

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

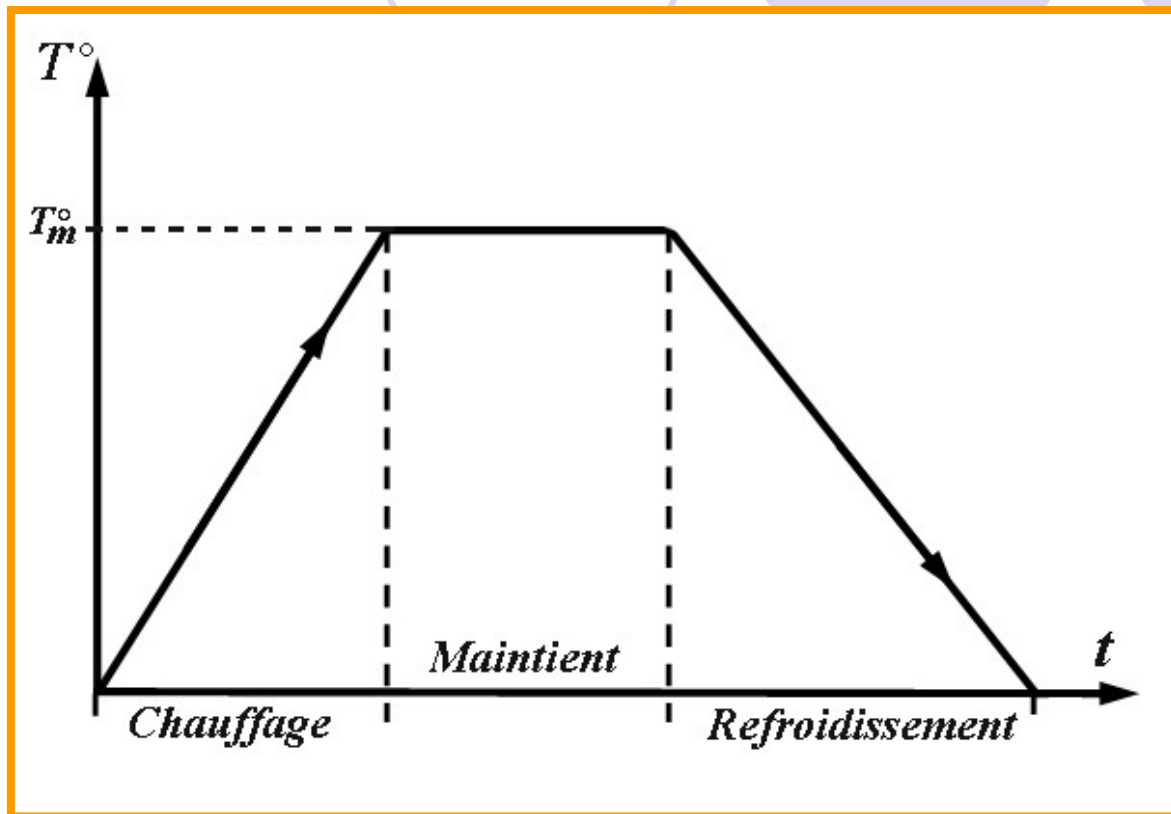
❑ ***A%*** : allongement en %

❑ ***KC*** : résilience

Traitements thermiques dans la masse

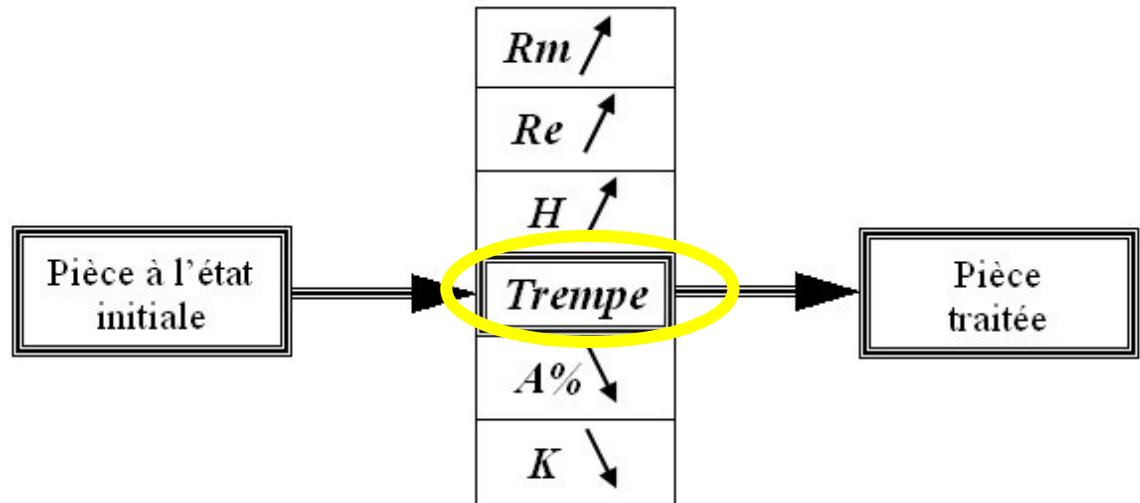
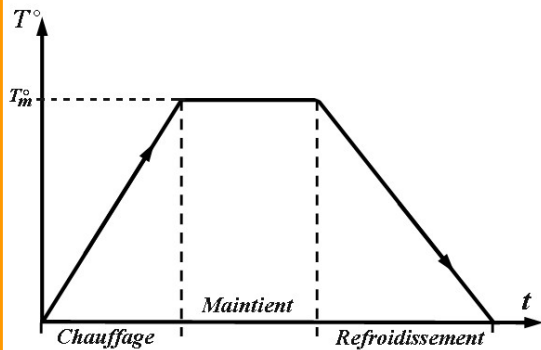
Les opérations de traitement thermique comporte **un cycle** composé de:

