

# Traitements Thermiques

Définition :

les traitements thermiques sont des opérations de chauffage, suivies de maintien à la température choisie pendant un certain temps, puis de refroidissement.

But : Amélioration des caractéristiques mécaniques des pièces.

## A / Traitements Thermiques des Aciers

On distingue 3 types de traitements thermiques (Recuits, Trempe, Revenu).

### 1) Recuits

Définition

le recuit amène le métal en équilibre physico-chimique (et mécanique s'il y a lieu) dit état recuit.

L'état recuit correspond aux valeurs maximales des caractéristiques mécaniques de ductilité (allongement et résilience) et aux caractéristiques mécaniques de résistance (dureté, limite élastique et résistance à la rupture) qui sont aux valeurs minimales

Le cycle thermique du recuit comporte :

- Un chauffage jusqu'à une température dite température de recuit.
- Un maintien isotherme à cette température ;
- Un refroidissement généralement lent (four).

### 1.1. / Recuit d'Homogénéisation (RH).

Le but du recuit d'homogénéisation est de détruire l'hétérogénéité chimique des pièces.

#### 1.1.1. / Cycle thermique

##### a) Température du recuit

$$T_{RH} = A_3 + 200^\circ C$$

-  $T_{RH} <$  Température du solidus réel (éviter la fusion partielle des parties les plus fusibles (ex: joints de grains), c.a.d. éviter le brûlure de l'acier).

- A  $T_{RH}$  on a le grossissement du grain (métal surchauffé)  $\Rightarrow$  fragilité.

##### b) Durée du Maintien

Plusieurs heures (6, 8, etc.), dépend des dimensions des pièces.

Ce type de recuit est toujours suivi de recuit de régénération, en raison du

grossissement du grain qui se produit pendant le maintien isotherme à  $A_3 + 200^\circ\text{C}$ .

c) Refroidissement: toujours dans le four.

1.2.) Recuit de régénération (R.R.).

Après le recuit d'homogénéisation, le métal a une structure relativement grossière (gros grains) c'est à dire fragile. A la Température  $> A_3$ , les plus gros grains absorbent les plus petits.

1.2.1.) Cycle thermique

a) Température du recuit: ( $T_{RR}$ )

$$T_{RR} = A_3 + 75^\circ\text{C}.$$

à cette température, on a 2 transformations

- Physicochimique:  $F + P \rightarrow A$

- Cassure des gros grains (division)

$\Rightarrow$  Acier formé de petits grains:

