

Traitements thermiques des alliages

1- Rappels et prérequis

2- Transformations au chauffage

3- Transformations de l'austénite

3-1. Transformations en refroidissement continu

3-1. Transformations isothermes

3-3. Notion de trempabilité

4- Transformations au revenu

5- Applications

3-3. Notion de trempabilité

3-3.1. Généralités

3-3.2. Détermination de la trempabilité

3-3.3. Etat mécanique après trempe

3-3.4. Installations industrielles

3-3.1. Généralités

Important!

Trempabilité

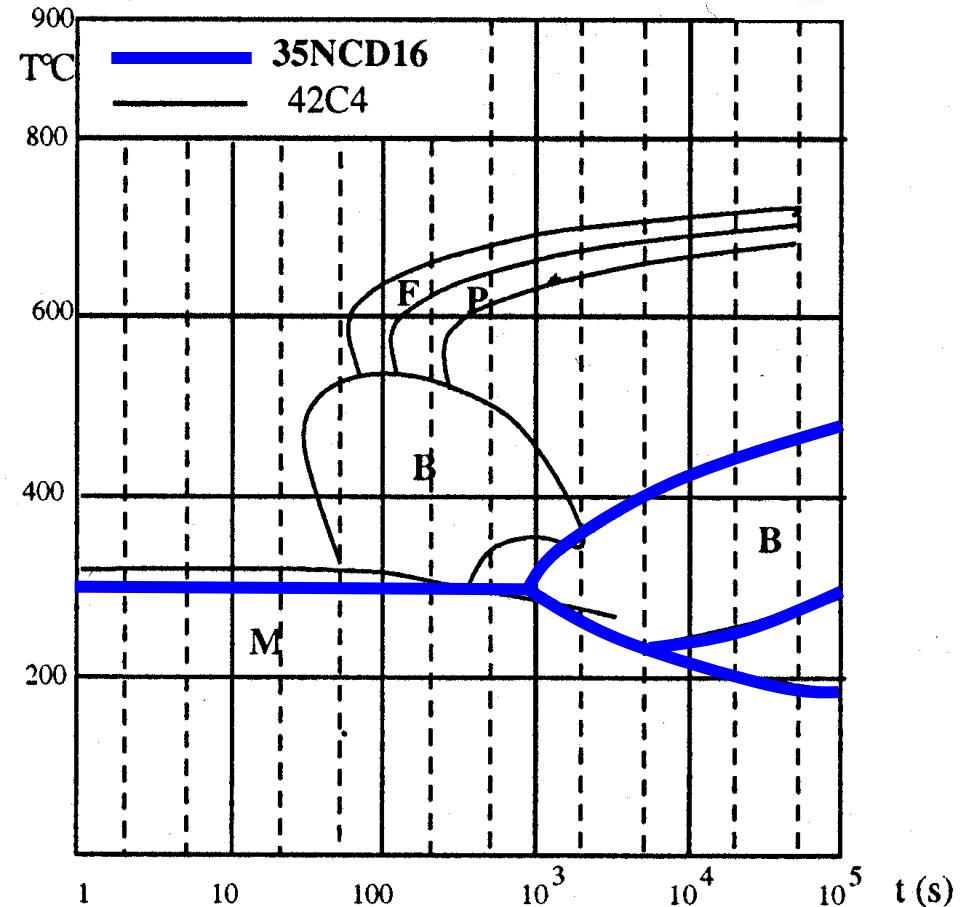
Aptitude à se transformer par refroidissement rapide en constituants formés à basse température (**martensite**) et à éviter la formation de **ferrite et cémentite**.



35NCD16

Trempabilité

42C4



3-3.1. Généralités

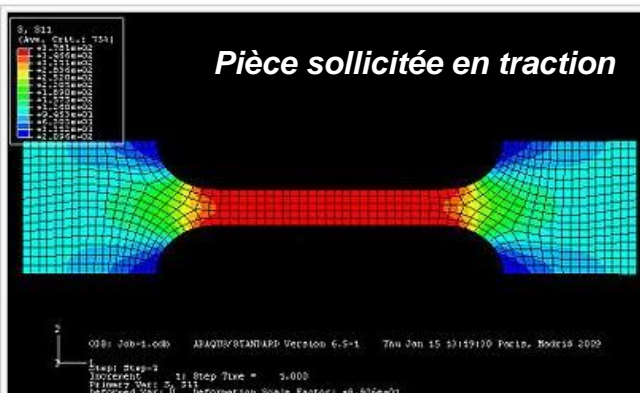
La **trempe** est reliée à l'effort technique pour obtenir uniquement de la martensite. Par exemple, pour un :

- acier C48 : il faut une **trempe à l'eau** pour obtenir de la martensite à cœur ;
- acier 40NiCrMo17 : un **refroidissement à l'air** suffit (*beaucoup d'éléments d'addition !*).

