

Chapitre 8 :

Etude De La Trempabilité Des Aciers

- **Objectifs spécifiques :**
 - Maitriser les conditions de trempabilités des aciers
 - maitriser l'essai de Jominy

- **Pré-requis :**

Niveau BAC, traitements thermiques et transformations isothermes

- **Eléments de contenus :**
 - 1. Introduction*
 - 2. Facteurs influençant la trempabilité*
 - 3. Méthodes de détermination de trempabilité*

CHAPITRE 8

ETUDE DE LA TREMPABILITE DES ACIERS**I-INTRODUCTION :**

Le résultat idéal de toute trempe par refroidissement continu devrait être la transformation intégrale de l'austénite en martensite (en supposant M_f au dessus de la température du milieu de trempe). Il faudrait donc que A ne subisse aucune transformation avant M_s , c'est à dire que la courbe de refroidissement ne pénètre pas dans les zones ferritique, perlitique ou bainitique. Les données contenues dans les diagrammes TRC montrent qu'il sera plus ou moins facile d'obtenir une constitution purement martensitique à partir de l'état austénitisé. La trempabilité caractérise cette plus ou moins grande aptitude. On peut donner comme définition, au sens large, de la trempabilité d'un acier, son aptitude relative à éviter la formation d'agrégats ferrite-carbures (F+C), lors de refroidissement de plus en plus lents de T_a à M_s . Plus le refroidissement qui entraîne la transformation $A \rightarrow F + C$ est lent, plus la trempabilité est élevée. De manière plus directe, plus l'effort technique pour éviter la formation de F, P, ou B est grand moins bonne est la trempabilité.

La trempabilité des aciers est l'aptitude à prendre la trempe ou à durcir *en profondeur*.

Ce n'est pas synonyme de niveau dureté, mais plutôt moindre écart de dureté.

Exemple : on obtient, une structure purement martensitique à cœur d'un rond de Φ 10mm :

- par refroidissement à l'eau pour l'acier C80,
- par refroidissement à l'air pour l'acier 40NiCr17.

La nuance 40NiCr17 a une trempabilité plus élevée que la nuance C80.

II- FACTEURS INFLUENCANT LA TREMPABILITE :

L'étude des transformations anisothermes de l'austénite (diagramme TRC) permet de préciser les facteurs qui influent sur la trempabilité. De manière générale, tout facteur agissant sur le temps d'incubation de $A \rightarrow F + C$ c'est à dire sur les vitesses de germination de Fou C, a une action directe sur la trempabilité :

- ❖ La mise en solution d'éléments alliés dans l'austénite (sauf Co), en retardant la germination des carbures permet d'augmenter la trempabilité. Ceci explique le recours aux nuances alliés pour résoudre les problèmes de trempe non traitables à l'aide des aciers ordinaires. Par contre la présence de précipités ou d'inclusions peut apporter des sites de germination exogènes et diminuer la trempabilité. Il est donc clair qu'un gain de trempabilité est obtenu en ayant recours à des nuances plus alliées et d'une propreté plus grande.
- ❖ Les conditions d'austénitisation, en fixant la grosseur G_a du grain austénitique et l'homogénéité chimique de A ont une influence importante sur la trempabilité. Une augmentation de G_a améliore la trempabilité mais dégrade la plupart des propriétés mécaniques. On n'emploie donc jamais ce moyen pour augmenter la trempabilité d'un acier.

III- METHODES DE DETERMINATION DE LA TREMPABILITE :

Il existe plusieurs moyens pour étudier quantitativement la trempe :

- ❑ Utilisation des diagrammes TRC,
- ❑ Utilisation de l'essai Jominy.

3.1. Utilisation des diagrammes TRC :

L'exploitation du faisceau des lois de refroidissement permet de déterminer, soit directement, soit le plus souvent par interpolation entre deux courbes voisines, la vitesse minimale de refroidissement à réaliser pour éviter la formation d'agrégats ferrite-carbures F+C.

