Traitements thermiques des alliages

1- Rappels et prérequis

2- Transformations au chauffage

3- Transformations de l'austénite

4- Transformations au revenu

4-1. But et principe du revenu

4-2. Transformations métallurgiques au cours du revenu

4-3. Evolution des propriétés mécaniques au cours du revenu

5- Applications

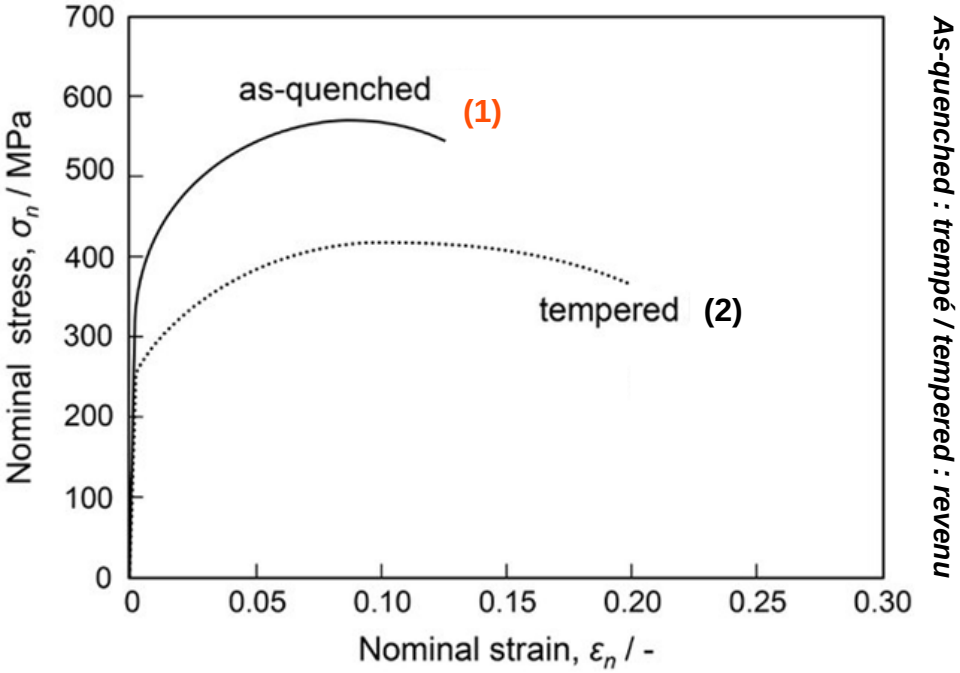
4-1. But et principe du revenu

Important!

La trempe conduit à des propriétés de résistance élevées (1) du fait de la présence de la martensite mais à de faibles ductilités (1) et résiliences.

Le revenu est un traitement de compromis qui corrige les états extrêmes par :
- une amélioration des caractéristiques de déformabilité (2) et de tenacité (résilience).
- La relaxation des contraintes.

Le revenu peut se faire :
- à haute température (au dessus de 500° C) : fortes modifications métallurgiques
- à basse température (en dessous de 200° C, revenu de détente) : faibles transformations métallurgiques



