

5- Applications des traitements thermiques

5-1. Traitements thermiques dans la masse

5-1.1. Trempe étagée

5-1.2. Recuit

5-1.3. Traitement par le froid

5-1.4. Durcissement par précipitation

5-2. Traitements superficiels (dossier Ressources)

5-1.1. Trempe étagée martensitique (diagramme TTT)

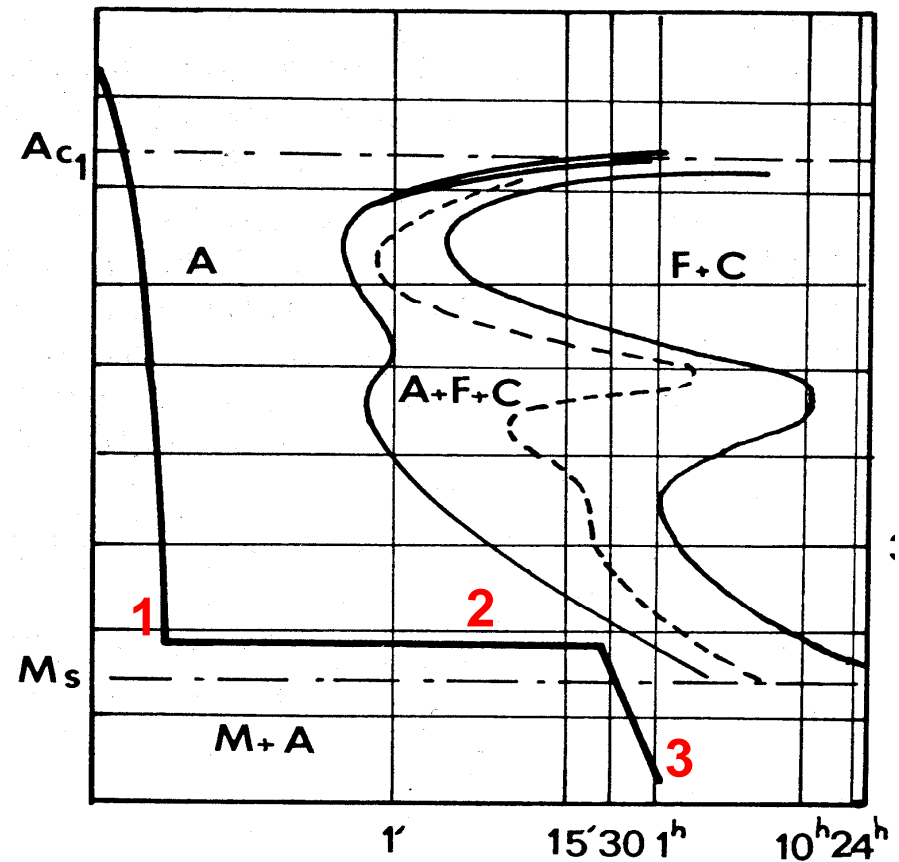
Objectif : retarder le refroidissement pendant une durée définie afin d'**uniformiser la température à travers la pièce. Réduire la déformation, la fissuration et les contraintes résiduelles**

Trempe à partir de la température d'austénitisation dans un fluide chaud, à $T^{\circ} > M_s$ **1**

Maintien dans le milieu de trempe jusqu'à ce que la température se **uniformise** dans toute la pièce **2**

Refroidissement à une vitesse modérée afin d'éviter de grandes différences entre l'extérieur et le centre de la section **3**

Revenu conventionnel.

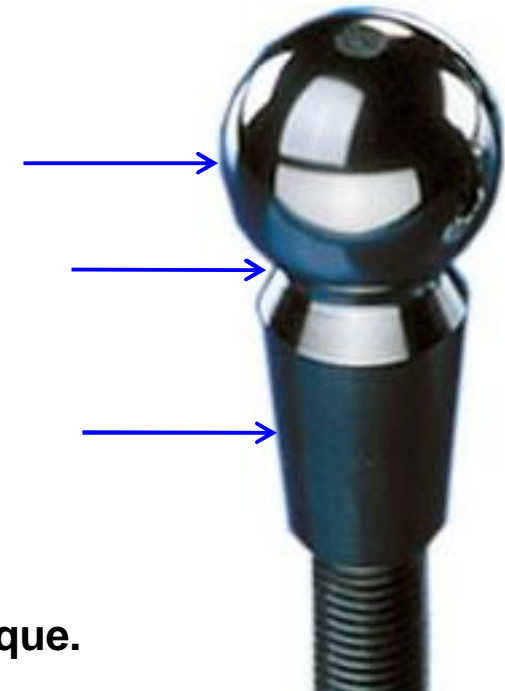


5-1.1. Trempe étagée martensitique (diagramme TTT)