Cette vitesse dite vitesse critique de trempe martensitique mesurée entre 300 et 700°C. La vitesse critique de trempe martensitique constitue une expression quantitative intéressante de la trempabilité d'un acier austénitisé dans des conditions déterminées. La figure (VI.1) rassemble schématiquement les données nécessaires pour évaluer la vitesse critique de trempe des deux nuances 50CrMo4 et 35NiCr15. Pour la nuance 50CrMo4, la loi critique correspond à la courbe en tirets, qui ne fait pas faisceau expérimental. La lecture des valeurs exactes sur les courbes originales donne : $\bar{V}_{700}^{300} = 16^\circ\text{C} / \text{s}$. Pour la nuance 35NiCr15, la loi appartient au faisceau étudié, la lecture des valeurs exactes sur les courbes originales donne : $\bar{V}_{700}^{300} = 0.4^\circ\text{C} / \text{s}$.

Il apparaît donc que l'austénite du 35NiCr15 ($G_a=6-7$) a une trempabilité nettement plus élevée que celle du 50CrMo4 ($G_a=10-11$) : plus la vitesse critique est faible, meilleure est la trempabilité.

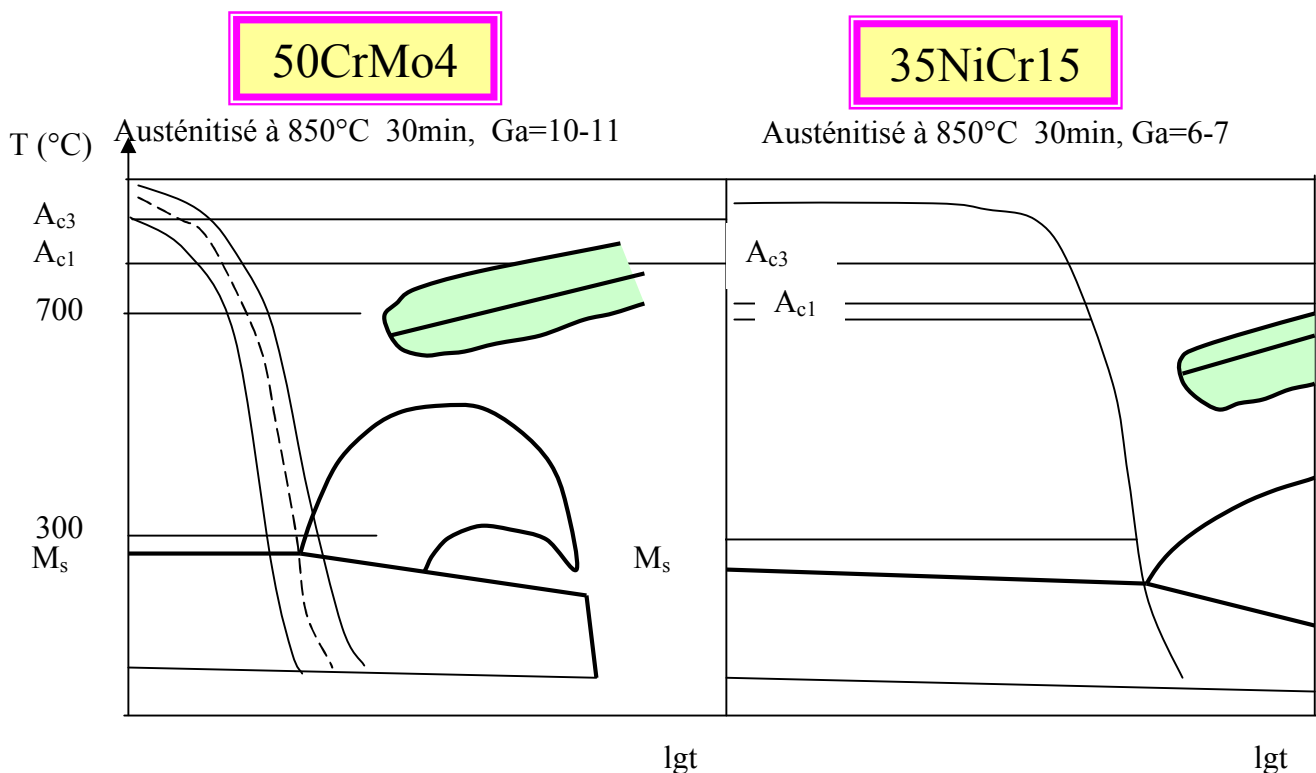


Figure VI.1 : Diagrammes TRC des nuances 50CrMo4 et 35NiCr15

3.2. Utilisation de l'essai Jominy :

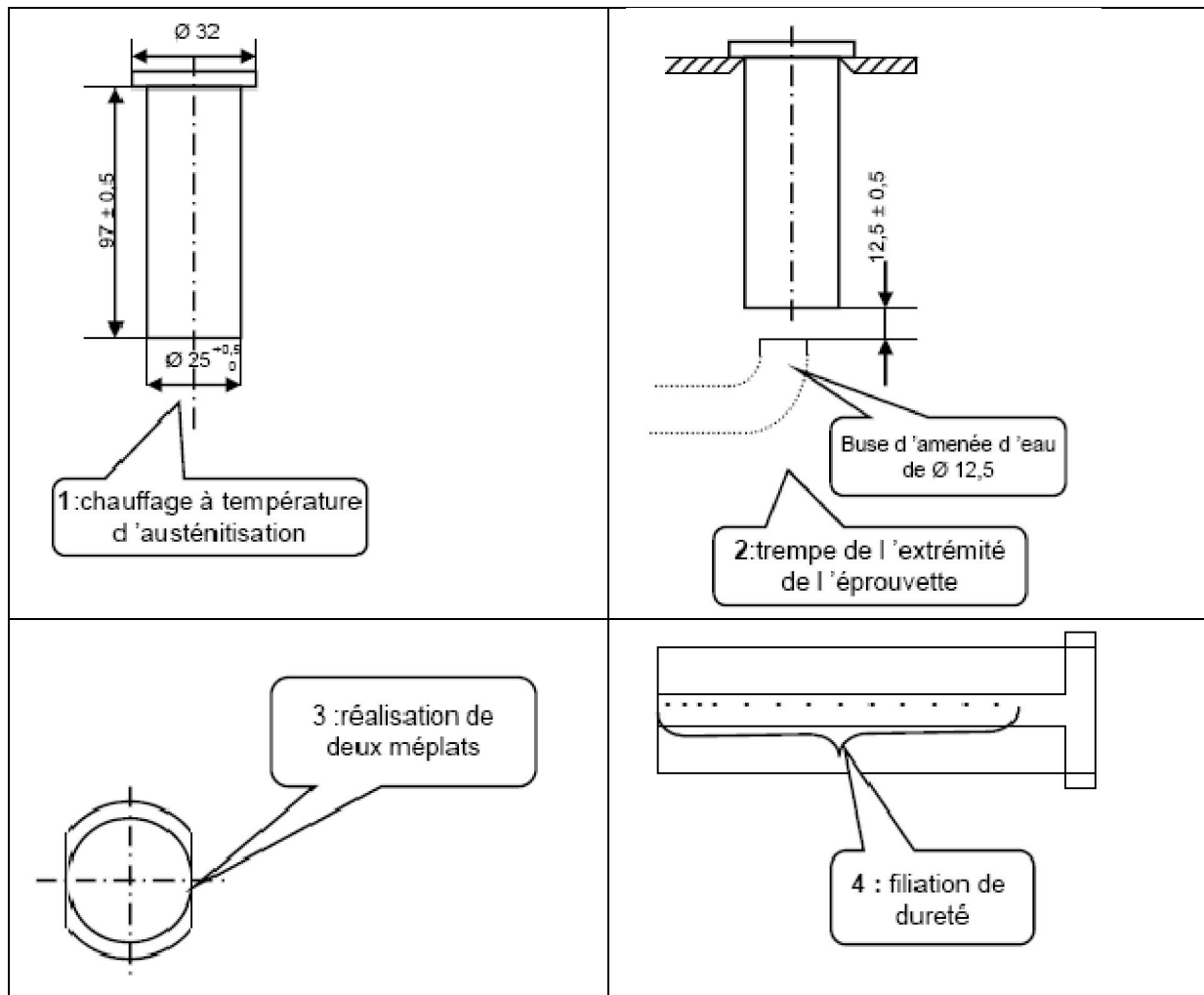
La norme **NF A 04 - 303** décrit les conditions d'essais pour caractériser la trempabilité.