As-quenched : trempé / tempered : revenu

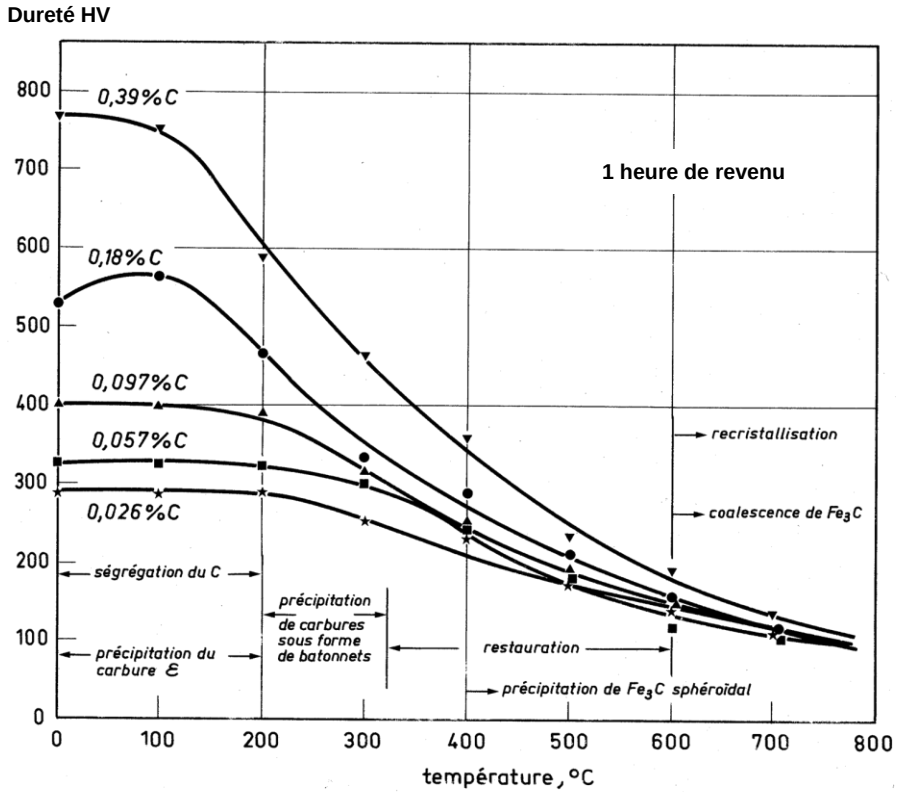
4-2. Transformations métallurgiques au cours du revenu

Les propriétés mécaniques obtenues après revenu dépendent des transformations subies par les constituants.

Une élévation de température va favoriser l'évolution des phases hors équilibre vers des états plus proches de l'équilibre.

***Perlite* et ferrite (équilibre), ainsi que *bainite* (formée de ferrite et cémentite, en quasi-équilibre) ne vont pas évoluer (uniquement la morphologie).**

Ce sont la martensite et l'austénite résiduelle qui vont subir les transformations les plus importantes.



4-2. Transformations métallurgiques au cours du revenu

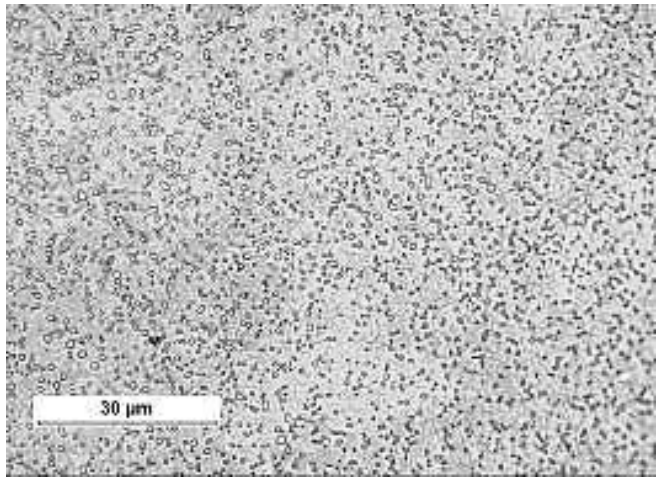
⇨ **Martensite**

Deux types de phénomènes ont été mis en évidence
Vieillissement (basse températures)
Formation de carbures (hautes températures)

Jusqu'à 300° C : Appauvrissement de la martensite en carbone interstitiel, ce qui conduit à une perte de quadraticité de la maille - relaxation des contraintes dans la maille
Précipitation de *carbures de transition* sous forme de particules de très faibles dimensions (≈nm)
Puis précipitation du carbone sous forme de carbures de type cémentite. Réduction de distorsion tétragonale de la martensite.