Avantages : la **partie rapide du refroidissement** avec gradient de vitesse élevée se ~~ré~~ffectue à **l'état austénitique**, donc sans transformation, donc sans contrainte.

La **transformation** se réalise alors que la **température est devenue homogène** dans toute la section de la pièce permettant une transformation simultanée **évitant les contraintes dues aux superpositions des transformations**.

Particulièrement recommandée
pour les pièces « délicates » :
géométries complexes, masses
diverses, changements de section.



Aciers alliés les mieux adaptés à la trempe étagée martensitique.

5-1.1. Trempe étagée bainitique (diagramme TTT)

Objectif : obtenir une structure métallurgique purement bainitique

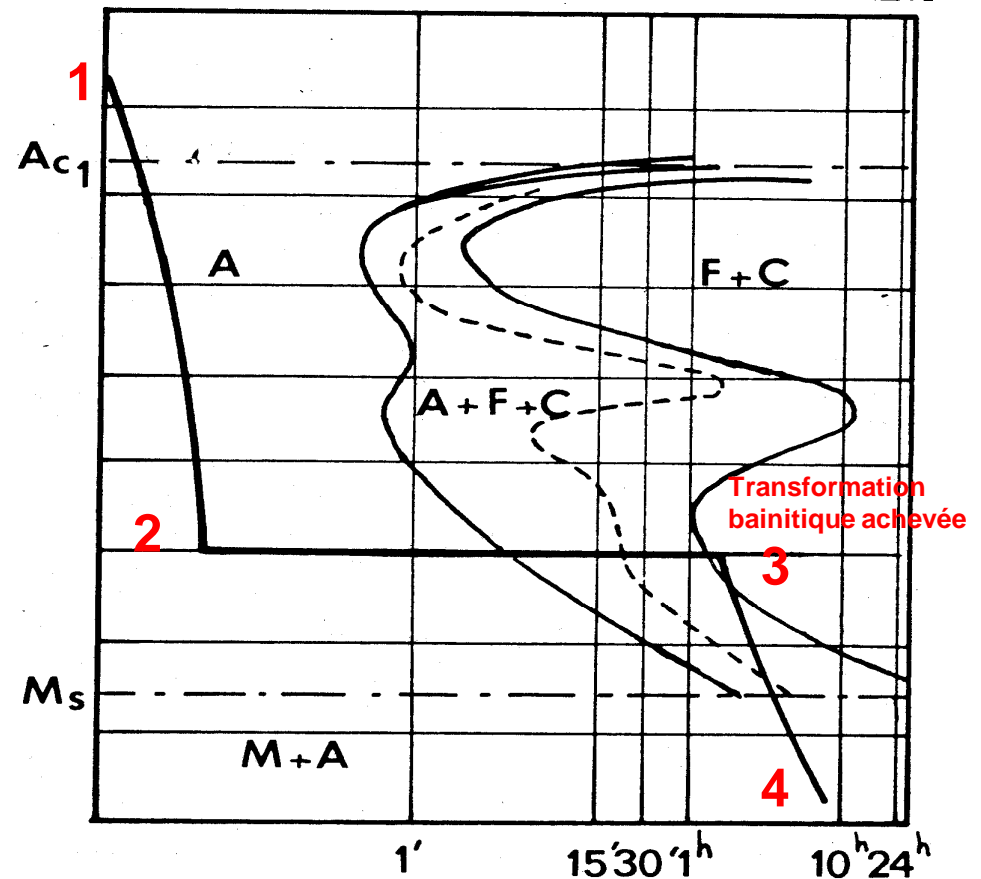
Chauffage à une température dans la plage d'austénitisation (800 à 900 ° C) **1**

Trempe dans un bain (sel fondu) maintenu à T° constante (300 - 400 ° C) **2**

Maintien à température pendant un certain temps afin de permettre la transformation complète en bainite **3**

Refroidissement à température ambiante **4**

Propriétés comparables à la martensite revenue (une opération de moins)



5-1.1. Trempe étagée bainitique (diagramme TTT)

Elle permet d'obtenir les propriétés mécaniques suivantes :

- “ **Plus grande ductilité, solidité et résistance** pour une dureté donnée.
- “ **Résistance aux chocs.**
- “ **Déformation réduite**, en particulier avec les pièces minces.

