

# Chapitre 5 :

## Les traitements thermiques des acier : TREMPE

### Trempe

- Étude de mécanisme de la Trempe
- Influence de la vitesse de refroidissement
- Influence de la température de Trempe
- Courbes, caractéristiques de trempe
- Éléments du problème de la trempe d'une pièce
- Trempabilité
- Schéma du problème pratique de la trempe

### Revenu

- Définition de revenu
- Mécanique du revenu
- Facteurs du revenu

# Traitements thermiques dans la masse

Les traitements thermiques des métaux et alliages ont **pour but de modifier les propriétés de ces corps** uniquement .....

..... **Les catégories de traitement thermique :**

- **La trempe**
- **Le revenu**
- **Le recuit**

La détermination des traitements thermiques à imposer à un métal est basée sur :

- *L'observation des points critiques du métal (diagramme fer-carbone)*
- *La température de chauffage*
- *L'étude du refroidissement*

# Traitements thermiques dans la masse

## Règles générales

Faire coexister dans une pièce destinée à un usage défini les valeurs optimales des caractéristiques mécaniques :

❑ ***Rm*** : résistance à la rupture

❑ ***Re*** : résistance élastique

❑ ***H*** : dureté

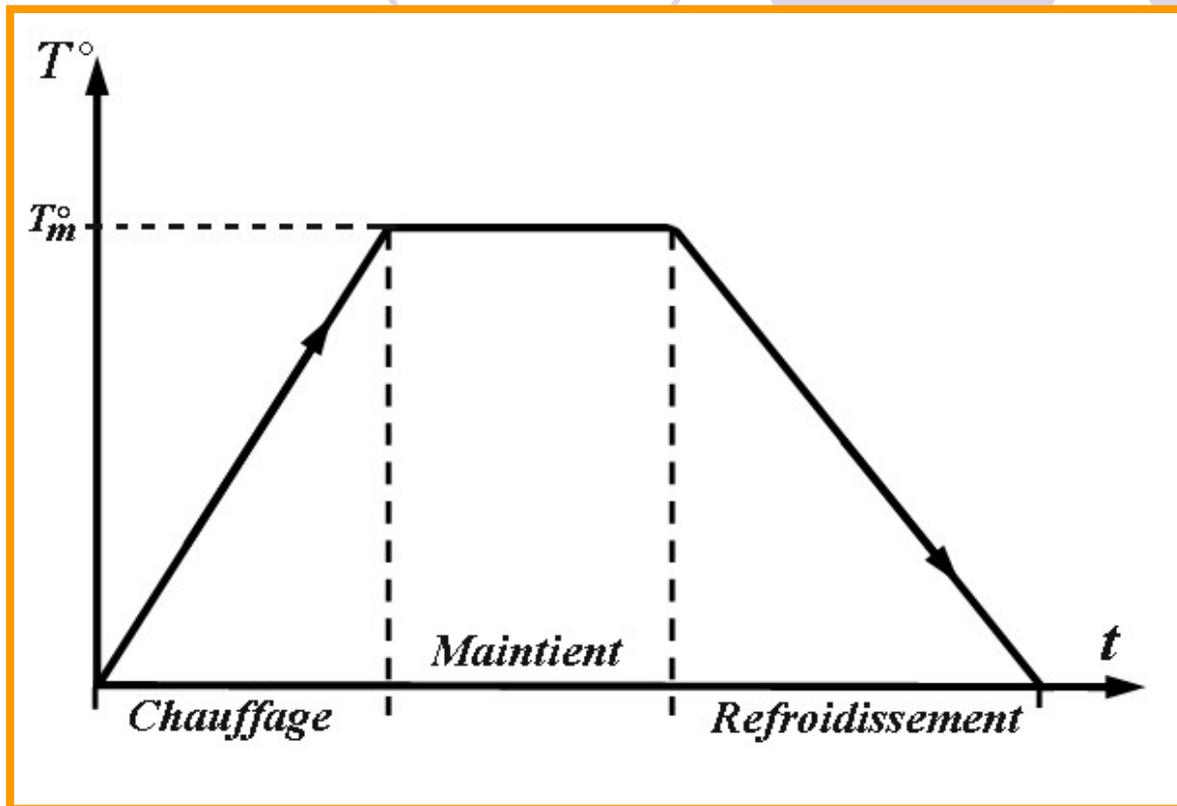
❑ ***A%*** : allongement en %

❑ ***KC*** : résilience

# Traitements thermiques dans la masse

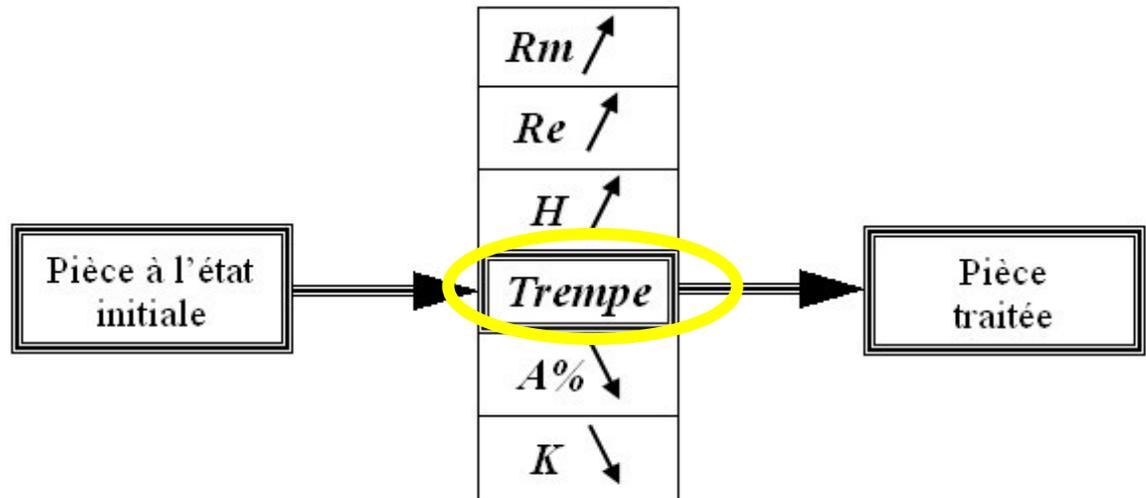
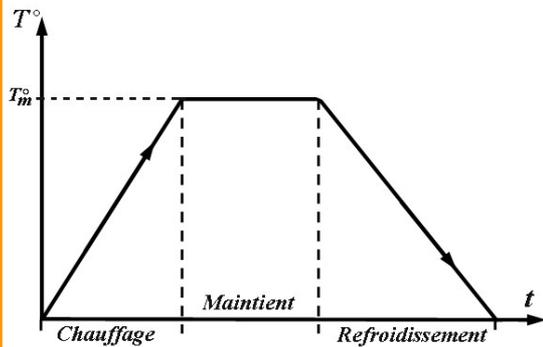
Les opérations de traitement thermique comporte **un cycle** composé de:

- ..... ,
- de ..... à une température définie
- et .....

