

## Partie II

Intitulé du Cours en ligne :  
**Traitement thermique (T.T)**

Destiné aux Etudiants du Master I

Domaine : Sciences et Technologie

Filière: Génie mécanique

Spécialité: Génie des Matériaux

Présenté par :

Dr. HABIBI Samir

# Traitement thermique (T.T)

## Sommaire

Partie 1. Concept de traitement thermique (Définition, Objectifs, Paramètres clés liés au T.T)

Partie 2. Propriétés des matériaux

Partie 3. Différents types de fours et les traitements associés

Partie 4. Défauts des pièces et mesures à prendre lors du traitement thermique

Partie 5. Classification des catégories des T.T

Partie 6. Traitement thermique dans la masse

- 6.1 Procédé thermique par la Trempe

- 6.2 Procédé thermique par le Recuit

- 6.3 Procédé thermique par le Revenu

Partie 7. Traitement thermique superficiel

- 7.1 Chauffage oxyacétylène (OA)

- 7.2 Chauffage par induction

- 7.3 Techniques haute énergie

Partie 8. Traitement thermochimique de diffusion

- 8.1 La cémentation

- 8.2 La nitruration,

- 8.3 La carbonitruration

- 8.4 La chromisation

Partie 9. Etude du diagramme temps-température- taux de transformation

Partie 10. Observations micrographiques et caractéristiques physiques et mécaniques

**Partie 11. Analyse des trois types de traitement thermique appliqués aux aciers**

Partie 12. Prédire et prévoir le comportement du matériau (acier) sous l'effet du T.T

## Partie II. Analyse des trois types de traitement thermique appliqués aux aciers

### II.1 Le recuit

Le recuit est un traitement qui consiste en premier lieu à mettre une pièce à une température élevée, entre 450 °C et 1100 °C. La température est déterminée selon les résultats recherchés. En second lieu, il consiste à garder la pièce chauffée à la température pendant un certain temps, puis à la refroidir convenablement pour obtenir le résultat escompté.

Grâce au recuit, toute déformation du métal est éliminée ou diminuée. Ces contraintes pourraient être des conséquences d'un précédent traitement thermique ou de n'importe quelle action antérieure au traitement en cours. Le recuit permet d'avoir un métal structuré et prêt à un usinage ou une déformation ultérieure. Le recuit intervient avant et après la formation du métal.

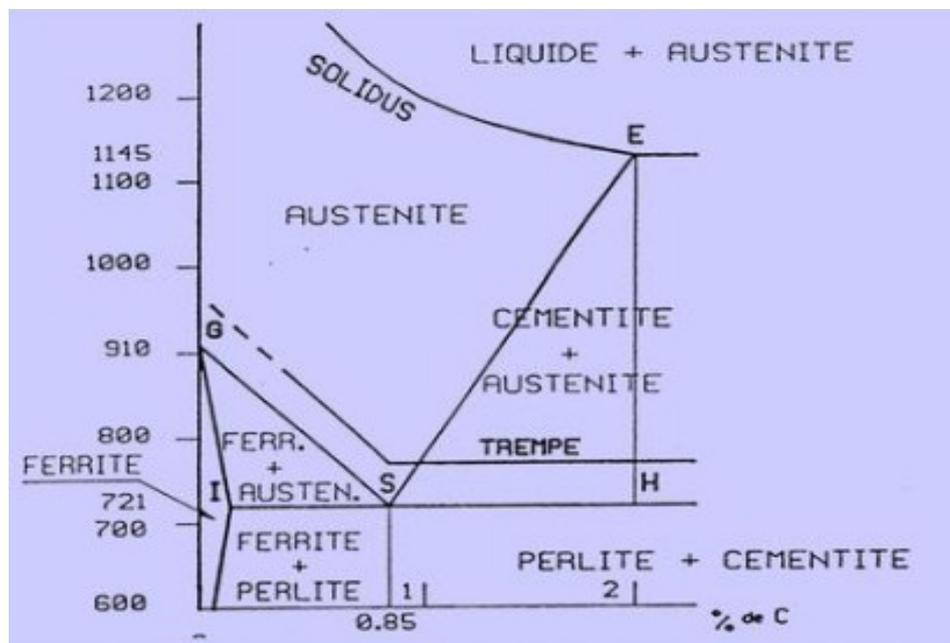


Fig. 14. Diagramme d'équilibre de l'acier.