En 4 étapes: 1) chauffage

2) trempe en bout

3) usinage de deux méplats

4) filiation de dureté



6-1- Conditions et exécution de l'essai :

- L'éprouvette est constituée d'un barreau cylindrique normalisé
- Le chauffage se fait à 75°C au dessus du point AC3 de l'acier considéré et pendant 30 mn
- L'éprouvette doit être retiré du four et placé sur un montage spécial (appelé banc jominy)
- Cinq secondes après la sortie de l'éprouvette du four, l'arrosage doit commencer et dure au moins 10 mn
- Mesure de dureté après trempé.
 - l'éprouvette trempée est préparé pour la mesure en faisant sur deux génératrices à 180° un méplat obtenue par meulage de 0,4 mm de profondeur. (il faut éviter tout échauffement lors du meulage)
 - on effectue une série de mesures de dureté Rockwell C. La première empreinte est faite à 1,5 mm de l'extrémité trempé, la suivante à 1,5 mm de celle-ci, et les 6 suivantes tous les 2 mm puis à intervalles permettant un bon tracé de la courbe de dureté **Jominy**

Pour déterminer la trempabilité d'un acier, on utilise une technique commode qui est l'essai Jominy. Cette méthode consiste à :

- ✓ Austénitiser dans des conditions convenables une « éprouvette Jominy » normalisée de 25mm de diamètre et 100mm de longueur (figure VI.2).

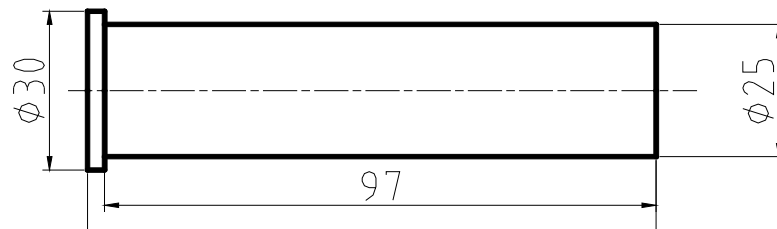


Figure VI.2 : Eprouvette Jominy.

- ✓ Tremper la base inférieure de cette éprouvette, tenue à l'aide d'un support approprié, par un jet d'eau courante de température comprise entre 15 et 25°C jusqu'à son refroidissement total par conduction (figure VI.3).

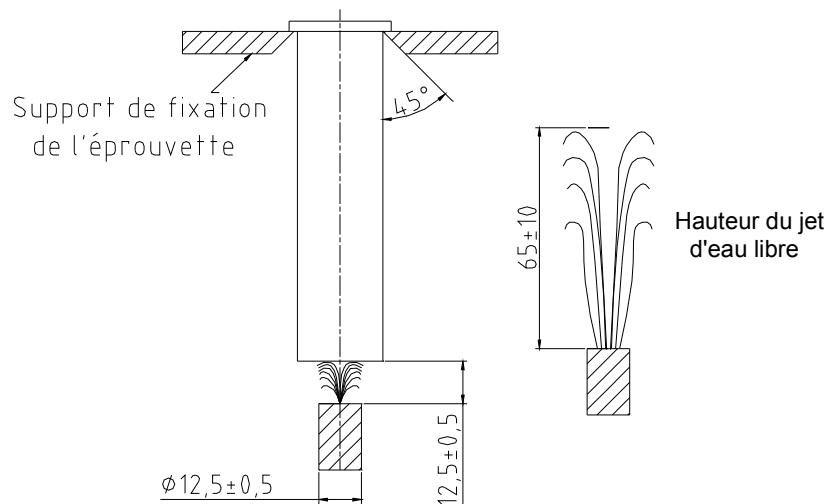


Figure VI.3 : Essai Jominy de l'éprouvette Jominy .

