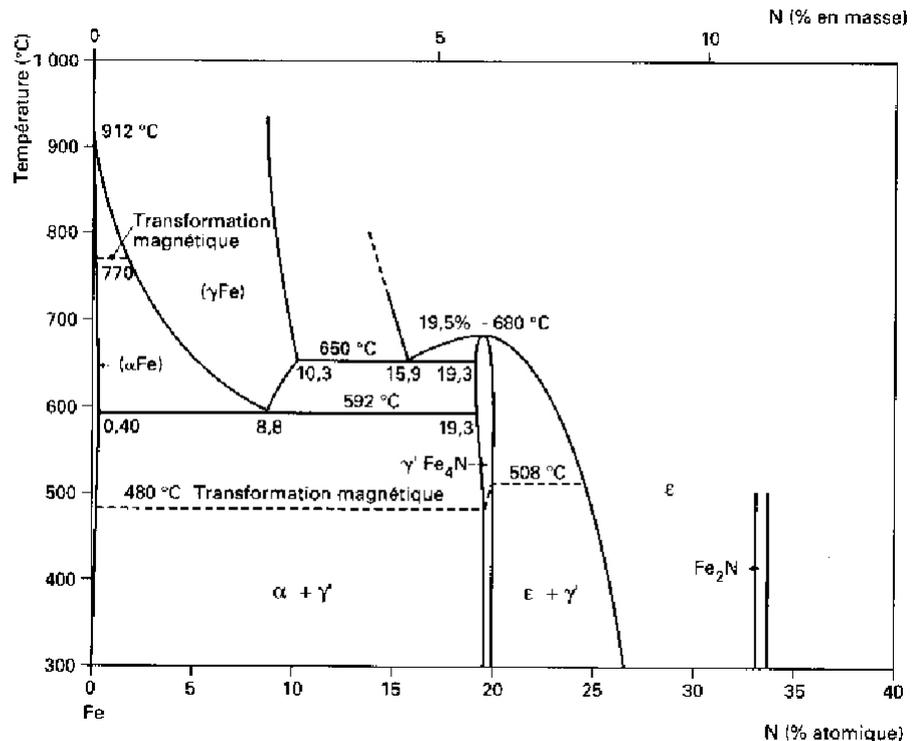


## Nitruration des aciers

La nitruration s'effectue en général vers 550 °C. Il s'agit d'un traitement superficiel qui n'affecte pas le cœur de la pièce. La dureté en surface est très améliorée ainsi que le glissement. Les dimensions de la pièce ne sont pas affectées et un autre traitement thermique n'est pas utile.

### 1. Le diagramme fer-azote

On a le diagramme suivant en pourcentage atomique :



La phase la plus riche est la phase  $\epsilon$   $\text{Fe}_2\text{N}$ . Sa structure est hexagonale avec en moyenne 2 ou 3 atomes d'azote en insertion par maille.

On a ensuite la phase  $\gamma'$   $\text{Fe}_4\text{N}$  de structure cubique faces centrées avec un atome d'azote au centre de la maille.

On retrouve ces 2 phases  $\epsilon$  et  $\gamma'$  dans la couche superficielle sur une épaisseur de 20  $\mu\text{m}$ . Elles constituent la couche blanche qui est fragile.

Au-delà, plus en profondeur, on a la couche de diffusion avec une solution solide d'insertion de l'azote dans le fer  $\alpha$  qui atteint entre 0,5 mm et 1 mm.

Le coefficient de diffusion est  $D = 6,6 \cdot 10^{-7} e^{-\frac{9360}{T}} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . La durée du traitement est de plusieurs dizaines d'heures. En ordre de grandeur, il faut 100 h pour avoir une épaisseur de 1 mm de la couche de diffusion.

### 2. Les différents traitements

#### a. La nitruration gazeuse

L'ammoniac se dissocie suivant la réaction :  $2 \text{NH}_3 \Leftrightarrow \text{N}_2 + 3 \text{H}_2$  avec  $K_p = \frac{p_{\text{N}_2} p_{\text{H}_2}^3}{p_{\text{NH}_3}^2}$

et  $\Delta G_0^T = 92300 - 198,3 T$ . La réaction est endothermique. Quand la température augmente, la réaction de dissociation est favorisée de même que lorsque la

pression  $p$  diminue. Pour avoir de l'azote, il faut donc être plutôt à haute température et à basse pression.

On a le tableau suivant pour lequel  $\alpha$  est l'avancement de la réaction :

$2 \text{ NH}_3$	$\Leftrightarrow$	$\text{N}_2$	$3 \text{ H}_2$
1		0	0
$1 - \alpha$		$\frac{1}{2} \alpha$	$\frac{3}{2} \alpha$

Ainsi, on a :  $p_{\text{NH}_3} = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} p$ ,  $p_{\text{N}_2} = \frac{\frac{1}{2}\alpha}{1+\alpha} p$  et  $p_{\text{H}_2} = \frac{\frac{3}{2}\alpha}{1+\alpha} p$ .