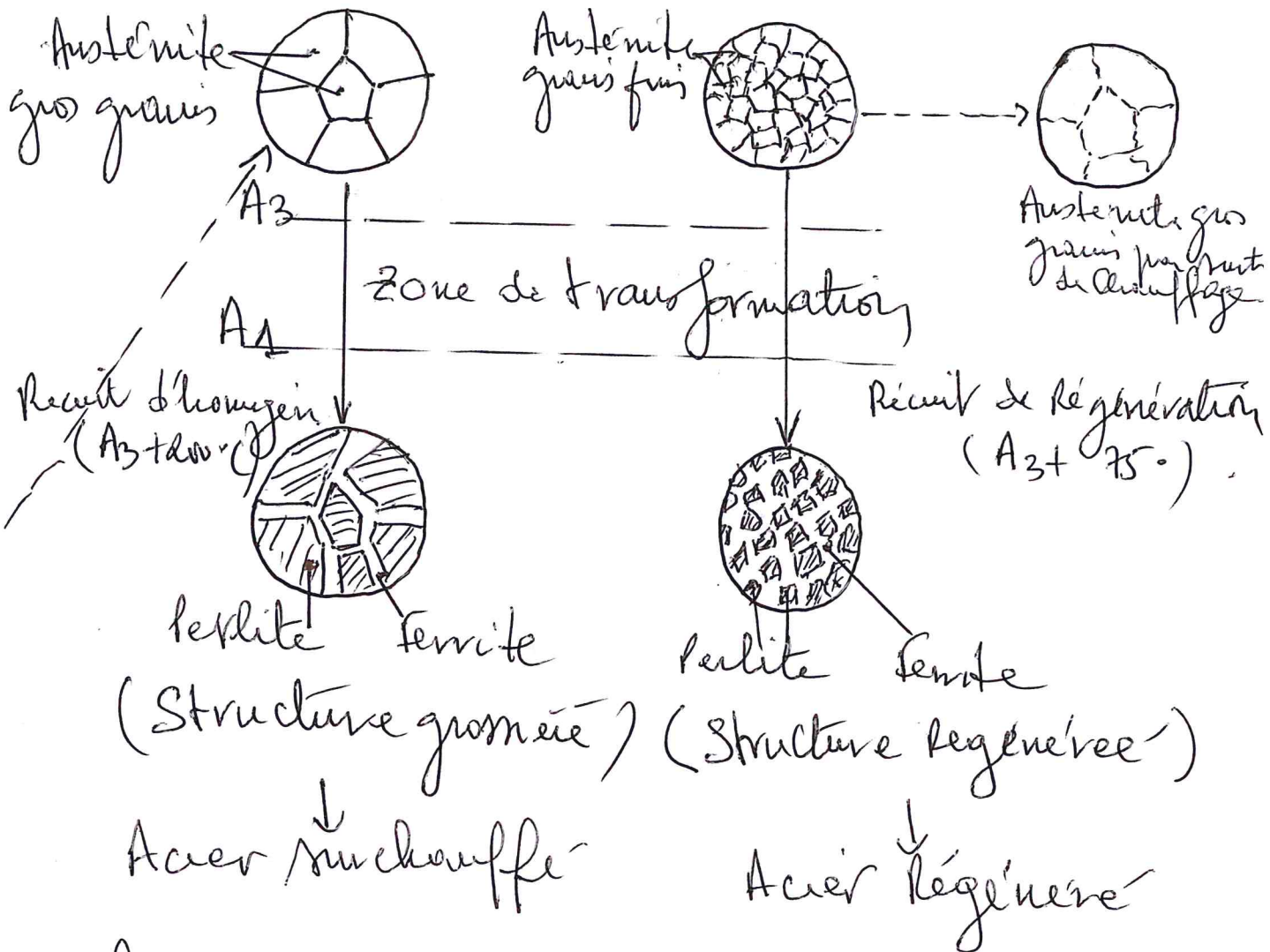
Taille du grain  $\approx 2 \div 50 \mu\text{m}$ .

au refroidissement on observe:  $A \rightarrow F + P$ .

avec la conservation de la structure fine:  
(disparition de la fragilité).

b) Maintien : le temps du maintien  $\approx 1$  H.

c) Refroidissement : dans le four.



Remarque:

Le recuit de régénération est toujours suivi du recuit de détente (recuit de relaxation, recuit d'adoucissement).

1.3) Recuit de détente (R.D.).

Le type de recuit tend à détruire les contraintes propres dues à la solidification, ou par certains

Traitements (mécanique, Thermique, etc.).

1.3.1.) Cycle Thermique :

a) Température du RD,

$$T_{RD} \approx 400 \div 600^\circ\text{C} < A_1 (=721^\circ\text{C}).$$

b) Maintien :  $t \approx 1\text{H}$ .

c) Refroidissement : four.

2) Trempe :

2.1) Cycle Thermique de la Trempe :

2.1.1.) Chauffage :

L'acier est généralement porté à une température minimale dite température de trempe ( $T_c$ ) qui correspond à un état austénitique.

a) Chauffage : dépend de la nature de l'acier : (ordinaire ou allié), etc.

2.1.2. Maintien :

L'acier est maintenu à cette température pendant un certain temps (assurer la homogénéité thermique jusqu'au cœur de la pièce).