La trempe a donc **un coût** :

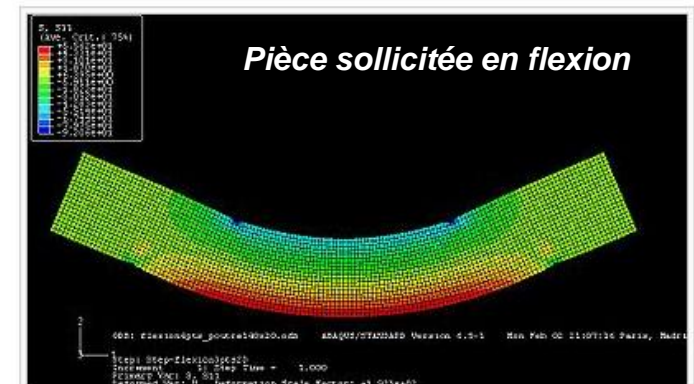
- celui des éléments d'alliages qui peuvent multiplier par un facteur 20, 50 ou 100 l'élaboration d'une pièce ;
- celui des moyens de trempe (à l'eau, à l'huile, à l'air soufflé...).

La trempe en fonction des besoins !!!!



La nécessité d'avoir des propriétés uniformes de la surface au centre impose une grande trempe

La faible sollicitation de la fibre neutre n'impose pas une grande trempe



⇒ Facteurs influençant la trempabilité



T_A, t_A (3)

COMPOSITION

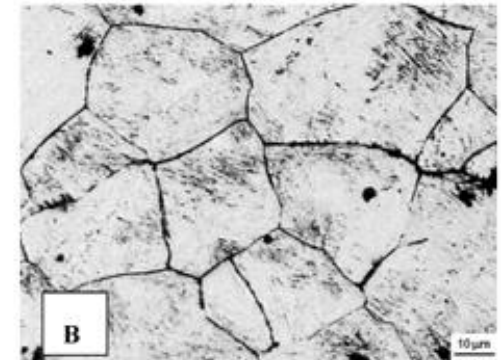
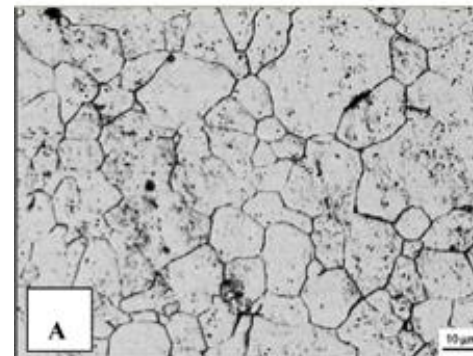
Carbone	0,30
Nickel	3,50
Chrome	1,20
Molybdène	0,45

(1)

- La composition chimique (1)
- La pureté (2)
- Les conditions d'austénitisation (3)
- La grosseur des grains (4)

(2)

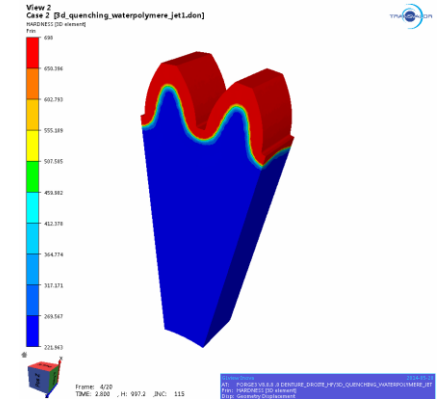
C	S	Mo	Cr
0,32 - 0,39	≤ 0,035	0,25 - 0,45	1,60 - 2,00
Ni	Mn	P	Si
3,60-4,10	0,30 - 0,60	≤ 0,035	0,10 - 0,40



(4)