- ,
- de à une température définie
- et

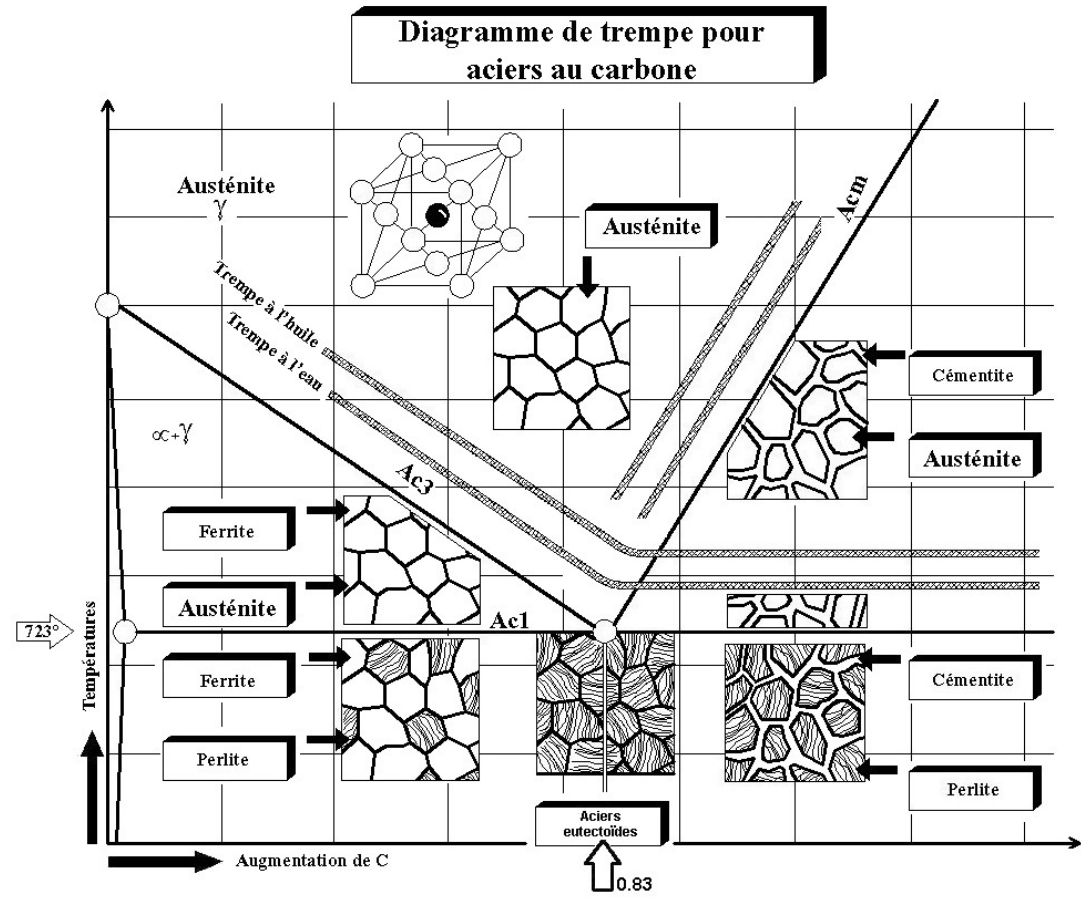


La trempe

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

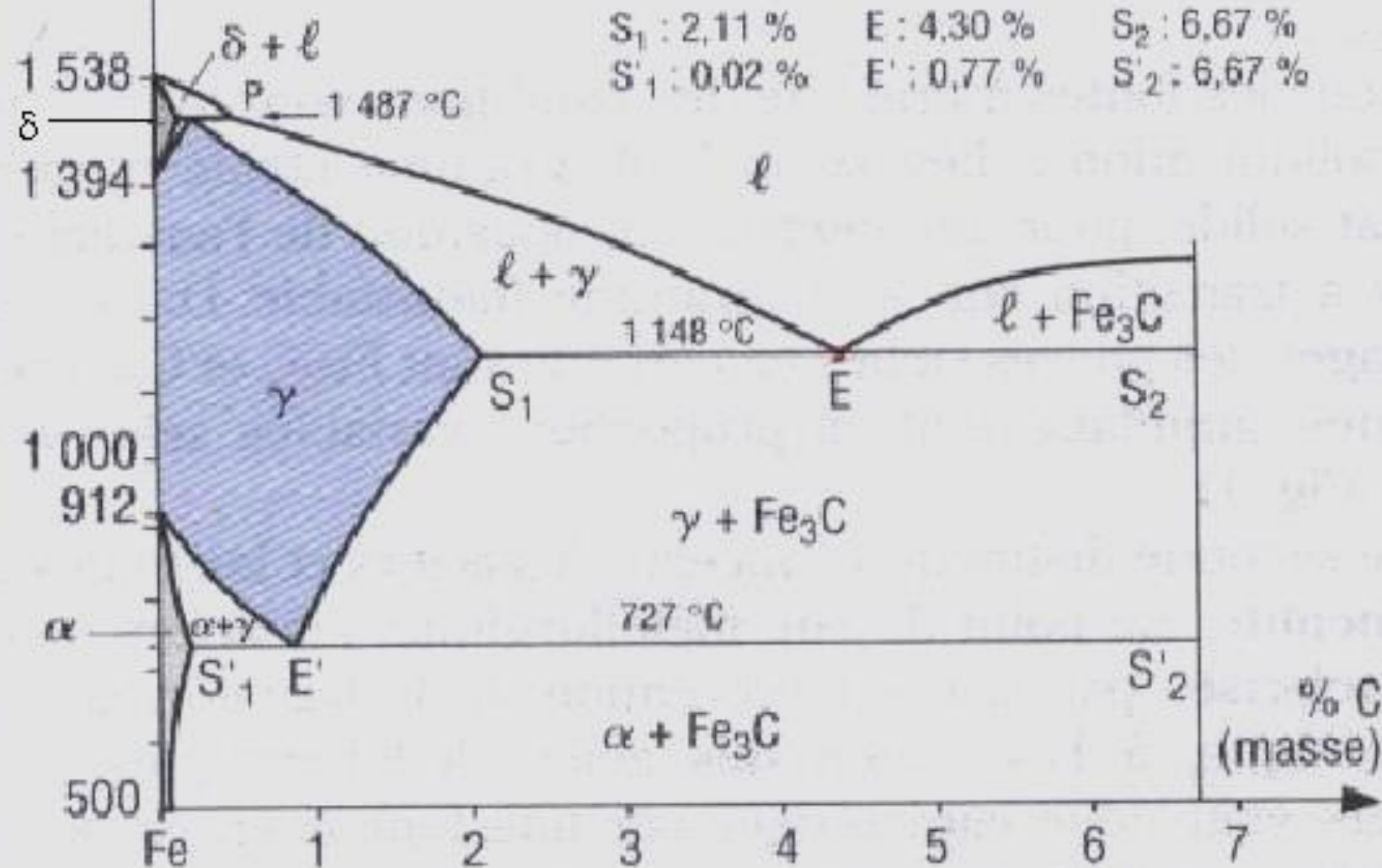


Température d'austénitisation

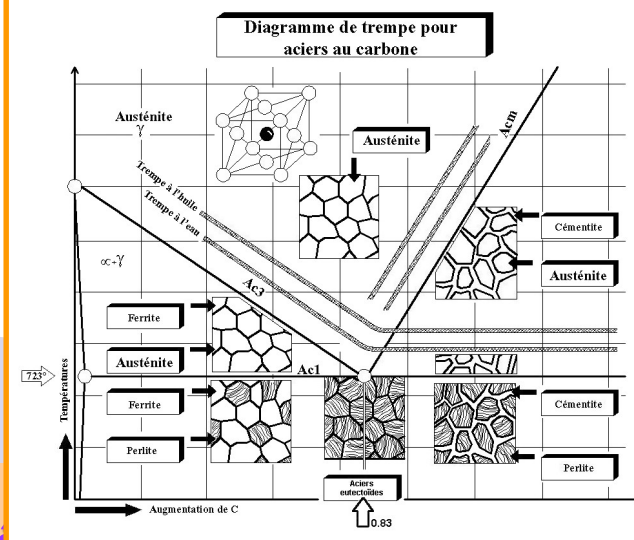