### 2.1.3). Re refroidissement;

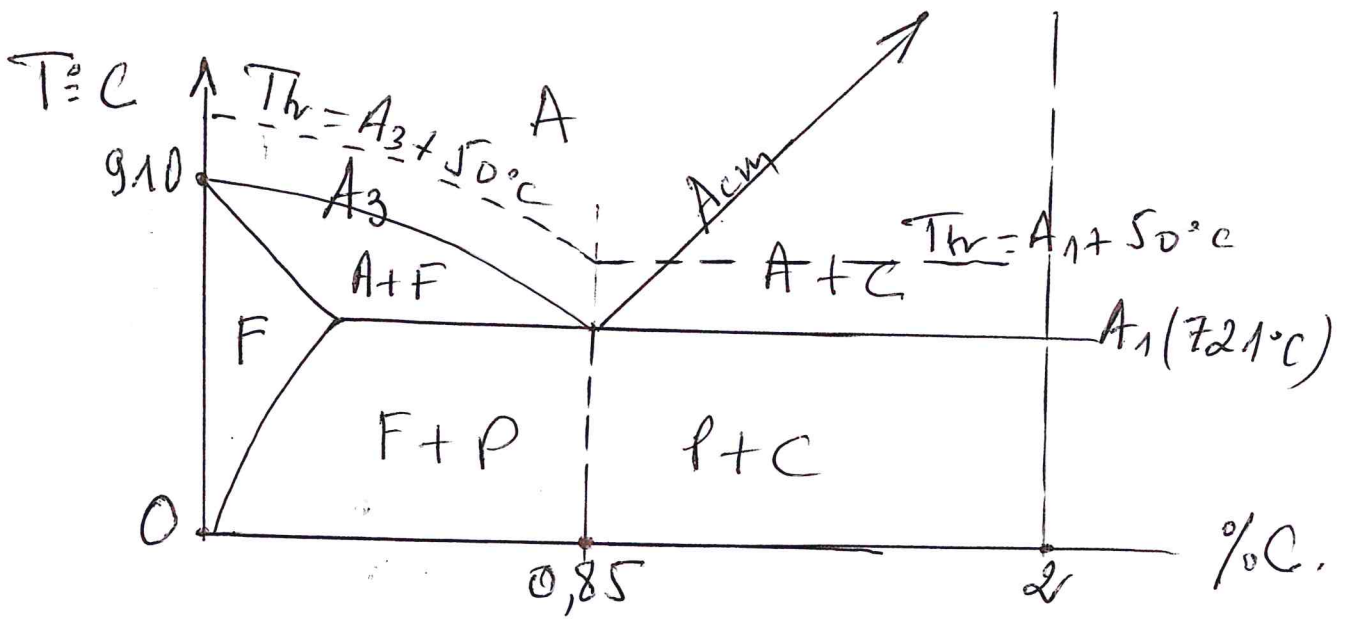
Le refroidissement doit être rapide, afin d'éviter le retour de l'acier à l'état initial (préserver le carbone, qui est uniformément réparti dans tout l'acier).

### Remarques

- Si le  $T^{\circ}$  de chauffage  $< T_t \Rightarrow$  pas de trempe.
- Si le refroidissement est trop lent  $\Rightarrow$  pas de trempe.
- Le résultat le plus frappant de la trempe est la grande dureté de l'acier (grande fragilité),
- Faire obligatoirement le revenu après la trempe.

### 2.2. / Détermination de la Température de trempe.

Il y a plusieurs méthodes pour la détermination de la  $T^{\circ}$  de trempe, mais la plus simple et la plus utilisée est la détermination à l'aide du diagramme d'équilibre (fer / carbone),



$A_1, A_3, A_{cm}$  : lieux des points de transformation des aciers.

Remarque :

$A_{c1}, A_{c3}, A_{cm}$  : transformation au cours du chauffage.

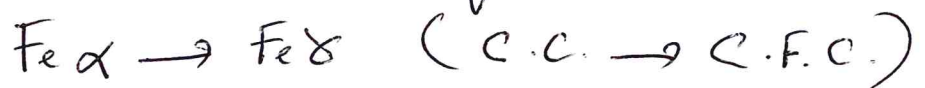
$A_{m1}, A_{m3}$  : transformation au cours du refroidissement.

