

Traitements Thermiques Des métaux et alliages

*Bertin Morgan
Vincent Matthieu*

*Ecole Normale Supérieure de Cachan
Génie Mécanique*



Introduction

Qu'est ce qu'un traitement thermique et à quoi peut-il servir ?

- Ensemble d'opérations ayant pour but des transformations structurales effectuées sur les matériaux à l'état solide, sous l'influence de cycles de température convenablement choisis afin de leur conférer des propriétés particulières.

Et d'un point de vue historique ?

- La notion de traitement thermique existe depuis plusieurs millénaires même si les mécanismes la régissant ne commence à être compris que depuis peu. En effet Romain, Gaulois, travaillaient leurs aciers ou leurs alliages grâce à la chaleur d'un feu mais les résultats obtenus dépendaient plus du savoir faire de l'artisan que d'un réel protocole de fabrication. Certains y voyaient même un travail mystique.



Problématique

Les modifications structurales obtenues par traitement thermique permettent :

- de conférer à un matériau des propriétés particulières adaptées à sa meilleure utilisation sous forme de pièce finie,
- à sa mise en œuvre dans les meilleures conditions, sous forme de demi-produit ou d'ébauche.
- diminution des coûts, car elles permettent l'emploi d'alliages bon marché quand on sait les traiter convenablement,
- diminution du nombre de nuances à utiliser pour un type de fabrication donné, en choisissant un traitement bien adapté à chaque propriété recherchée.

Plan

- I Différents moyens mis en œuvre dans le cadre des traitement thermiques
- II Comment choisir le couple matériau / traitement thermique
- III Problèmes
- IV Exemple d'application industrielle
- V Conclusion



I Les Différents moyens mis en œuvre

1.1 Quelques définitions

1.1.1 Concernant les traitements thermiques.

- ▶ **La capacité de durcissement** est la valeur maximale de la dureté que l'on peut obtenir par un traitement de durcissement par trempe dans des conditions idéales.
- ▶ **La trempabilité** correspond à l'aptitude d'un acier à donner lieu aux transformations structurales lors d'une trempe.

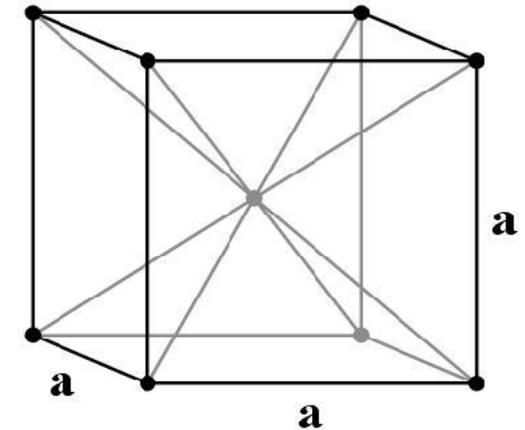
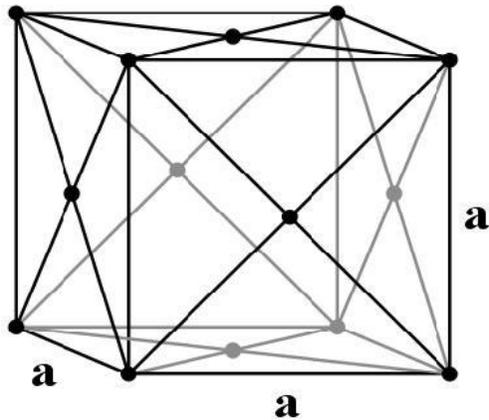
1.1.2 Concernant les caractéristiques des matériaux.

- ▶ **La ductilité** d'un matériau désigne la capacité d'un matériau à se déformer plastiquement sans se rompre.
- ▶ **La dureté** d'un matériau désigne la capacité d'un matériau à résister à la déformation. On le mesure par les test Brinell, Vickers ou encore Rockwell, ce dernier étant désormais le plus utilisé.
- ▶ **La résilience** d'un matériau désigne la capacité pour un matériau à résister à la rupture, on utilise l'essai de Charpy pour quantifier ce phénomène.