Du choix de la température d'austénitisation T_a dépend le meilleur rendement du traitement.

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.

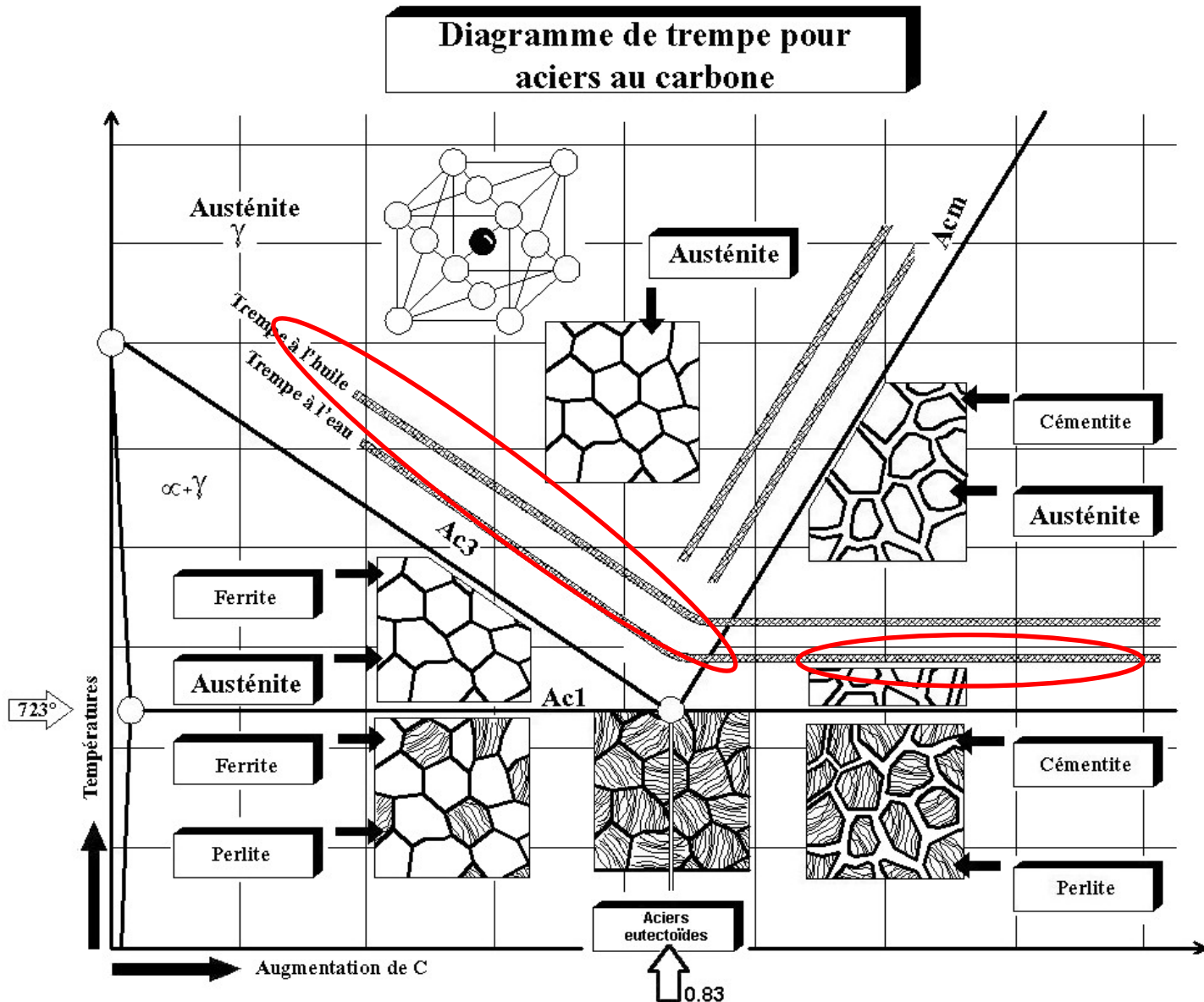
□ pour les aciers hypoeutectoïdes :

— austénitisation vers $Ac3 + 25 \text{ °C}$ 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 :

