

Choix des Traitements thermiques des aciers d'outillage

Utilisés dans l'horlogerie



Qui sommes nous?

- Situé à Alle dans le Jura (Suisse)
- Fondée en 1989 (33 ans)
- CA ~ 10 MCHF
- 30 personnes – 4 métallurgistes
- 1000m² de surface d'atelier



Critères de choix

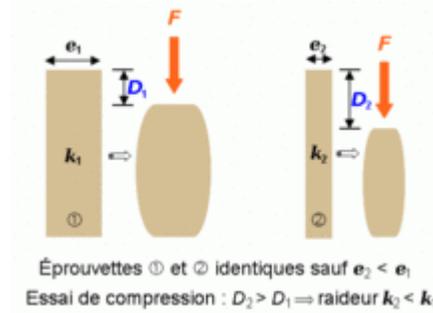


Identification des sollicitations et modes de défaillance

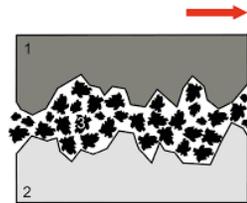


Les sollicitations

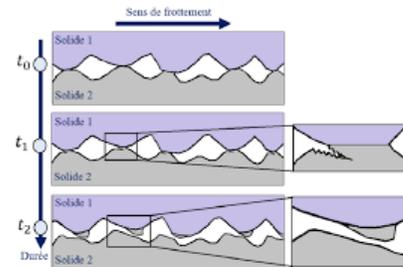
- Compression



- Abrasion



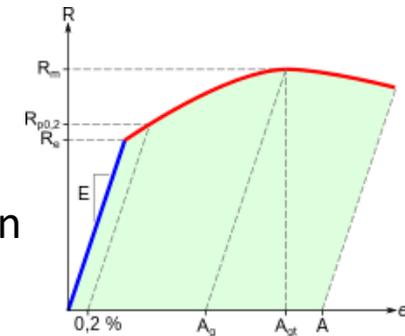
- Adhésion



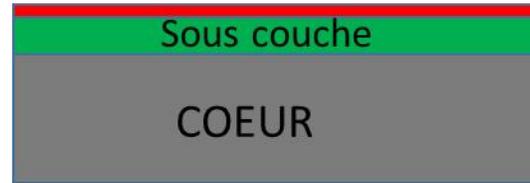
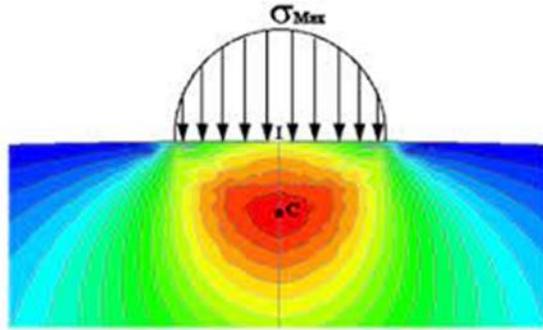
- Ecaillage



- Rupture
- Déformation



Profondeur des contraintes



Extrême surface quelques μm à 1/100mm

mm

Propriétés de masse

Propriétés de masse

Résistance au choc, ténacité
Résistance à la fatigue (traction, compression)
Résistance à la déformation

Propriétés de sous couche

Résistance à flexion
Résistance à la déformation
Résistance à la fatigue (flexion, torsion)
Résistance au roulement glissement
Résistance aux fortes pressions

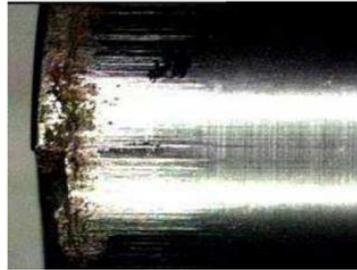
Propriétés d'extrême surface

Résistance à la fatigue superficielle
Résistance à l'abrasion
Résistance à la fatigue thermique
Résistance à la corrosion oxydation
Résistance à l'usure par adhésion



Analyse des avaries et défaillances

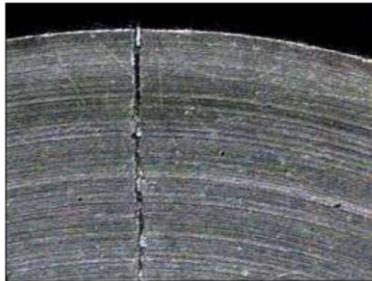
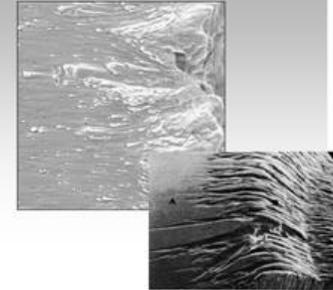
USURE ABRASIVE
 USURE ADHÉSIVE
 FROTTEMENT,
 GRIPPAGE-
 COLLAGE



MICROFISSURATION

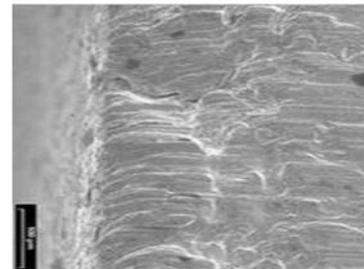


USURE ABRASIVE SUR ANGLE DE DECOUPE



RUPTURE

DEFORMATION PLASTIQUE



ECAILLAGE



OUTILLAGES ET TRAITEMENTS THERMIQUES C. LEROUX



Le choix du couple **matériaux** et **traitements** doit permettre de garantir que la résistance de l'outil soit en tous points supérieure aux sollicitations



Propriétés	Objectifs recherchés	Caractéristiques	Paramètres incidents
Résistance mécanique	Assurer l'absence de déformation de l'outil sous l'effet des contraintes de services	Dureté Limite élastique	Matière Traitements dans la masse
Résistance à la rupture brutale (ténacité)	Par opposition à la fragilité, assurer l'absence de rupture prématurée ou d'écaillage des outils en service	Flèche plastique à rupture Energie de rupture	Matière Traitements dans la masse
Résistance à la rupture progressive (Fatigue)	Assurer l'absence de rupture sous l'effet de sollicitations cycliques	Se baser sur la ténacité	Matière Traitements dans la masse et/ou superficiels
Résistance à l'usure	Minimiser l'enlèvement de matière du métal lors du frottement contre une autre matière	Taux d'usure Perte de poids par unité de temps	Traitements de surface Traitements superficiels Matière Traitements dans la masse
Résistance au grippage	Idem usure Le grippage est une forme extrême d'usure par adhésion (collage entre outil et métal travaillé)	Coefficient de frottement	Traitements de surface Traitement superficiels
Stabilité dimensionnelle	Eviter les déformations dimensionnelles de l'outil dans le temps et/ou sous l'action de contraintes extérieures et/ou lors d'un traitement de surface	Taux d'austénite résiduelle	Traitements dans la masse Matière



Traitements thermiques

On peut classer les traitements thermiques en 2 catégories:

➤ Les traitements dans la **masse**

- Tels que les recuits – trempe et revenu

➤ Les traitements thermochimiques (**superficiels**)