Approche quantitative

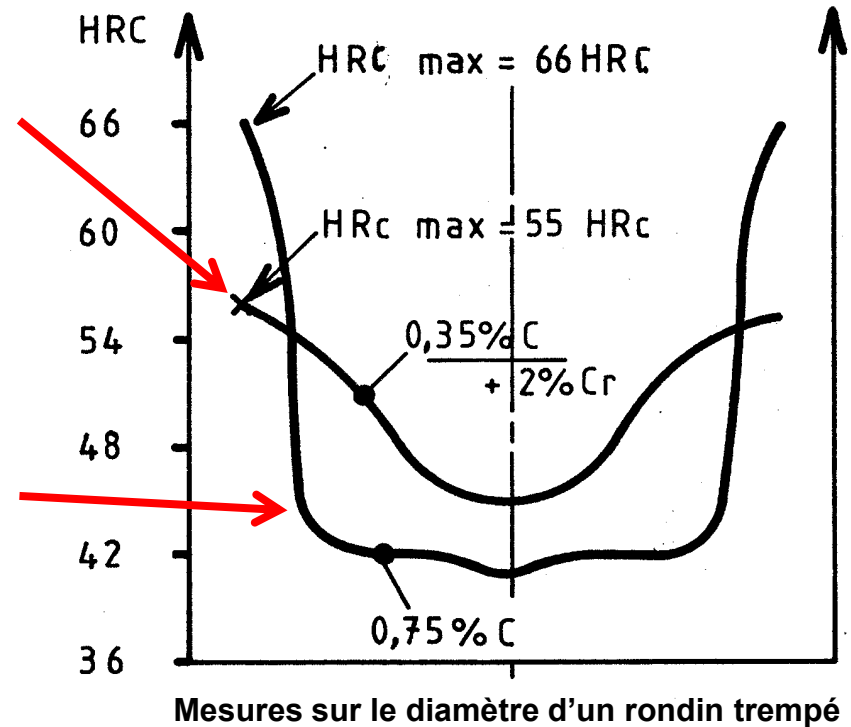
Lors de la trempe, les vitesses de refroidissement varient d'un point à un autre de la pièce. Pour un milieu de trempe et une dimension de pièce donnés, la **différence de trempabilité** entre diverses nuances se traduit par une **différence de pénétration de trempe**. Quantification : mesure de dureté en fonction de la position dans la pièce



Ne pas confondre
dureté et **trempabilité**
Dureté liée au taux de carbone
(martensite plus « dure »)
Trepabilité liée à des facteurs multiples

Acier allié : **bonne trempabilité** (dureté homogène sur le diamètre) mais **faible dureté** en surface (faible taux de carbone) : 0,35%

Acier peu allié : **faible trempabilité** (dureté inhomogène sur le diamètre) mais **forte dureté** en surface (fort taux de carbone) : 0,75%



3-3.2. Détermination de la trempabilité

⇒ Utilisation des courbes TRC

Vitesse critique de trempé (V_c)

Vitesse minimale de refroidissement évitant la formation de ferrite, perlite et bainite (sur l'exemple courbe en rouge)



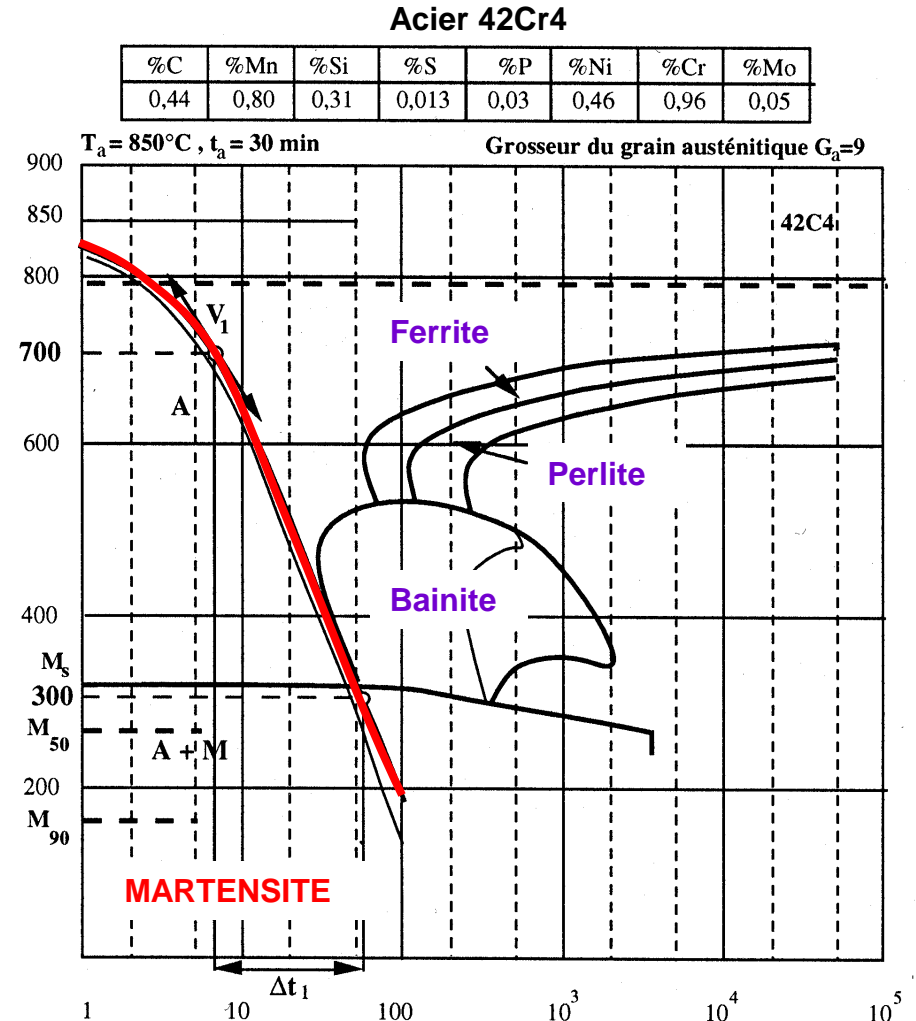
Plus V_c est faible,
plus la trempabilité
est forte