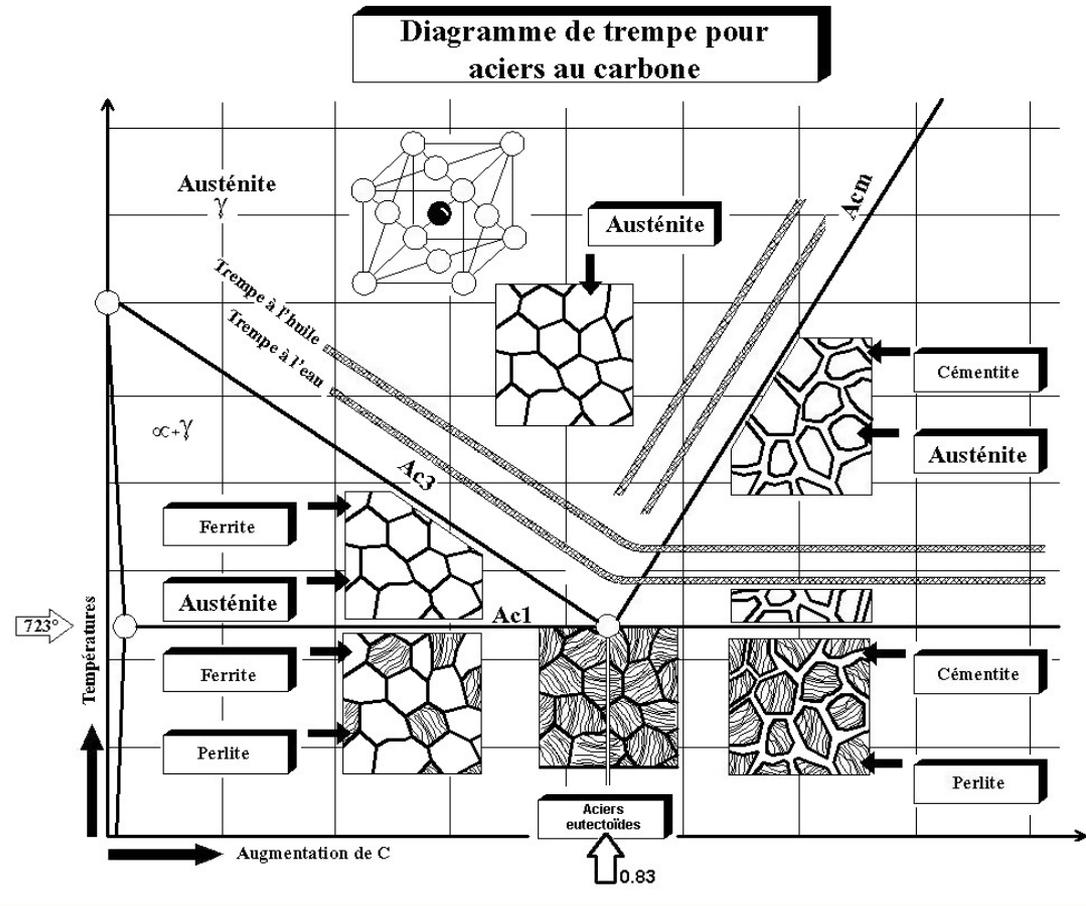


# La trempe

La trempe est une opération **qui consiste à refroidir brusquement** un produit métallurgique porté à une température bien définie à fin d'en modifier les propriétés.



# La trempe

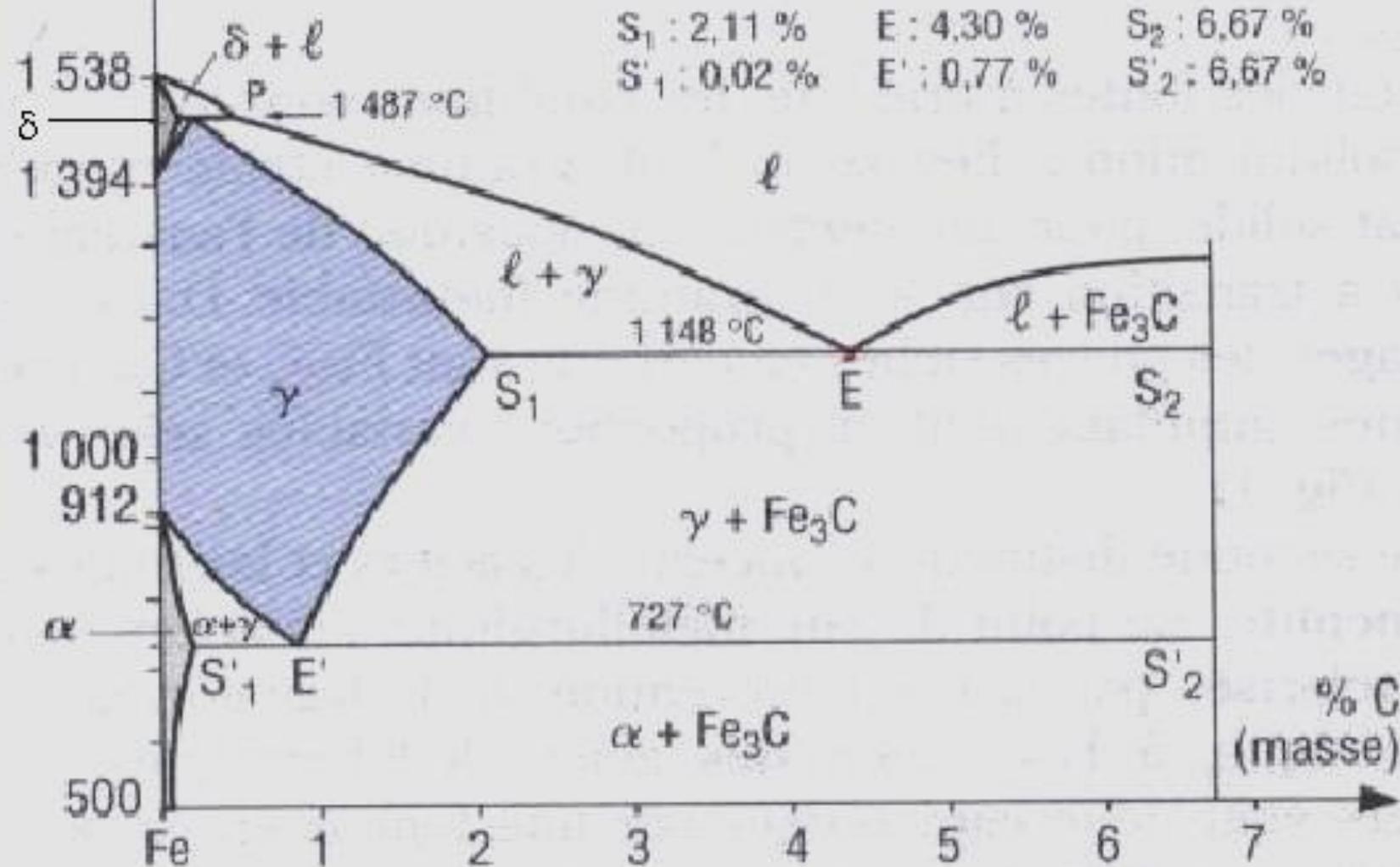


## Température d'austénitisation

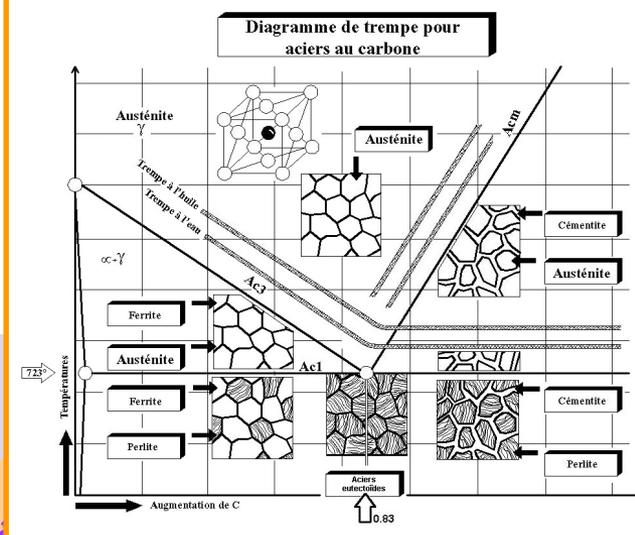
Du choix de la température d'austénitisation  $T_a$  dépend le meilleur rendement du traitement.