- ✓ Mesurer la variation de la dureté sur un méplat de la génératrice de l'éprouvette à partir de son extrémité trempée selon les distances suivantes : 1,5, 3, 5, 7, 9, 10, 13, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 70... prises à partir de son extrémité trempée par le jet. Ces distances seront désignées $J_{1,5}$, J_3 , J_5 , J_7 , J_9 ,...
- ✓ La courbe de la dureté H (HRC, HV) en fonction de la distance d (mm) entre la base refroidie et le point de relèvement de la mesure de dureté. Cette courbe qui porte le nom de courbe Jominy, permet de déterminer la trempabilité de l'acier (figure VI.4).

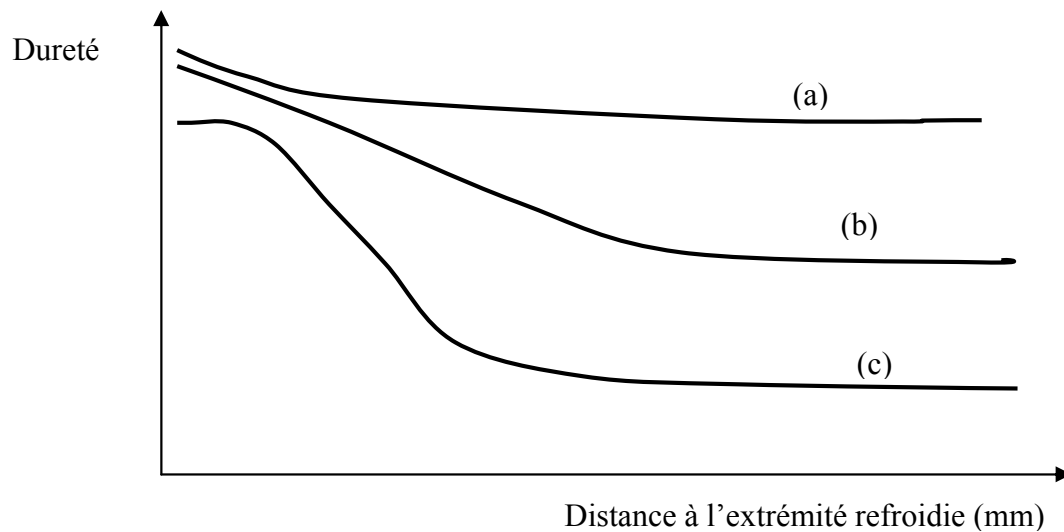


Figure VI.4 : Courbe Jominy d'aciers.

(a) : acier à bonne trempabilité, (b) : acier à moyenne trempabilité, (c) : acier à mauvaise trempabilité.

On lit en effet la dureté en chaque point de l'éprouvette correspond à la vitesse de refroidissement qu'il a subie. Chaque coulée d'une nuance d'acier normalisé compte sa courbe Jominy propre. Elle doit être comprise entre deux courbes limites normalisées relatives à la nuance qui tolèrent une dispersion due d'une part à la composition chimique du prélèvement et d'autres part à la coulée (figure VI.5)