Classification

Faible trempabilité : vitesse critique de l'ordre de quelques centaines ° C/s. Trempe à l'eau

Trempabilité moyenne : quelques dizaines ° C/s. Trempe à l'huile

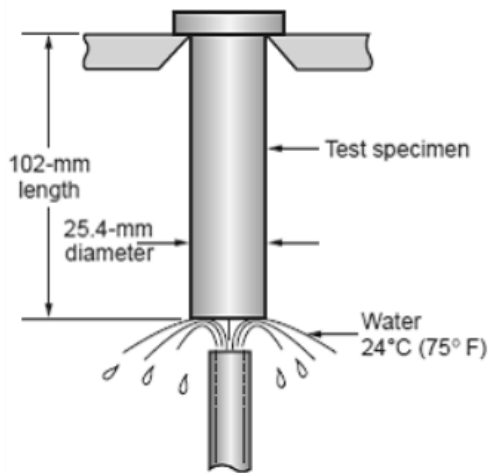
Trempabilité élevée : quelques dixièmes ° C/s. Trempe à l'air, 'autotremnants'



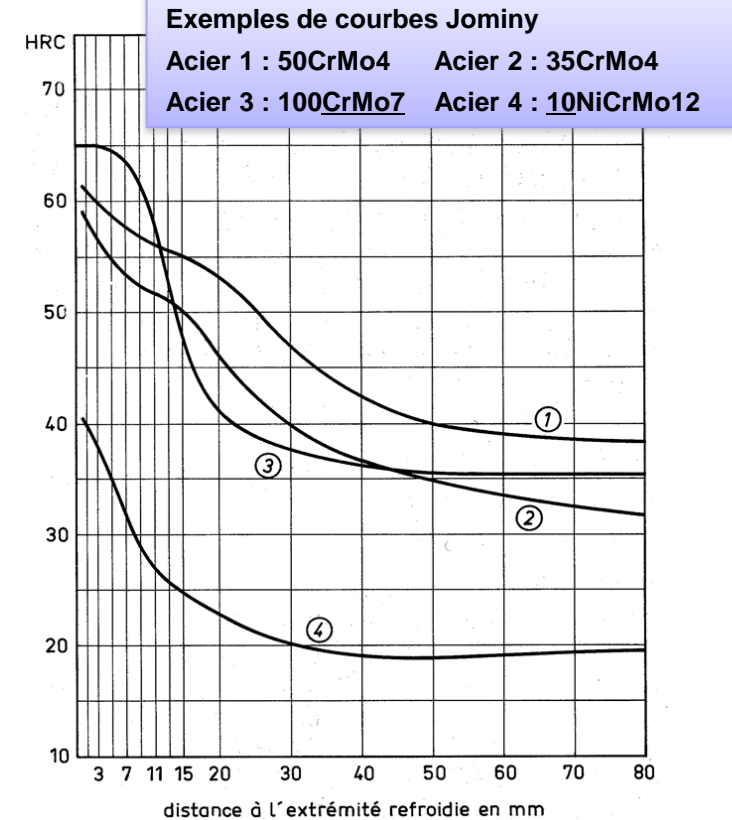
3-3.2. Détermination de la trempabilité

⇒ Utilisation de l'essai Jominy

Austénitisation d'un barreau cylindrique 100 mm * 25 mm puis **trempe** en bout par un jet d'eau vertical. Réalisation d'un méplat et mesure de dureté.



