

**Traitements thermiques  
Focus de 30 min  
sur les traitements multi-fonctionnels**

**Webinar du 4 novembre 2020**



# PRESENTATION DES INTERVENANTS



**Amandine BELVITO**  
Chargée de communication  
Groupe THERMI-LYON



**Bernard SALVI**  
Directeur commercial et marketing  
Groupe THERMI-LYON

# PRESENTATION DES INTERVENANTS



**Stéphane CHOMER**

Directeur Technique du Groupe Thermi-Lyon

# DEROULEMENT DU WEBINAR

- Présentation du Groupe par Bernard SALVI.
- Focus de 30 min sur les traitements multi-fonctionnels par Stéphane CHOMER.
- Possibilité de poser des questions à droite de l'écran dans l'onglet « questions » : nos experts consacreront 15 minutes à la fin du Webinar pour vous répondre.



# ORIGINE DU GROUPE THERMI-LYON

- Entreprise familiale créée en 1960 par M. Louis Villard et dirigée depuis plusieurs décennies par la famille Monier
- Site historique implanté à Lyon-Gerland d'où notre nom
- Un des pionniers à l'origine du concept du traitement thermique à **façon** (auparavant les ateliers de traitement étaient intégrés chez les mécaniciens) : nous connaissons bien ce métier

# STRATEGIE

- Proposer un panel complet de traitements thermiques et dépôts sous vide dans toutes les technologies pour une offre objective
- Une organisation adaptée pour chaque marché de nos clients (automobile/IATF 16949-aéronautique/NADCAP-médical/ISO 13485,outillage/réactivité)
- Indépendance financière
- Développement de nos propres technologies via notre service R et D (gamme **THERMI®**- et **PLATIN'®**-)



# → Le groupe THERMI-LYON (2019)



**180**

COLLABORATEURS

**+ 5 000**

CLIENTS

**100 %**

DES SITES  
CERTIFIÉS QUALITÉ

**+20 M€**

CONSACRÉS  
AUX INVESTISSEMENTS  
SUR LES 4<sup>ÈRES</sup> ANNEES

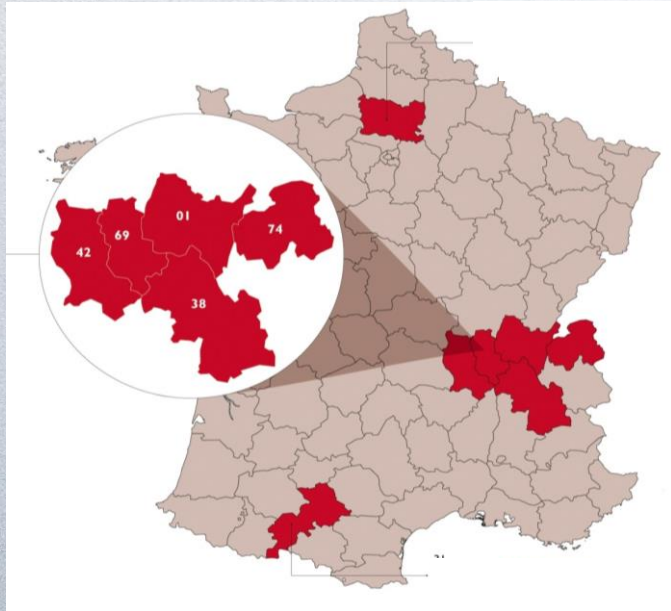
**25 M€**

DE CHIFFRE D'AFFAIRES

THERMI-LYON a su s'adapter aux évolutions de ses marchés en diversifiant ses champs d'application. Aujourd'hui, le groupe fait figure de référence dans le traitement thermique et des revêtements sous vide.