2.2.1. / Aciers hypoeuctoïdes ( $\%C < 0,85$ )

Ces aciers sont formés de ferrite et ferite;

a) Transformation  $A_1$

Au cours d'un chauffage progressif, la courbe  $T = f(t)$  présente une première anomalie à  $721^\circ C$  (première transformation dite  $A_{c1}$ ) au cours de laquelle on a :



c.a.d.  $100\% P \rightarrow 100\% A$  à  $721^\circ C$

$P$  à  $0,85\% \rightarrow A$  à  $0,85\%$

(7)

## b) Transformation $A_1 \rightarrow A_3$

- à  $T \equiv > 721^\circ\text{C}$  la ferrite se transforme progressivement en austénite.
- à  $T \equiv = T \equiv A_{c3}$ , l'acier est alors formé d'une austénite ayant la même teneur en carbone qu'auparavant.
- à  $T \equiv > T \equiv A_{c3}$ , l'acier est homogène (pas de modification de la nature de l'unique constituant jusqu'au solidus du diagramme).

### Remarque:

Au refroidissement les mêmes transformations se produisent en sens inverse.

- à  $T \equiv = T \equiv A_3 \rightarrow A_{r3} : (A \rightarrow A + F)$
- à  $T \equiv = T \equiv A_1 \rightarrow A_{r1} : (A \rightarrow F)$ .

## 2.2.2. / Aciers Eutectoïdes : ( $\% C = 0,85$ )

- cet acier est formé de 100% de ferrite
- Cette transformation commence, se poursuit et se termine à  $721^\circ\text{C}$ .

( $A_1$  et  $A_3$  sont confondues):

$A_{c1-3}$  et  $A_{r3-1}$

- à  $T \equiv > 721^\circ\text{C}$  pas de modification de  $k$  & jusqu'au solidus.



### 2.2.3 / Aciers Hypereutectoïdes ( $\%C > 0,85$ ).

Ces aciers sont formés de P+C.  
même raisonnement que (2.2.1), mais  
avec la cémentite à la place de la ferrite.

#### Remarques

Pratiquement, on utilise le trempe  
comme suit:

- Aciers hypoeutectoïdes:

$T_{tr} = A_3 + 50^\circ C$  (résultat martensite)

- Aciers eutectoïdes et hypereutectoïdes

$T_{tr} = A_1 + 50^\circ C$  (résultat, mart + cémentite)

### 2.3 / Précautions à prendre au cours de la trempe

a) Si l'état autémitique est nécessaire,  
il faut éviter de chauffer la pièce  
à des  $T =$  élevées et pendant un  
long temps car on aboutira à une  
structure grossière  $\Rightarrow$  (fragilisation)

b) Le refroidissement rapide entraîne  
la présence des contraintes propres  
résiduelles:

si  $\sigma >$  limite élastique  $\Rightarrow$  déformation

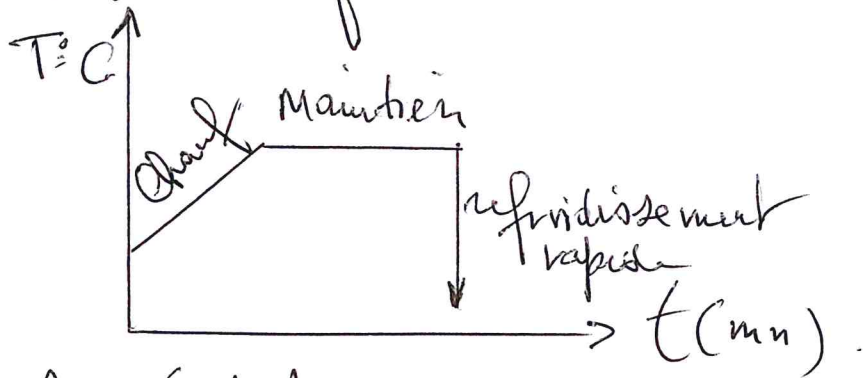
si  $\sigma >$  charge de rupture  $\Rightarrow$  rupture  
des pièces.

c) Chauffage en atmosphères oxydantes  
 $\Rightarrow$  décarburation (départ du carbone  
de la surface), c.a.d. diminution

superficielle de la dureté - après trempe (utiliser les fours à atmosphères contrôlées).