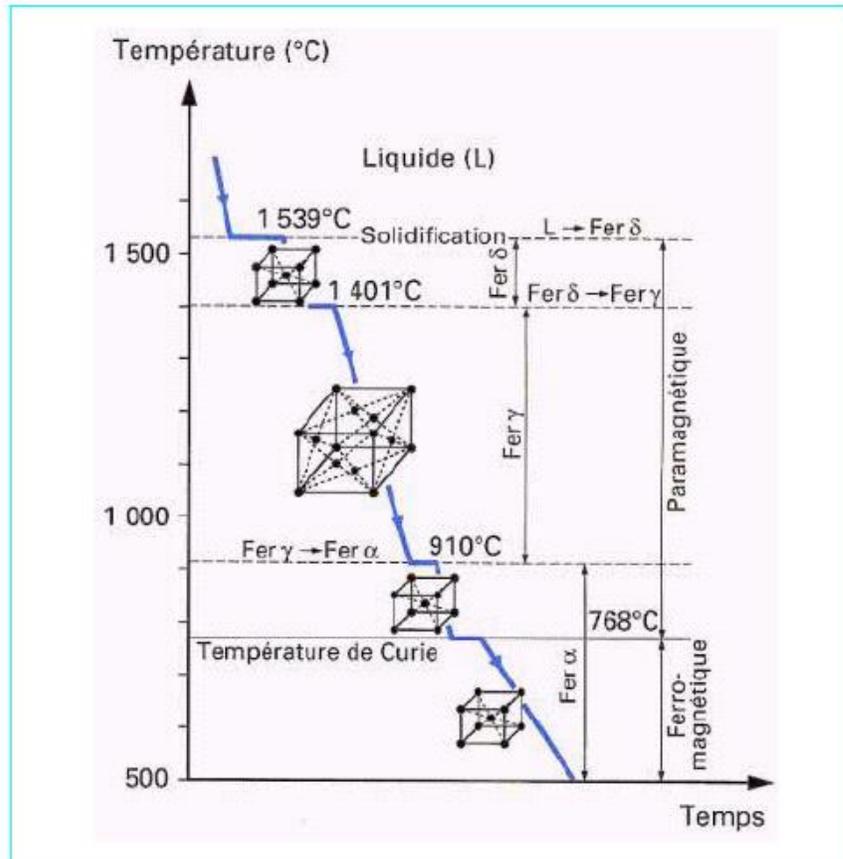
- Tels que la cémentation, la carbonituration et la nitruration et la nitrocarburation



La Trempe



Phénomènes métallurgiques



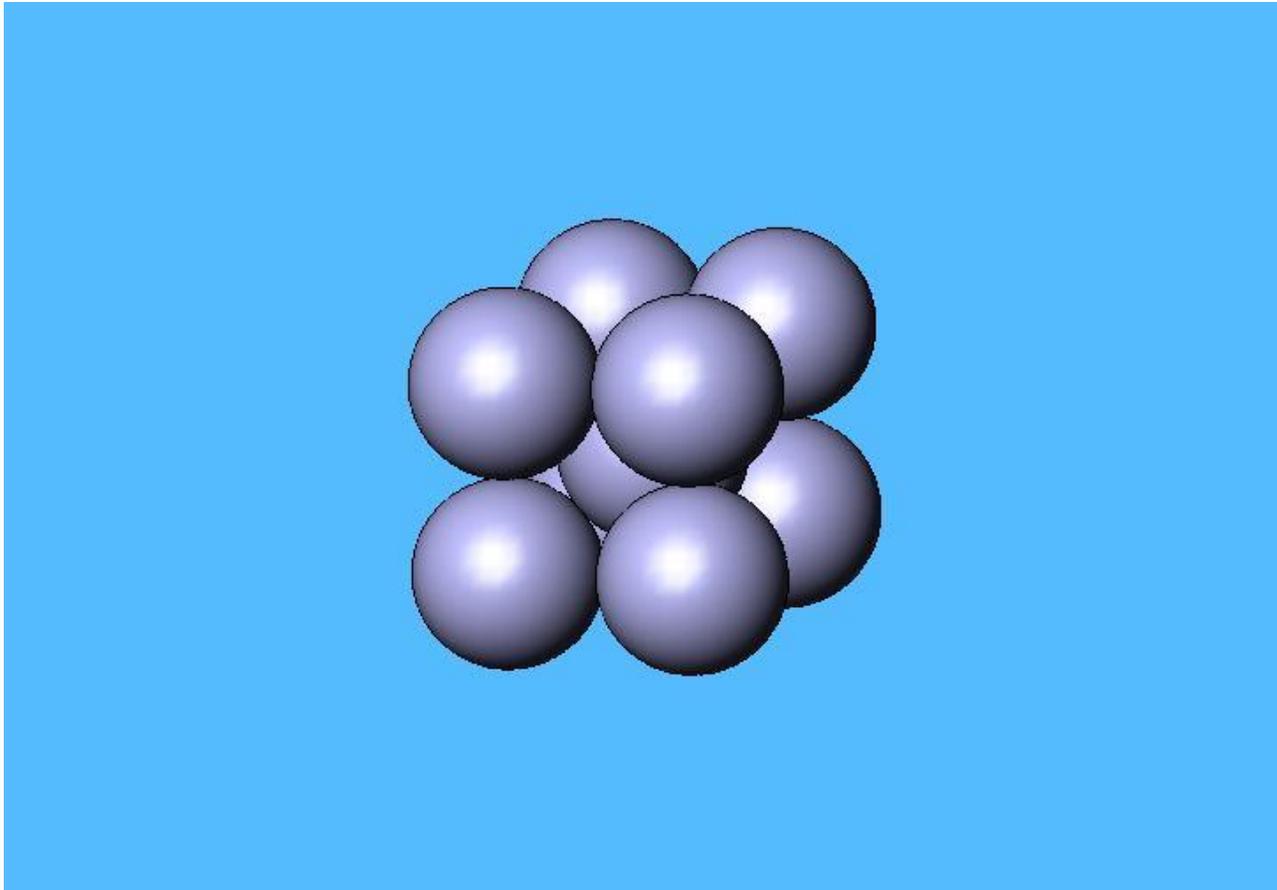
Techniques de l'ingénieur

Figure 1 - Transformations allotropiques du fer pur au refroidissement



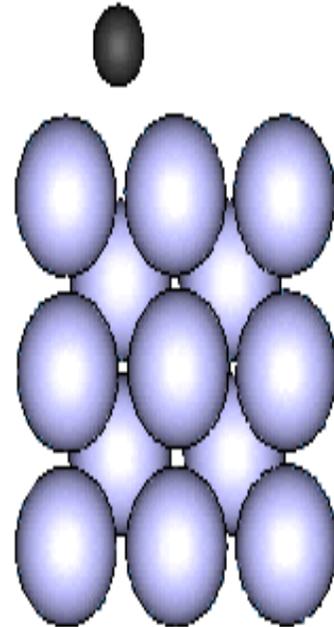
Mécanisme de durcissement

Maille de Fer α



Mécanisme de durcissement

Insertion du carbone dans la Maille de Fer α



Mécanisme de durcissement

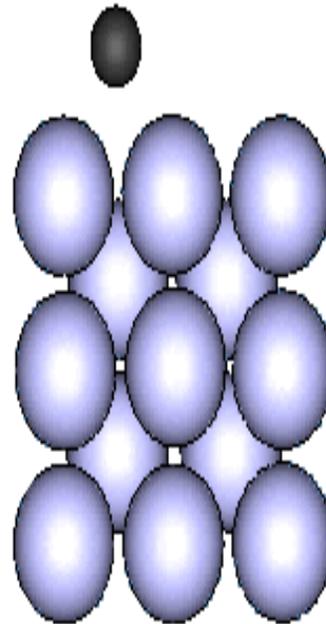
Insertion du carbone dans la Maille de Fer α