- 8 sites nationaux
- 1 site à l'international (Roumanie)

# IMPLANTATIONS: service de proximité



- ➔ 60-THERMI-PICARDIE
- ➔ 69--THERMI-LYON
- ➔ 42-THERMI-LOIRE
- ➔ 01-THERMI-BUGEY
- ➔ 38-INFRA-THERM
- ➔ 74-TREMPELEC
- ➔ 74-THERMI-PLATIN
- ➔ 31-THERMI-GARONNE
- ➔ Roumanie (Deva)THERMI-METALURGICA



# → Notre savoir faire



## COMBINER

selon l'objectif performance/coût recherché, les propriétés :

- **De surface** : par revêtement PVD,PACVD (PECVD), et DUPLEX.
  - **Superficielles** : par cémentation, nitruration ou trempe par induction.
  - **À cœur** : par trempe, revenu, hypertrempe, recuit, stabilisation.
- **Technologies**: Atmosphères contrôlées,Plasma,Vide,bains de sels,induction

Spécialiste en « surface engineering »

Nous créons de nouveaux matériaux de surface

| REVÊTEMENTS              | TRAITEMENTS SUPERFICIELS           | TRAITEMENTS DANS LA MASSE |
|--------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| Dépôts durs :            | Cémentation THERMI®-CARB           | Trempe Stabilisation      |
| - À base de Ti           | Carbonitruration                   | Revenu Détentionnement    |
| - À base de Cr           | Nitruration                        | Recuit Globulisation      |
| - À base de Ti + Al      | Nitrocarburation THERMI®-NITROX    | Hypertrempe Durcissement  |
| - À base de Ti + Al + Cr | (post-oxydation)                   | Vieillessement            |
| - À base de Ti + Si      | Sulfonitrocarburation TRIONIC 100® |                           |
| Couche tribologique :    | Durcissement des THERMI®-SP        |                           |
| Base carbone (DLC-WCC)   | aciers inoxydables                 |                           |
| THERMI®-DLC              | Trempe superficielle               |                           |

“DUPLEX”

## LES MARCHÉS D'INTERVENTION DU GROUPE THERMI-LYON

- **Outillage**  
*Fiabilité et longévité, comme impératifs de fonctionnalité.*
- **Composants**  
*Valorisation de la pièce mécanique pour vous faire gagner en compétitivité.*
- **Sports et loisirs**  
*Des solutions globales afin d'améliorer la fiabilité et la sécurité des matériaux.*
- **Médical**  
*Développer des revêtements techniques propres et biocompatibles.*
- **Aéronautique**  
*Respecter les impératifs de "On time delivery" et de "On time quality".*
- **Automobile**  
*Gagner en productivité en optimisant la consommation énergétique des process.*

# SOMMAIRE :

## RAPPELS

- Objectifs des Traitements Thermiques (TTH)
- Place des TTH dans la gamme de fabrication
- Mécanismes mis en jeu
- Principaux paramètres à maîtriser

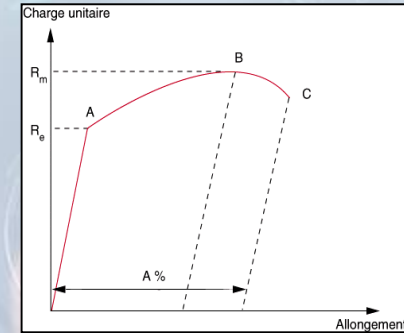
## INNOVATIONS : Focus sur les traitements multifonctionnels

- Comment améliorer simultanément plusieurs propriétés d'un acier
- Les traitements de nitruration et de nitrocarburation
- Application aux aciers standard : lutter contre l'usure et la corrosion
- Application aux aciers inoxydables : lutter contre l'usure et le grippage

# OBJECTIFS DES TRAITEMENTS THERMIQUES

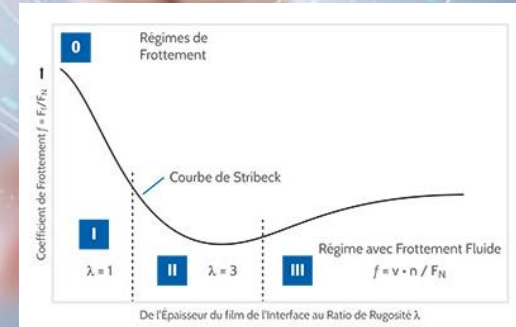
## → Ajuster les propriétés mécaniques :