I Les Différents moyens mis en œuvre

Alliage fer - carbone : plusieurs formes en fonction de la température

Fer α ou ferrite : structure cubique centrée

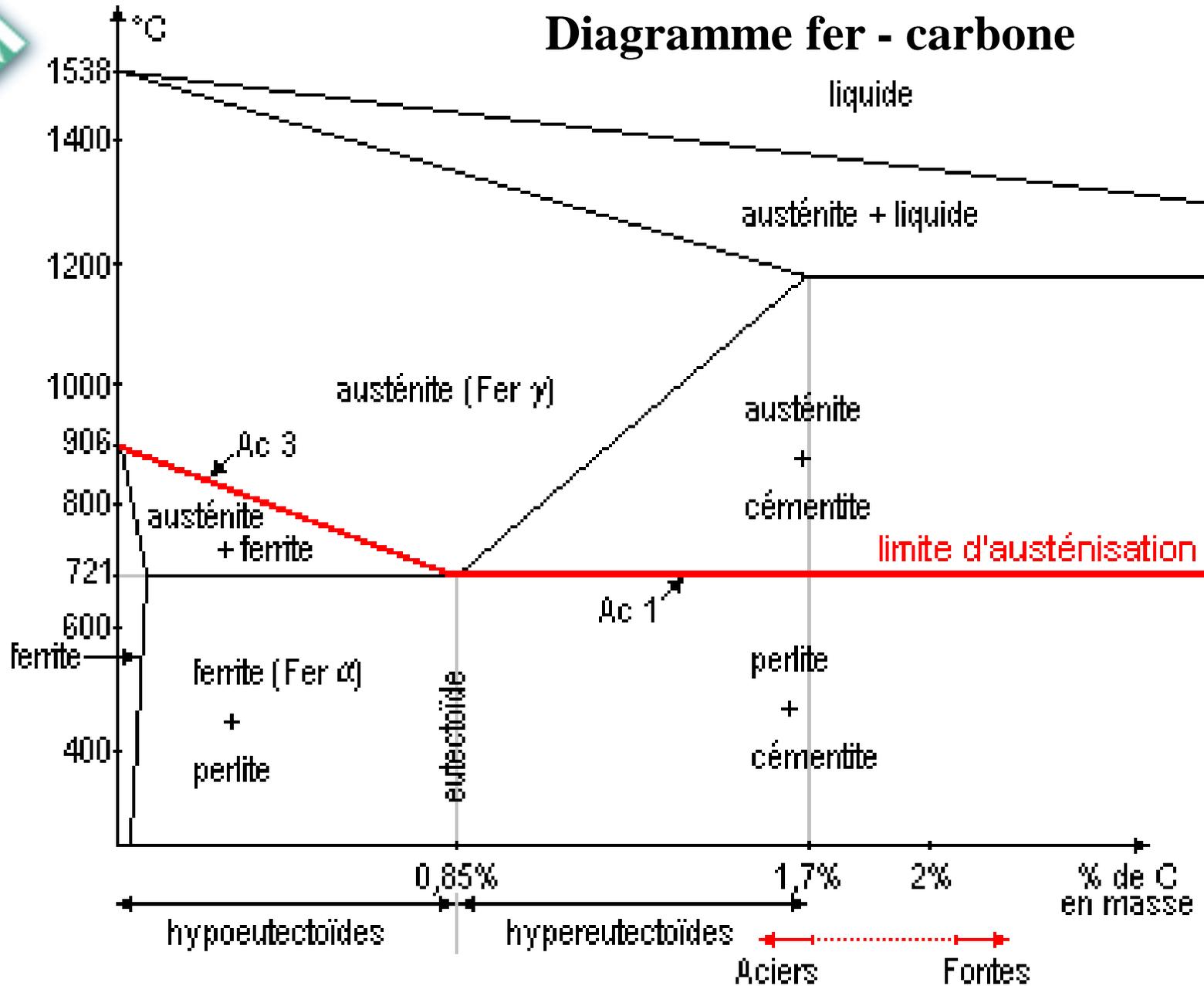


Fer γ ou austénite : structure à face centrée

Cémentite ou carbure de fer Fe_3C : composé très dur

Perlite : ferrite + cémentite

Diagramme fer - carbone





I Les Différents moyens mis en œuvre

Refroidissement et principe de la trempe

Refroidissement suffisamment lent :

