

6 - La CEMENTATION

1

6-1 Traitements thermochimiques de diffusion

— Les traitements thermiques propres (Trempe - revenu - recuit) apportent des modifications uniquement dues à l'action du chauffage et du refroidissement.

⇒ Les traitements thermiques de diffusion sont des traitements par lesquels **on modifie la partie superficielle** d'un métal par diffusion d'un élément (carbone, azote, ...) à partir de sa surface.

* Cette diffusion est réalisée en utilisant un produit convenable et s'effectue à température assez élevée.

* Ces traitements peuvent être suivis d'un traitement thermique classique.

6-2 La Cémentation

6.2.1 Principe : —

La cémentation a pour but de créer une couche superficielle, enrichie en **CARBONE**, de grande dureté.

⇒ le traitement comporte deux phases :

* a) phase chimique : — Elle consiste en une diffusion de carbone à la surface d'un acier doux (0,1 à 0,2% de C).

— Elle s'effectue dans le domaine austénitique par une chauffe au dessus du point Ac3 (900° à 950°).

— A l'issue de cette étape, l'acier a atteint en surface une teneur en carbone voisine de 0,7 à 1,10% de C suivant la qualité de l'acier sur une épaisseur voisine de 2 mm.

* b) phase thermique : Elle diffère selon l'acier choisi et le mode d'apport de carbone

— Elle a pour but de durcir la couche superficielle par transformation martensitique de l'austénite.

Remarque : L'acier cémenté est donc pratiquement formé de deux types d'acier :

- un acier eutectoïde (trempé) en surface
- un acier doux au centre.

Remarque : Les pièces sont en général rectifiées après cémentation. 2
 La cémentation est le procédé de durcissement superficiel le plus utilisé.

6.2.2 Définition de la profondeur de cémentation.

* Le taux de carbone diminue progressivement de la surface au centre de la pièce.

● Définition :

On définit communément la « **profondeur de cémentation** » « **De** » comme la distance à la surface pour laquelle le taux de carbone de la couche cémentée est tombée à la valeur limite de 0,4% de C.

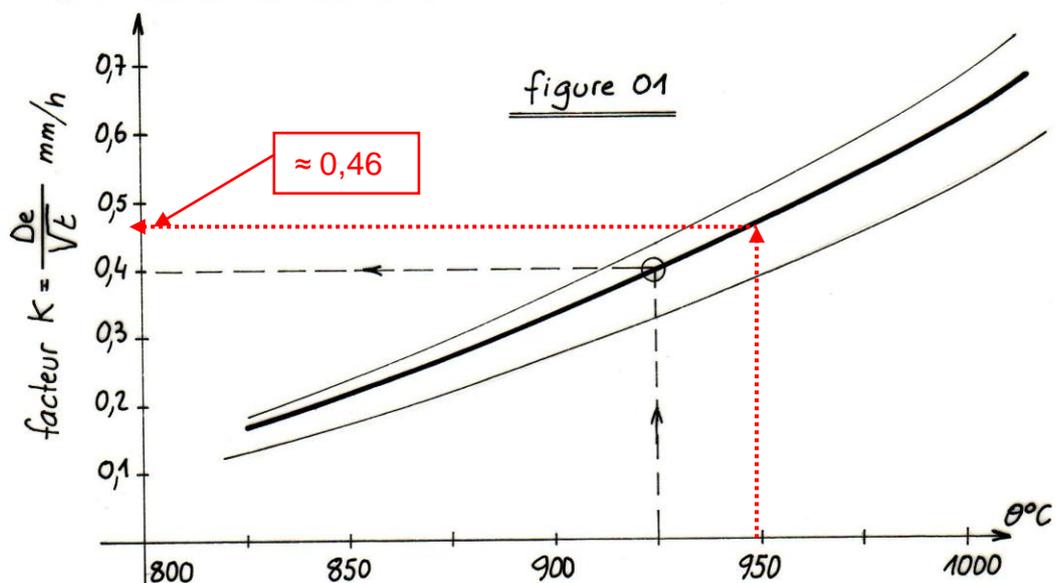
→ Cette limite de cémentation est généralement entre $\frac{1}{2}$ à $\frac{2}{3}$ de la profondeur totale de la couche cémentée.
 Elle peut être identifiée plus facilement que la profondeur totale.
 Ce pourcentage de 0,4% de Carbone, permet d'obtenir une dureté de 55 à 60 HRC, dureté limite inférieure qui puisse être envisagée lors de la cémentation.

* Croissance de la couche cémentée : La profondeur de cémentation "De" utilisable (limite 0,4% C) peut-être calculée en fonction du temps de carburation par la formule suivante :

$$D_e = K\sqrt{t}$$

De → mm.
 K → mm/heure.
 t → heure.

