i . Le maintien à cette température permettra de poursuivre cette transformation qui restera tjrs inachevée.

PARTIE 3 : TRANSFORMATION ANISOTHERME (7 pts)

On dispose dans cette partie du diagramme TRC de la même nuance (Fig. 3) et on vous demande :

12. Colorer, en couleurs différentes, sur la figure 2. du document réponse.

- Le lieu de points (M) des instants d'incubation des transformations : [voir docs réponses](#)
- Le lieu de points (N) de fin de transformation bainitique : [Voir docs réponse](#)

13. Pour chacune des lois de refroidissement N°1, N°2, N°3 et N°4 indiquées sur le diagramme TRC de la nuance 45Mn5 on vous demande de :

13.1. Remplir le tableau ci-dessous tout en calculant les vitesses de transformations, les phases et la dureté résultante.

NB : Les lois sont à compter à partir de la loi d'extrême gauche du diagramme TRC (p. 4/6)							
Loi	Δt_{300}^{700}	$V_r(\Delta t_{300}^{700})$	$Y_F(\%)$	$Y_P(\%)$	$Y_B(\%)$	$Y_{M+Ar}(\%)$	Dureté HV ou HRC
Loi N°1	$\approx 15-3=12s$	33.3°C/s	0	0	4	96	57HRC
Loi N°3	$\approx 100-12=88s$	4.5°C/s	10	0	35	55	48HRC
Loi N°5	$\approx 200-45=155s$	2.6°C/s	25	55	15	5	28HRC
Loi N°7	$\approx 1000-200=800s$	0.5°C/s	40	60	0	0	26HRC

13.2. Quelle est l'influence de la vitesse de refroidissement sur les valeurs des duretés résultantes, expliquer pourquoi ?

L'augmentation de la vitesse entraîne l'augmentation de la dureté résultante après traitement. Ceci, est imputé à l'augmentation de la fraction massique de la martensite dans la structure. La martensite est réputée par sa dureté plus élevée comparativement à celle de ferrite et de perlite.

14. Déterminer les deux vitesses critiques d'une trempe bainito-martensitique.

Une structure bainito-martensitique : On trace sur le diagramme TRC les deux tangentes au domaine qui permettra des courbes de refroidissement qui ne passe que par les deux domaines de Bainite et de martensite : d'après le traçage, on détermine :

$$V_{min} \approx 50^\circ\text{C/s} \text{ et } V_{max} \approx 9.8^\circ\text{C/s}$$

15. Choisir un traitement qui permettra d'avoir une structure à 50% de bainite. Calculer sa vitesse de refroidissement et déduire sa dureté résultante

On trace la tangente au tracé (trait interrompu) de 50% d'austénite transformée dans le domaine bainitique : Vitesse $V_{0.5B} \approx 400/(60-7)=7.9^\circ\text{C/s}$, soit une dureté résultante de l'ordre de 40HRC.

PARTIE 4 : REVENU ET TREMPABILITE DES ACIERS AU Mn (4pts),

16. Donner le principe de revenu et expliciter son influence sur les caractéristiques des nuances obtenue après trempe.

Le revenu est un traitement thermique post-trempe. Il consiste à chauffer l'échantillon trempé à $200-450^\circ\text{C}$ (revenu à basse température) ou entre $450^\circ\text{C} - 700^\circ\text{C}$ (revenu à haute température)

pendant une durée allant d'une heure à quelques dizaine d'heures. Ceci, permettra des réduire la dureté et d'améliorer ainsi la formabilité, pour aboutir à un bon compromis Dureté-déformabilité.

17. Décrire l'influence des températures de revenu (450°C, 500°C, 550°C et 600°C) sur la dureté des nuances traitées (Fig.4).

Les faibles durées (inférieur à 1h) permettent d'augmenter la dureté. La réduction significative de la dureté s'est à partir de 2h selon la température de traitement.

18. Choisir les durées de revenu permettant d'avoir une structure à 175 HB (Dureté Brinell) pour la température de 450°C.

Une durée entre 5h-50h permettra d'aboutir à une dureté supérieure à 175HB

19. On voudrait effectuer un revenu à 10h. Choisir les températures permettant d'avoir une dureté supérieure à 175 HB.

Les températures de 450°C et de 500 °C

20. Déduire la dureté résultante pour chaque température choisie.

Pour 450°C et 500°C choisies : la première permettra d'avoir une dureté de 180HB et la seconde 190HB environ.