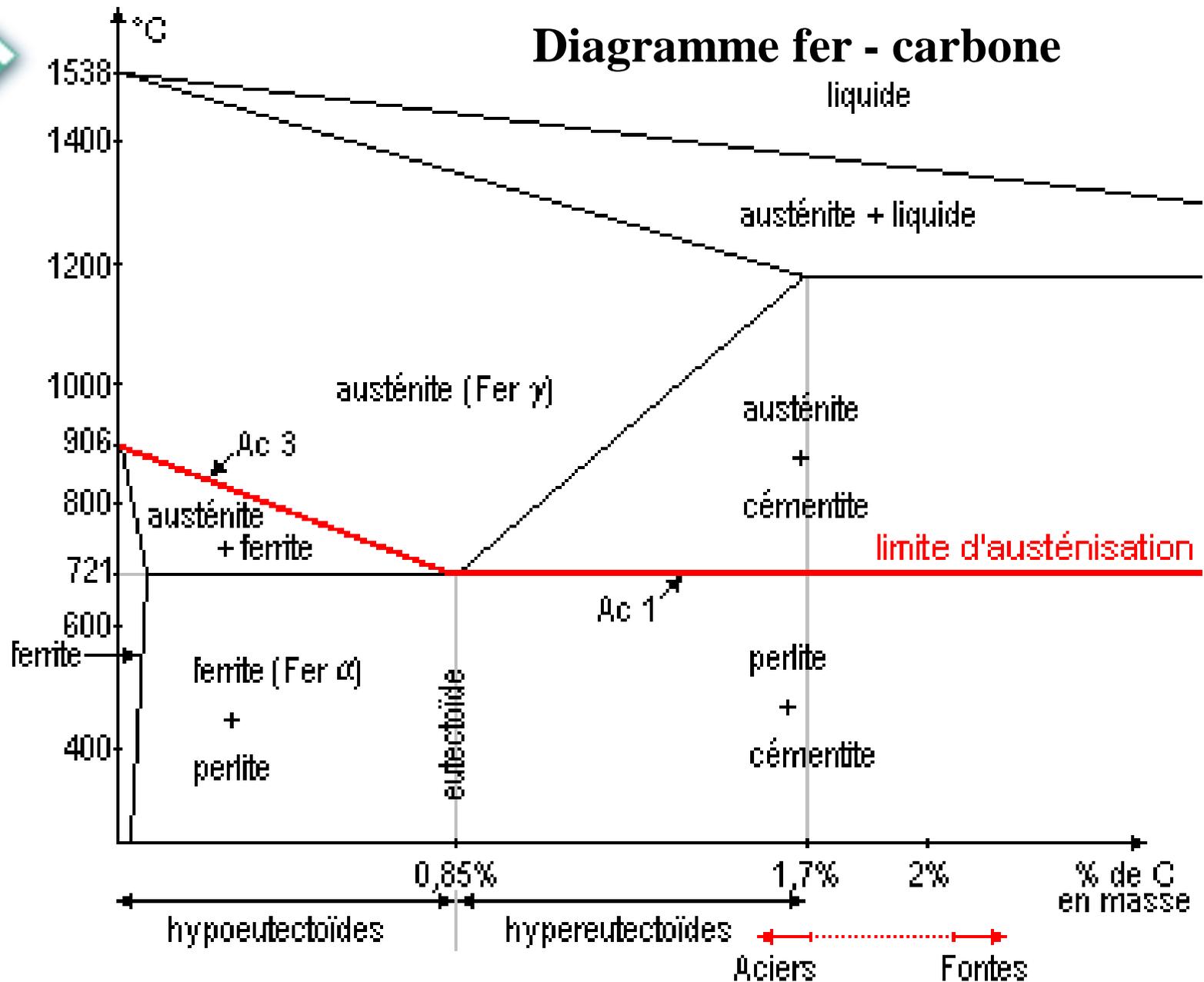
Austénite Fer γ \rightarrow ferrite Fer α

mais interstices du CC plus petit que ceux du CFC

\rightarrow Fer α ne peut absorber tous les atomes de C libérés

\rightarrow formation de cémentite dans la solution de Fer α (perlite)