On en déduit :  $K_p = \frac{27}{16} \frac{\alpha^4}{(1+\alpha)^2(1-\alpha)^2} p^2$

Exemples :

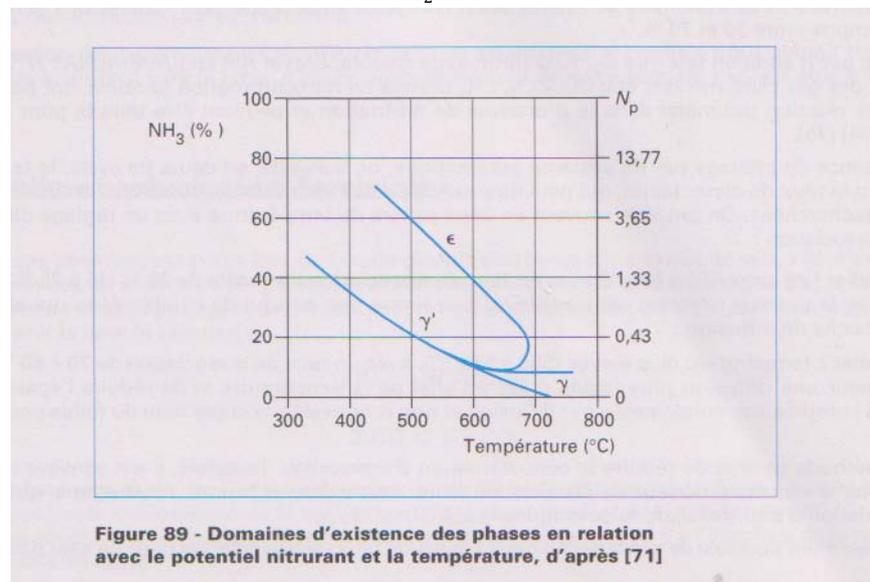
- pour  $p = 1$  bar et  $\alpha = 0,05$ , on obtient  $K_p = 1,06 \cdot 10^{-5}$  et  $T$  proche de la température ambiante
- pour  $p = 1$  bar et  $\alpha = 0,5$ , on obtient  $K_p = 3 \cdot 10^4$  et  $T = 550$  °C

On réalise aussi les traitements dans des atmosphères d'ammoniac diluées dans l'azote.

La nitruration gazeuse est un traitement long.

Aujourd'hui, on raccourcit le temps de traitement et on améliore le contrôle du traitement à basse pression.

Remarque importante : la nitruration se fait avec de l'azote atomique  $\text{N}$  et non de l'azote moléculaire  $\text{N}_2$ . On doit donc s'intéresser à la dissociation  $\text{N}_2 \Leftrightarrow 2 \text{ N}$  d'autant moins connue qu'elle s'effectue hors équilibre. Actuellement, on admet une relation dite de Lehrer :  $\text{N} = \frac{p_{\text{NH}_3}}{p_{\text{H}_2}^{1,5}}$  dont la valeur est donnée en  $\text{bar}^{-1/2}$ .



### b. La nitruration ionique

Schématiquement, elle s'effectue par décharges électriques entre une anode et les pièces qui forment la cathode. La tension est comprise entre 300 et 1000 V.

L'atmosphère est à basse pression (10 à 100 Pa) et constituée d'azote et

d'hydrogène. L'azote se dissocie et s'ionise. Les ions  $N^+$  sont ainsi attirés par la cathode, leur énergie cinétique permet de chauffer les pièces, les décapent et pénètrent dans la couche superficielle.

Les traitements sont ainsi plus précis et plus rapides.

**c. La carbonitruration**

L'atmosphère est formée d'azote et d'un gaz cémentant endothermique. La température de traitement est comprise entre 700 et 900 °C. La pièce est donc en phase austénitique. Au refroidissement, on obtient de la martensite et le traitement sera donc suivi d'un revenu de détente en général autour de 180 °C.

On pratique aussi la sulfonitrocarburation en ajoutant du  $SO_2$  dans l'atmosphère.

La formation en plus de FeS permet de lubrifier la pièce.

**d. La nitruration liquide**

On utilise un bain de sels à base de cyanure  $CN^-$  dont on considérablement limité la concentration (aujourd'hui quelques %). Cependant les conditions environnementales et de sécurité tendent à faire disparaître ce procédé.

On a une réaction du type :  $2 NaCN + 2 O_2 \rightarrow 2 N + Na_2CO_3 + CO$