Durcissement des aciers à forte et moyenne teneurs en carbone dans une plage de 35-55 HRC, afin d'obtenir la solidité requise et une réduction de la déformation.



Particulièrement applicable aux pièces à section mince, qui exigent une solidité exceptionnelle.

Largement utilisé dans l'industrie automobile pour les attaches et autres pièces où une flexibilité et une solidité maximum sont requises.



5-1.2. Recuit

Important!

Ensemble de **traitements variés** dont le but est de conduire à des états proches de l'**équilibre** tant au point de vue **métallurgique** que **mécanique**

Maintiens en température relativement longs et vitesses de refroidissement faibles, conduisant à des microstructures à base de **ferrite** et **cémentite** (ou carbures)

Cycle thermique

- Chauffage jusqu'à la température de traitement
- Maintien isotherme ou oscillations autour
- Refroidissement à l'air calme ou au four coupé

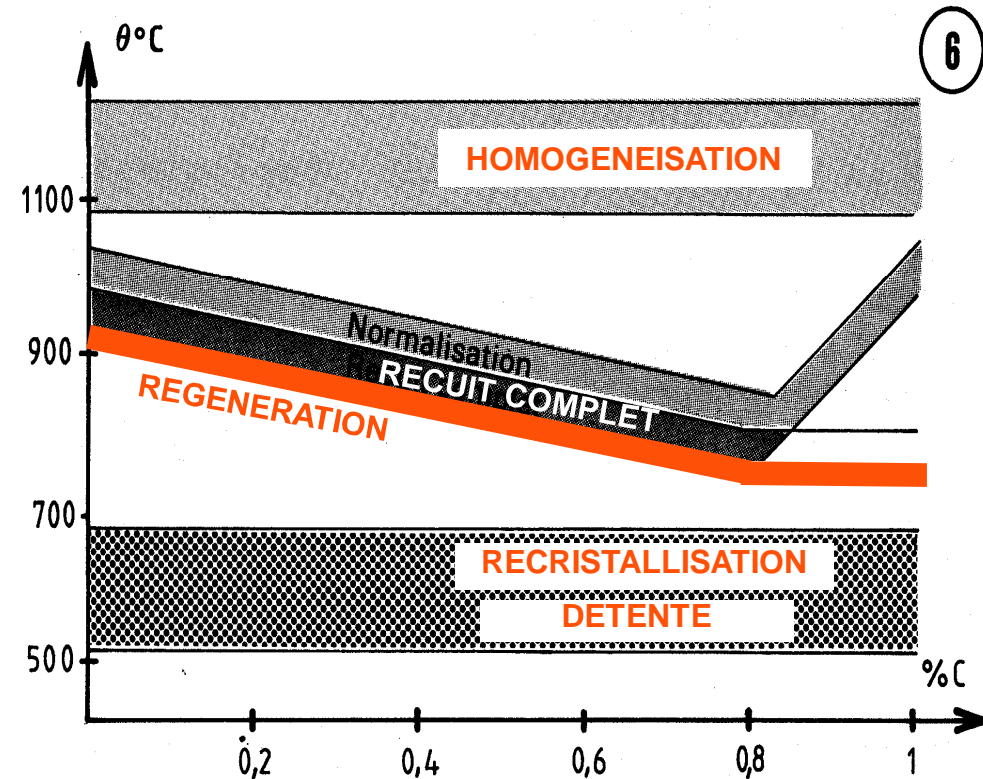
Le recuit permet notamment :

- ❖ **d'éliminer** ou réduire **les contraintes résiduelles** du métal liées à une action antérieure (déformation, soudure, etc.) **ou un traitement thermique antérieur**,
- ❖ ou de **obtenir la formation d'une structure favorable à une action ultérieure** (déformation, usinage, etc.) **ou un traitement thermique ultérieur**.