Diagramme fer - carbone





I Les Différents moyens mis en œuvre

Refroidissement et principe de la trempe

Refroidissement suffisamment lent :

Austénite Fer γ \rightarrow ferrite Fer α

mais interstices du CC plus petit que ceux du CFC

\rightarrow Fer α ne peut absorber tous les atomes de C libérés

\rightarrow formation de cémentite dans la solution de Fer α (perlite)

Principe de la trempe : refroidissement rapide

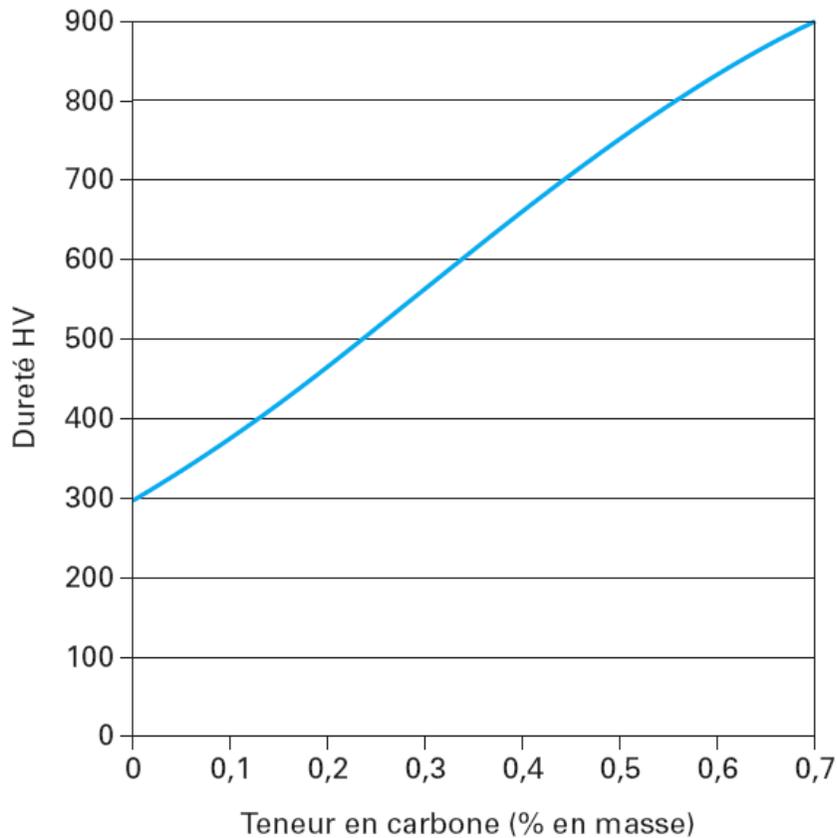
Les atomes de C pas le temps de diffuser

\rightarrow solution de fer saturé en C : martensite (très dur)