- Caractéristiques mécaniques :  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $A\%$ ....
- Ténacités : KU, KV
- Tenue en fatigue



## → Améliorer certaines propriétés de surface :

- Résistance à l'usure, au grippage, au collage
- Frottement / Glissement
- Résistance à la corrosion
- Usinabilité, polissabilité



# PLACE DES TRAITEMENTS DANS LA GAMME DE FABRICATION (en rouge)



ELABORATION / COULEE / AFFINAGE

MISE EN FORME / USINAGE EBAUCHE

STABILISATION  
TREMPE + REVENU

USINAGE SEMI-FINITION

TREMPE + REVENU  
CEMENTATION + TREMPE  
TREMPE SUPERFICIELLE  
DURCISSEMENT STRUCTURAL

USINAGE FINITION

NITURATION / NITROCARBURATION

REVÊTEMENT

ASSEMBLAGE

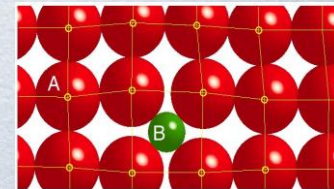
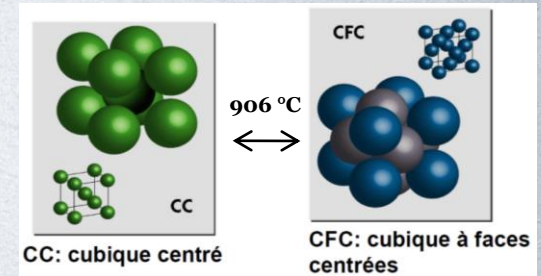
# MECANISMES MIS EN JEU A LA CHAUFFE :

## Le cycle thermique imposé à l'acier influe sur sa micro-structure :

- L'élévation de la température influe sur la mobilité des atomes.
- A partir d'une température donnée, il s'opère un changement d'organisation atomique.
- Cette modification d'organisation interne provoque un changement de volume.

## L'atmosphère influe sur la composition locale :

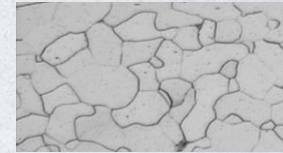
- Modification de la composition superficielle (carbone, azote, oxygène).
- Dissolution et/ou formation de précipités en surface.



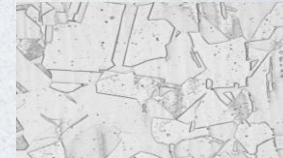
# MECANISMES MIS EN JEU AU REFROIDISSEMENT :

## Le cycle thermique imposé à l'acier influe sur les contraintes internes:

- Les conditions de refroidissement peuvent être soit :
  - Rapide et figer une organisation interne favorable aux propriétés recherchées.
  - Lente et permettre d'homogénéiser la microstructure et les contraintes.
- Dans tous les cas on observe une modification de la répartition des contraintes internes.
- L'équilibrage des champs de contraintes peut provoquer un changement de forme.