Il est fonction des propriétés du produit de transformation qui varient selon une austénitisation complète ou partielle.

T(°C) ↑



# La trempe



## Température d'austénitisation

Pour les aciers non alliés et les aciers peu alliés, on admet les règles empiriques suivantes.

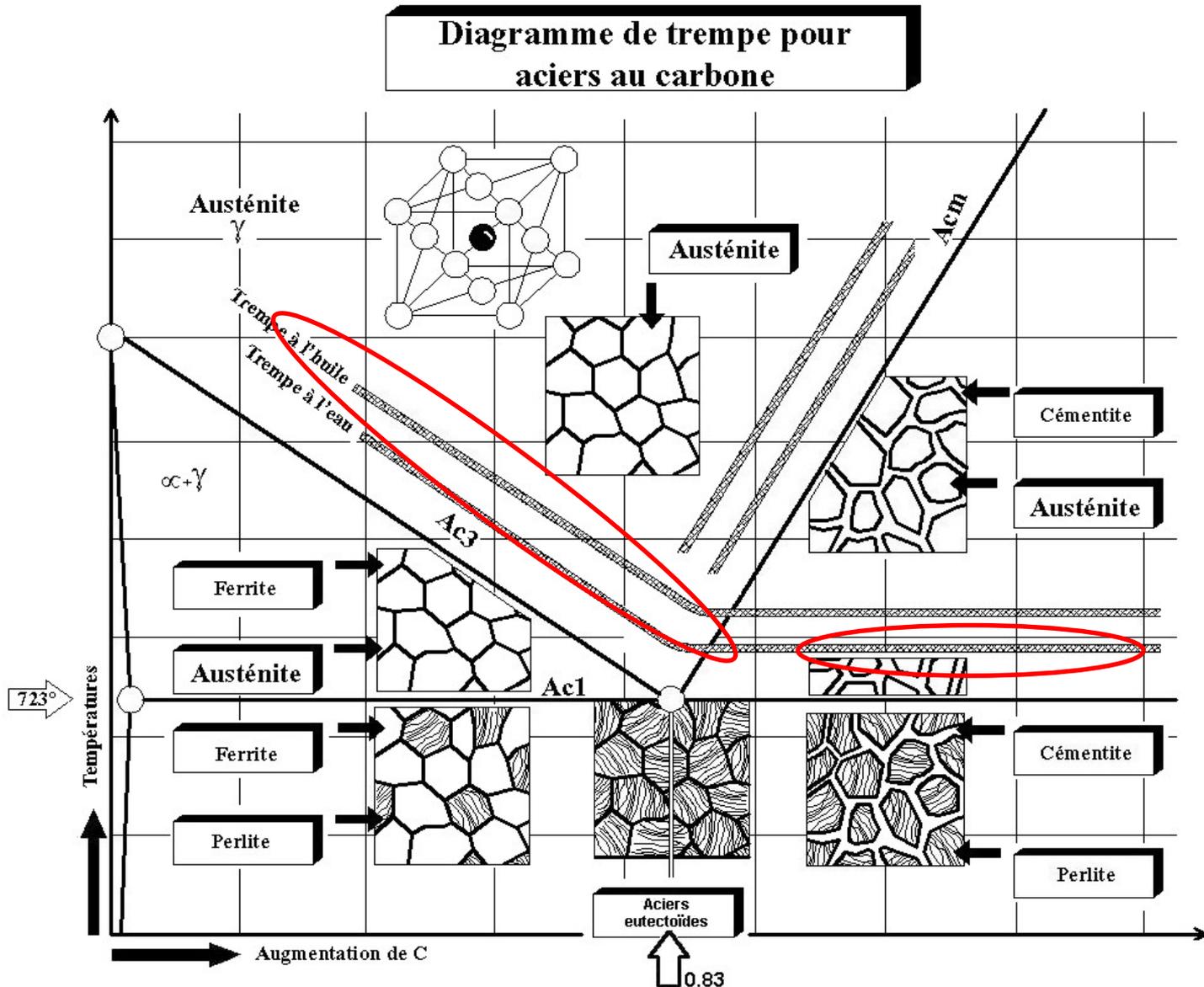
□ pour les aciers hypoeutectoïdes :

— austénitisation vers  $Ac_3 + 25$  °C environ (souvent, lors du traitement des aciers non alliés trempés à l'huile, on relève ces températures de 25 °C environ pour augmenter un peu la trempabilité en provoquant un léger grossissement des grains d'austénite) ;

□ pour les aciers hypereutectoïdes :

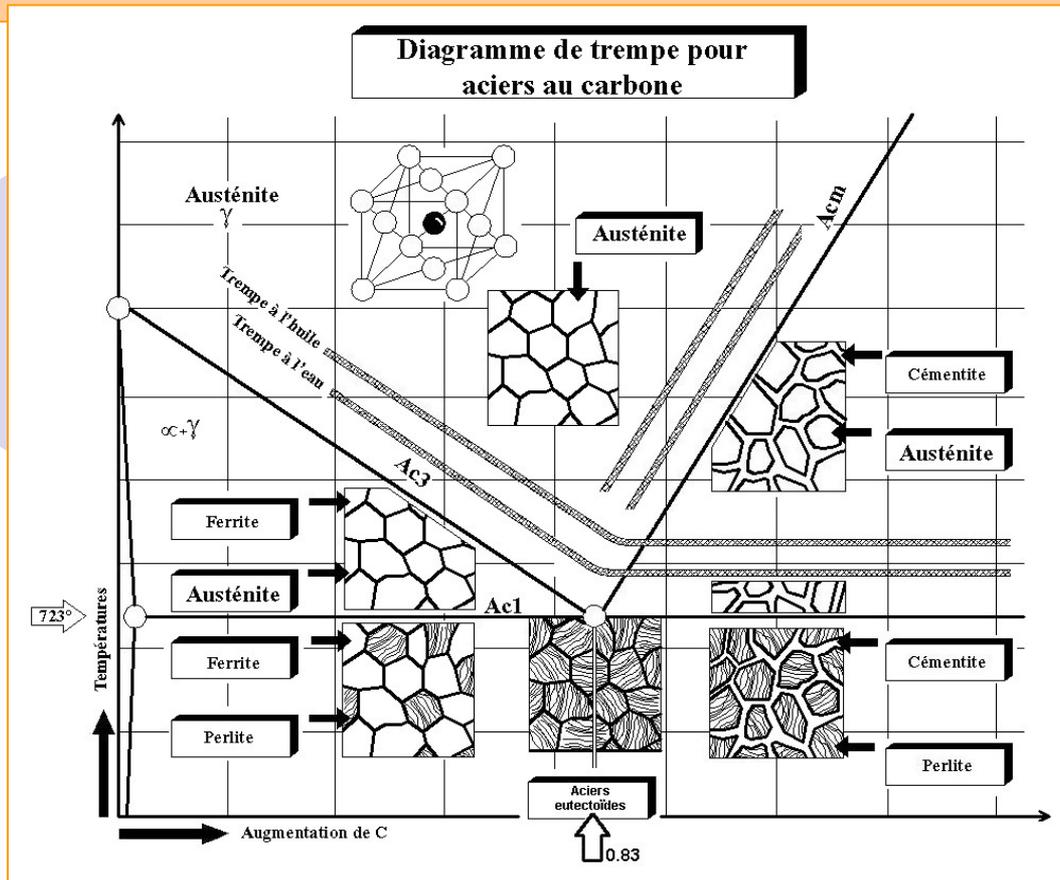
— austénitisation vers  $Ac_1 + 50$  °C environ

## Température d'austénitisation



## Durée de l'austénitisation

L'austénitisation nécessite un temps de maintien  $t_a$  (.....) à la température  $T_a$  pour l'homogénéisation et la mise en solution totale des éléments d'alliage présent dans l'acier.