Le présent traitement thermique consiste méthodologiquement à réchauffer au-dessus de la ligne GSH c'est-à-dire dans le domaine austénitique, qui a pour objectif d'atténuer les déséquilibres pouvant exister dans l'acier, à savoir de supprimer les

effets des traitements thermiques antérieurs. Il est suivi d'un refroidissement assez lent à l'air libre ou dans le four éteint.

## II.2 La trempe

Le durcissement par trempe se déroule en deux étapes. D'abord intervient le chauffage de la pièce. Autrement, il s'agit de la mise en solution ou de l'austénitisation. Pour chauffer la pièce, il faut une température appropriée. Ensuite vient le refroidissement de la pièce.

Pour réaliser ce refroidissement, il faut plonger la pièce dans de l'eau ou dans de l'huile, ou encore avec de l'air. De plus, le refroidissement se fait suivant une vitesse donnée qui doit être adéquate. Par ailleurs, il est possible d'énumérer également des sels comme le nitrate ou le nitrite et des émulsions polymères-eau. En effet, l'objectif principal de la trempe c'est de durcir l'acier. Grâce à ce type de traitement, vous pouvez avoir des aciers assez durs et solides.

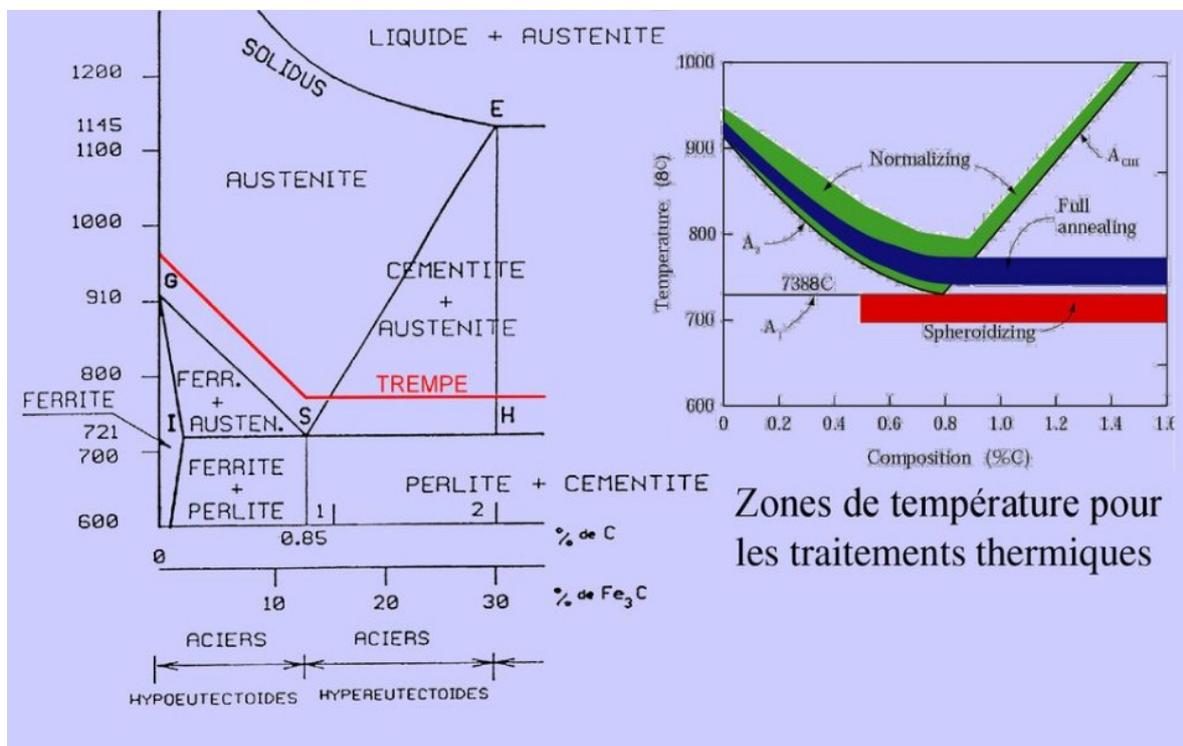


Fig. 15. Transformation de phases de l'acier.