L'atome de carbone en noir

**N'a pas la place pour
s'insérer dans le réseau**

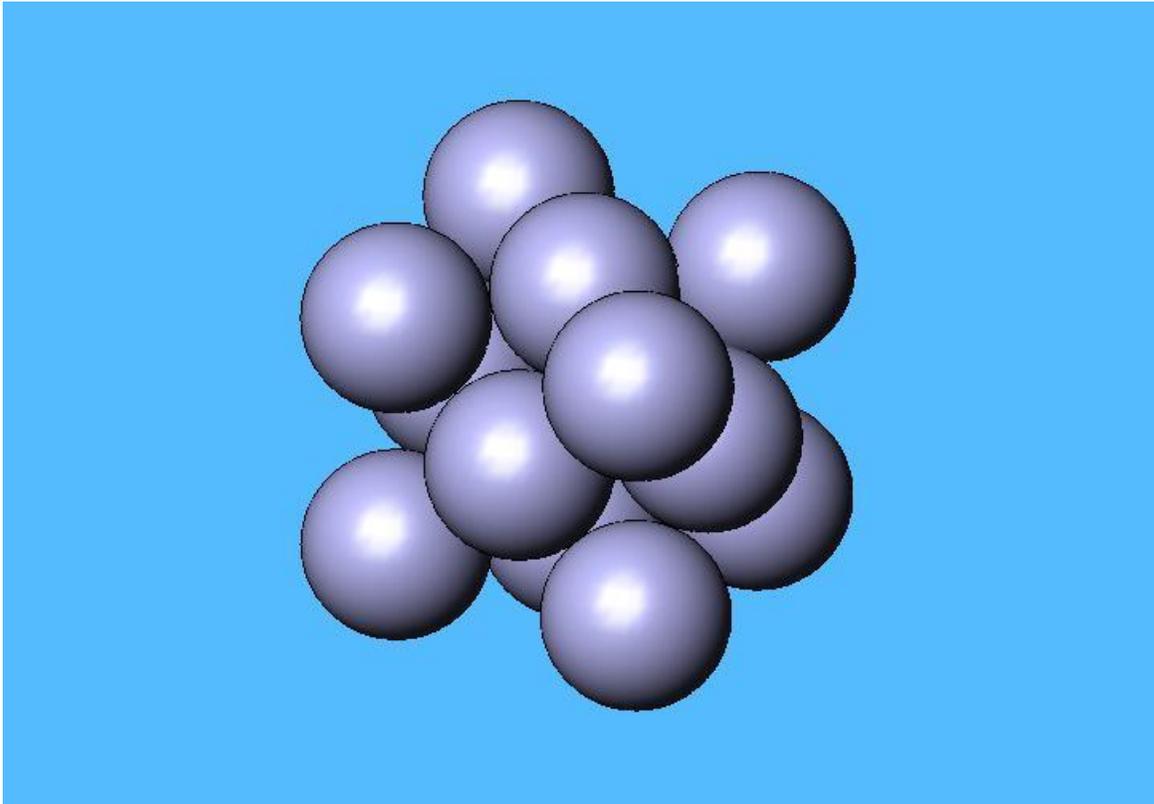
**Il a une très faible solubilité
dans le Fer α**