A partir de 300° C : Retour complet de la maille cristalline de la martensite à la forme cubique centrée

Au delà de 450° C, coalescence des particules de cémentite, restauration (élimination des défauts de réseau) puis recristallisation (600-700° C) - cela conduit à des grains grossiers équiaxes et des carbures coalescés, à peu d'intérêt pratique



⇨ **Bonne tenue à la rupture fragile des martensites revenues**

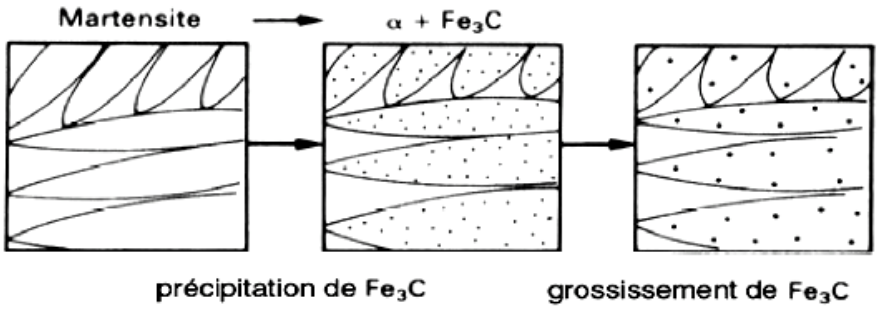
4-2. Transformations métallurgiques au cours du revenu

Jusqu'à 300° C : Appauvrissement de la martensite en carbone interstitiel. Précipitation de carbures (de transition puis cémentite (1)).

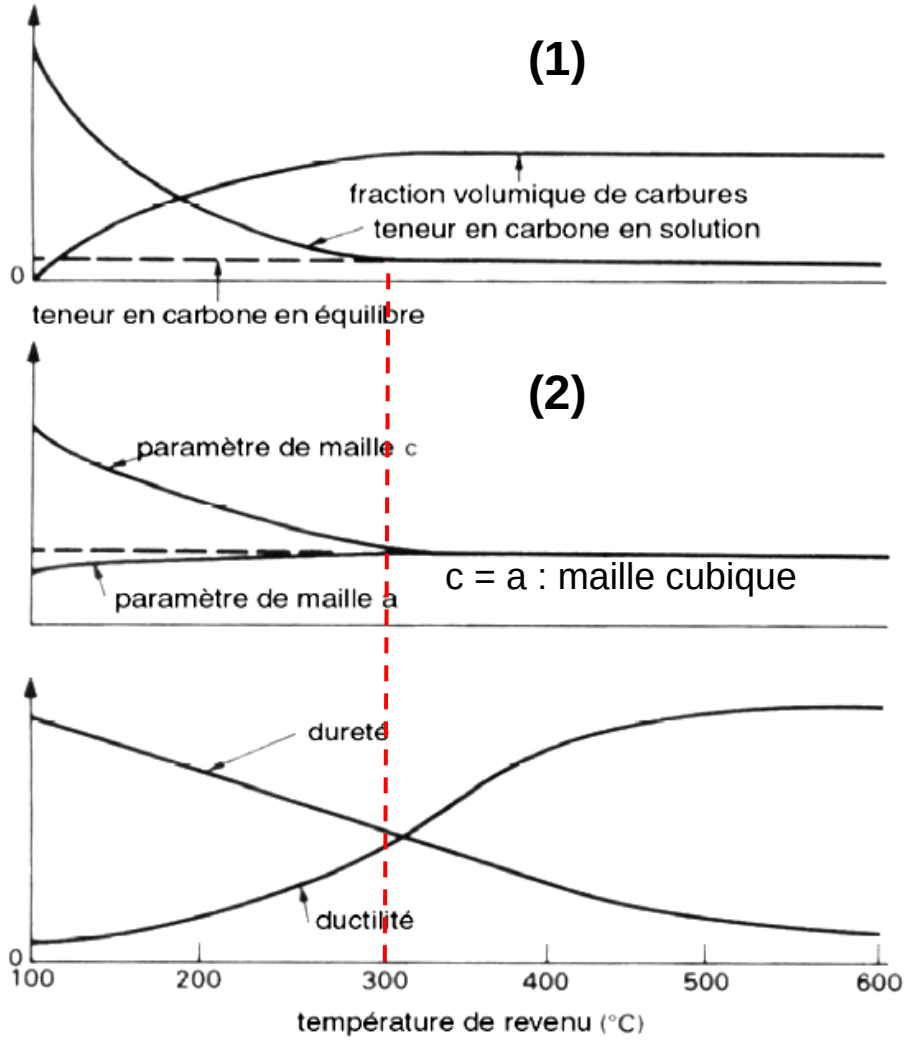
⇨ Réduction de la distorsion tétragonale de la martensite.