I Les Différents moyens mis en œuvre

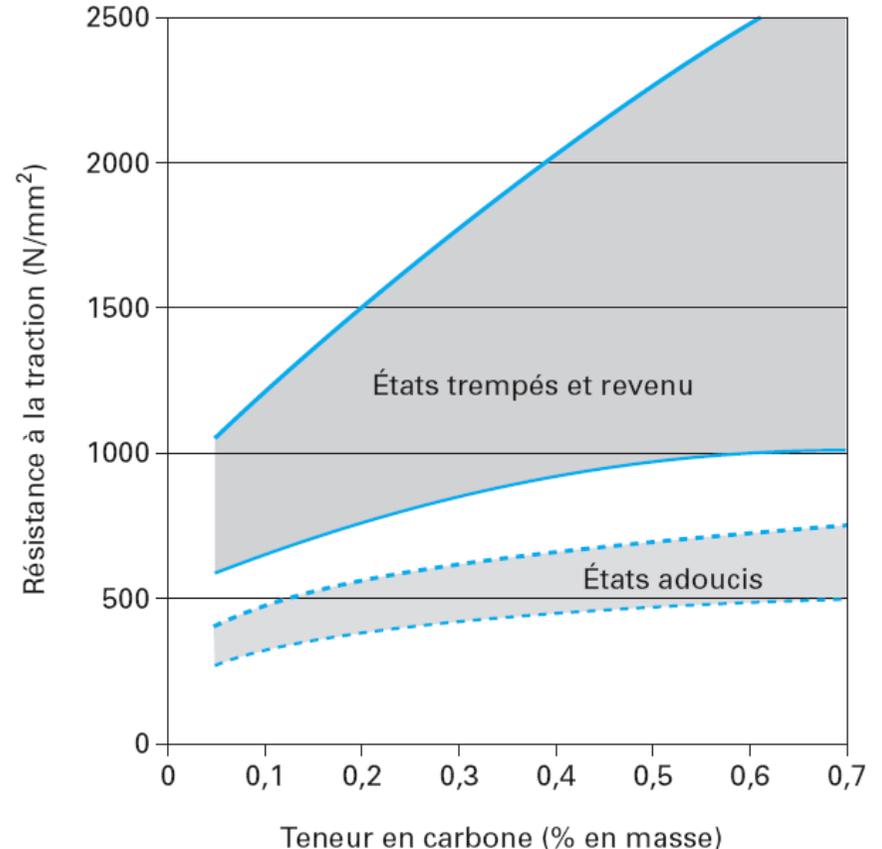
Les effets de la trempe

→ Augmentation de la dureté en surface
trempe plus profonde : chrome
(roulements 100 Cr 6)