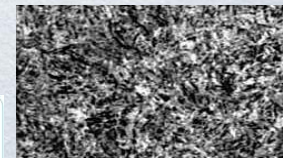
≥250MPa  
(≥90HV)  
peu fragile



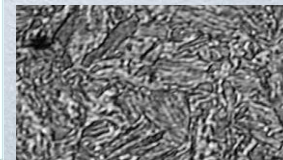
≥500MPa  
(≥150HV)  
ductile



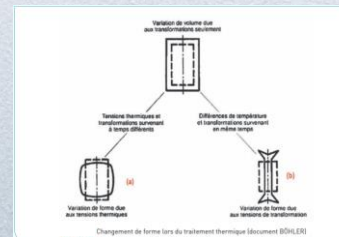
850MPa  
(260HV)  
moyennement fragile



>> 1250MPa  
(40HRC → 65HRC)  
très fragile



950MPa → 1500MPa  
(30HRC → 45HRC)  
fragile



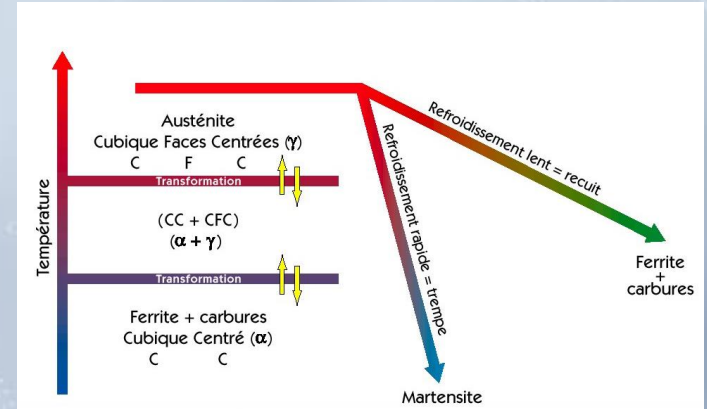
# PARAMETRES PRINCIPAUX

## → Température et temps :

- Niveau de température et homogénéité
- Temps de maintien
- Vitesse de refroidissement

## → Atmosphère :

- Type d'atmosphère et homogénéité
  - Vide
  - Pression partielle
- Type et concentration des éléments d'apport
  - Débits de gaz
  - Paramètres électriques du plasma





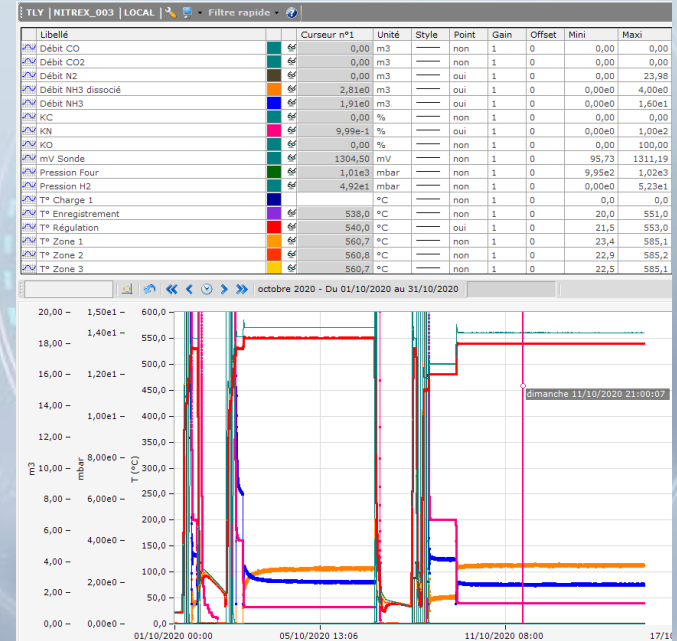
# MAITRISE DES PARAMETRES

## → Température et temps :

- Capteurs de températures
- Automates et régulateurs
- Conception des chambres de chauffe / de refroidissement

## → Atmosphère :

- Capteurs de pression
- Débitmètres
- Sondes de gaz ( $O_2$ , CO,  $CO_2$ ,  $NH_3$ ,  $H_2$ ...)
- Spectromètres



# FOCUS SUR LES TRAITEMENTS MULTIFONCTIONNELS



# Comment améliorer simultanément plusieurs propriétés d'un acier ?

# AJUSTER LES PROPRIETES SUPERFICIELLES A L'APPLICATION

- Au-delà des propriétés mécaniques à cœur, il peut être intéressant d'ajuster les propriétés de surface des aciers telles que :
- La résistance à la corrosion
  - La dureté superficielle
  - La résistance au grippage, au collage
  - L'aspect
- Pour atteindre cet objectif, on peut envisager de modifier la composition superficielle de l'acier, ou encore de déposer en surface un revêtement ayant des propriétés particulières.
- On parle de traitements multifonctionnels lorsque plusieurs propriétés de surface sont améliorées simultanément.