A partir de 300° C : Retour de la maille cristalline de la martensite à la forme cubique centrée (2).

Au delà de 450° C, coalescence des particules de cémentite (3), restauration (élimination des défauts de réseau).



(3)



4-2. Transformations métallurgiques au cours du revenu

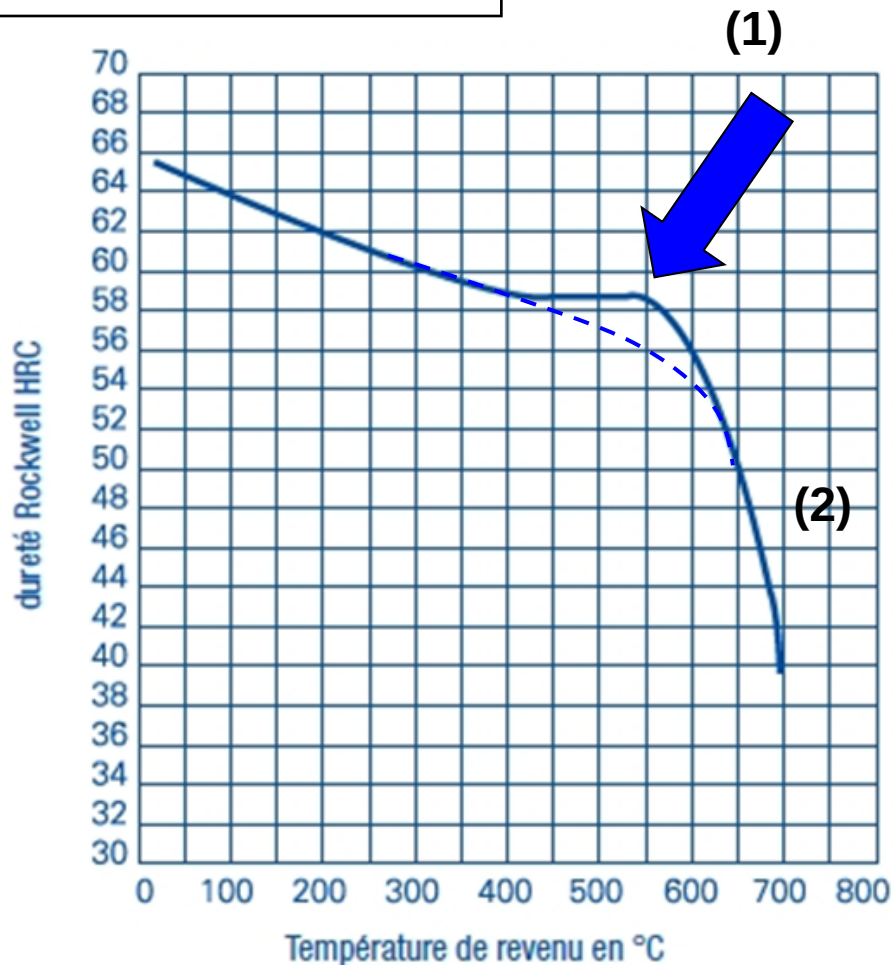
⇨ **Effet d'éléments carburigènes**

Formation (à partir de 450° C) de carbures alliés qui remplacent la cémentite après dissolution de celle-ci ou par germination directe sur les dislocations restantes