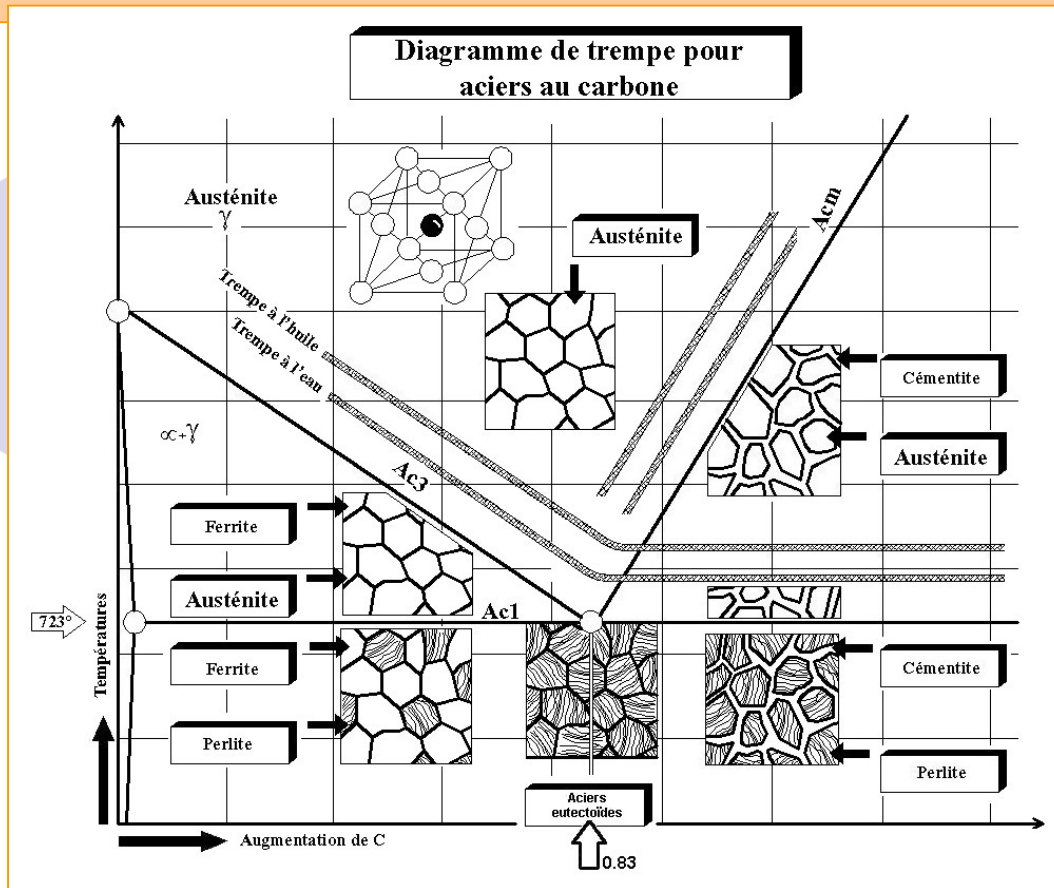
— austénitisation vers $Ac1 + 50 \text{ °C}$ environ

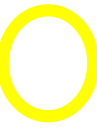
Température d'austénitisation



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 conditions

□ 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.