0,02 %



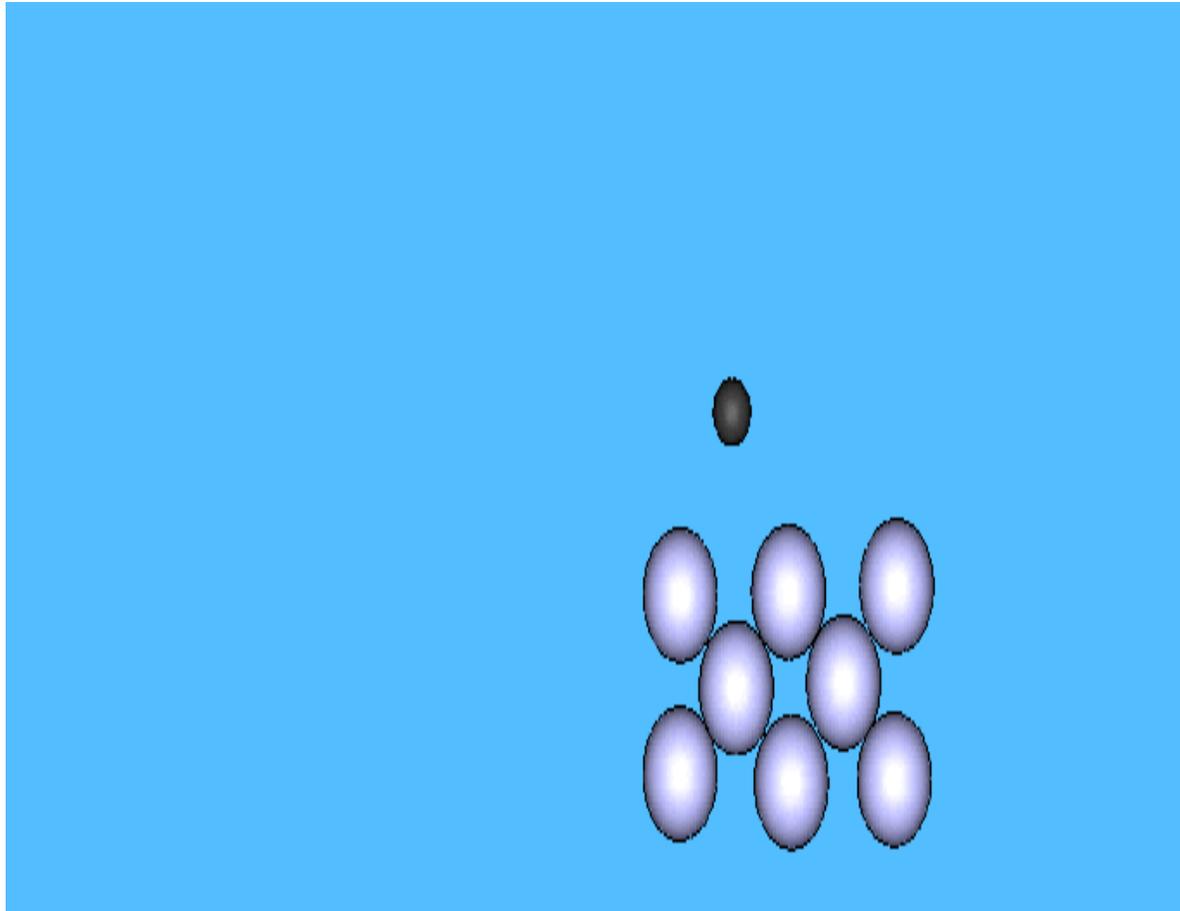
Mécanisme de durcissement

Maille de Fery



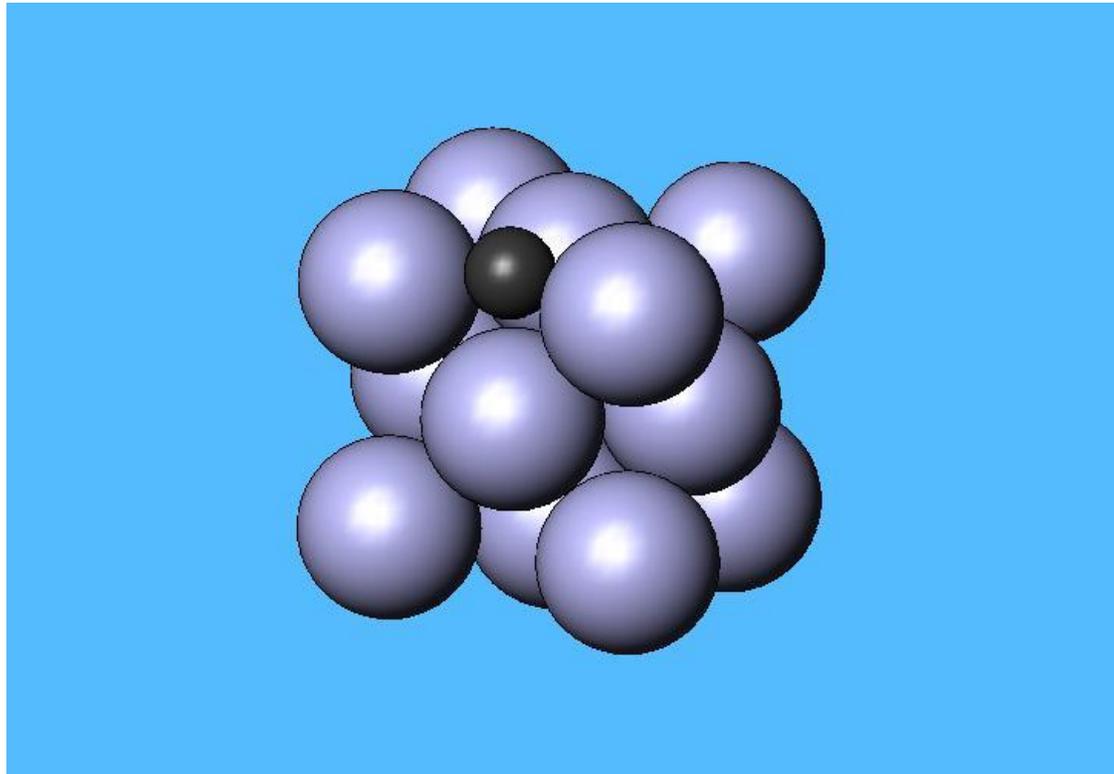
Mécanisme de durcissement

Insertion du carbone dans la Maille de Fer γ

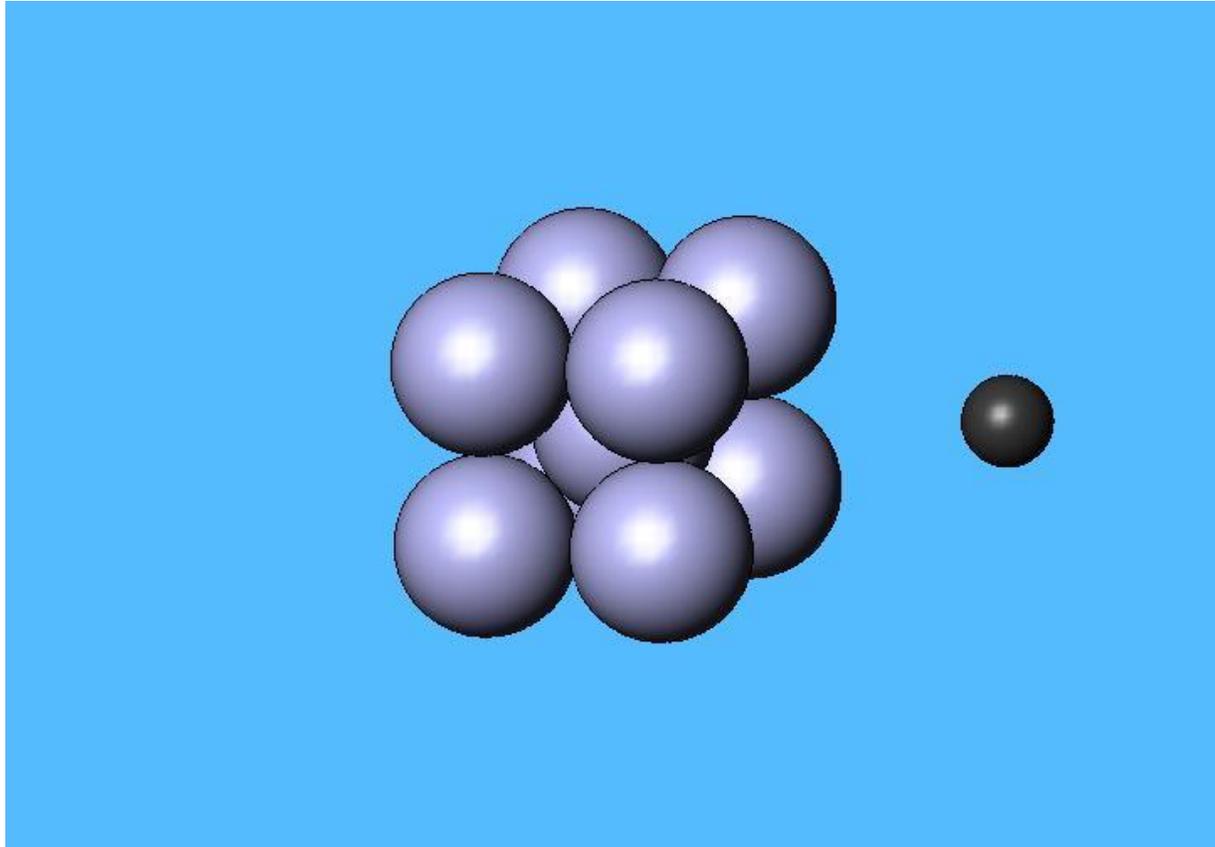


Insertion du carbone dans la Maille de Fer γ

Le carbone peut s'insérer dans la maille

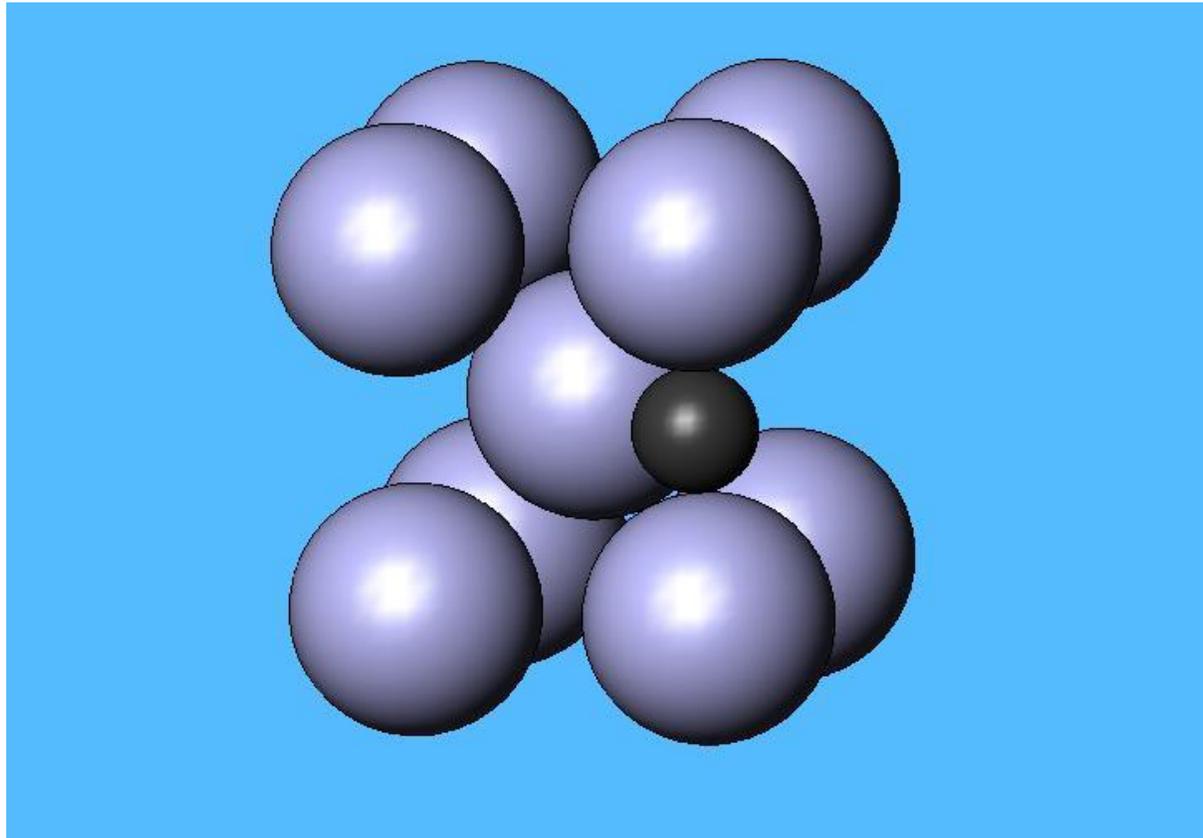


Si le refroidissement est lent



Mécanisme de durcissement

Si le refroidissement est rapide

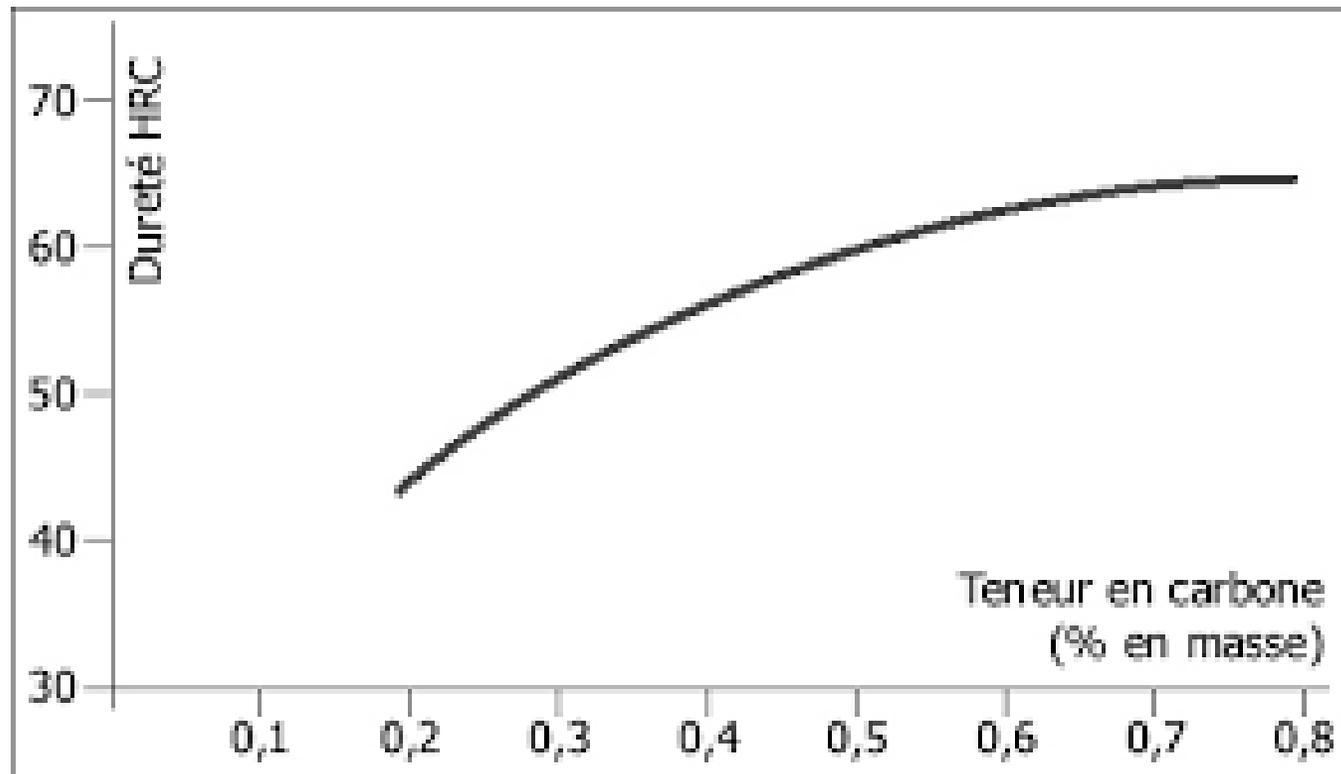


La trempe