Précipitation sous forme de particules plus fines que la cémentite conduisant à un durcissement secondaire (1)

Coalescence (au-delà de 600° C) de ces précipités qui entraîne une forte diminution de dureté (2)

⇨ **La stabilité de ces carbures complexes assure de bonnes propriétés pour emplois à chaud**



Cas d'un acier X100CrMoV5

4-2. Transformations métallurgiques au cours du revenu

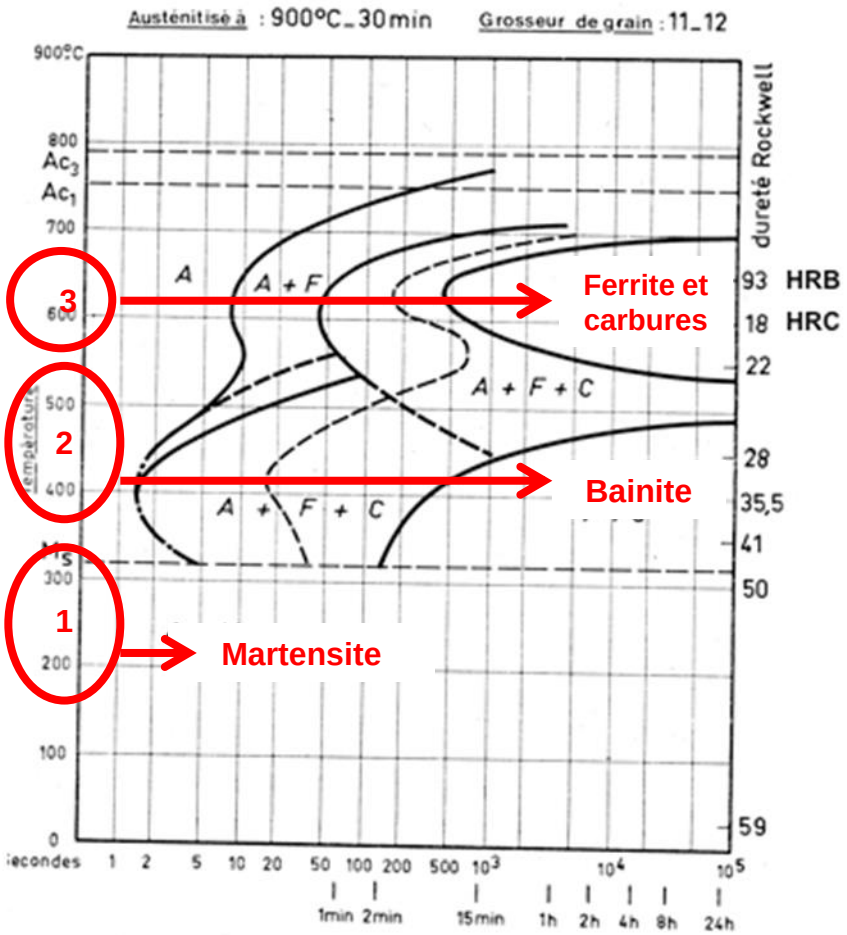
⇨ Transformation de l'austénite résiduelle

Lors des revenus à basse température il peut y avoir transformation de l'austénite résiduelle en martensite (appelée parfois martensite secondaire ou martensite fraîche) avec gonflement et durcissement (1).

Cela peut conduire à des problèmes de fragilité qui peuvent être éliminés en effectuant un second revenu.

Lors des revenus à plus haute température, l'austénite résiduelle aura tendance à se transformer en bainite (2) voire en ferrites et carbures (3).