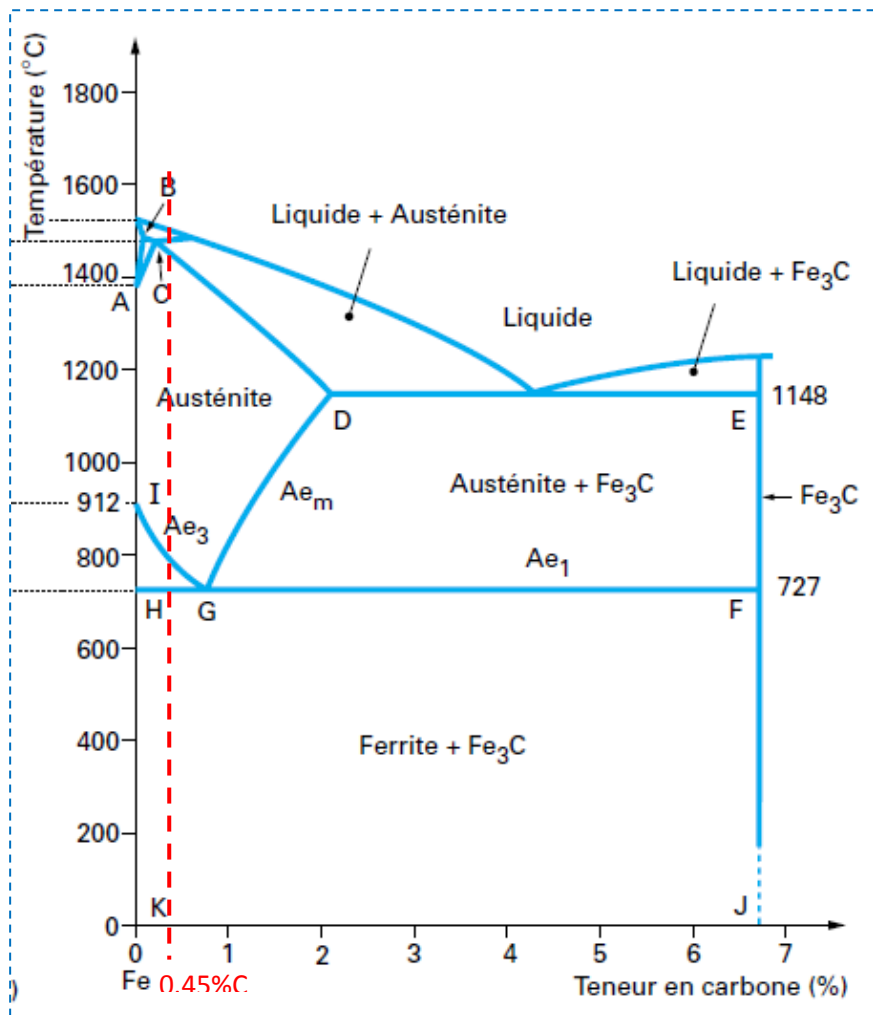


Fig. 1. Diagramme Fer-Carbonate métastable

DOCUMENT A
RENDRE

Détail Fig. 1.