Le type de processus de refroidissement a tendance à engendrer des transformations de phase entre austénite- martensite- bainite - perlite (voir représentation schématique ci-dessous) qui reflète le comportement microscopique de la configuration atomique de l'acier

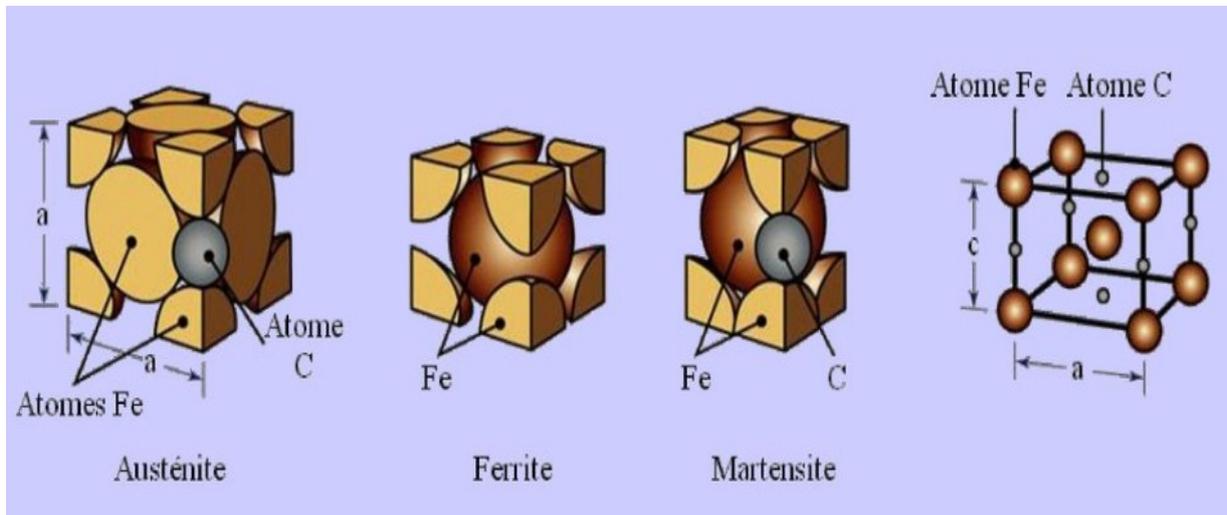


Fig. 16. la structure atomique de l'acier selon le type de phase.

Suite à une opération de refroidissement rapide l'austénite se transforme en martensite.

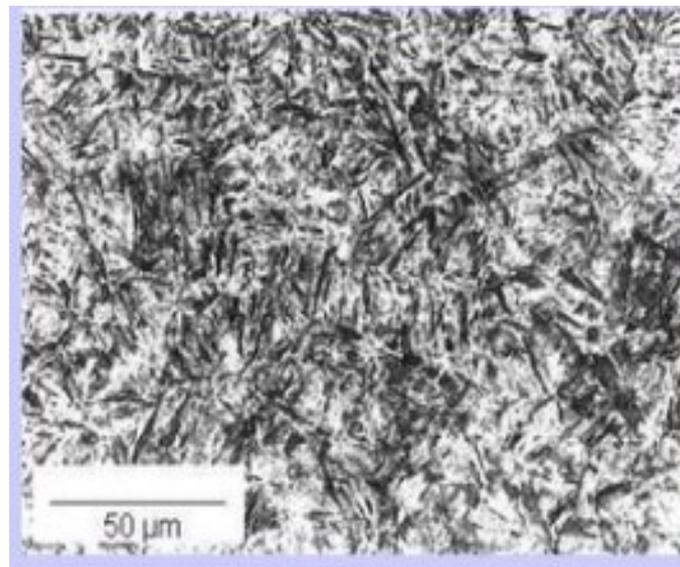


Fig. 17. La phase martensitique.

Cependant, suite à une opération de refroidissement lent l'austénite se transforme en bainite.



Fig. 18. La phase bainitique.