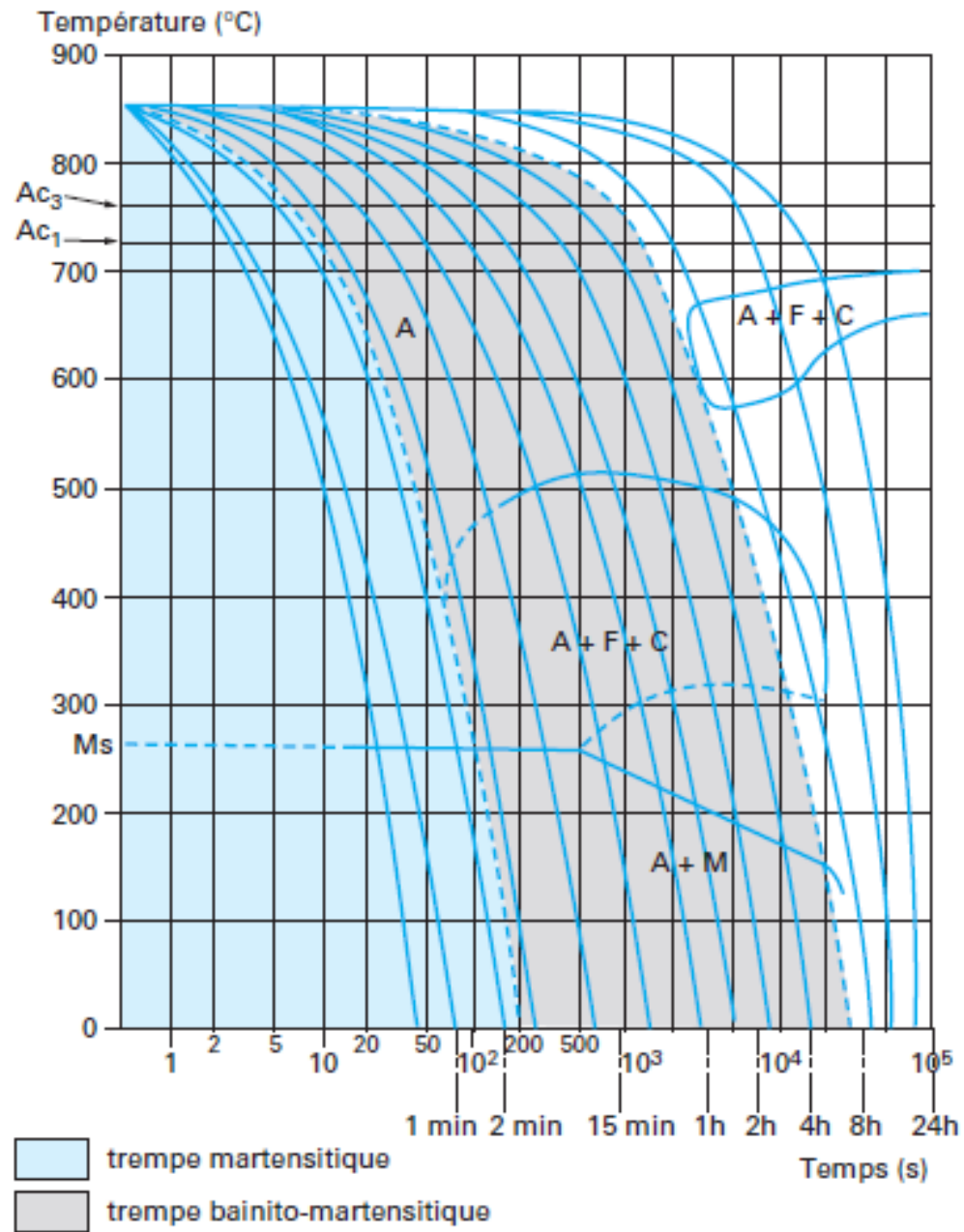


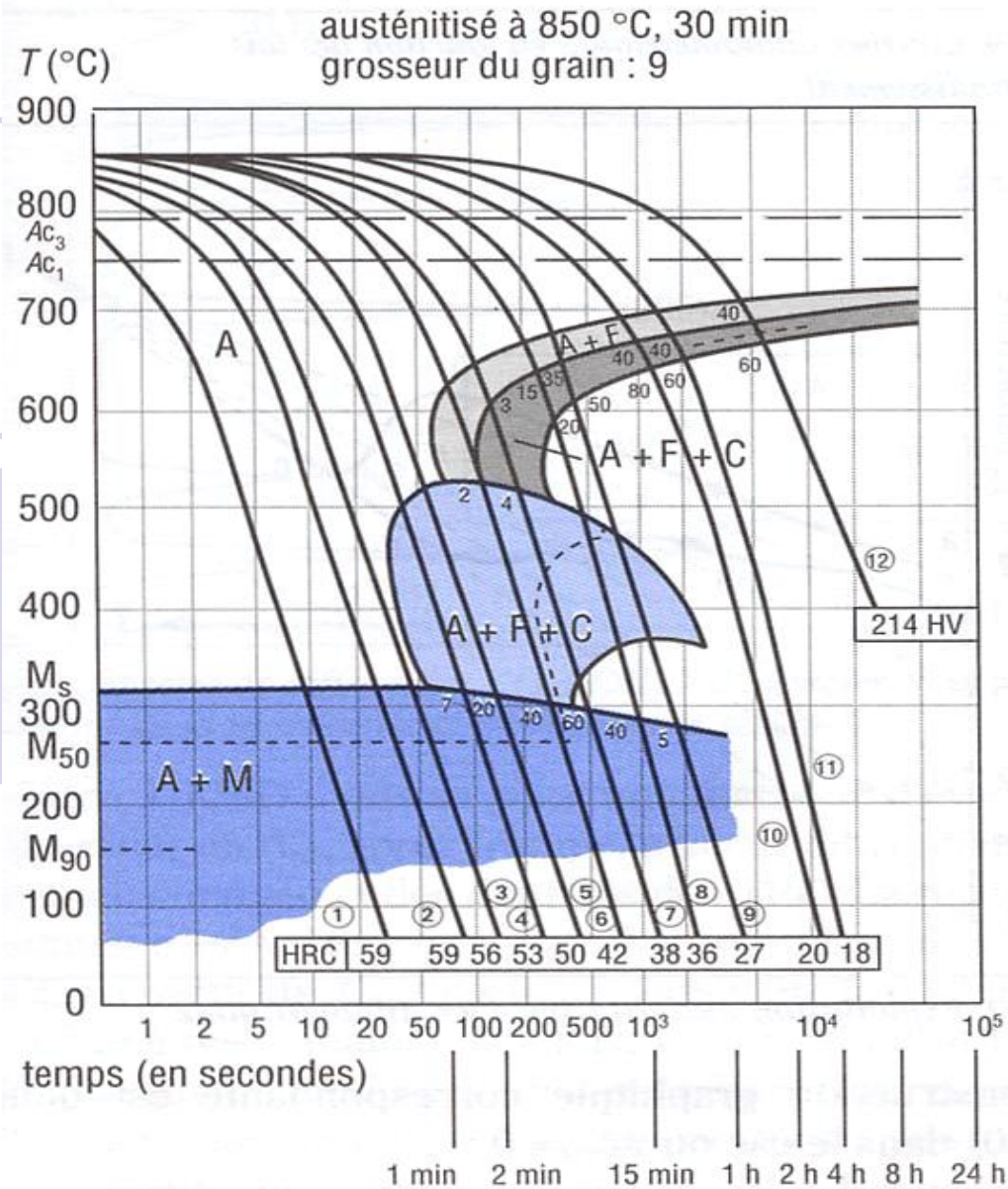
Figure 8 - Délimitation des conditions de refroidissement permettant de réaliser une trempe martensitique ou bainito-martensitique

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



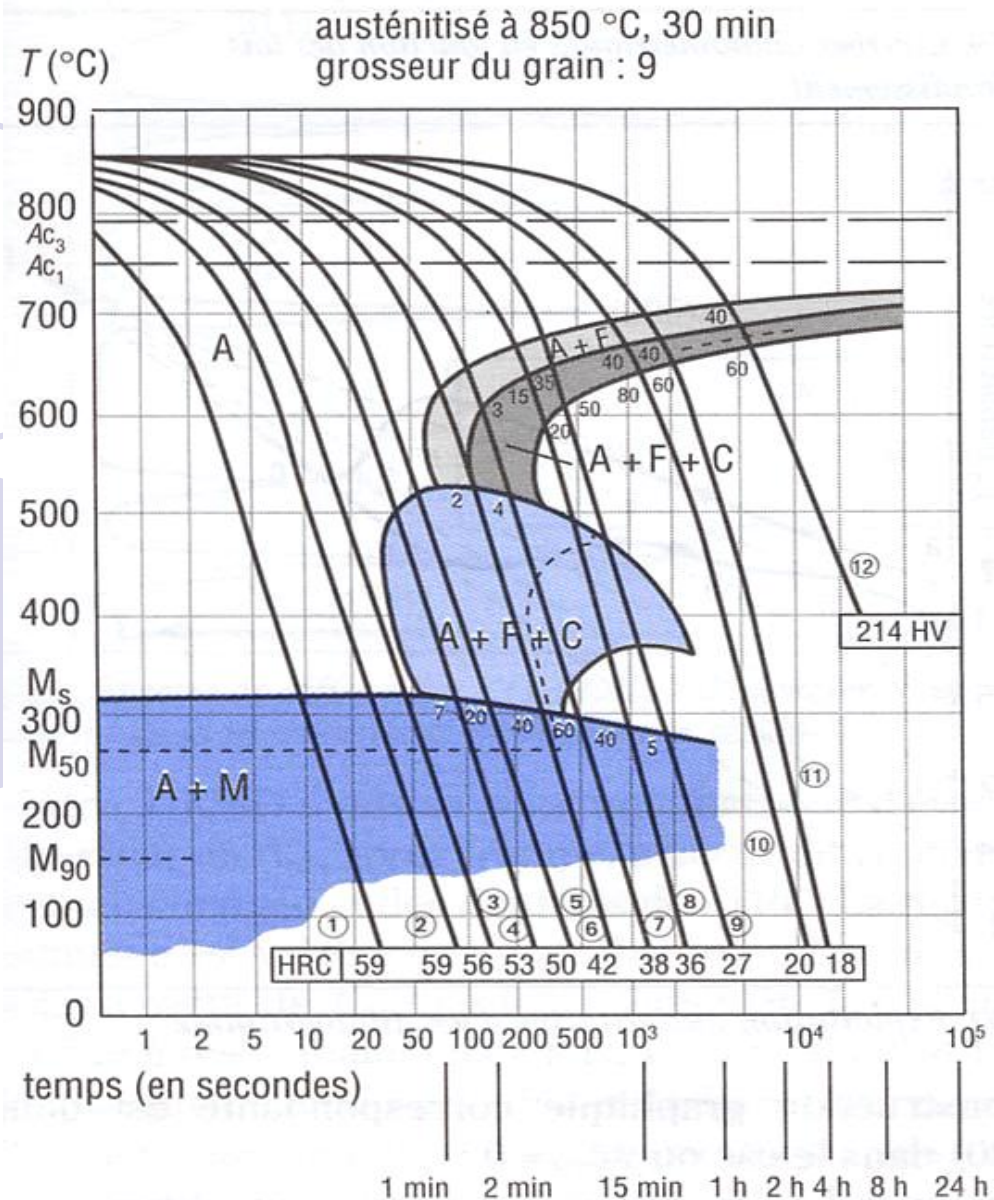
La trempe

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.