# INTERET DES TRAITEMENTS THERMOCHIMIQUES

- Si on se focalise sur la modification de la composition superficielle, les traitements dits de diffusion, ou Thermo-Chimiques, sont particulièrement intéressants.
- En effet, en associant au cycle thermique une atmosphère contrôlée contenant les éléments à faire diffuser, on parvient sous certaines conditions à faire diffuser ces éléments dans l'acier.
- Les éléments chimiques tels que l'azote et le carbone sont de bons candidats pour amener des propriétés superficielles intéressantes. On parle alors de traitements de nitruration et de nitrocarburation.



# Les traitements de nitruration et de nitrocarburation

# DEFINITION DE LA NITRURATION ET DE LA NITROCARBURATION

→ Nitruration :

Apport d'azote par diffusion à des T° variant de 480°C à 540°C.

→ Nitrocarburation :

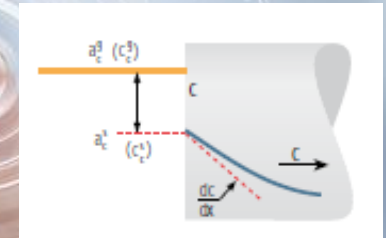
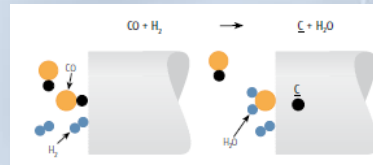
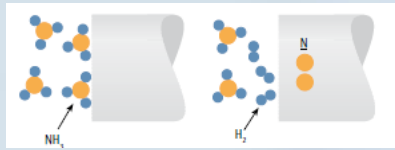
Apport d'azote et d'un peu de carbone par diffusion à des T° variant de 560°C à 620°C.

→ Plusieurs procédés existent pour l'apport d'azote et/ou de carbone :

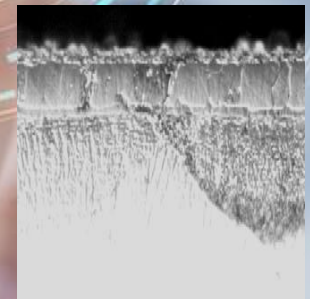
- Au trempé dans un bain fondu de sels de cyanates CNO.
- Par immersion dans un mélange gazeux à base de  $\text{NH}_3$  et  $\text{CO}_2$ .
- Par exposition à un plasma à base de  $\text{N}_2 + \text{H}_2 + \text{CH}_4$

# MODIFICATIONS APPORTEES PAR LA NITRURATION OU LA NITROCARBURATION

➔ La surface de l'acier absorbe l'azote et le carbone qui diffusent dans la microstructure. On parle alors de couche de diffusion dont l'épaisseur usuelle est comprise entre 0,1 et 0,5 mm.



➔ Si l'enrichissement superficiel est suffisant, l'acier se transforme en nitrure ou carbonitrure de fer en extrême surface. On parle alors de couche de combinaison dont l'épaisseur usuelle est de 10 à 20  $\mu m$  (0,01 – 0,02 mm).





# PROPRIETES APORTEES PAR LES COUCHES DE NITROCARBURATION

➔ La surface bénéficie des propriétés des nitrures / carbonitrures de fer formés :

- Résistance au grippage : point de fusion élevé des nitrures / carbonitrures.
- Résistance au collage : inertie chimique des nitrures / carbonitrures.
- Résistance à l'usure : augmentation x2 à x5 de la dureté superficielle.
- Résistance à la corrosion sous certaines conditions.

➔ La sous couche bénéficie de contraintes de compression.

- Résistance à la fatigue.

➔ La sous couche présente un profil de dureté stable en T°

- Résistance à l'adoucissement au revenu, maintien de la dureté à chaud (jusqu'à =600°C pour certaines nuances).