K : Constante dépendant de la température de chauffe
 t : durée de carburation.



Exemple 01: Une pièce en acier non allié est soumise à une cémentation à 925°C pendant 9 heures, dans des conditions qui correspondent à la courbe en trait fort de la figure 01. Quelle est la profondeur de cémentation ?

→ le tableau donne pour $\theta = 925^\circ\text{C}$ $K = 0,4 \text{ mm au bout d'une heure}$.
 $t = 9$

$$\Rightarrow De = K \sqrt{t} \quad \begin{matrix} De = 0,4 \sqrt{9} \\ De = 1,2 \text{ mm.} \end{matrix}$$

Exemple 02: Quelle sera en heures la durée de cémentation à $\theta = 950^\circ\text{C}$ d'un acier non allié pour obtenir une profondeur de cémentation $De = 1,5 \text{ mm}$.

→

La figure 01 donne pour $\theta = 950^\circ\text{C}$ une valeur de $K \approx 0,46$.
 Nous avons $De = 1,5 \text{ mm}$,

donc $1,5 = 0,46 \sqrt{t}$ (racine de t),

$$\sqrt{t} = 1,5 / 0,46,$$

$$t = (3,26)^2,$$

d'où $t = 10 \text{ h } 40 \text{ min}$.

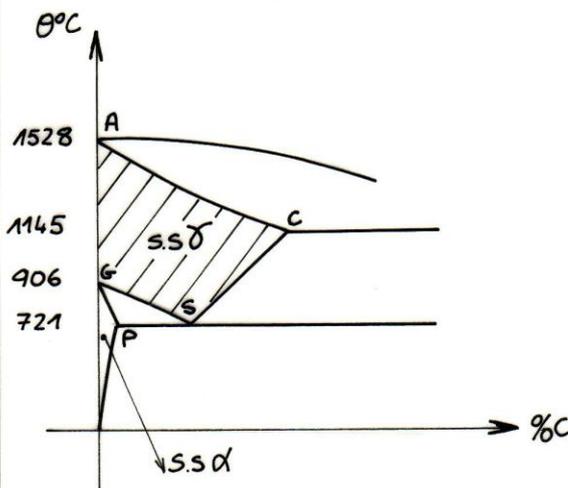
6.2.3 Procédés de cémentation des aciers

- * Pour enrichir en carbone la surface d'une pièce en acier, on dispose celle-ci au sein d'un milieu apte à lui céder du carbone. Ce milieu peut-être SOLIDE - LIQUIDE ou GAZEUX



- * Quel que soit l'état physique du ciment, le carbone est apporté par l'intermédiaire de gaz (CO et CH_4) qui au contact du Fer se décomposent en libérant le carbone qui diffuse dans le métal.

- * Le diagramme d'équilibre des alliages Fer-Carbone montre que la solubilité du carbone, pratiquement nulle dans le Fer α , devient relativement grande, dans le Fer δ , passant de 0,85% à 1,7% C de 721° à 1145°C



⇒ il est donc nécessaire de chauffer au dessus du point de transformation Ac_3 pour que l'opération soit possible.