mm	HRC
1.5	55.6
3.0	54
5.0	27
7.0	22.5
9.0	20.5
11.0	20.5
13.0	20.5
18.0	20.5
23.0	20
28.0	20
33.0	20
38.0	20
43.0	20
48.0	20
53.0	20
58.0	20



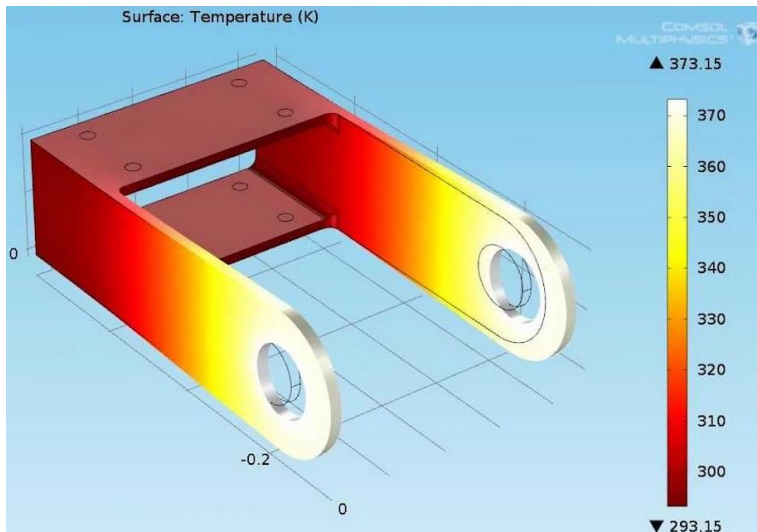
Plus simple que le diagramme TRC mais moins complet

3-3.3. Etat mécanique après trempe

La trempe optimise les **propriétés mécaniques** du matériau mais il faut prendre en compte l'hétérogénéité des phénomènes **métallurgiques** et **thermiques**

1/ Contraintes d'origine thermique

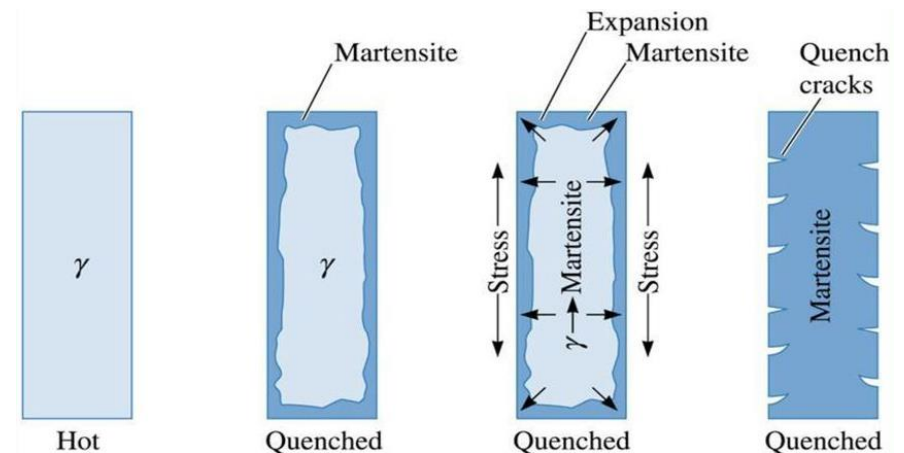
Répartition non uniforme de la température (transfert thermique) entre le **cœur** et la **surface** de la pièce (dilatation non identique en tout point, transformation de l'austénite à des temps différents)