## Vitesse de refroidissements

- ❑ C'est à partir du refroidissement que l'on peut distinguer **plusieurs types de trempes**.
- ❑ Celles-ci ayant pour but d'obtenir à partir de la phase austénitique des propriétés particulières.
- ❑ Ces propriétés sont déterminées par **les lois de refroidissement** imposées en d'autre terme **les milieux de refroidissement** qui sont principalement :
  - *l'eau,*
  - *les huiles, qui peuvent être de compositions assez diverses, utilisées froides ou chaudes,*
  - *les gaz, en particulier l'air, l'azote ou même sous vide...*

# La trempe

## Choix des condit

□ Le diagramme TRC de l'acier permet de définir, pour la procédure d'austénitisation correspondante, les conditions de refroidissement qui provoquent la transformation de l'austénite en **MARTENSITE** (ou éventuellement en martensite + bainite) (**figure 8**).

**Nota :** le domaine intermédiaire repéré **A + F + C** correspond au domaine de formation de la bainite.

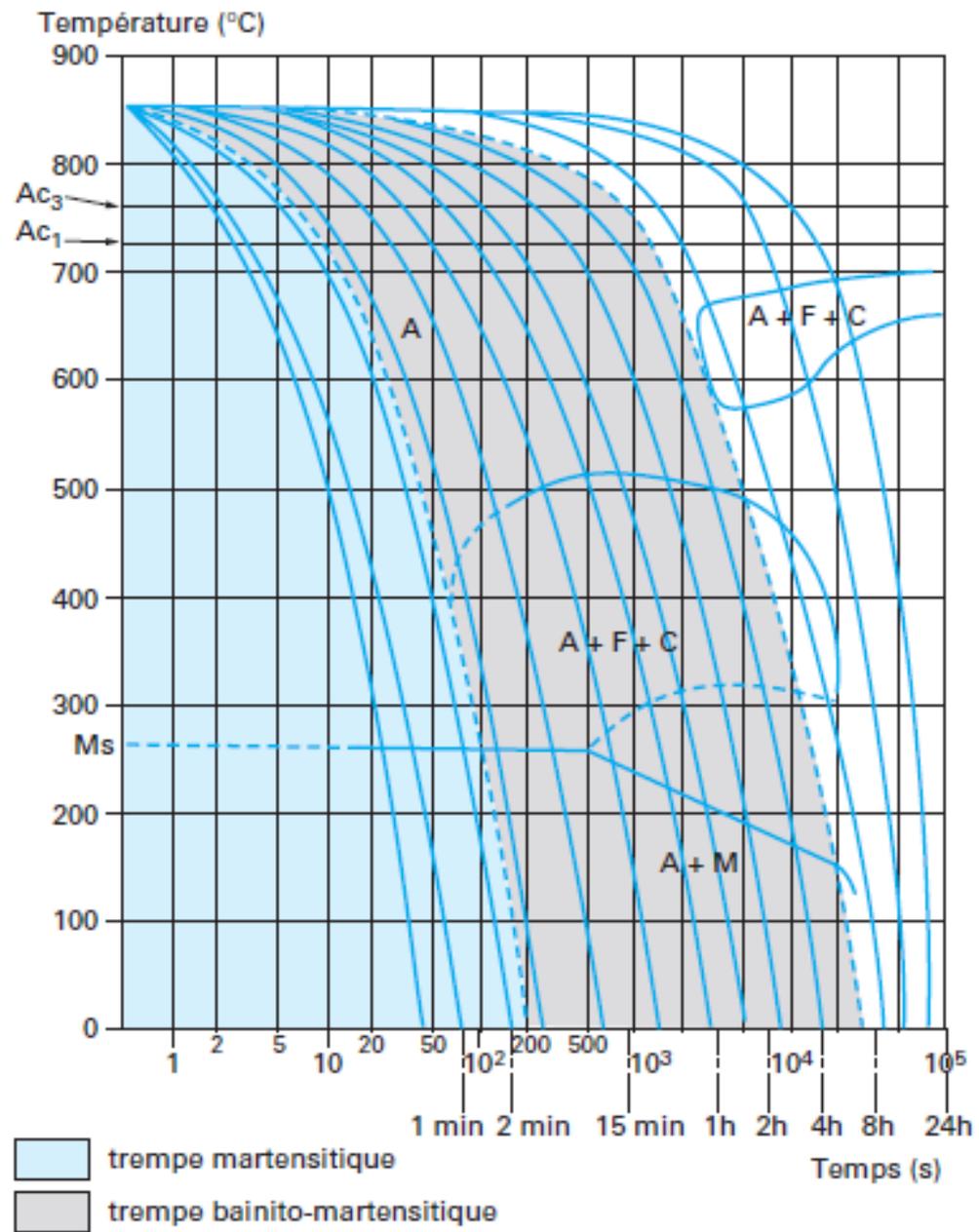