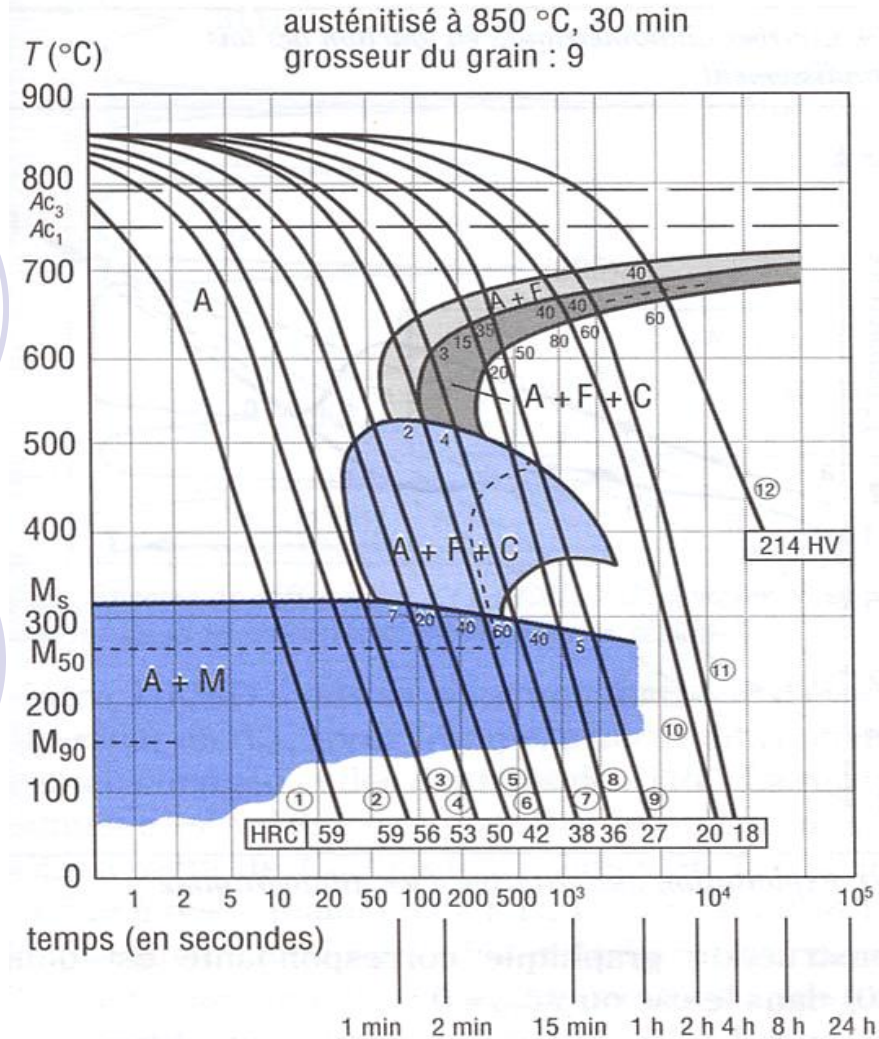


La trempe

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



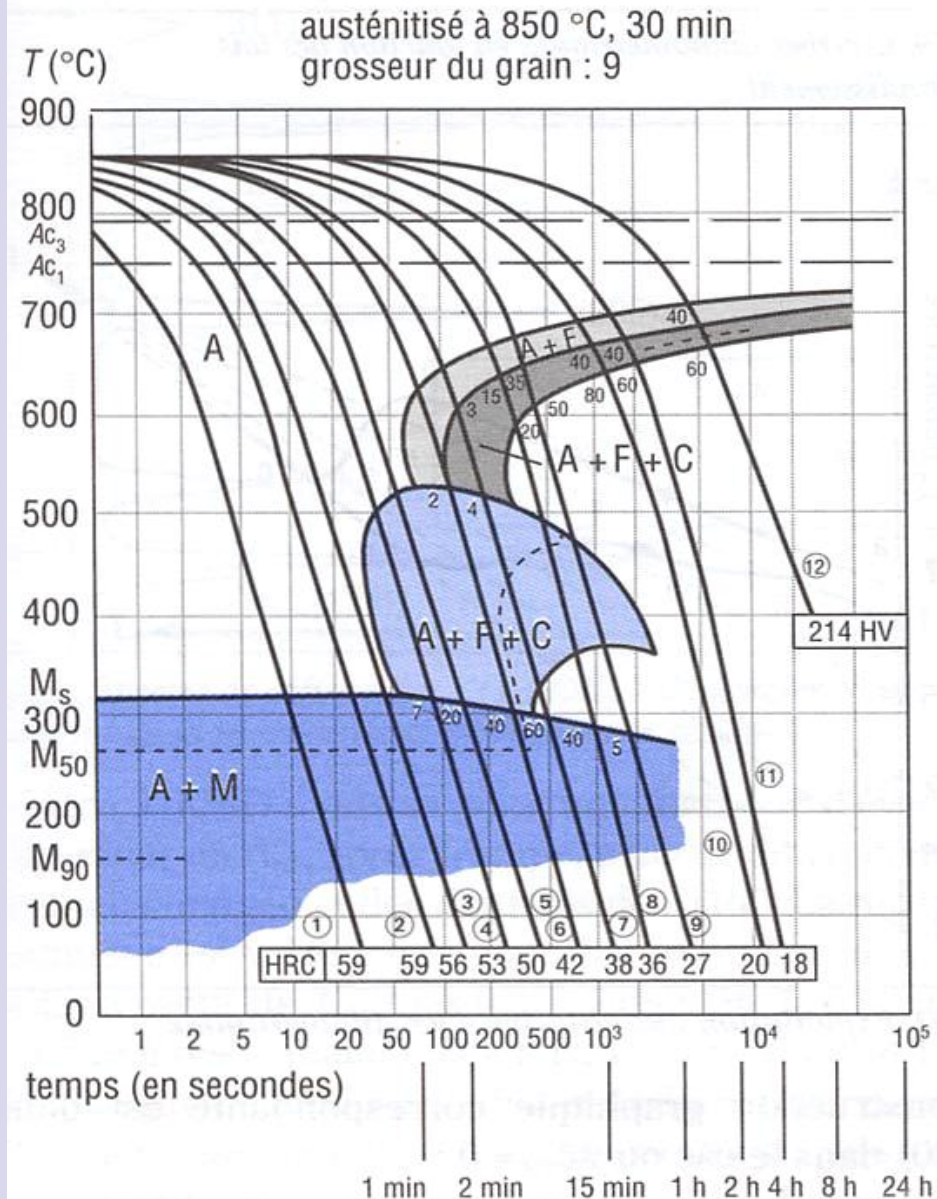
$$V_{c\ 300}^{700} = \frac{700 - 300}{\Delta t_{300}^{700}}$$

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.