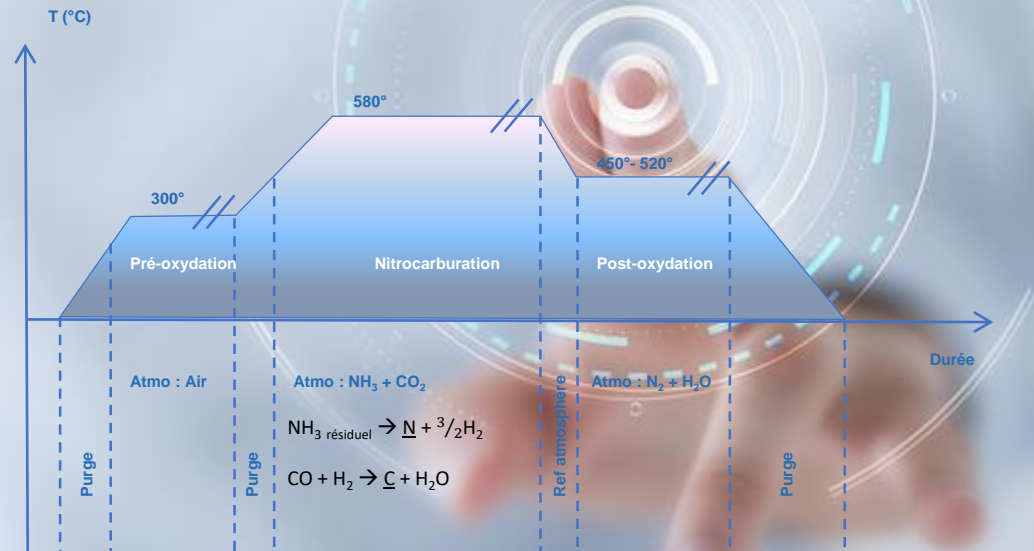
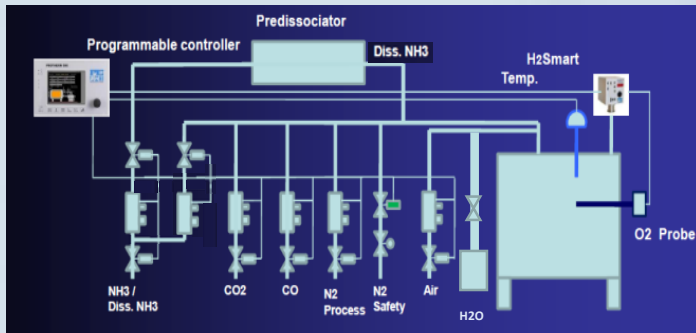
**C'est de là que vient le terme multi-fonctionnel**

# Thermi<sup>®</sup>-Nitrox

## Nitrocarburation appliquée aux aciers standards

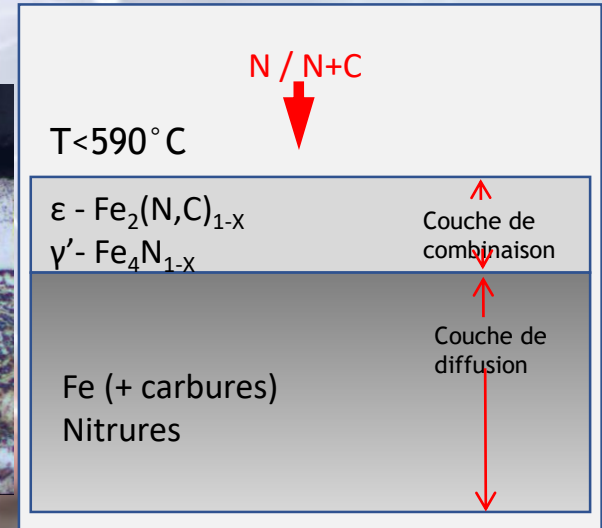
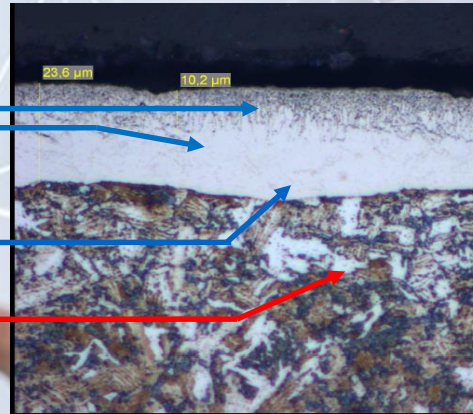
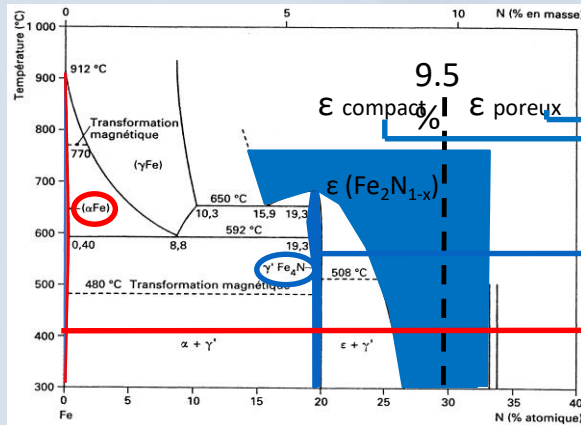
# LE PROCÉDÉ DE NITROCARBURATION GAZEUSE Thermi®-Nitrox