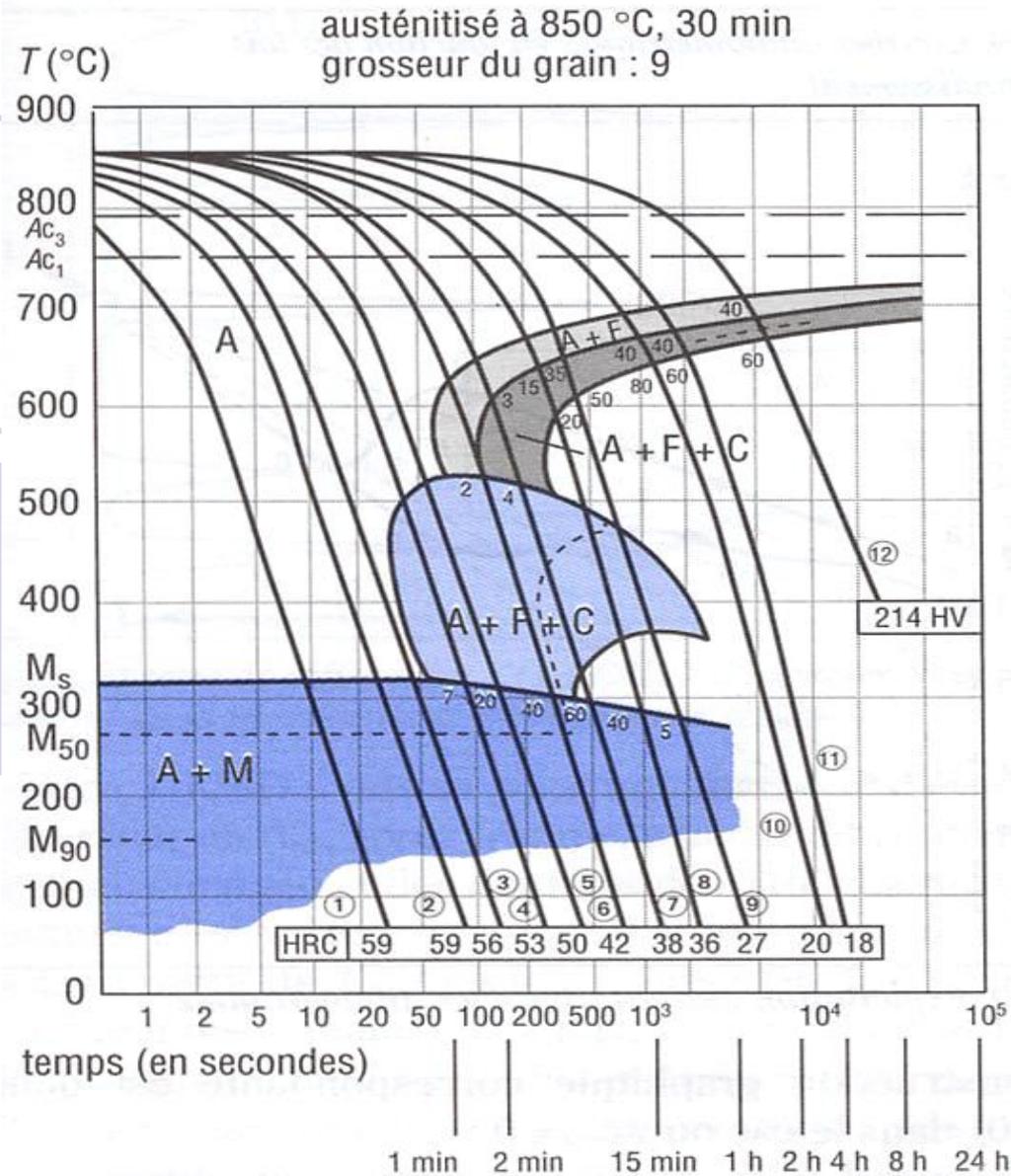
Figure 8 - Délimitation des conditions de refroidissement permettant de réaliser une trempe martensitique ou bainito-martensitique

# La trempe

## Trempe avec refroidissement continue (T.R.C)

➤ Des échantillons de faibles dimensions, après austénisation, sont soumis à des vitesses de refroidissement différentes selon l'échantillon, allant de quelques degrés par heure à plusieurs centaines de degrés par seconde.

C %	Mn %	Si %	S %	P %	Ni %	Cr %	Mo %	Cu %
0,44	0,80	0,31	0,013	0,03	0,46	0,96	0,05	0,18



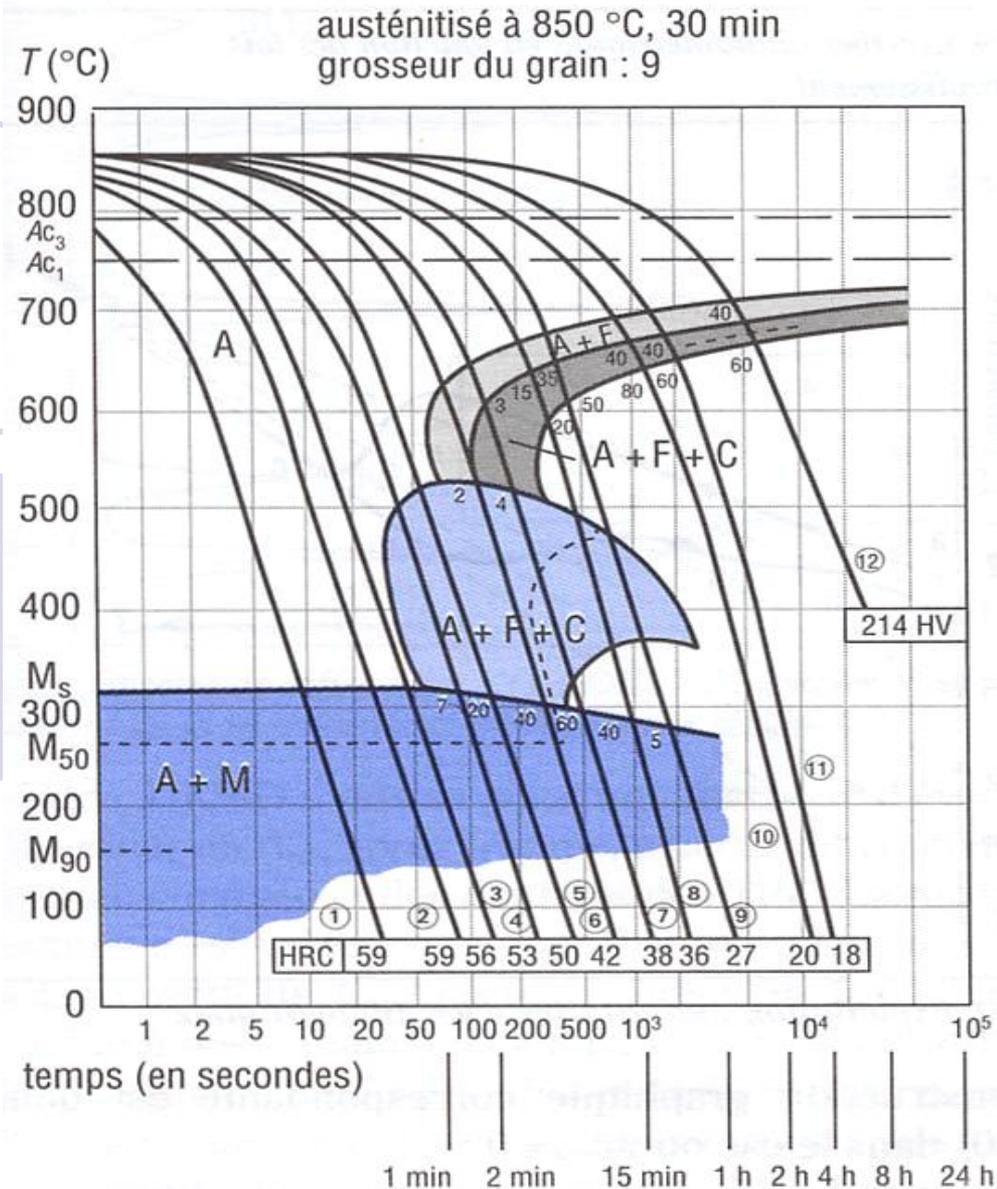
# La trempe

C %	Mn %	Si %	S %	P %	Ni %	Cr %	Mo %	Cu %
0,44	0,80	0,31	0,013	0,03	0,46	0,96	0,05	0,18

## Trempe avec refroidissement

### continue (T.R.C)

➤ On peut ainsi simuler approximativement **les lois de refroidissement** caractérisant les différents endroits d'une pièce selon sa massivité et selon le fluide de trempe utilisé lors d'un refroidissement continu ou anisotherme.