Tandis que, suite à une opération de refroidissement naturel l'austénite se transforme en perlite (89 % ferrite et 11 % cémentite).

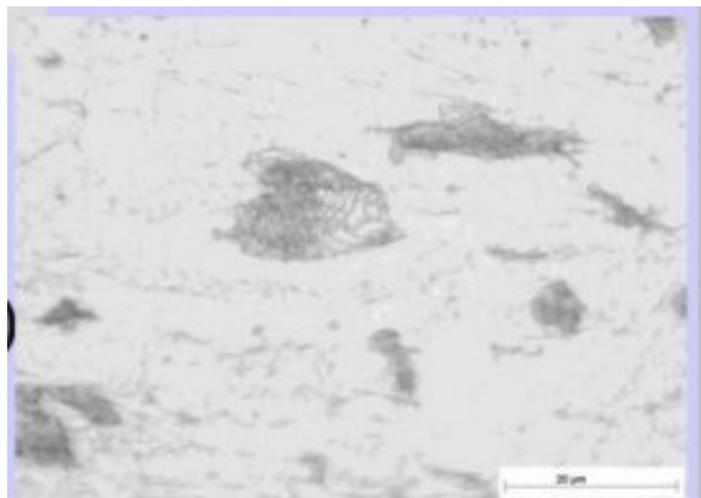


Fig. 19. La phase perlitique.

### II.3 Le revenu

Le revenu consiste à chauffer des aciers à température élevée au-delà de 700 °C, à garder la pièce à la température précédente pendant un temps et à la refroidir de manière appropriée.

Ce type de traitement vient réduire les conséquences de la trempe en renforçant la ténacité de la pièce. On parle de revenu, car c'est un traitement fait sur un acier qui a

déjà été trempé. Lorsque l'acier trempé est traité à 500 °, il s'agit d'un revenu. Cependant, une fois que l'acier n'a connu aucun traitement préalable, il s'agit d'un recuit.

## 11.4 Cycle thermique

- Chauffage : s'effectue à température déterminée selon les caractéristiques à obtenir mais toujours inférieure à  $A_{c1}$  à savoir entre 500°C et  $A_{c1}$
- Maintien à température constante.
- Refroidissement : refroidissement rapide souvent à l'huile.

## 11.5 Principaux types de Revenu (spécifiquement aux aciers)

- Revenu de détente à 200°C : pour les pièces accepté admet une valeur de K faible et H élevée.
- Revenu de structure appelé aussi revenu classique à 600°C : c'est le plus courant pour les aciers de construction. La valeur K augmente et H diminue.
- Revenu de durcissement (température entre 200°C et 600°C).

Comme exemple on examine l'évolution des propriétés mécaniques étudiées  $R_r, R_e, H_B, A\%, K$  suite à une opération de revenu appliquée sur deux aciers à savoir l'acier martensitique 34 Cr Mo 4 et l'acier non allié C 38 comme montré respectivement sur les deux tableaux suivants :

Tableau 2. La variabilité de la résistance mécanique et de l'allongement issue d'opération de revenu suite d'une opération de trempe classique.

Acier martensitique 34 Cr Mo 4		
Mode de traitement thermique	$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	A %
Trempe à 850 °C	1920	
Trempe à 850 °C + Revenu à 200 °C	1800	5,5
Trempe à 850 °C + Revenu à 400 °C	1500	7
Trempe à 850 °C + Revenu à 600 °C	1050	13

Tableau 3. La variabilité paramétrique issue d'opération de revenu suite d'une opération de trempe classique.

Acier martensitique 34 Cr Mo 4			
Mode de traitement thermique	$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	Hv	KCU (N/cm <sup>2</sup> )
Trempe à 850 °C	1820	557	9
Trempe à 850 °C + Revenu à 200 °C	1760	543	17,3
Trempe à 850 °C + Revenu à 400 °C	1290	381	54,2
Trempe à 850 °C + Revenu à 600 °C	870	257	132

[<https://www.unifonds.fr/fabrication/traitement-thermique/>]

D'où les principaux types de traitement thermique vu précédemment sont exprimés en fonction du temps. Comme le montre clairement le schéma suivant :