5-1.2. Recuit

Les différents recuits

- Recuit de **homogénéisation** : réduit ou élimine l'hétérogénéité chimique
- Recuit de **normalisation** : état initial idéal avant austénitisation et trempe
- Recuit complet : en vue de faciliter l'usinage ou la déformation à froid
- Recuit de **régénération** : affine le grain
- Recuit de **recristallisation** : sur produits écrouis
- Recuit de **détente** : fait disparaître les contraintes résiduelles



⇒ Température au dessus de A_{c1}

⇒ Recuit d'homogénéisation

Elimination des hétérogénéités chimiques dues à la **ségrégation mineure** (après la coulée, avant laminage à chaud ou forgeage)

*Risque de surchauffe (**grossissement des grains**, **fusion partielle des joints de grain**)*

Souvent suivi d'un recuit de régénération

⇒ Recuit de régénération

Permet le **affinement du grain** des pièces ayant subi un traitement d'homogénéisation ou une **austénitisation** trop élevée

Chauffage sans maintien prolongé à une température légèrement supérieure à A_{c3} (hypo) ou A_{c1} (hyper)

Refroidissement pas trop lent aux alentours de $750-600^{\circ}$ C pour éviter le grossissement du grain de ferrite

⇒ Température au dessus de A_{c1}

⇒ Traitement de normalisation

Obtention de structures ferrito-perlitiques avec des **grains** ferritiques **fins** (germination de nouveaux grains γ dans l'intervalle $A_{c1}-A_{c3}$ ou $A_{c1}-A_{cm}$) et de **faibles espacements inter lamellaire** (perlite - refroidissement lent)

Vitesse de refroidissement plus rapide (air calme) que le recuit complet

Microstructure très **homogène** à bonne **résistance** mécanique

Bon état initial pour le traitement de **austénitisation** avant trempe

⇒ Recuit complet (ou recuit)

Permet de ~~éviter~~ **la fragilité** liée à la présence de carbures en réseau intergranulaire

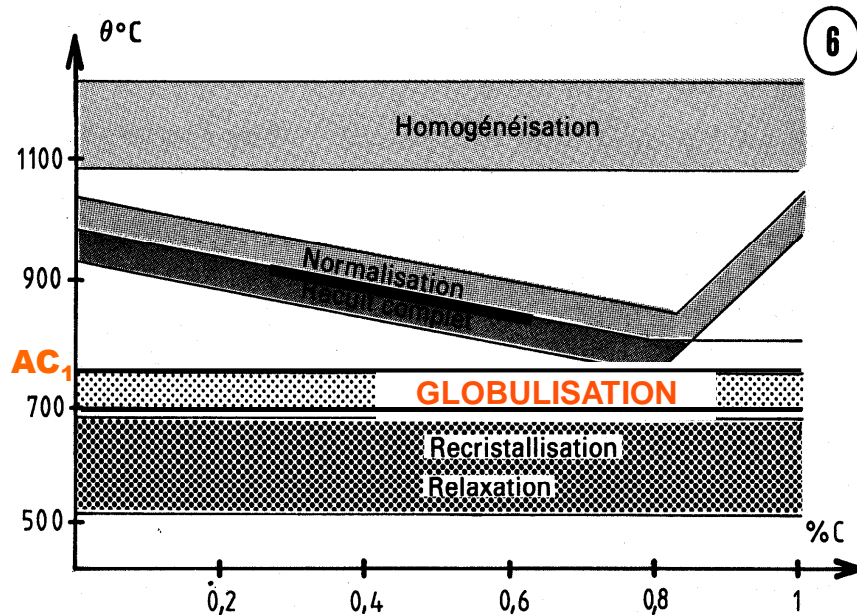
Austénitisation complète pour les aciers hypo (température de maintien vers $A_{c3} + 50^\circ \text{C}$)

Austénitisation partielle pour les aciers hyper ($A_{c1} + 50^\circ \text{C}$) : **globulisation partielle** de la cémentite proeutectoïde