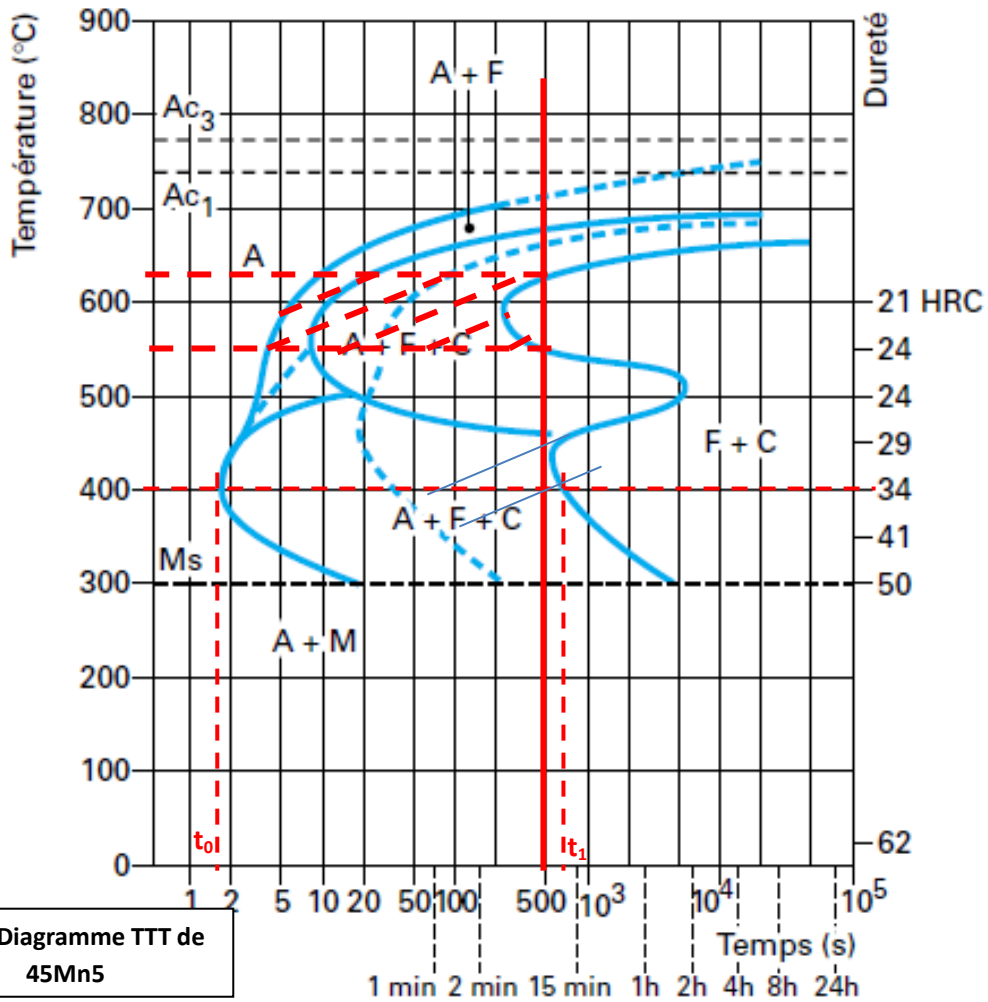
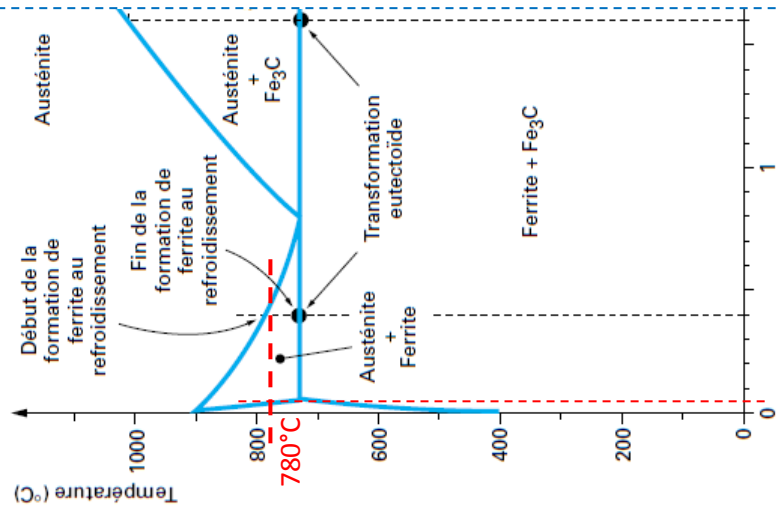


Fig. 2. Diagramme TTT de 45Mn5

Nuance	Composition chimique (%)							
45 Mn 5	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Cu
	0,47	1,37	0,36	0,025	0,015	0,02	0,15	0,19
Acier austénitisé à 875 °C pendant 30 min								
Grosseur de grain AFNOR : 11 à 12								