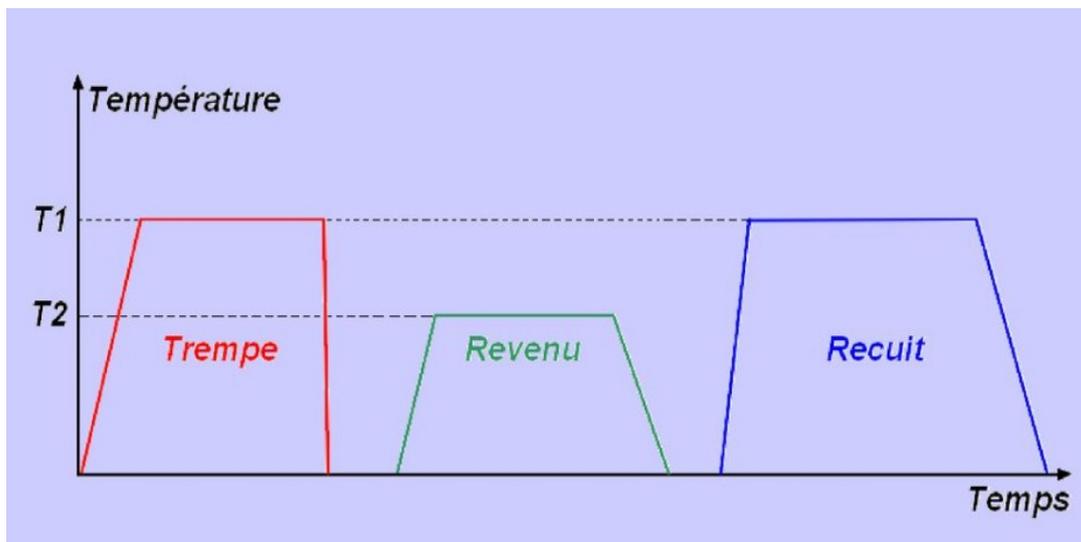


Fig. 20. Les trois modes de traitement thermiques relatifs à l'acier.

## Les avantages des traitements thermiques

L'avantage est de conférer aux métaux, tels que les aciers et autres alliages métalliques, de nouvelles caractéristiques, comme une meilleure résistance à la corrosion, une augmentation de la dureté, une stabilité dimensionnelle, un état de finition superficielle de qualité (brillance) ou une augmentation de la résistance à l'oxydation dans le temps. Les pièces ainsi traitées gagnent en fonctionnalité et deviennent ainsi des pièces à valeur ajoutée importante.

## Les inconvénients des traitements thermiques

Si le traitement thermique est mal appliqué, les pièces deviennent des rebuts difficilement réutilisables : surface noircie et oxydée dû à la présence de vapeur d'eau dans le four, modification non souhaitée de la composition (décarburation superficielle), variation de dureté non homogène sur la surface, pénétration du traitement variable selon la géométrie de la pièce, etc. L'entretien du four et du réseau de distribution des gaz est indispensable pour garantir un résultat final conforme aux attentes, et pour assurer la sécurité des opérateurs.

## Références

[1] Jean-Marie Georges, Frottement, usure et lubrification: tribologie ou science des surfaces, Paris, Eyrolles, 2000, 424 p. (ISBN 2-212-05823-3).

[2] <https://www.unifonds.fr/fabrication/traitement-thermique/>

[3] Dominique Ghiglione, Claude Leroux et Christian Tournier, « Pratique des traitements thermochimiques », Éditions techniques de l'ingénieur, traité Matériaux métalliques.

[4] [<https://bruval.ch/fr/construction-mecanique/traitement-thermique/>]

[5] Michel Dupeux, « Aide-mémoire de science des matériaux », Dunod, 2005.

[6] Sidney H. Avner, Introduction à la métallurgie physique, Centre collégial de développement de matériel didactique, p. 281.

[7] R. Fayolle et B. Courtois, *Ateliers de traitement thermique — Hygiène et sécurité*, INRS, 2001.

[8] J. Barralis et G. Maeder, *Précis de métallurgie — Élaboration, structures-propriétés et normalisation*, Nathan/Afnor, 1991 (ISBN 2-09-194017-8), p. 70-104, 125-127.