Remarque:

L'acier trempé est souvent plus dur et trop fragile pour pouvoir être utilisé, il faut donc faire recours au revenu.



Représentation graphique de la trempe

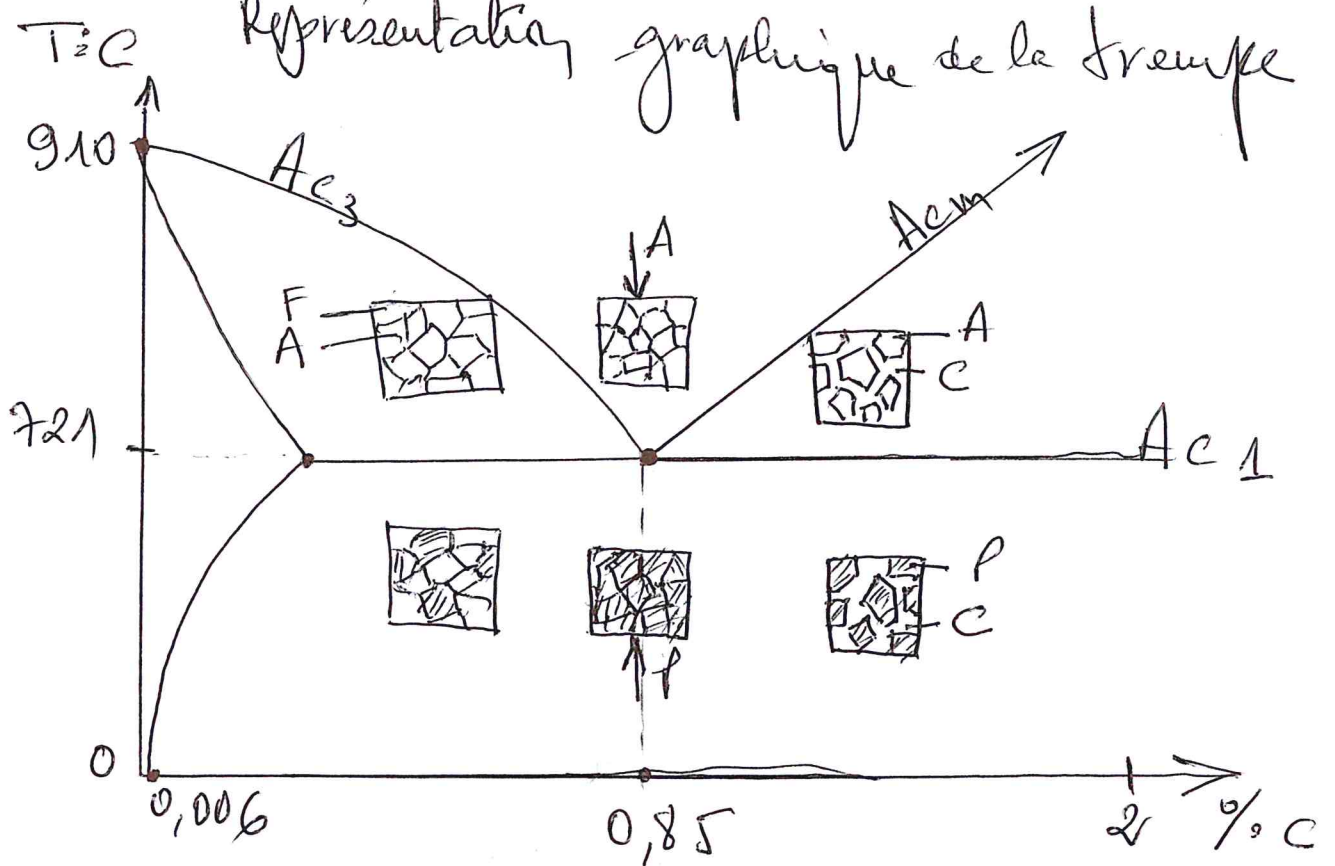


Diagramme de trempe pour aciers au carbone

### 3.) Revenu

Le revenu est un chauffage de l'acier trempé à une température  $< A_{c1}$  ( $727^{\circ}\text{C}$ ) suivi d'un refroidissement lent (air) après un maintien isotherme de durée suffisante.