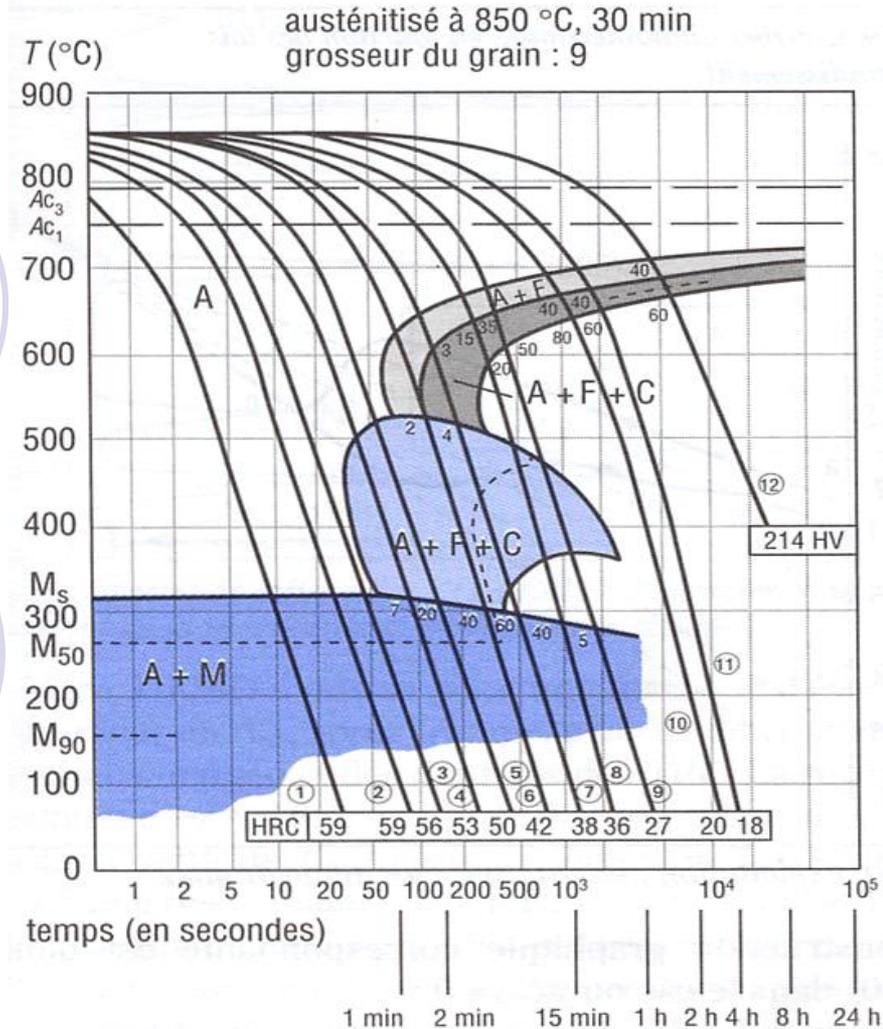


# La trempe

## Vitesse critique de trempe martensitique

**L'exploitation du faisceau des lois de refroidissement permet de déterminer directement la vitesse minimale de refroidissement à réaliser pour éviter la formation d'agrégat ferrite carbures. Cette vitesse appelée vitesse critique de trempe martensitique est mesurée entre 700 et 300°C, car les mécanismes de germination et de croissance sont susceptibles de se produire dans les aciers entre ces deux températures (Ac1 et Ms).**

C %	Mn %	Si %	S %	P %	Ni %	Cr %	Mo %	Cu %
0,44	0,80	0,31	0,013	0,03	0,46	0,96	0,05	0,18



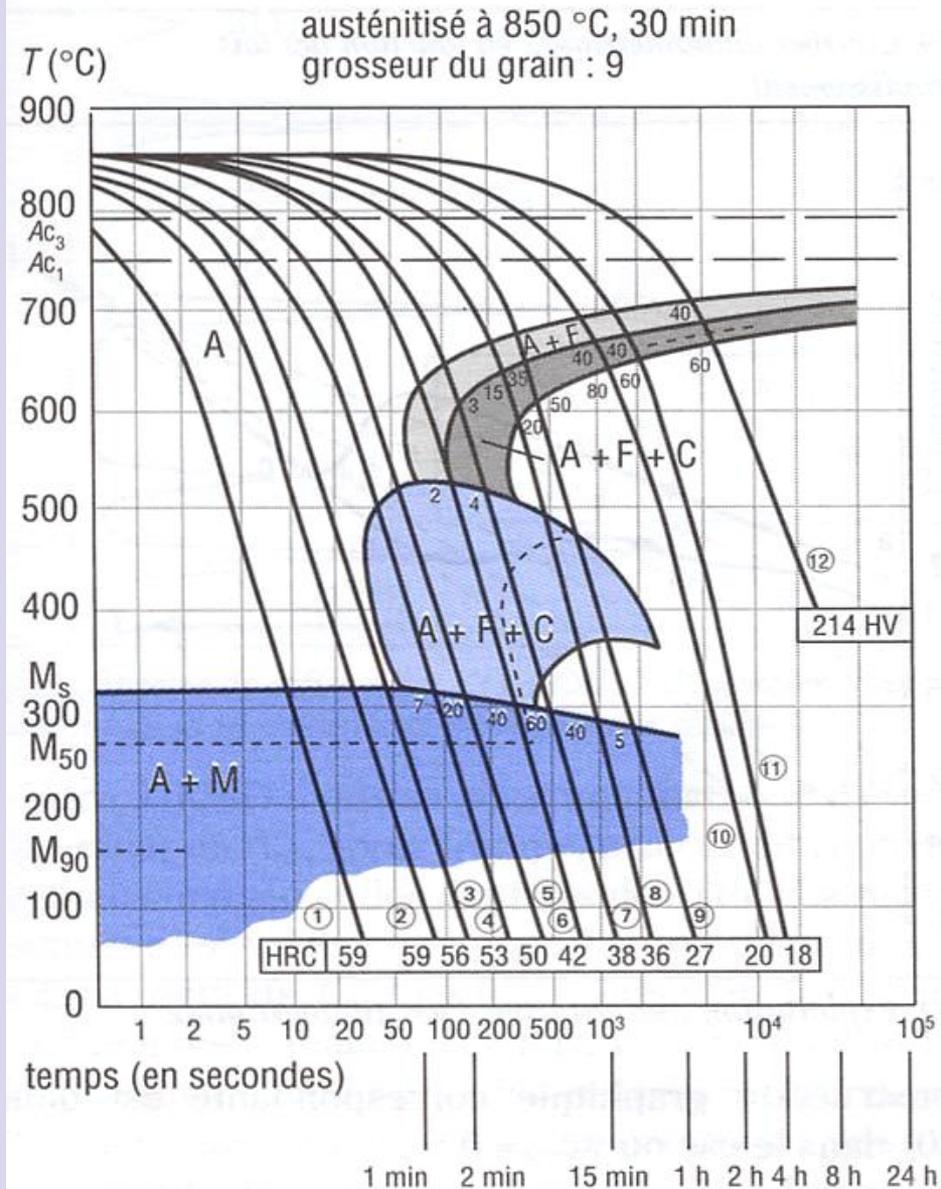
$$V_{c\ 300}^{700} = \frac{700 - 300}{\Delta t_{300}^{700}}$$

# La trempe

## Vitesse critique de trempe martensitique

**L'exploitation du faisceau des lois de refroidissement permet de déterminer directement la vitesse minimale de refroidissement à réaliser pour éviter la formation d'agrégat ferrite carbures. Cette vitesse appelée vitesse critique de trempe martensitique est mesurée entre 700 et 300°C, car les mécanismes de germination et de croissance sont susceptibles de se produire dans les aciers entre ces deux températures (Ac1 et Ms).**

C %	Mn %	Si %	S %	P %	Ni %	Cr %	Mo %	Cu %
0,44	0,80	0,31	0,013	0,03	0,46	0,96	0,05	0,18



# *Revenu des aciers*

**But :** trouver un compromis entre la  
..... et .....  
**des aciers trempés**

- Il atténue les effets de fragilisation de la trempe.
- La pièce est chauffée à une température de revenu  $T_r$  inférieure à  $Ac1$  puis refroidie jusqu'à la température ambiante lentement.