- C'est mettre le carbone en solution dans le fer gamma et refroidir assez rapidement pour qu'il reste piégé dans la maille



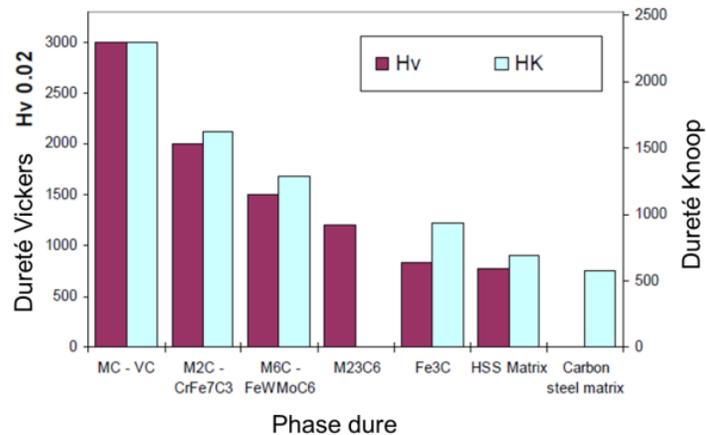
Dureté en fonction de la teneur en carbone



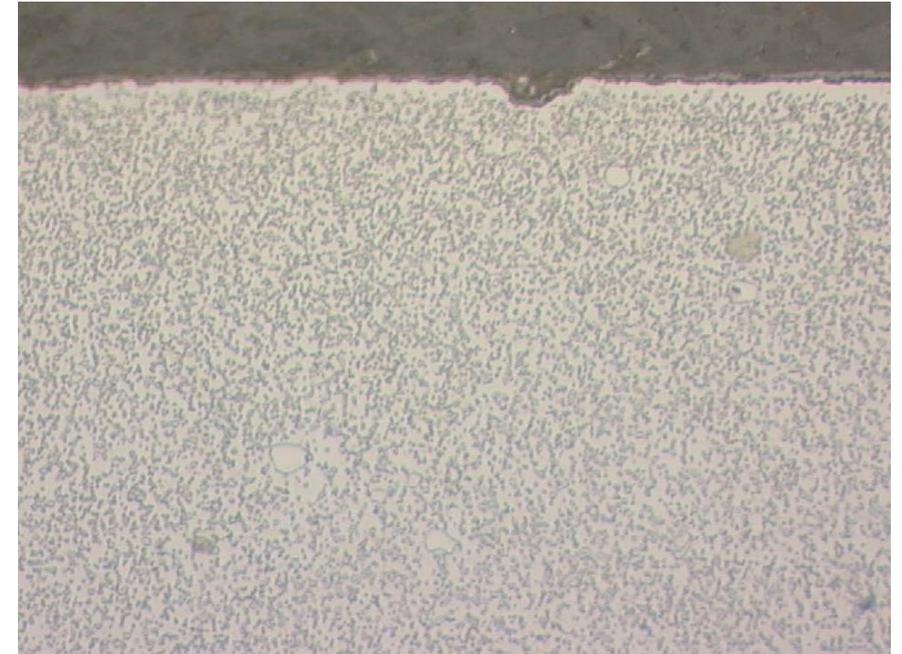
Austenitisation

Pour tremper ce type d'alliage il faut donc austénitiser pour mettre en solution le carbone des carbures
 La dissolution de ces carbures dépend de la température et du temps
 M3C et M23C6 (Cr, W, Mo, Fe) commencent à se dissoudre à 800°C pour M3C
 900°C pour M23C6 (dissolution totale 1130°C pour les 2 types)
 M6C et MC sont des carbures primaires et ne se dissolvent que partiellement