2/ Contraintes de transformation

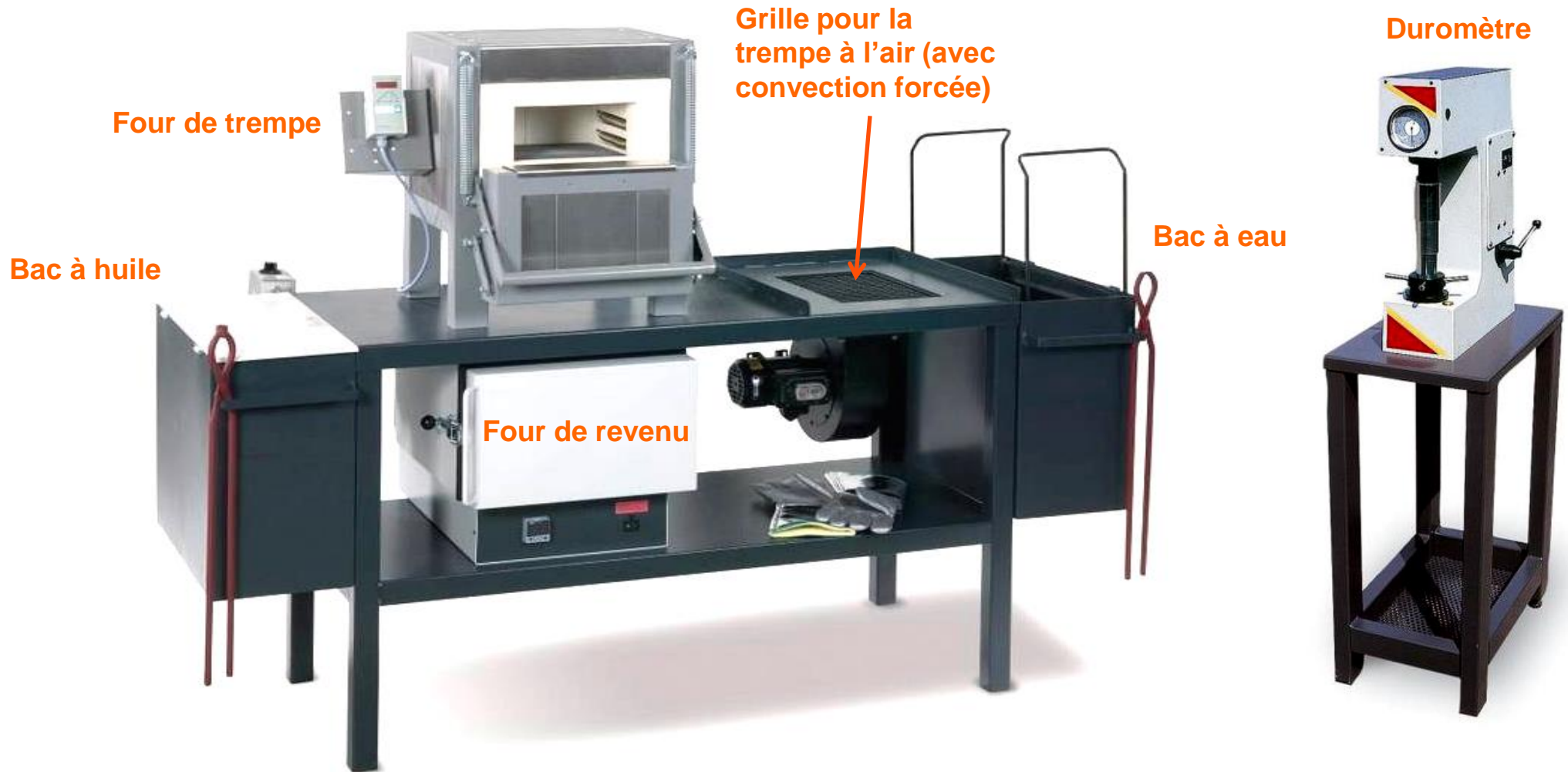
Différence de volume et de propriétés des phases (retrait et transformations allotropiques)

Si géométrie susceptible d'engendrer des concentrations de contraintes (variations de section, trous, entailles...) et lorsque les déformations élastiques sont fortes : **risque de fissuration** (tapure de trempe).