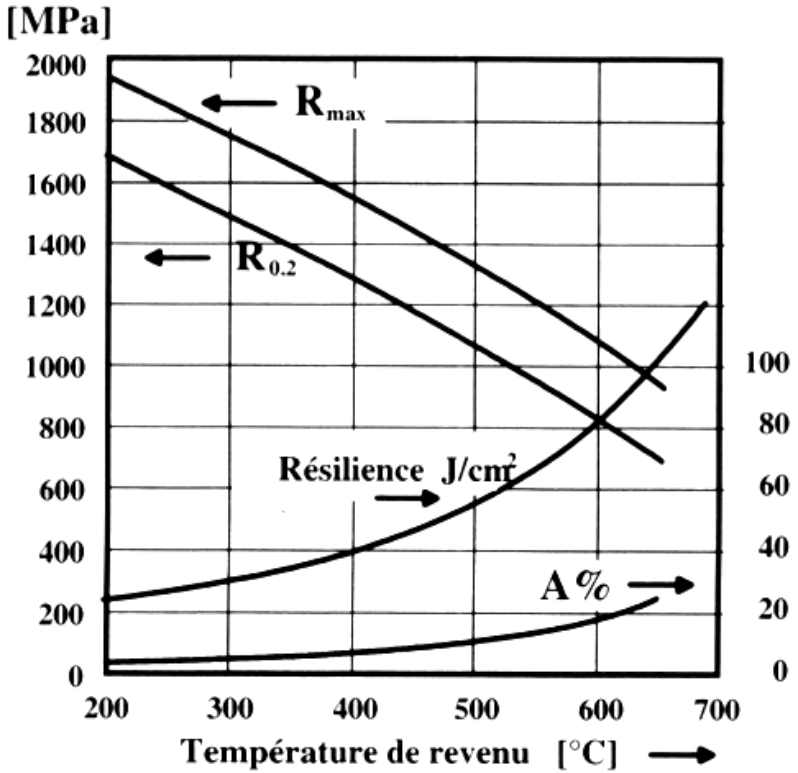
Les transformations de l'austénite peuvent être appréhendées par étude du diagramme TTT (exemple ci-contre).



4-3. Evolution des propriétés mécaniques au cours du revenu

Modifications de microstructures : conséquences importantes sur les propriétés mécaniques

LE REVENU EST UN MOYEN SOUPLE POUR AJUSTER LES PROPRIETES MECANIQUES AUX EXIGENCES DU BUREAU D'ÉTUDES



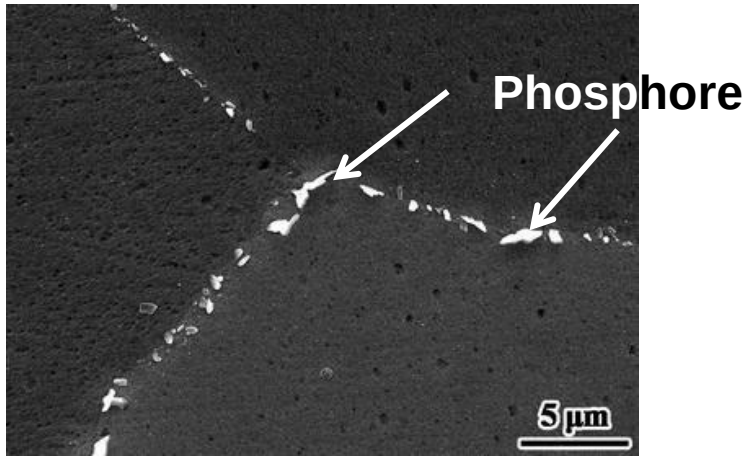
Exemple de diagramme de revenu pour un acier de composition 0,34%m C, 1,5%m Cr, 0,2%m Mo et 1,5%m Ni

Important!