- Le but du revenu est :

a) réaliser un compromis entre deux exigences contradictoires :

↓ des caractéristiques de résistance (↓ fragilité), et

↑ des caractéristiques de ductilité

b) éliminer les contraintes propres

⇒ ↓ fragilité.

#### 3.1/ Cycle du Revenu

##### 3.1.1.) Températures du revenu :

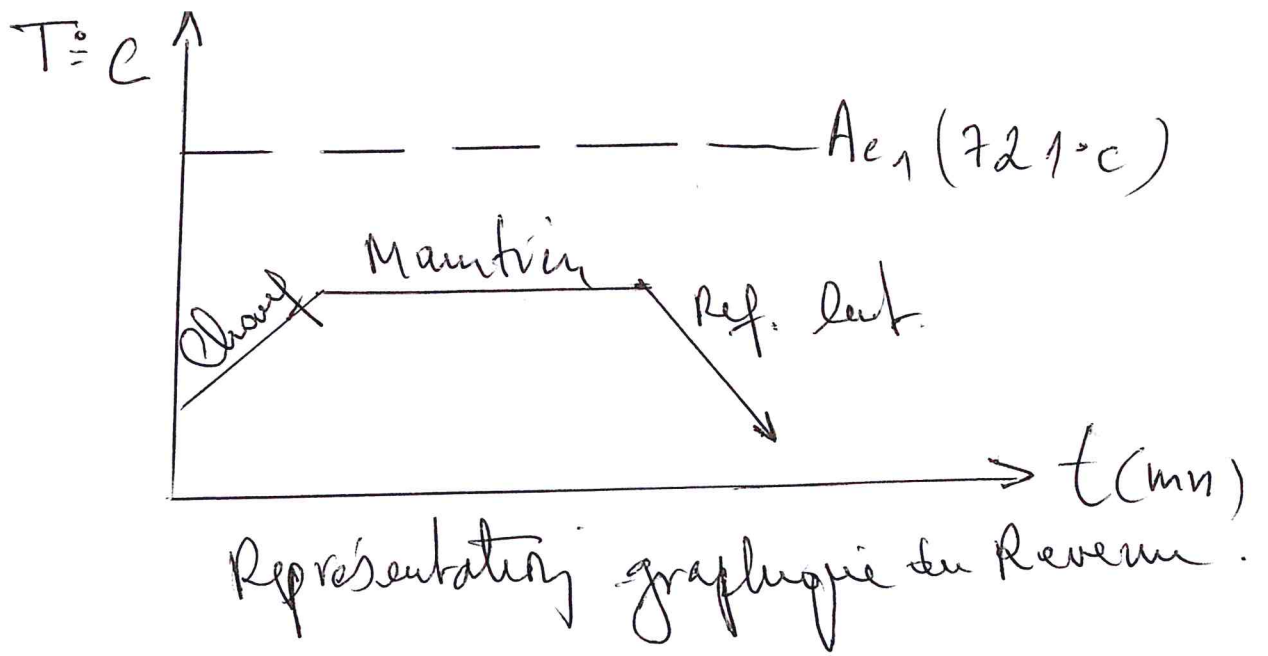
a) Revenu à basse  $T^{\circ}$  : ( $T^{\circ} \leq 200^{\circ}\text{C}$ ).

b) Revenu à  $T^{\circ}$  moyenne : ( $T^{\circ} 350 \div 500^{\circ}\text{C}$ )

c) Revenu à haute  $T^{\circ}$  : ( $T^{\circ} 500 \div 680^{\circ}\text{C}$ )

3.1.2.) Maintien  $\geq 1 \text{ h}$ .

3.1.3.) Refroidissement lent (air) (éliminer les contraintes internes).



(12)