Les duretés de ces carbures varient de 800 À 3000 Hv



Ferrite (Fer α + carbures MxCy)



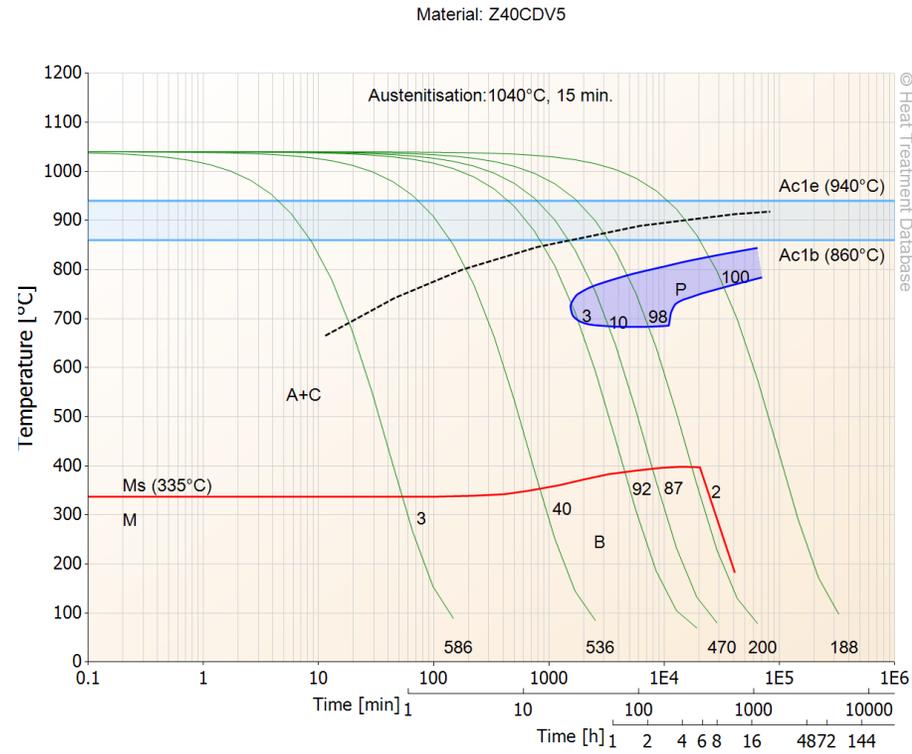
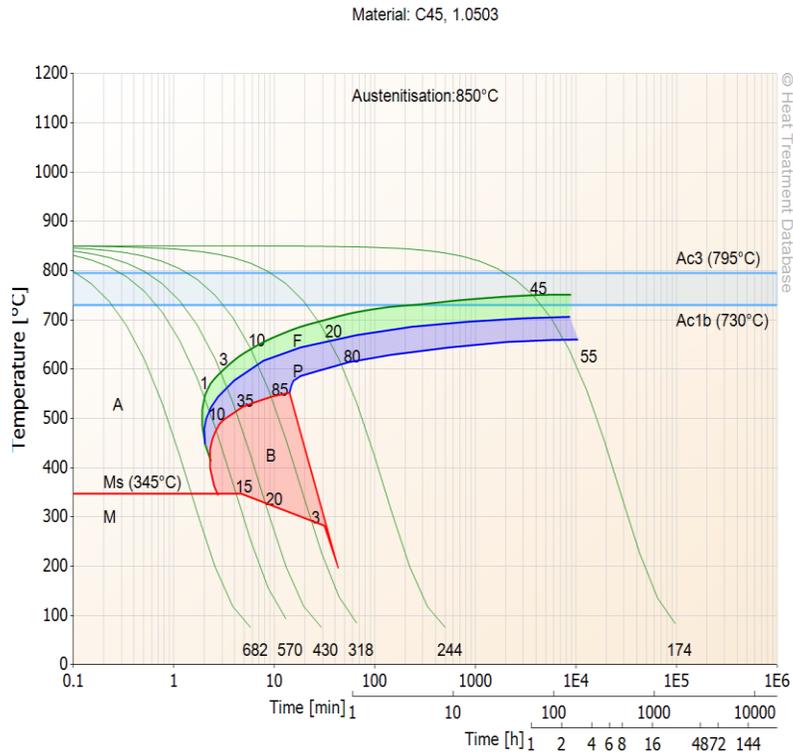
La température d'austénitisation(trempe) à une incidence capitale sur la structure et donc sur les caractéristiques de l'outil



Le refroidissement



Trempabilité



C'est la capacité de l'alliage à tremper

Plus la trempabilité est élevée plus long est le temps de refroidissement possible sans former d'autres structures que la martensite

Plus la pièce est massive plus la trempabilité de l'alliage choisi doit être élevée
plus la vitesse de trempe pourra être lente



La trempe (Milieux)

- Le refroidissement

- Eau
- Huile
- Sel
- Gaz



Plus rapide

Plus lent

Le choix du milieu de trempe dépend principalement

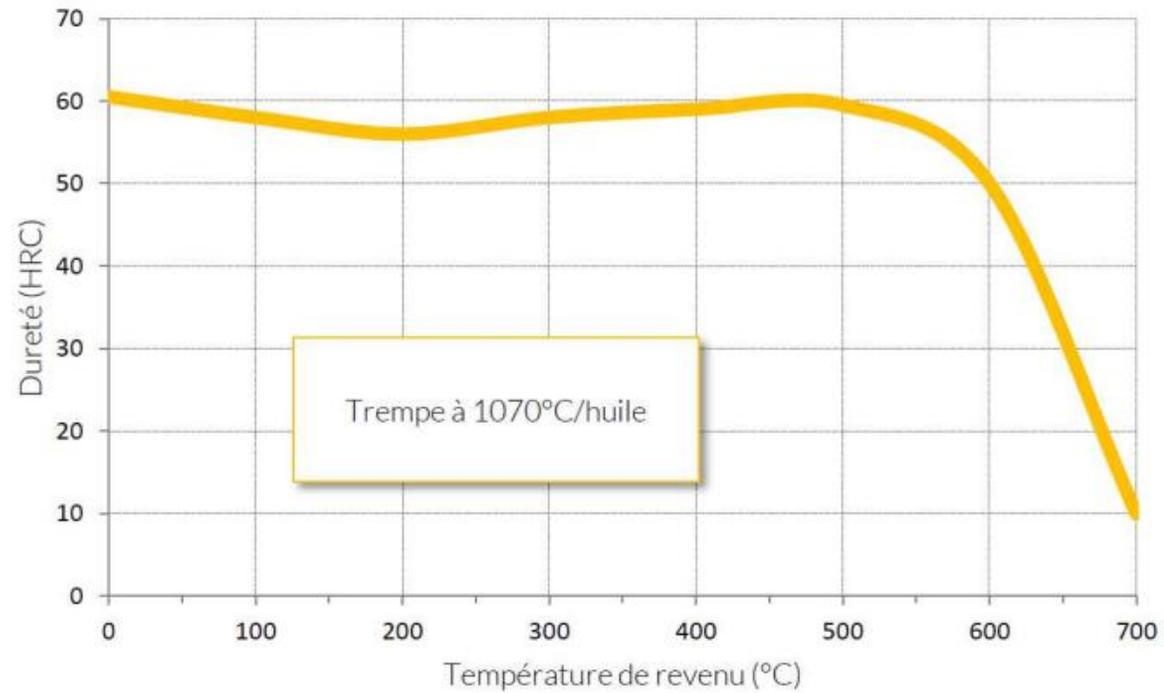
- De la nuance d'acier
- De la géométrie de la pièce et de la charge
- Des critères de déformation
- Des critères d'aspect



Le revenu

SP360

Courbe de revenu



LES ATMOSPHERES DE TRAITEMENT



- Pour les **traitements dans la masse**

On ne cherche qu'à modifier la structure sans modifier la composition chimique de la surface des pièces.