Refroidissement lent

Ferrite et perlite grossières : **résistance** et dureté faibles mais **ductilité** élevée

⇒ Température en dessous de A_{c1}



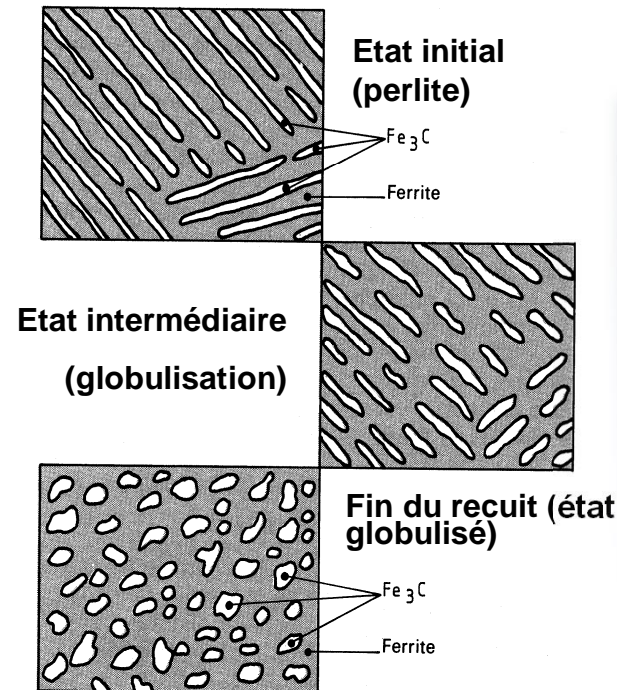
Zones usuelles des principaux types de traitement

Peut être obtenu par un **revenu** prolongé en dessous de A_{c1} d'une structure initialement martensitique (plus facile)

⇒ Recuit de globulisation

Permet l'augmentation de la **capacité de déformation** (tréfilage des aciers perlitiques)

Chauffage juste en dessous de A_{c1}
 Maintien prolongé à cette température
 Refroidissement très lent pour obtenir une **coalescence poussée** de la cémentite

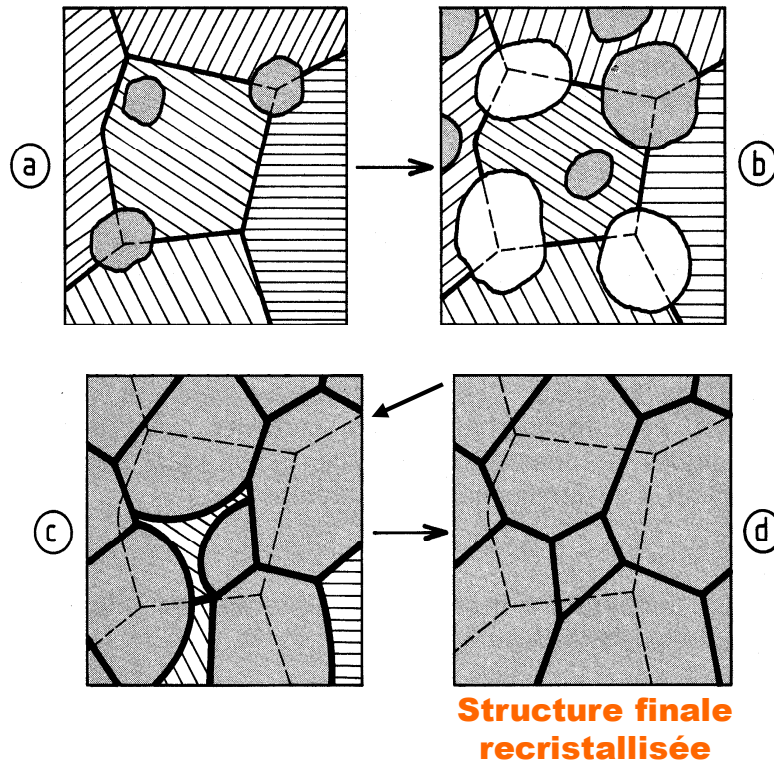


⇒ Recuit de restauration et
recristallisation

Le travail à froid d'un métal par déformation (laminage, filage) :