HV dureté Vickers de la martensite

- Augmentation des caractéristiques
mécaniques
la résistance R_m et R_e



I Les Différents moyens mis en œuvre

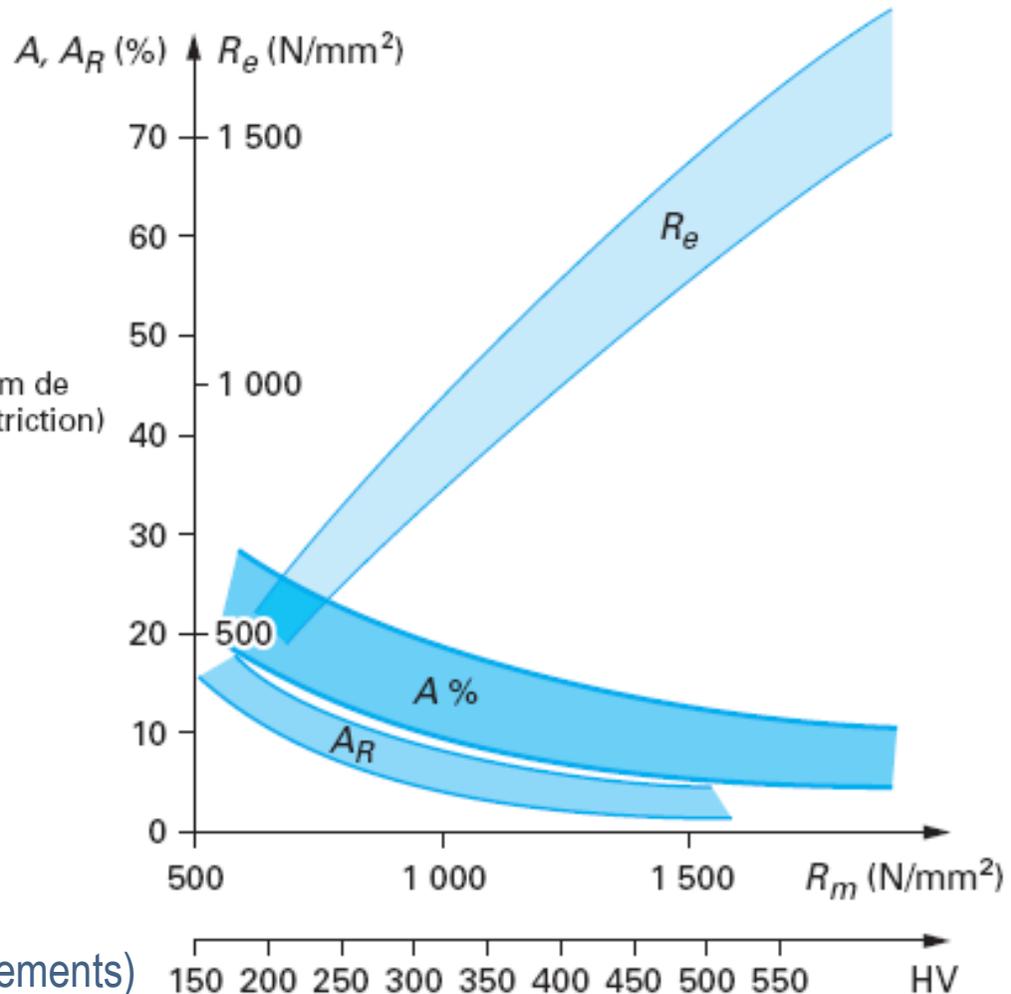
Les effets de la trempe

→ Diminution de la résilience K
et la ductilité $A\%$

- A allongement à la rupture ($L_0 = 5d$)
- A_R allongement réparti (allongement mesuré au maximum de la courbe de traction au moment où se déclenche la striction)
norme AFNOR A 03-173
- R_e limite apparente d'élasticité
- R_m résistance à la traction
- HV dureté Vickers

Sollicitations et contraintes :
→ trempe à cœur

Pression de contact :
→ trempe superficielle (portée de roulements)





I Les Différents moyens mis en œuvre

Le revenu

Principe :

Après la trempe, réchauffement de la pièce sous la T° C d'austénitisation

But :

- Relaxation des contraintes résiduelles après trempe, sans évolution structurale
- Conservation des effets de la trempe



I Les Différents moyens mis en œuvre

Le recuit

Principe :

Austénitisation de la pièce, puis refroidissement lent

But :

- Homogénéisation d'un alliage, réorganisation de la structure cristalline
- Restauration de la structure d'un alliage après écrouissage, soudage ou traitement thermique antérieur



I Les Différents moyens mis en œuvre

1.2 traitement thermo chimique.

1.2.1 Définition.

Dans les traitements thermochimiques, on modifie superficiellement la composition des alliages pour obtenir en surface une composition souhaité.

1.2.2 Exemples.

Avec traitement thermique : Cémentation (ajout de carbone), carbonatation (ajout de carbone et azote) .

Sans traitement thermique : nitruration (ajout d'azote), boruration (ajout de bore).

1.3 Traitement thermo mécanique.

1.3.1 Définition.

Méthode récente permettant d'obtenir des caractéristiques exceptionnelles car elle combine la modification de structure par déformation mécanique et déformation du à l'apport de chaleur.

1.3.2 Exemples.

Cette méthode est utilisée pour des demi-produits: tôles, fils...

II Couple matériau / traitement thermique

Pour obtenir les performances mécaniques souhaitées, il faut choisir l'acier en tenant compte de son traitement thermique.

2.1 Exigences et choix du produit en fonction Contraintes imposées.

2.1.1 Le durcissement.

Le mécanicien souhaite avoir un acier très dur en surface.

► Paramètre principal : teneur en carbone.

2.1.2 La localisation des contraintes.

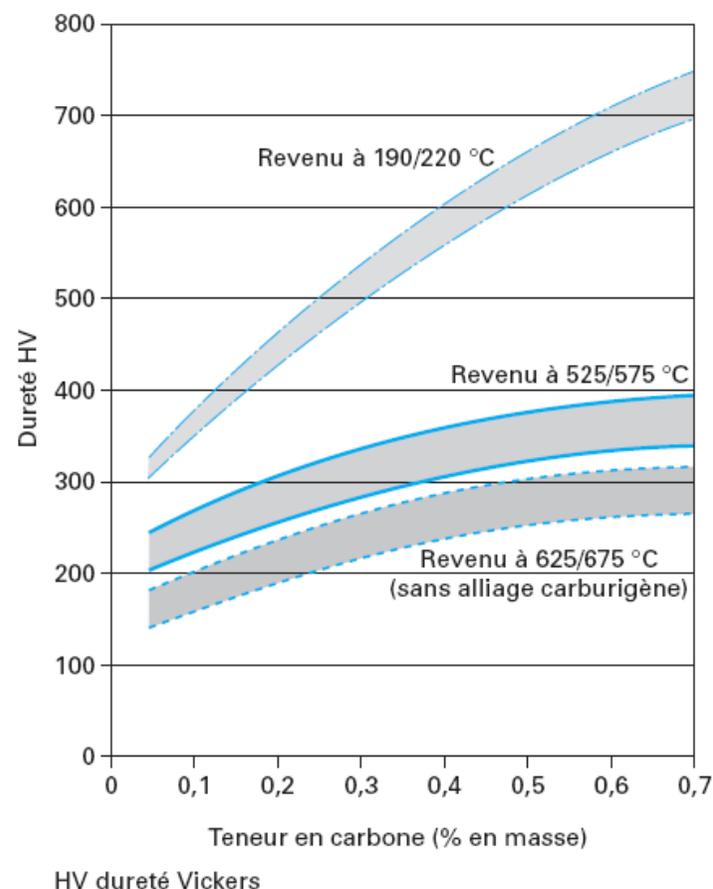
Si la répartition est uniforme le mécanicien choisira :