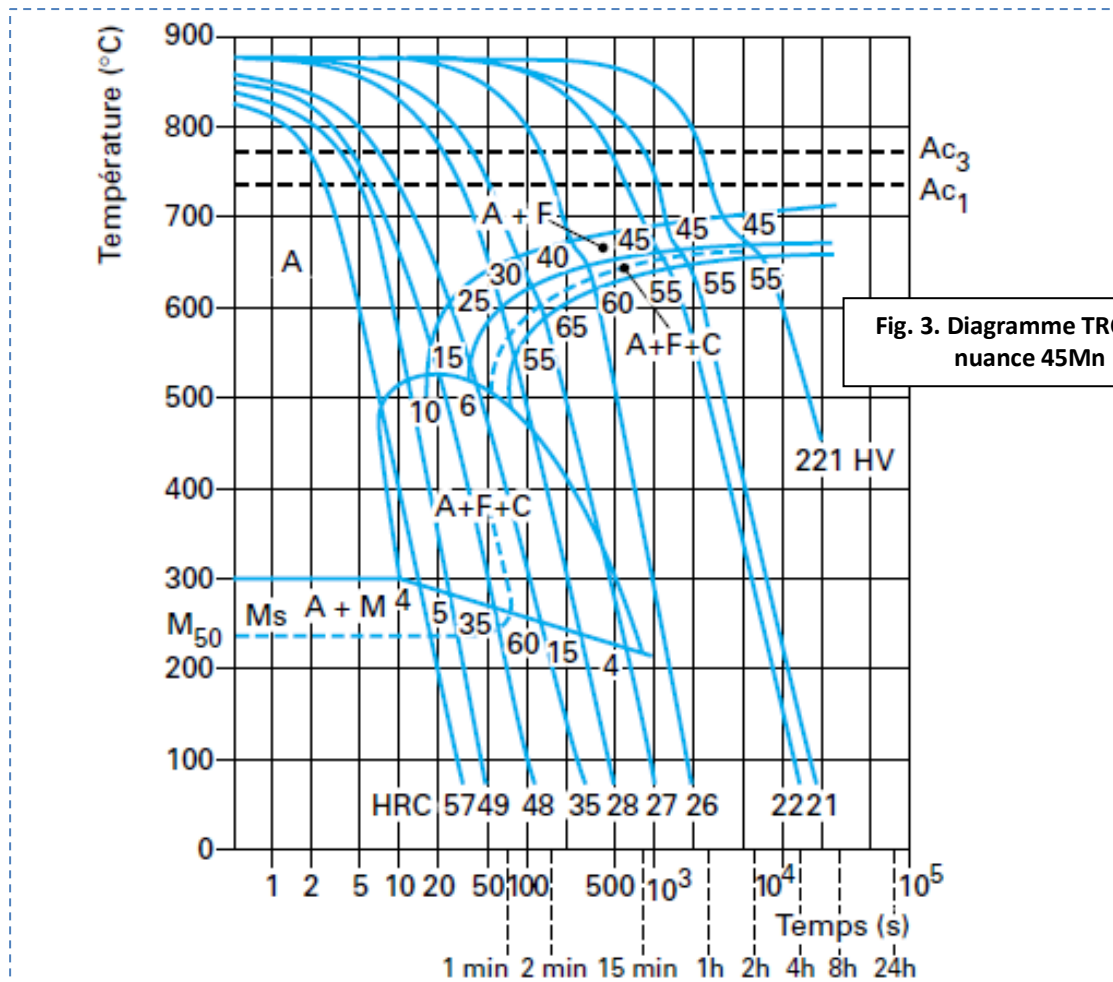


Fig. 3. Diagramme TRC de la nuance 45Mn

Nuance	Composition chimique (%)							
45 Mn 5	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Cu
	0,47	1,37	0,36	0,025	0,015	0,02	0,15	0,19

Acier austénitisé à 875 °C pendant 30 min
Grosseur de grain AFNOR : 11 à 12

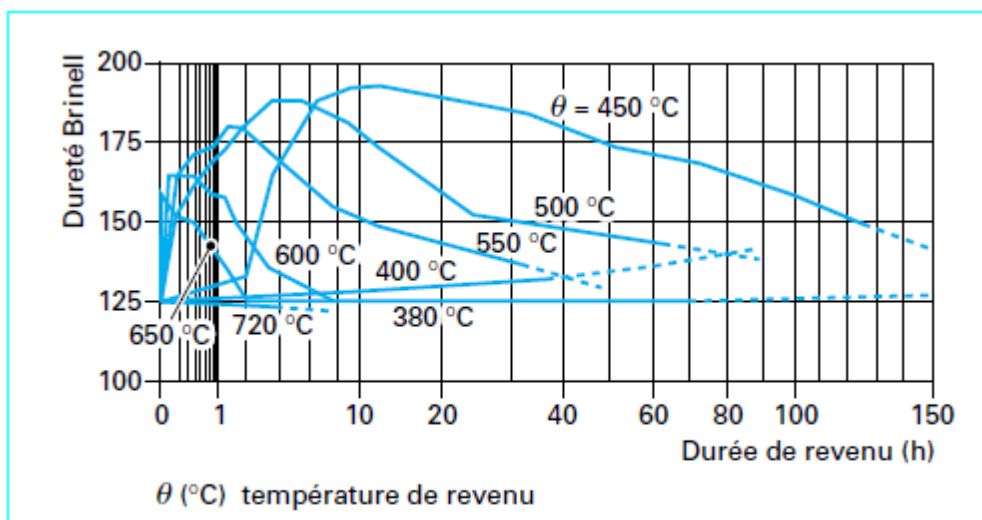


Fig. 4. Influence de la durée de revenu sur la dureté d'un acier à 1% de cuivre selon Houdremont