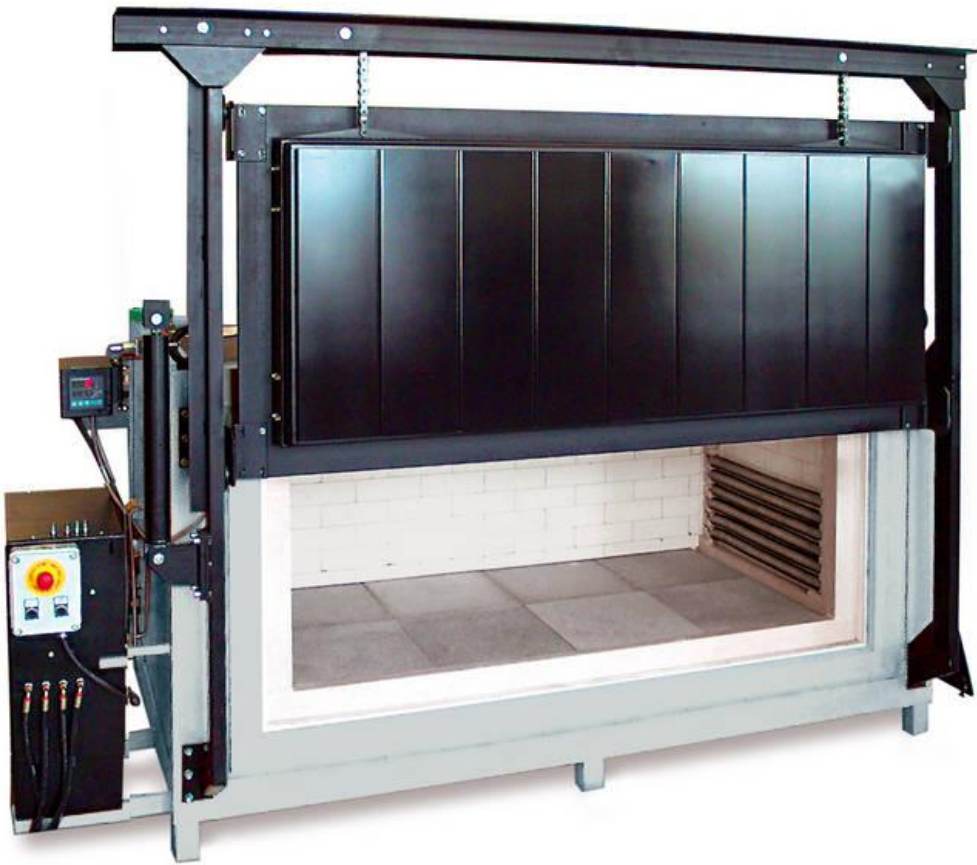


3-3.4. Installations industrielles

Petites pièces



Grandes pièces

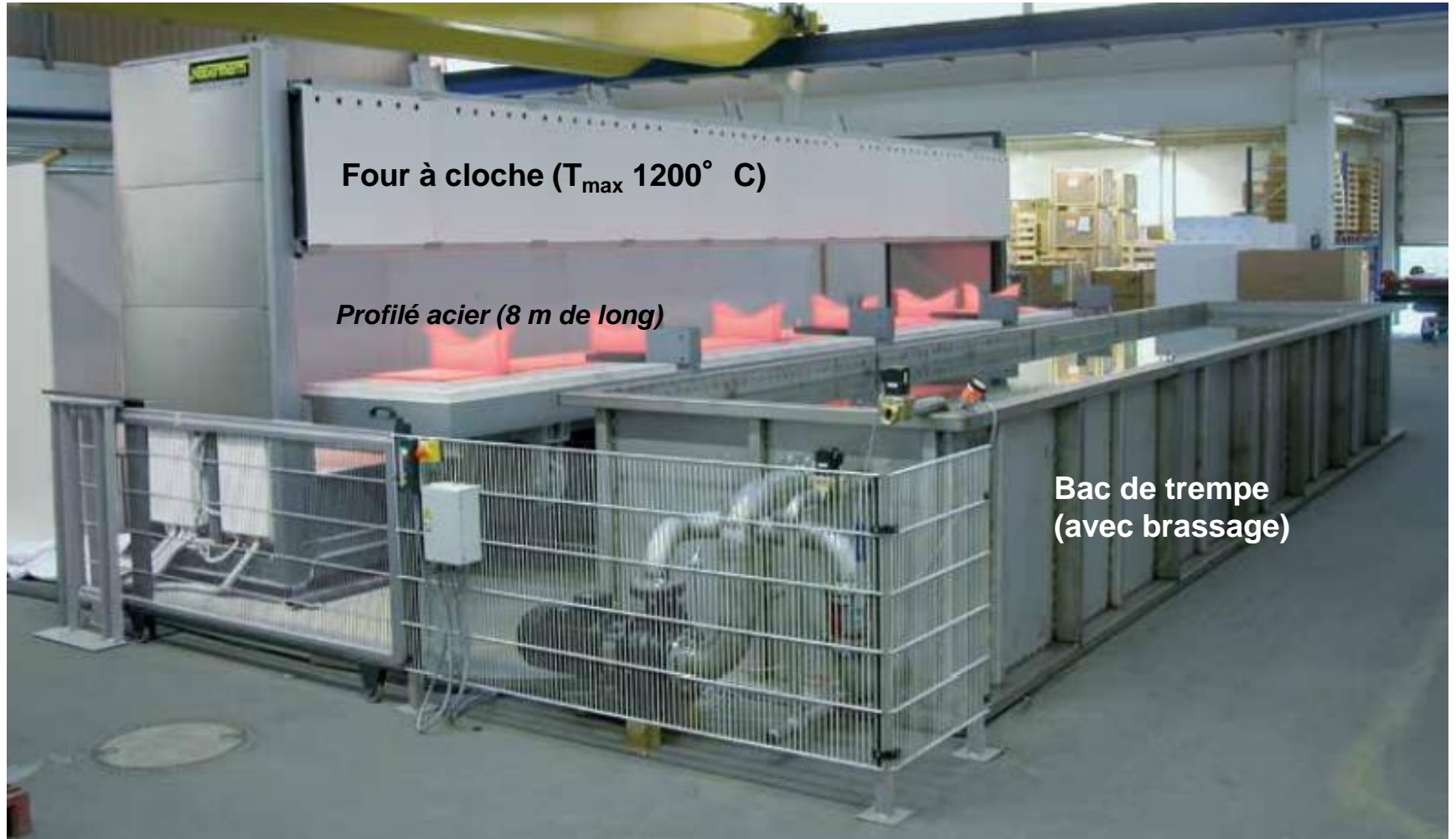


Four à chambre

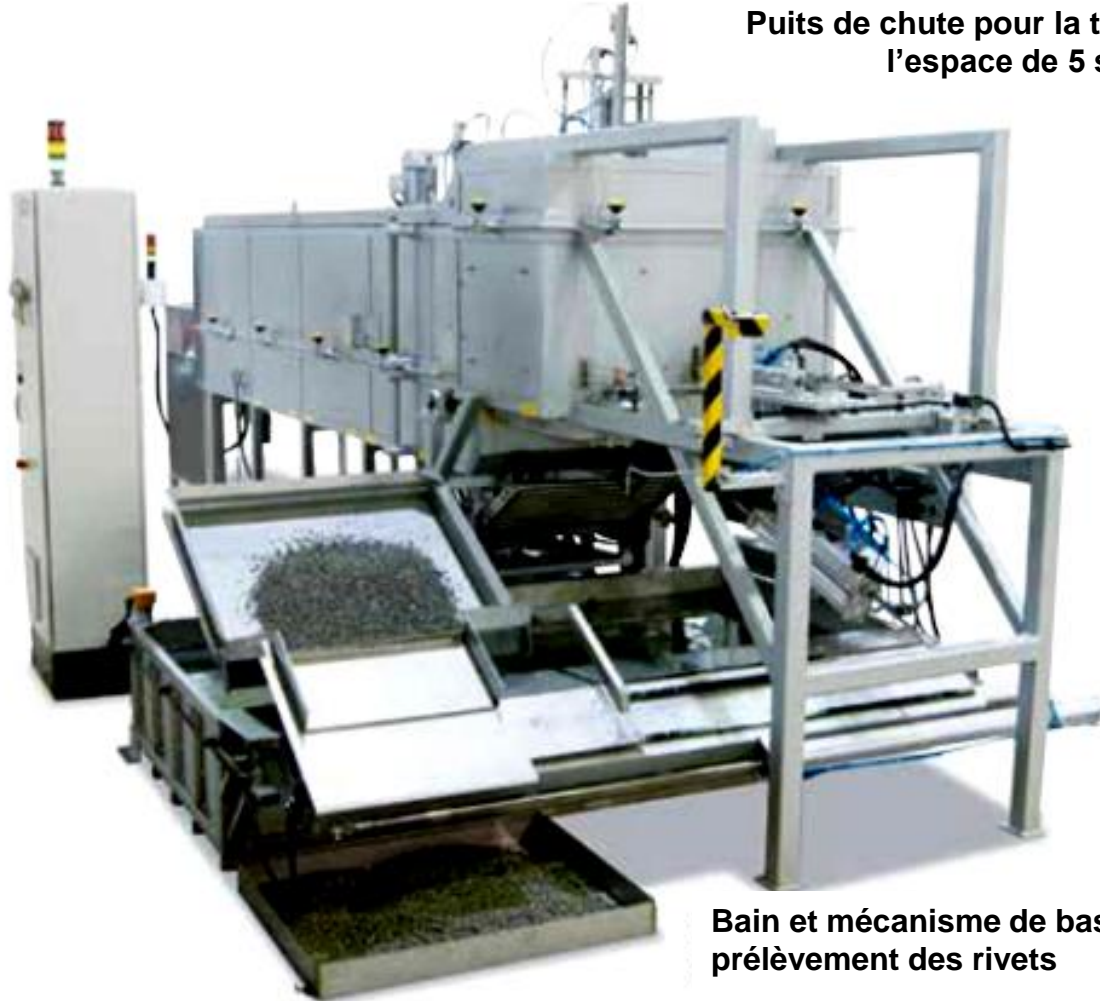


Four à sole (plancher) mobile

Géométries particulières



Géométries particulières



Puits de chute pour la trempe en l'espace de 5 secondes



Bain et mécanisme de basculage pour le prélèvement des rivets