→ L'atmosphère de traitement est régulée en enrichissement azote (KN) et en enrichissement carbone (KC) conformément aux normes AMS 2759-10 et -12.

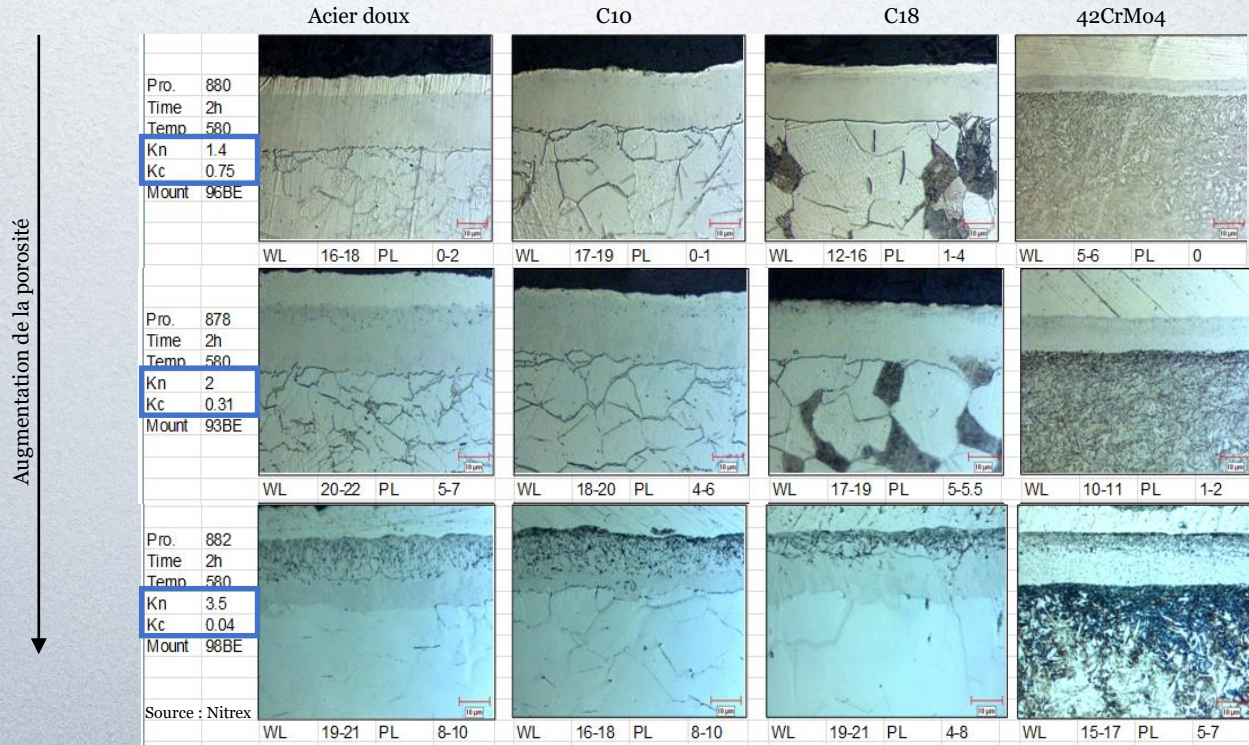


# COUCHES SUPERFICIELLES OBTENUES PAR LE PROCÉDE Thermi<sup>®</sup>-Nitrox

➔ Exemple de résultat sur acier faiblement allié (42CrMo4 traité à 580°C).