	↖ principe ↗	↖ applications ↗																		
solide	<ul style="list-style-type: none"> • Cément de CARON : Charbon de bois (60%) + Carbonate de Baryum (40%) • Les pièces, mélangées au cément, sont réparties dans des caisses hermétiques. • Des échantillons témoins permettent de contrôler la progression de la diffusion du carbone. • Temp. de chauffe : 875° à 925° (Voir figure 02) • La Cémentation se poursuit par un refroidissement lent jusqu'à 770°, puis refroidissement rapide. Le traitement s'achève par un revenu. 	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé ancien qui nécessite des opérations délicates de manutention, des frais de combustible, et de matériel. • Maintien en température très long ⇒ provoque souvent une surchauffe des grains. • Vitesse de cémentation de l'ordre de : 0,1 mm/heure • Couche maxi cémentée : 2mm au bout de 24 heures. • Il faut 5 à 6 heures pour obtenir 0,9% C à la surface 																		
liquide	<ul style="list-style-type: none"> • Cément : Mélange de Chlorures, de carbonate de sodium et de potassium de cyanure de sodium et de composés de baryum jouant le rôle de catalyseurs. • Température d'utilisation des bains liquides : 850° à 950°C. • Installation (Voir figure 03) • La cémentation se poursuit par un refroidissement rapide. Elle s'achève par un revenu. 	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé plus rapide que la cémentation solide ou gazeuse • Elle présente moins de risque de surchauffe du grain • Elle évite un traitement de régénération • Durée de cémentation faible : 0,5mm au bout de 3/4 heure 1mm au bout de 2 heures 2mm après 6 heures • Procédé qui permet d'obtenir une couche cémentée très homogène • Il est utilisé pour le traitement de petites pièces (machines à écrire...) et pour la cémentation locale des grosses pièces (matériel chemin de fer) 																		
gazeuse	<p>Le cément est une atmosphère gazeuse constituée d'un gaz support réducteur et d'un gaz enrichisseur.</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="5">SUPPORT.</th> <th>ENRICH.</th> </tr> <tr> <th>CO₂</th> <th>C.O</th> <th>CH₄</th> <th>H₂</th> <th>N₂</th> <th>C₃H₈</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,5%</td> <td>23%</td> <td>1%</td> <td>40%</td> <td>30,5%</td> <td>5%</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> • Température de cémentation : 930° • Le refroidissement peut-être étagé : → lent jusqu'à 825° (dans le four) puis rapide (dans l'huile) • Le durcissement est obtenu par trempe 	SUPPORT.					ENRICH.	CO ₂	C.O	CH ₄	H ₂	N ₂	C ₃ H ₈	0,5%	23%	1%	40%	30,5%	5%	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé rapide, précis et économique, surtout applicable aux grandes séries. • La vitesse de cémentation est de l'ordre de : 0,4 mm/heure.
SUPPORT.					ENRICH.															
CO ₂	C.O	CH ₄	H ₂	N ₂	C ₃ H ₈															
0,5%	23%	1%	40%	30,5%	5%															
↖ Procédés de cémentation ↗																				

figure 02 : Caisse à cémentation

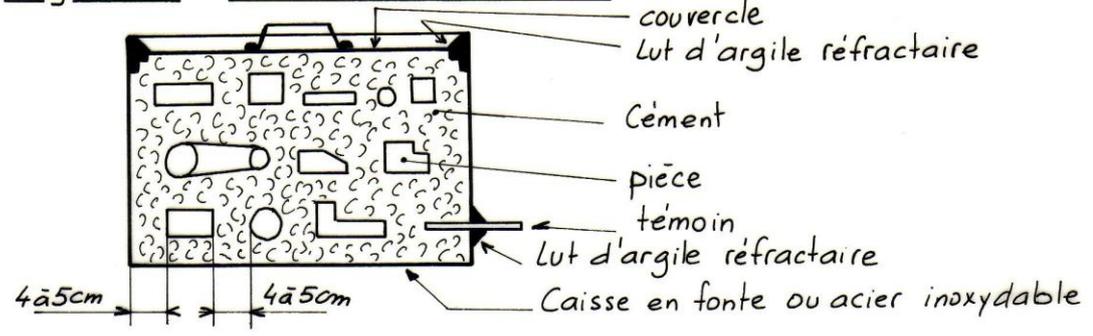
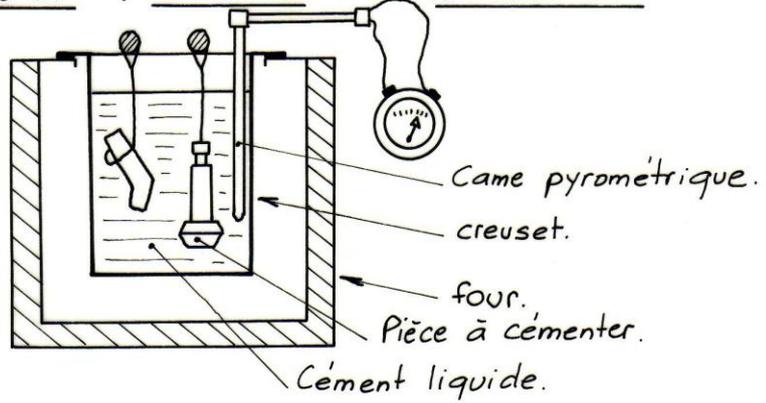


figure 03 : Bain de cémentation



6.2.4 Aciers de cémentation — En pratique, il est possible de satisfaire à tous les besoins avec 3 nuances d'acier de cémentation.

NUANCES	OBSERVATIONS
Acier extra-doux au carbone XC 10 f XC 20 f	<ul style="list-style-type: none"> On choisit économiquement cette nuance pour toutes les pièces devant résister à l'usure mais n'ayant pas de grands efforts à transmettre. → cames, galets de poussoirs, rotules de direction, axes de pignons
Acier de cémentation au Nickel. 10 N 8 f 10 N 6 f	<ul style="list-style-type: none"> L'acier extra-doux à 2% de Nickel est devenu l'acier type de cémentation. Il fut le premier acier spécial destiné à l'automobile. La liaison entre la couche cémentée et l'âme est bien dégressive ce qui annule la tendance à l'écaillage. Résilience élevée → pièces cémentées de sécurité : axes de fusées, vis de direction, pièces soumises aux vibrations.