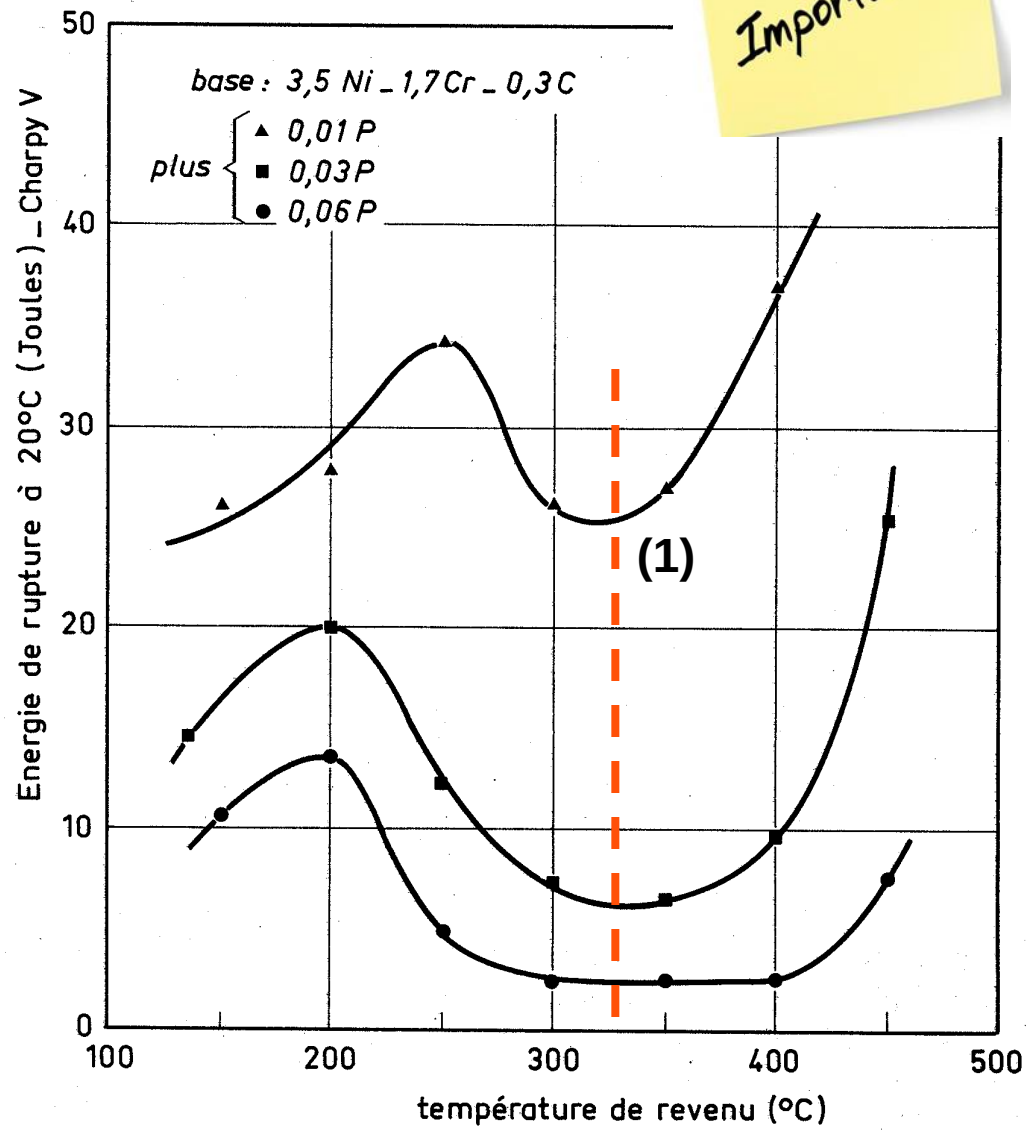
⇨ Cas de la fragilisation au revenu

Chute de la résilience si présence de certaines impuretés

Par exemple, ségrégation du phosphore aux anciens joints de grains austénitiques (lors de l'austénitisation)



Zhang, S., Xin, X., Yu, L. et al. Metall and Mat Trans A (2016) 47: 4092



Précipitation de la cémentite sur ces derniers déjà affaiblis par le phosphore ⇨risque de rupture (1)