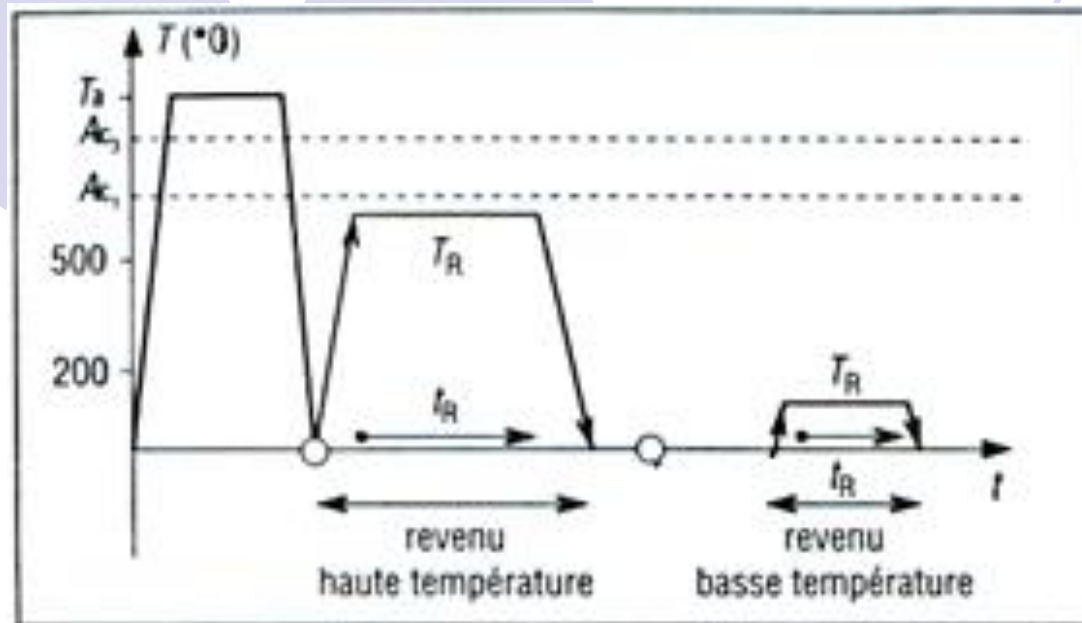
En fonction du résultat à obtenir, on distingue

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°C et 220 à 250°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.