<p>Acier doux au nickel-chrome</p> <p>10 NC 11 h</p> <p>16 NC 11 h</p>	<p>Le Nickel augmente la tenacité Le chrome améliore la dureté</p> <p>⇒ on obtient des aciers traités non fragiles de haute résistance. Opération à température plus basse et moins de risque de surchauffe du grain.</p> <p>→ Pour toutes pièces particulièrement aptes à résister à l'usure : arbres à cames, pignons coniques, pignons de changement de vitesses, de ponts A-R, axes de pistons.....</p>
<p>Acier doux au chrome-molybdène avec moins de 1,6% de Nickel</p> <p>16 NCD 4 h</p>	<p>Pour tout organe mécanique plus sollicité</p>

6.3 Traitements après cémentation

6.3.1 Acier au carbone

Le chauffage prolongé, à haute température, provoque généralement un grossissement du grain.

⇒ L'intérieur de la pièce [âme] présente une fragilité notable.

→ On applique, généralement, un traitement dit de " **DOUBLE TREMPE** " se déroulant en 2 phases.

* 1^o) PHASE :

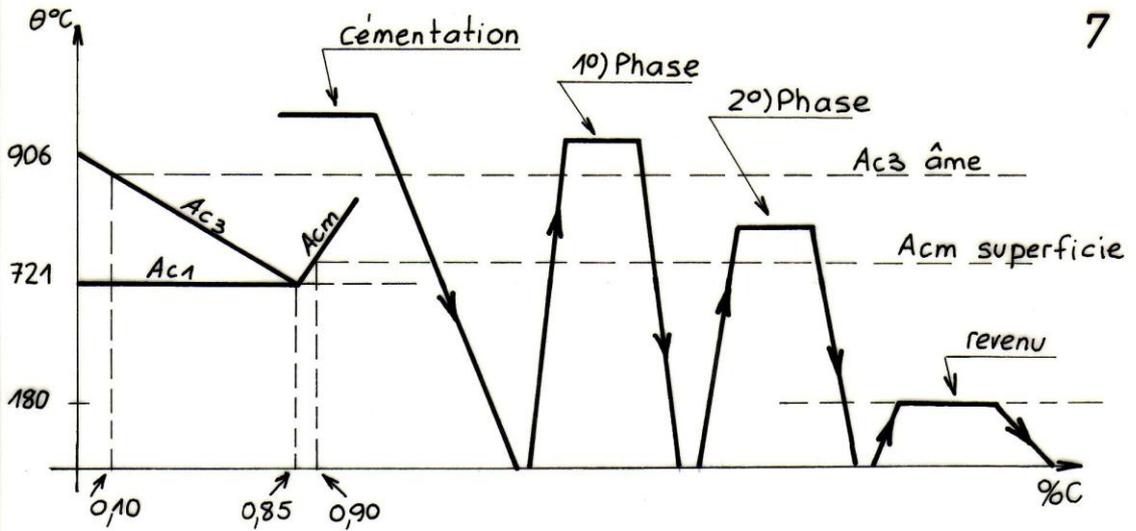
— Recuit de régénération
— chauffage rapide à $A_{c3} + 50^{\circ} = 925^{\circ}C$ suivi généralement d'une trempe à l'eau

NB: La trempe à $925^{\circ}C$ n'a aucun effet sur la couche superficielle à 0,9% C.

* 2^o) PHASE :

— Le point A_{cm} de la couche superficielle (0,9% C) se situe à environ $725^{\circ}C$
— Un chauffage à $770^{\circ}C$ suivi d'une trempe à l'eau améliore la couche superficielle qui se trouve alors à l'état de martensite et présente une dureté optimale

NB: Le chauffage à $770^{\circ}C$ constitue un léger revenu pour l'âme de la pièce dont la résilience se trouve améliorée



Remarque: On achève parfois le traitement par un revenu de relaxation à basse température.

6.3.2 Aciers alliés

Les aciers de cémentation sont généralement des aciers faiblement alliés (Ni - Cr - Mo).

⇒ Grains plus fins.

⇒ Température de cémentation plus faible, Ac3 est abaissé par la présence du Ni et du Cr.

→ Le traitement thermique consiste généralement en une seule trempe à l'eau ou à l'huile à 750°C