- structure écrouie,
- forte déformation orientée des grains
- fortes densités de défauts (lacunes et dislocations)
- fragilité

Début de
recristallisation



Recristallisation

Structure écrouie remplacée par une nouvelle structure à grains reformés

Traitement à une température (fonction du taux de recroissance) conduisant à la germination et croissance jusqu'à contact mutuel de nouveaux grains

Restauration

Des propriétés physiques et mécaniques, sans modification apparente de la structure

Annihilation (partielle) des lacunes et dislocations

Réarrangement de dislocations

⇒ Recuit de détente

Réduction ou élimination des **contraintes résiduelles** dues :

- à des refroidissements rapides de grosses pièces,
- à la trempe,
- à des opérations de soudage,
- à des opérations de usinage,
- à des opérations de travail à froid

Traitement à une température inférieure à celle de la recristallisation (600° C)

Vitesses de chauffage et de refroidissement **faibles** pour ne pas introduire de nouvelles contraintes

Pas de modification des **propriétés mécaniques** (maintien de la dureté liée à un écrouissage initial)

5-1.3. Traitements par le froid

Important!

Cas des alliages pour lesquels le point M_f (*martensite finish*) est très inférieur à 0°C , d'où la subsistance après trempe **d'une quantité importante d'austénite résiduelle.**

Situation instable : l'austénite se décomposera si la température s'abaisse ou sous l'action de **fortes contraintes, vibrations, efforts cycliques** \Rightarrow **déformations volumiques** et **surtensions** locales pouvant aller jusqu'à la **fissuration.**

Bague extérieure d'un roulement à deux rangées de rouleaux cylindriques (document SKF)



Le traitement par le froid aura pour effet :

- “ **d'augmenter la dureté et la limite d'élasticité** avec corrélativement une baisse de résilience et une augmentation des contraintes internes,
- “ **d'augmenter la stabilité dimensionnelle des pièces** (calibres, éléments à jeux très serrés).

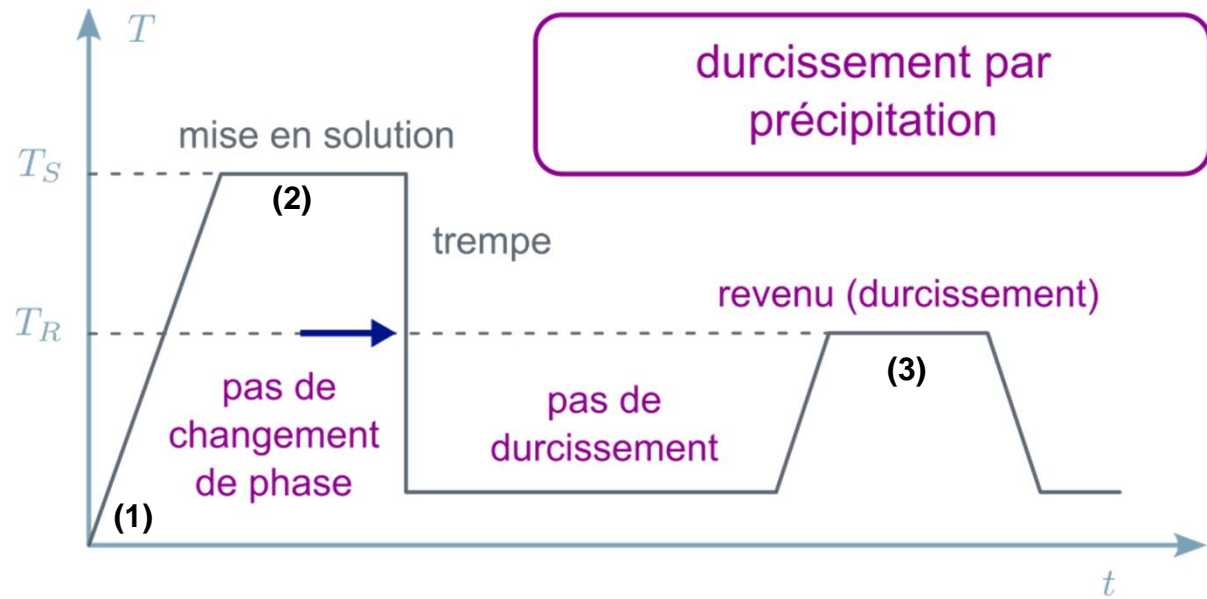
5-1.4. Durcissement par précipitation (hors alliages ferreux)