► Traitement dans la masse.

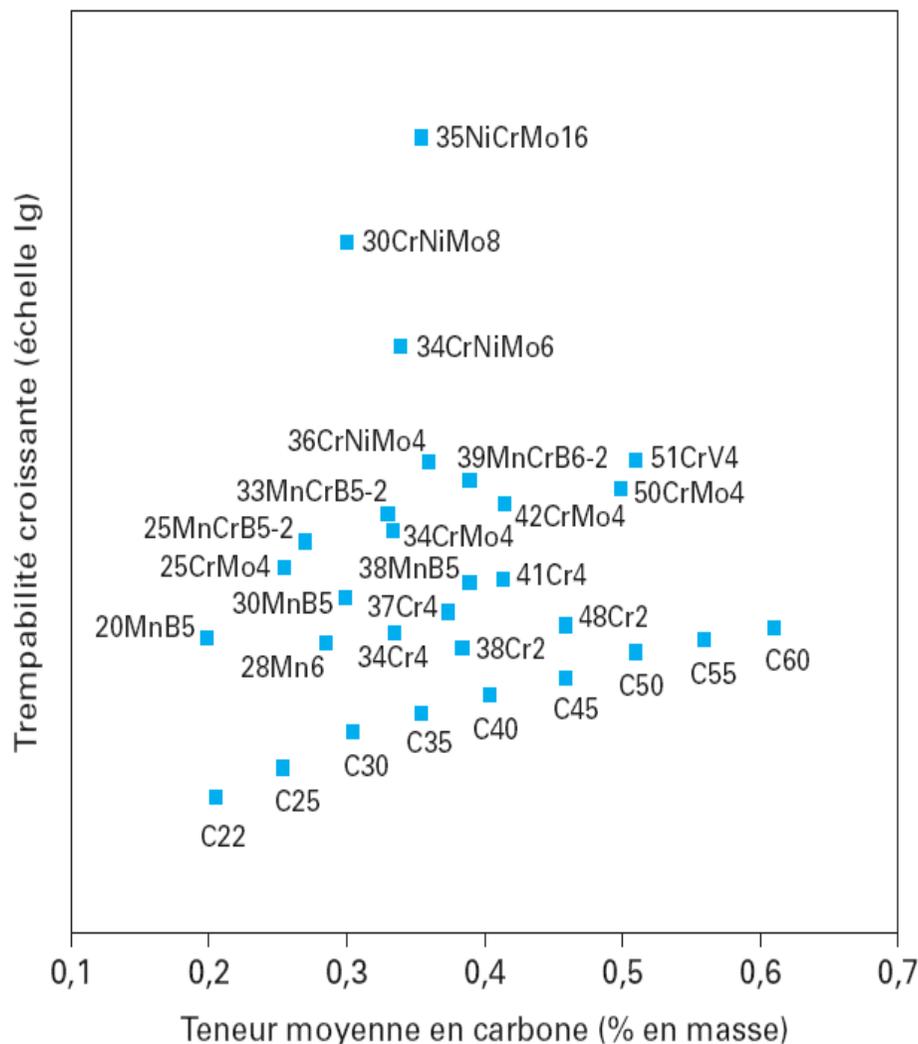
2.1.3 La faisabilité du traitement thermique.