- ✓ **l'atmosphère doit protéger la surface de la pièce, cas de la trempe, recuit, revenu**



Les traitements dans la masse (durcissement)

Trempe+Revenu , mise en solution

A haute température pour les traitements dans la masse il faut éviter les phénomènes :

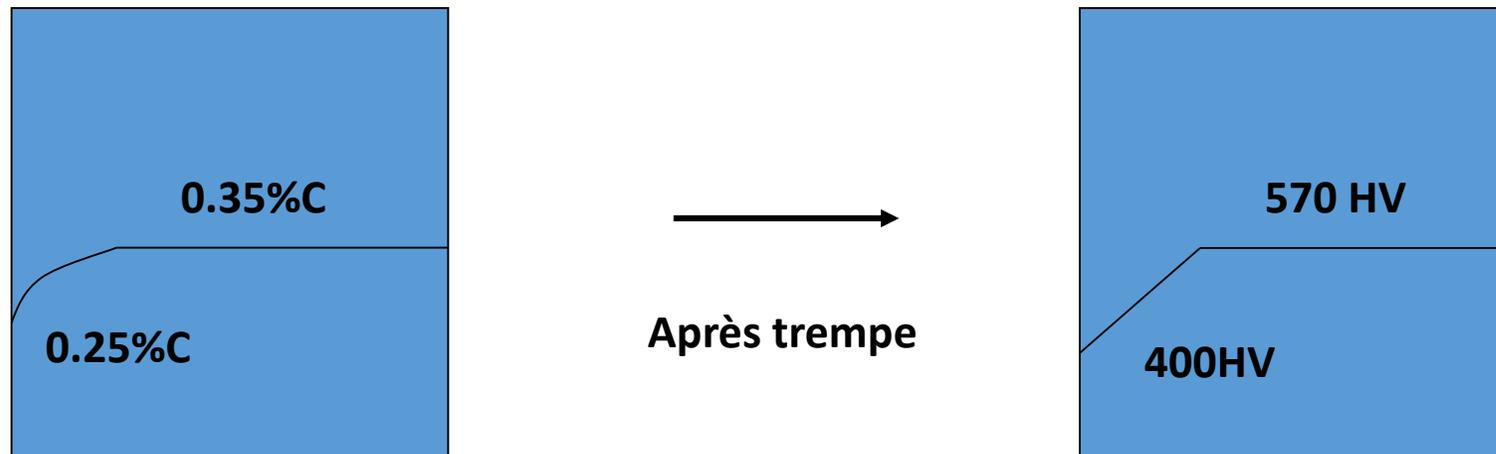
- Oxydation
- Décarburation
- Carburation (cémentation)



Les traitements dans la masse

Le phénomène de décarburation

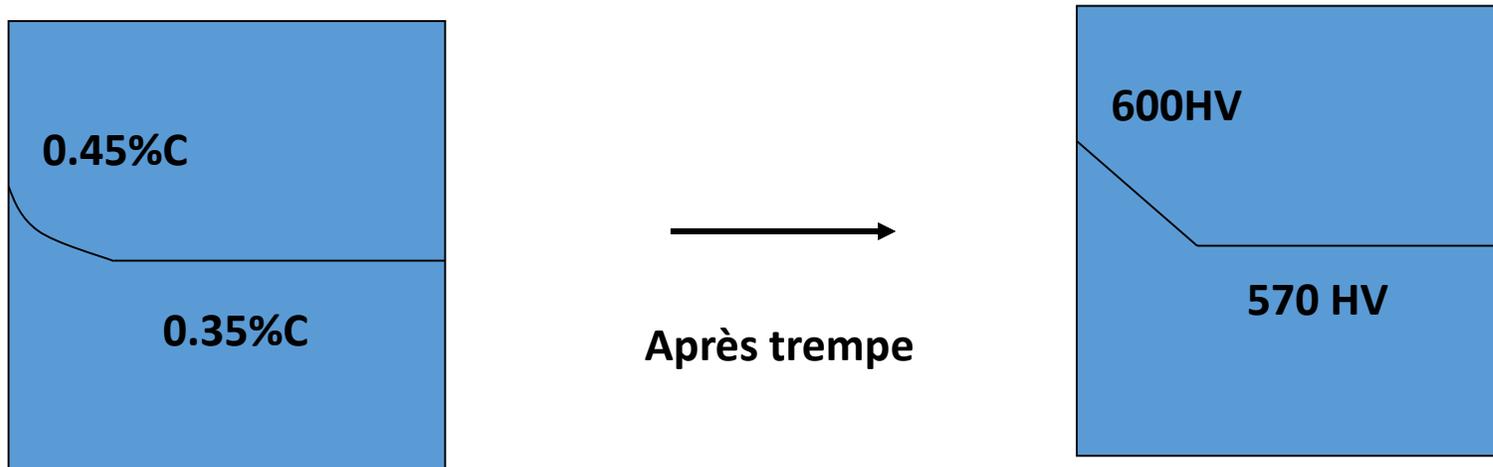
- **Conséquence : chute de la dureté superficielle après trempe**



Les traitements dans la masse

Le phénomène de carburation

- **Conséquence : augmentation de la dureté superficielle après trempe**



- **Pour les traitements thermochimiques on modifie volontairement la composition chimique de la surface** en plus de la structure.
 - ✓ Par diffusion de carbone dans le cas d'une cémentation
 - ✓ L'atmosphère doit ramener du carbone vers la surface de la pièce
 - ✓ Par diffusion de carbone et d'azote dans le cas d'une carbonituration
 - ✓ L'atmosphère doit ramener du carbone et de l'azote vers la surface de la pièce
 - ✓ Par diffusion d'azote seul dans le cas d'une nitruration
 - ✓ L'atmosphère doit ramener de l'azote et du carbone vers la surface de la pièce
 - ✓ Par diffusion d'azote et de carbone dans le cas de la nitrocarburation
 - ✓ L'atmosphère doit ramener de l'azote et du carbone vers la surface de la pièce



Les atmosphères

On distingue 3 types d'atmosphères de protection

- Les atmosphères dites neutres
- Les atmosphères réactives non pilotables
- Les atmosphères réactives pilotables



Les atmosphères neutres

Ces atmosphères sont inertes par rapport aux métaux, à leurs oxydes et au carbone dissous dans l'acier

Tels que:

➤ Les gaz rares tels que l'argon ou l'hélium

➤ L'azote

A savoir que l'azote est neutre par rapport à l'acier qu'en dessous de 1000°C et fortement réactif vis-à-vis de certains métaux tels que le titane

➤ Traitements sous vide



Les atmosphères réactives



Les atmosphères réductrices non pilotables

Les gaz réducteurs utilisés seuls

Les gaz réducteurs utilisés seuls:

- Il s'agit principalement d'hydrogène (H₂)
- Le monoxyde de carbone seul n'est pas utilisé.
- Ammoniac craqué

Dans ce dernier cas on obtient un mélange à 75%H₂ et 25% N₂



Les atmosphères réductrices non pilotables

Les gaz réducteurs utilisés seuls

Utilisation:

- On l'emploie pour la «trempe»/revenu de métaux/aciers ou d'alliages oxydables à chaud ou pour le recuit .
- Pour le traitement thermique on utilise les qualités hydrogène 45 et 50.
 - Qualité 45 : O₂ < 2ppm et H₂O < 5 ppm
 - Qualité 50 : O₂ < 2ppm et H₂O < 3 ppm

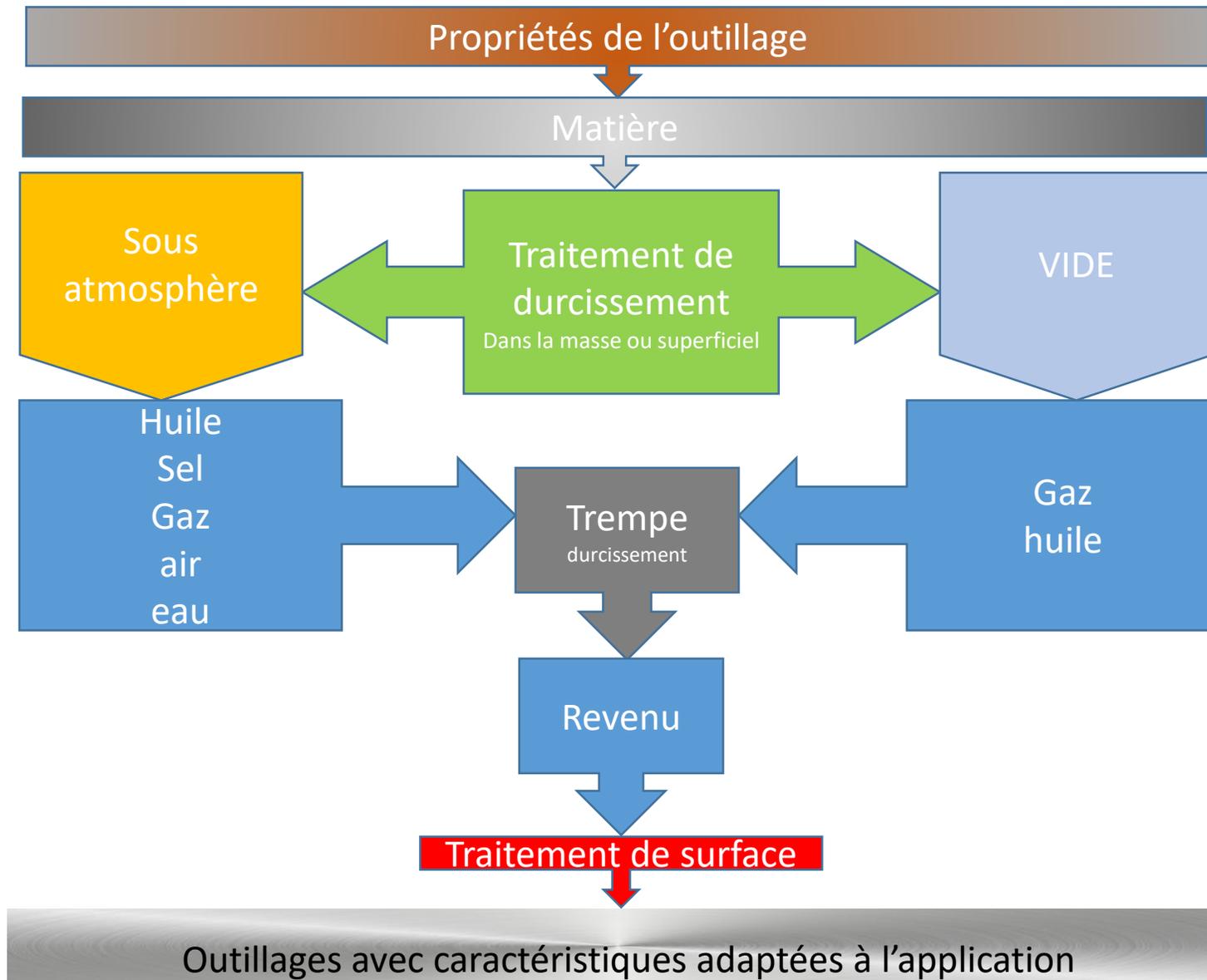


➤ Les atmosphères réactives pilotables

- Dans le cas des traitements thermo-chimiques destinés à modifier les propriétés métallurgiques de la surface du métal (cémentation, recuit décarburant, nitruration, carbonitruration),
- L'atmosphère doit véhiculer et renouveler des espèces qui interagissent chimiquement avec le métal traité.
- Les atmosphères utilisées pour ces traitements vont contenir des espèces actives,
- CO et/ou C_xH_y pour la cémentation (N_2-CH_3OH , gaz endothermique, ...)
- N_2 et NH_3 pour la nitruration, CO_2 et H_2O pour le recuit décarburant



Méthodologie de choix



Les installations

Trempe huile des aciers SYSTÈME 250 MINI



> Caractéristiques techniques

Diamètre utile : 150 à 300 mm
Hauteur utile : 150 à 350 mm
Poids brut max. : 4 à 30 kg
Température max. : 1050°C
Température huile : 80°C

Traitement sous gaz des aciers inox SYSTÈME BERTONCELLO



> Caractéristiques techniques

Largeur utile : 45 à 300 mm
Hauteur utile : 30 à 100 mm
Nombre de bandes : 1 à 3 bandes
Température max. : 1100°C
Longueur chauffante : de 550 à 2200 mm
Type de gaz : N₂/H₂, NH₃

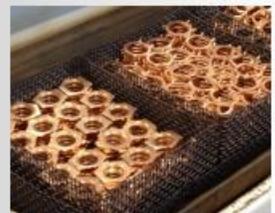
Trempe sous vide des aciers à outils SYSTÈME CS/HT-S1



> Caractéristiques techniques

Largeur utile : 200 à 300 mm
Hauteur utile : 150 à 250 mm
Profondeur utile : 300 à 400 mm
Poids brut : 20 à 40 kg
Température max. : 1200°C
Niveau du vide : 1x10⁻² (option pompe diffusion)
Chauffage : graphite (option molybdène)

Traitement des métaux précieux SYSTÈMES 280 et 340



> Caractéristiques techniques

Diamètre utile : 300 mm
Hauteur utile : 300 mm
Poids brut max. : 30 kg
Température max. : 950°C
Puissance : 15 kW - 30A
Température eau : non chauffé
Volume bac à eau : 1250 l
Encombrement au sol : 1550 x 1100 x 1800 mm

Recuit de laiton SYSTÈME CS/ILES



> Caractéristiques techniques

Largeur utile : 800 mm
Hauteur utile : 800 mm
Profondeur utile : 1000 mm
Poids brut max. : 200 kg
Température max. : 400°C
Puissance : 21 kW - 40A
Encombrement au sol : 1600 x 1700 x 2200 mm

Fours à pelle SYSTÈME 170/175



> Caractéristiques techniques

Trempe : huile/gaz
Température max. four : 950/1050°C
Température max. huile : 70°C
Puissance : 3 kW
Encombrement au sol : 1840 x 690 x 1600 mm



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