Principe

1/ Mise en solution des
éléments d'addition : passage
(1) à (2)

2/ Obtention de solutions
solides **sursaturées**
métastables, au cours du
refroidissement

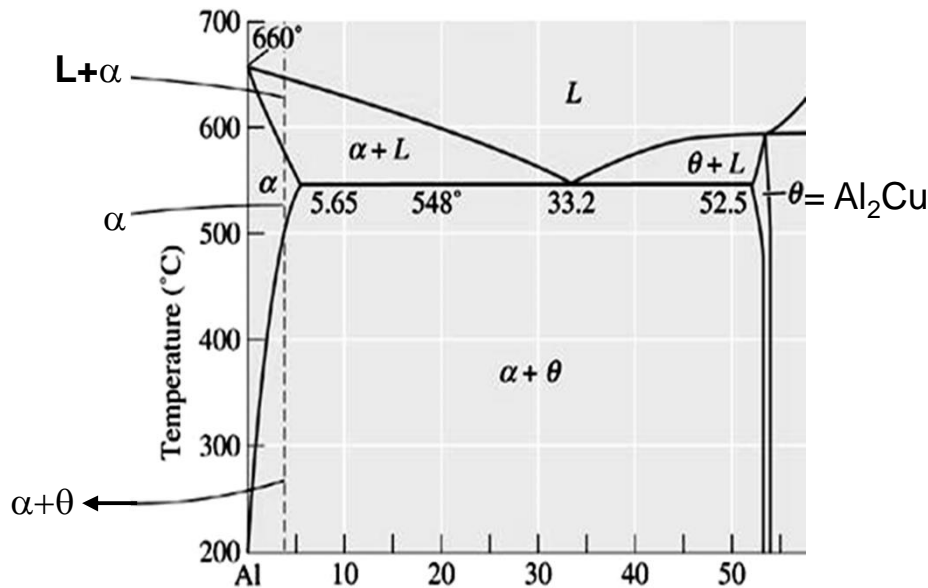
3/ Traitement ultérieur de « dé-
sursaturation » entraînant le
durcissement (3)



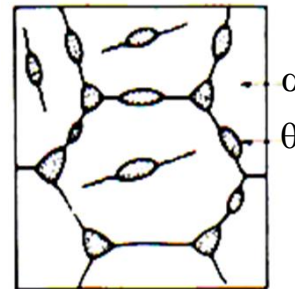
⇒ Exemple avec l'alliage Aluminium-Cuivre (4%)

Traitement thermique en trois étapes :

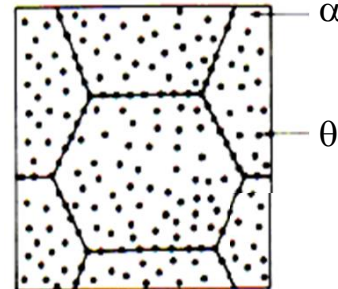
- mise en solution à 530° : **cuivre totalement dissous**
- refroidissement rapide à température ambiante par trempe à l'huile. A température ambiante : **solution solide fortement sursaturée**
- Revenu : maintien pendant 100 heures à 150° C (vieillessement). Transformation de la solution solide sursaturée en un mélange $\alpha + \text{Al}_2\text{Cu}$. Structure fine. **Durcissement de l'alliage.**



Refroidissement lent (typique)



Refroidissement rapide + revenu (idéal)



5-2. Traitements superficiels

⇒ Pourquoi

Industrie mécanique : surface des organes des machines subit les sollicitations les plus sévères
Intérêt économique à ne traiter qu'une partie de la pièce



⇒ But

Dureté superficielle

Tout en maintenant ductilité et résilience suffisante en volume
Augmentation de la résistance à l'usure en surface

Contraintes résiduelles de compression

Augmentation de la résistance à la fatigue et à la corrosion intergranulaire

⇒ Comment

Transformation et **diffusion** (modification ou pas de la composition chimique) en proche surface



Cette partie est traitée dans les documents du dossier Ressources