En effet, comme dans bien des domaines il faut trouver un compromis entre les capacités et la faisabilité.

► En effet les aciers avec moins de 0.2% de carbone ne se trempent pas correctement.



II Couple matériau / traitement thermique



Cette trempabilité dépend

- ▶ des teneurs en éléments d'alliage.
- ▶ indirectement, la teneur en carbone (l'influence multiplicatrice de celles des éléments d'alliage).
- ▶ Les milieux de trempes.
- ▶ La géométrie de la pièce.



II Couple matériau / traitement thermique

2.3 Place des traitements thermiques dans un contrat de phase.

La place des traitements thermiques dans une gamme de fabrication joue un rôle capital

- ▶ favoriser la fabrication ou en corriger souvent les défauts,
- ▶ mais aussi parce qu'ils peuvent apporter certaines complications.

- ▶ Usinabilité de l'acier (augmente la dureté superficiel de la pièce) mais amélioration de certains alliages.
- ▶ La géométrie de la pièce (déformation).
- ▶ La finition.
- ▶ diminution des coûts en combinant traitement thermique et procédé de fabrication.

II Couple matériau / traitement thermique

Exemple de processus intégré :

- ▶ réaliser un monocristal (aube de turbine)
- ▶ le laminage continu contrôlé des tôles fortes en acier.
- ▶ le recuit continu des tôles laminées à froid, qui simplifie la manutention et augmente les cadences.



Aube de turbine en superalliage monocristallin utilisée dans un moteur d'avion Pratt & Whitney résistant jusqu'à 1000° C.

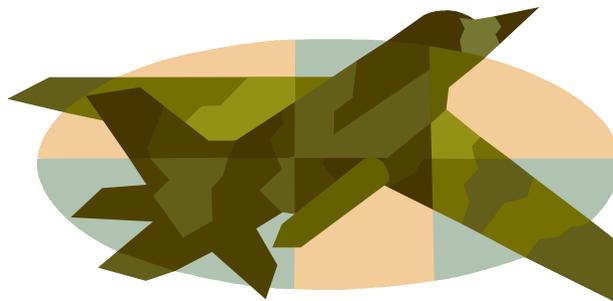
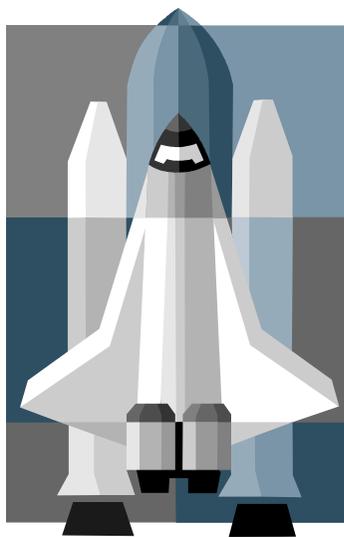


III Les Problèmes

- ▶ **Distorsion et contraintes résiduelles :**
gradients thermiques et changements de phases (Variations volumiques)
- ▶ **Altérations superficielles :**
oxydation ou contamination par les fluides de trempe
- ▶ **Difficultés :**
précisions de certains traitements thermiques
conditions de traitement thermique

IV Exemple d'application industrielle

- Facom





V Conclusion

Deux types de traitement :

- ▶ Traitement massif.
- ▶ Traitement superficiel lesquelles permettent d'atteindre le meilleur rapport qualité/prix..

Les traitements thermiques permettent :

- ▶ de meilleures propriétés pour les matériaux métalliques.
- ▶ contribuent à l'amélioration du comportement en service.
- ▶ facilite la fabrication.
- ▶ Diminue les couts. (développement (pas 1001 nuances d'acier, fabrication...))

Et maintenant?

Une évolution des cycles simples vers des cycles beaucoup plus compliqué (thermo mécanique...)



V Conclusion

Néanmoins, malgré la démystification des traitements thermiques ,

- ▶ ils restent encore souvent une technique délicate qui ne peut réussir que si elle est fondée sur une exploitation pragmatique des résultats d'expérience et de la pratique industrielle courante.

Encore beaucoup de recherche à l'horizon !



MERCI.

FIN

Questions ?