- En pratique la température  $T_r$  est choisie **selon les caractéristiques mécaniques** désirées.
- Le résultat obtenu dépend donc de l'état structural après trempe, de la température de revenu  $T_r$  et de la durée  $t_r$  de ce revenu.

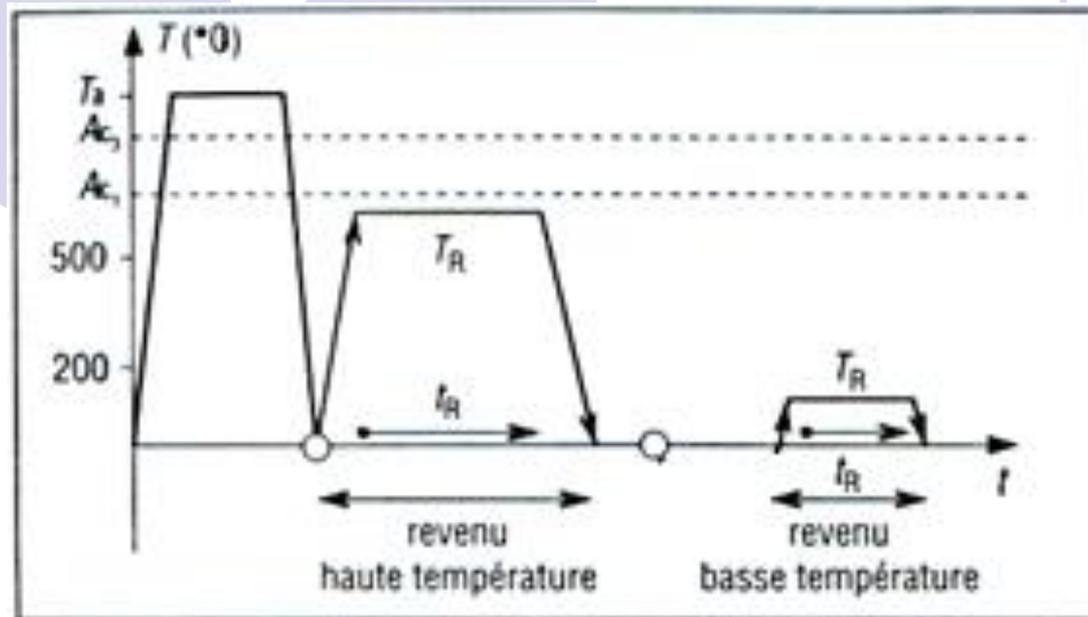
En fonction du résultat à obtenir, on distingue

plusieurs types de revenu :

- ❑ *Revenu de relaxation ou de détente*
- ❑ *Revenu de structure ou classique*
- ❑ *Revenu de durcissement*

En fonction du résultat à obtenir, on distingue plusieurs types de revenu :

- ❑ *Revenu de relaxation ou de détente*
- ❑ *Revenu de structure ou classique*
- ❑ *Revenu de durcissement*



## Revenu de relaxation ou détente

Il s'effectue entre  $180^{\circ}\text{C}$  et  $220$  à  $250^{\circ}\text{C}$ . Il ne provoque aucune modification de structure mais une relaxation des contraintes multiples dues au refroidissement brusque de la trempe et au changement de structure de austénite à la martensite.

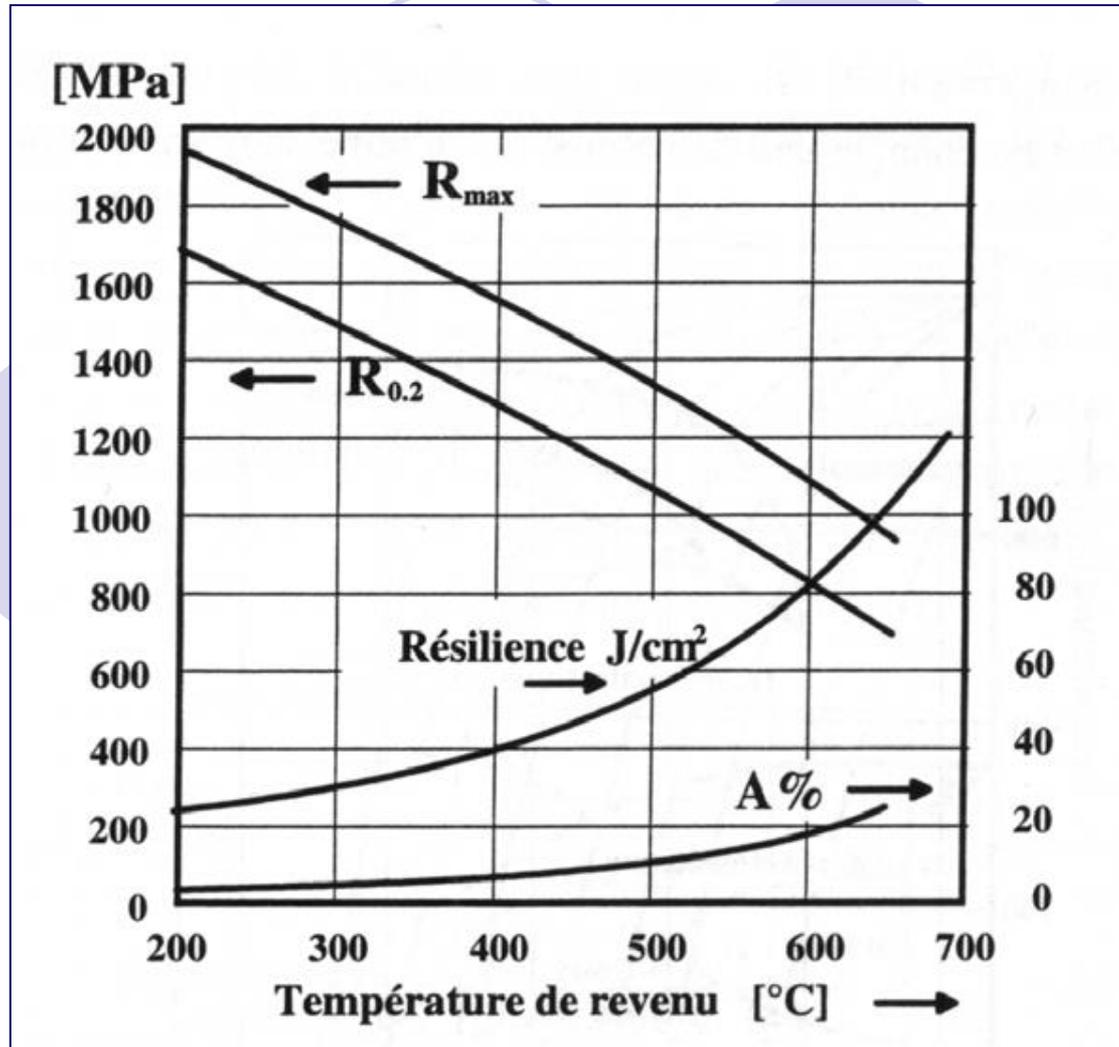
### Revenu de relaxation ou détente

Il provoque une **légère diminution de la dureté et une légère remontée de la résilience**. Il est fait sur des pièces soumises à des fortes sollicitations sans choc ou devant conserver une forte dureté superficielle.