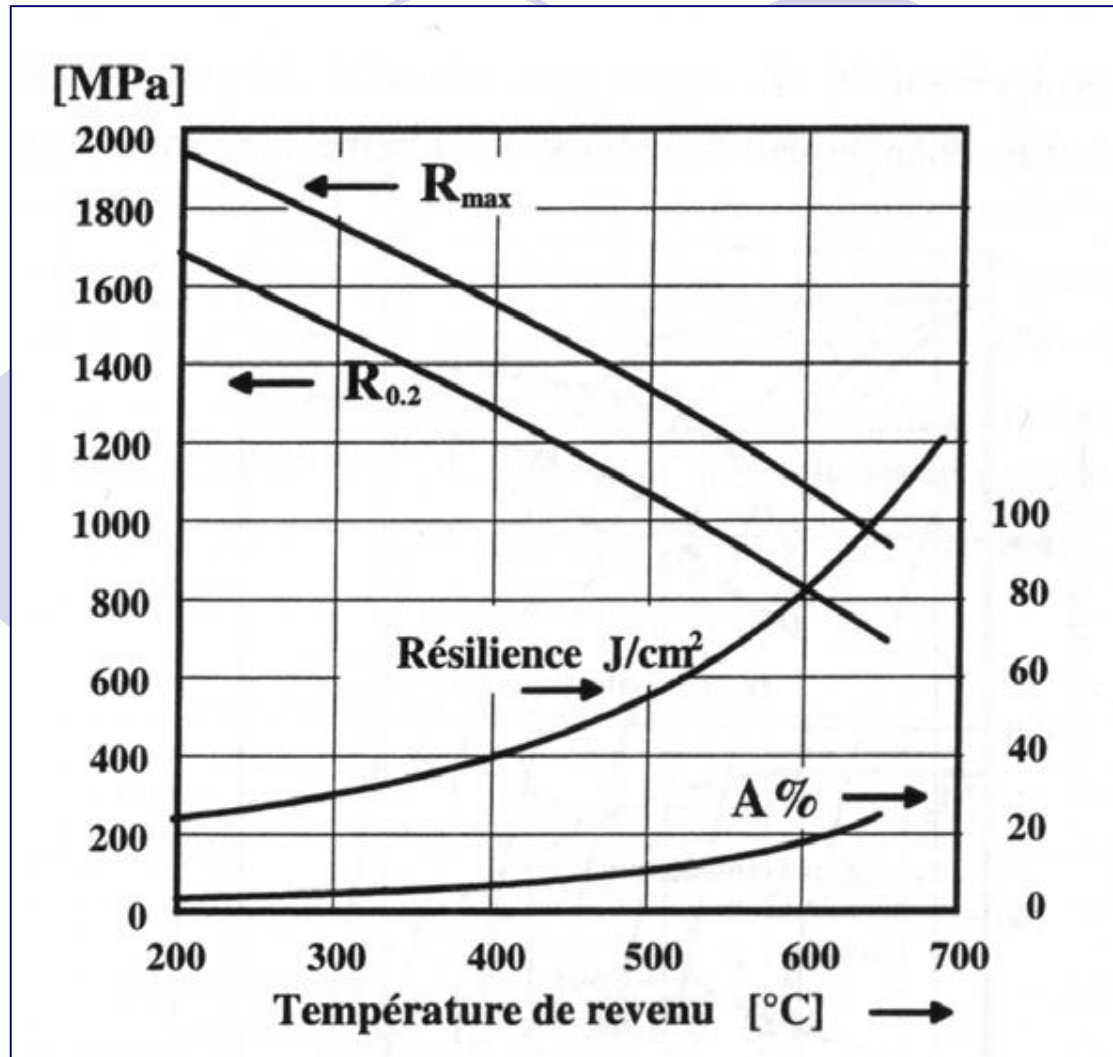
Revenu de relaxation ou détente

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

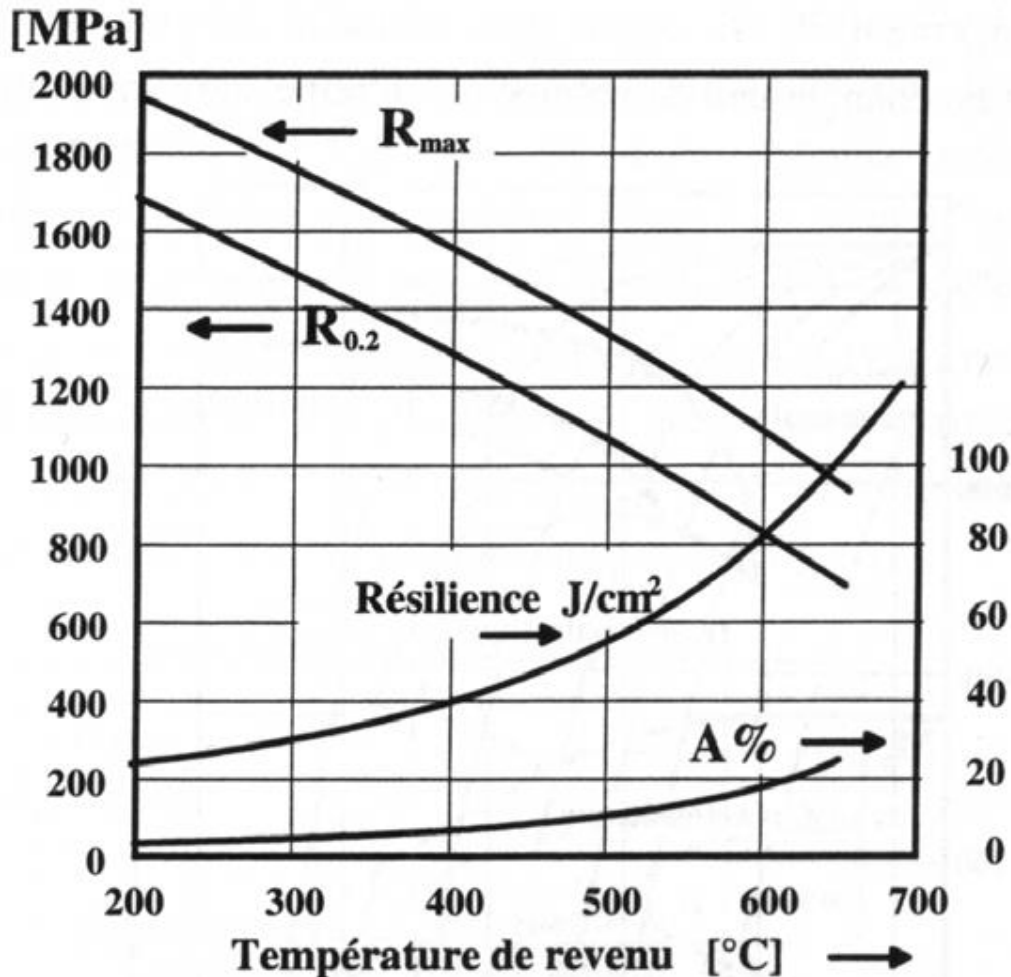


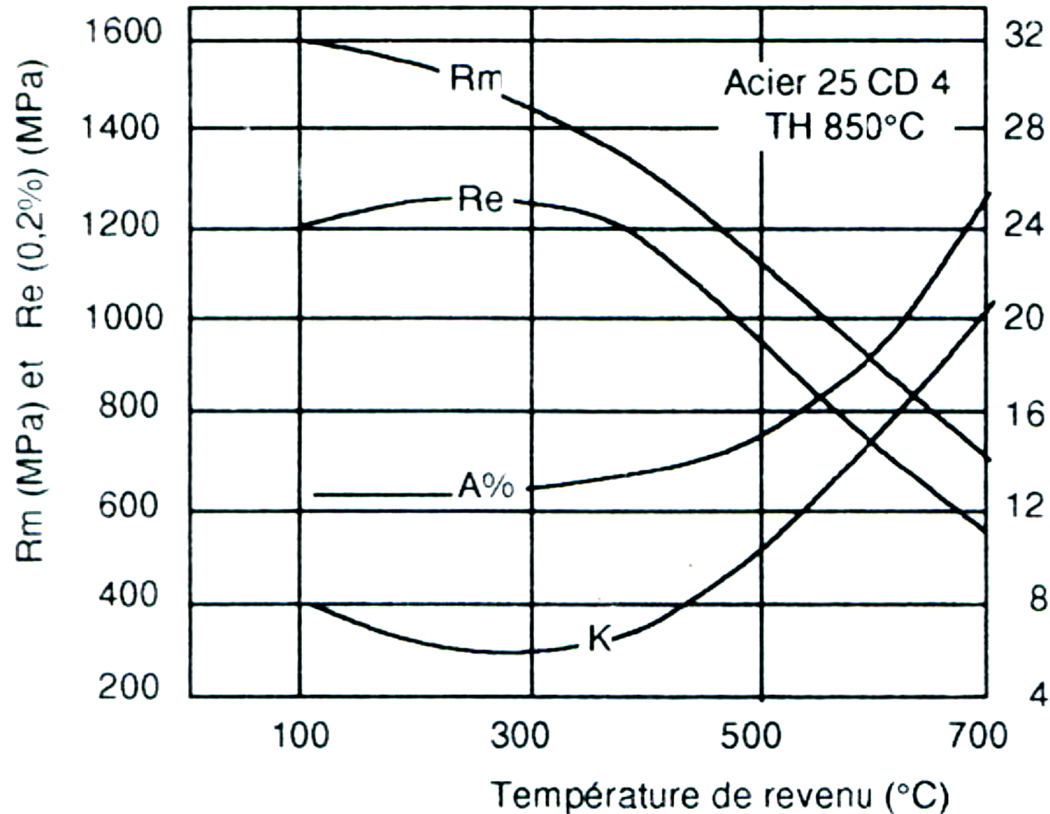
Diagramme de revenu de l'acier

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