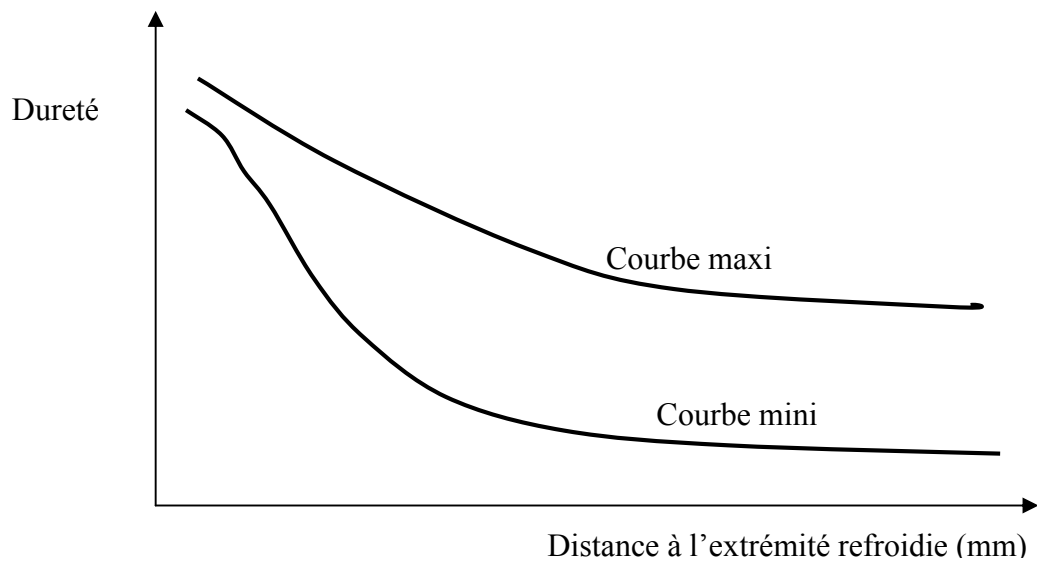


Figure VI.5

La trempabilité d'un acier est considérée :

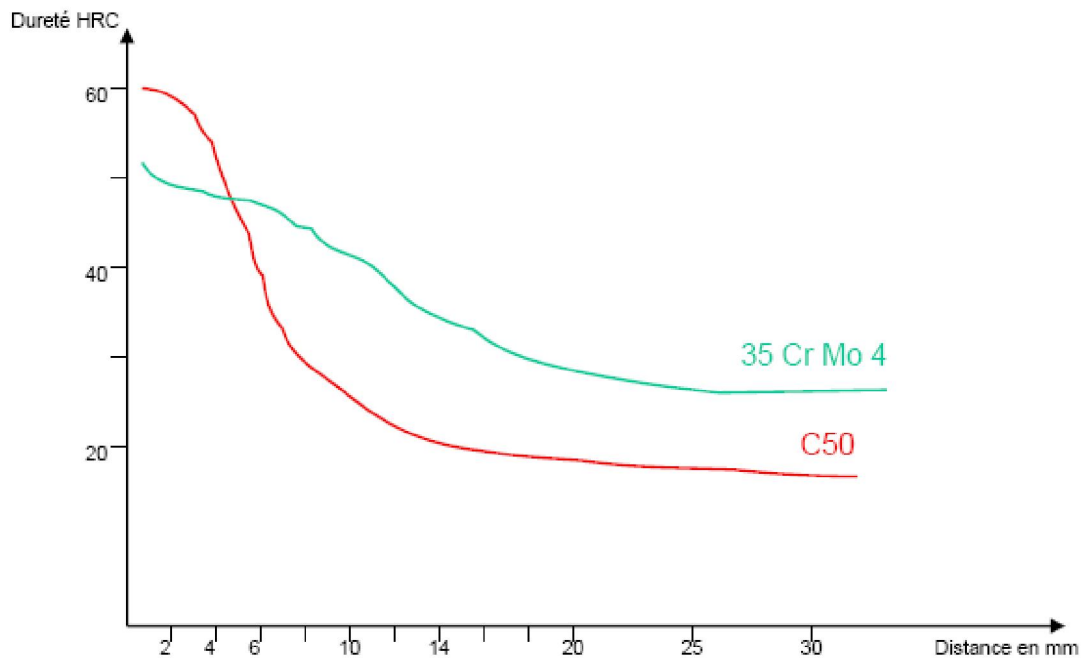
- Bonne lorsque la courbe Jominy ne subit que de très peu de variation tout en gardant une dureté élevée (figure VI.4a). ce cas est rencontré dans les aciers faiblement au nickel et notamment les aciers autotrepants.
- Mauvaise lorsque la nuance durcit uniquement en surface et subit une chute rapide de dureté à partir des couches sous jacentes (figure VI.4b). dans ce cas de figure,

qui couvre les aciers pour traitements thermiques non alliés, la trempabilité est mal définie.

- Moyenne lorsque la courbe Jominy présente une variation de la dureté (figure VI.4c).

Exemple

Comme c'est illustré par l'exemple suivant: après un traitement thermique de trempé dans la masse de deux aciers, on relève les filiations de dureté suivantes entre la surface et le cœur des pièces.



On remarque que l'écart de dureté entre le cœur et la surface du 35 Cr Mo 4 est plus faible que celui du C50. On peut conclure que le 35 Cr Mo 4 a une meilleure trempabilité que le C50.

Le chrome est un élément d'addition qui augmente la trempabilité des aciers