## Évolution des propriétés mécaniques lors du revenu

- ❑ Les caractéristiques de résistance ( $R_m$ ,  $R_e$ ,  $H$ ) **diminuent** en fonction de la température du revenu.
- ❑ Les caractéristiques de ductilité ( $A\%$ ,  $Z$ ,  $KC$ ) **augmentent** fortement entre 500 et 600°C.
- ❑ Après revenu les caractéristiques mécaniques restent très supérieures à celle du même acier à l'état recuit.

## Évolution des propriétés mécaniques lors du revenu



## Évolution des propriétés mécaniques lors du revenu

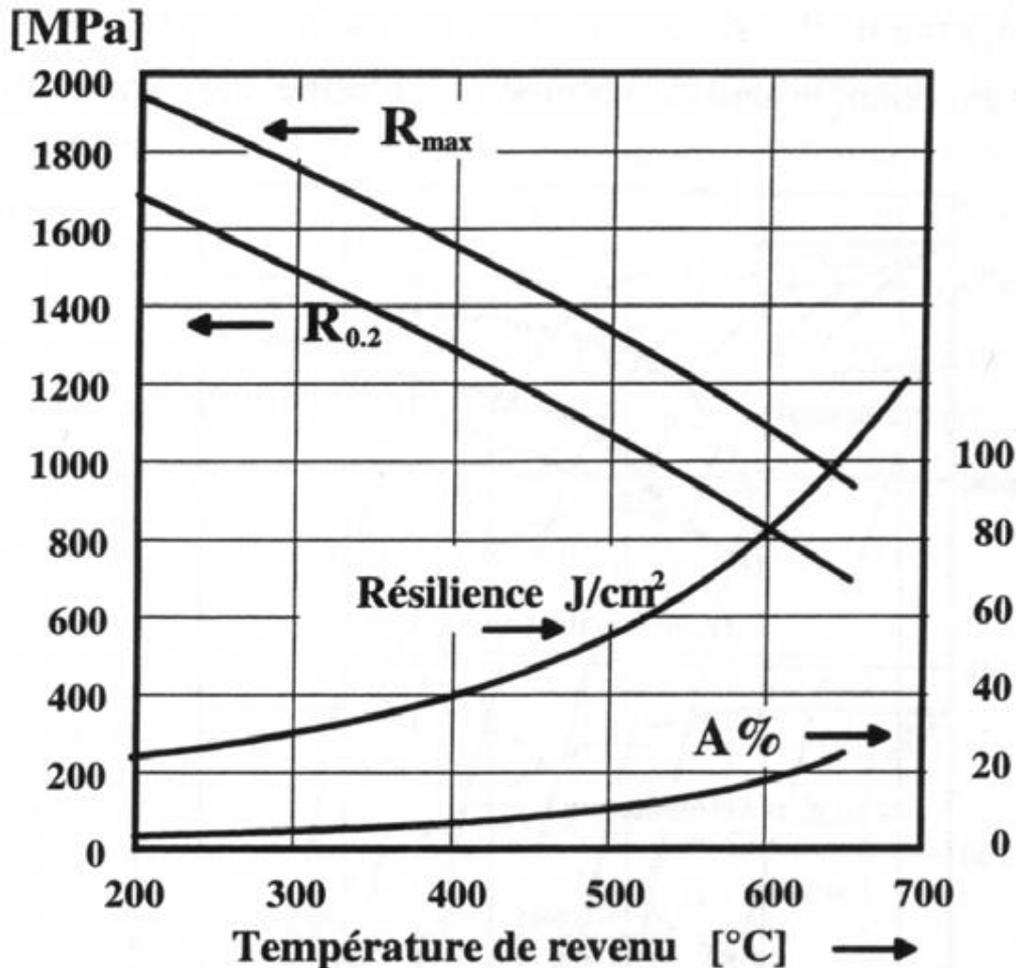


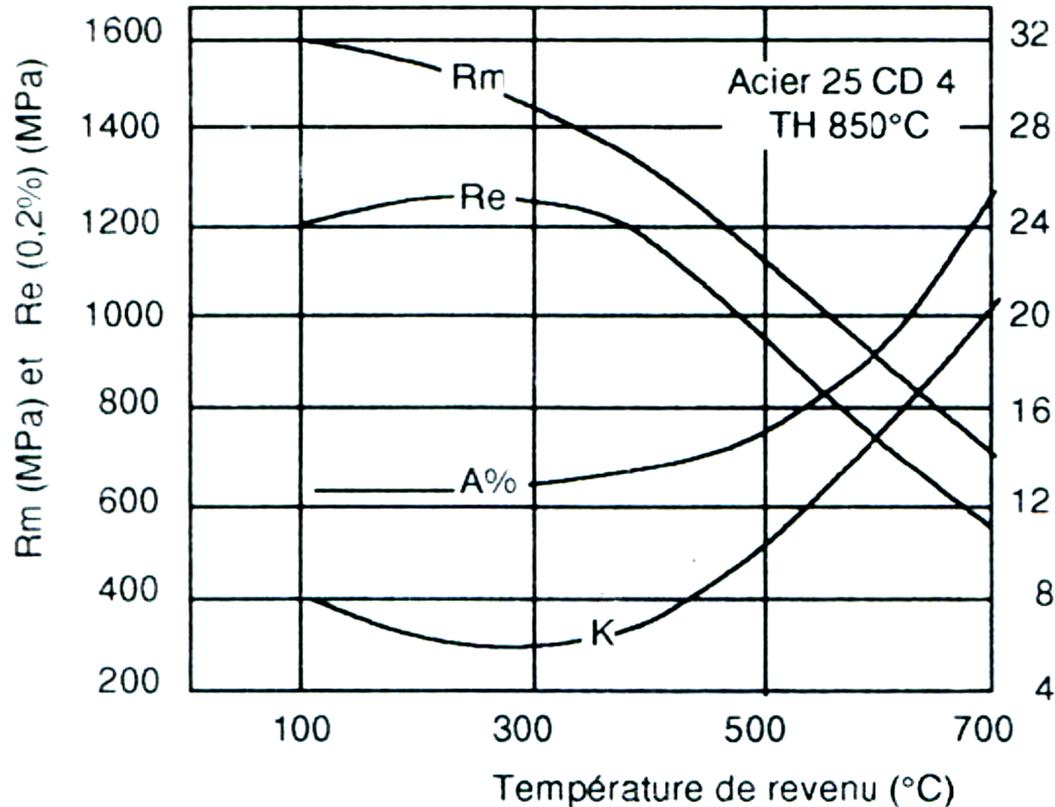
Diagramme de revenu de l'acier

40NiCrMo6.

Évolution des propriétés en  
fonction de la température de  
revenu

(température de trempe 840 °C)

## Évolution des propriétés mécaniques lors du revenu



Variation des caractéristiques mécaniques en fonction de la température du revenu.

# *Application*