# COUCHES SUPERFICIELLES OBTENUES PAR LE PROCEDE Thermi<sup>®</sup>-Nitrox



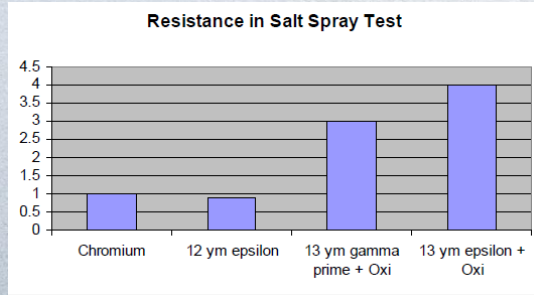
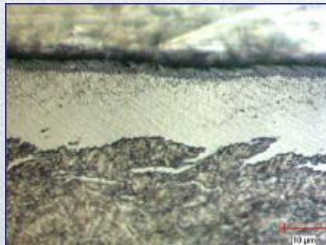
WL : couche blanche

PL : couche poreuse

Les chiffres adjacents sont en µm

# PERFORMANCE EN CORROSION DU PROCEDE Thermi<sup>®</sup>- Nitrox

→ Test d'exposition au brouillard salin sur pièces imprégnées.



96 h

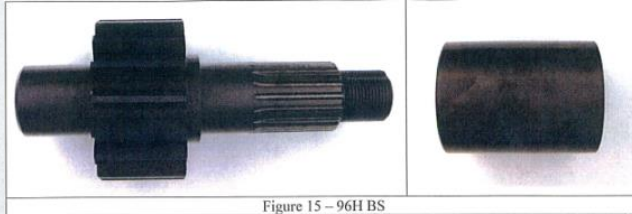


Figure 15 – 96H BS

168 h

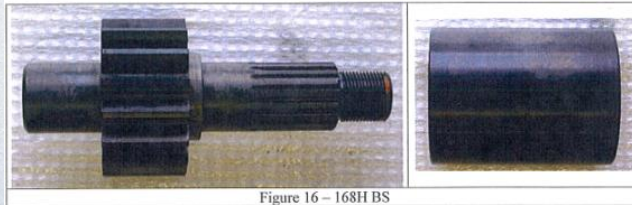


Figure 16 – 168H BS

360 h



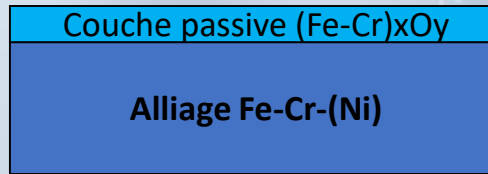
Figure 17 – 360 H BS

# Thermi<sup>®</sup>- SP

## **Nitrocarburation appliquée aux aciers inoxydables austéniques**

# RAPPEL SUR LES ACIERS INOXYDABLES

- Par définition un acier est dit inoxydable si sa teneur en Cr > 10,5%
- Le caractère inoxydable est lié à la formation d'une couche superficielle de type oxyde de Cr : couche passive



- La couche passive est auto-cicatrisante (se régénère dans l'air humide)
- Elle peut localement être fragilisée par des agents agressifs (Cl, S) et conduire à une corrosion localisée (par piquûre, par crevasse...)



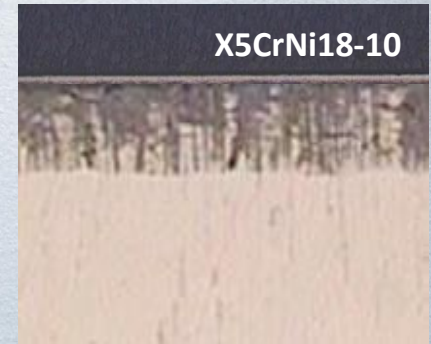
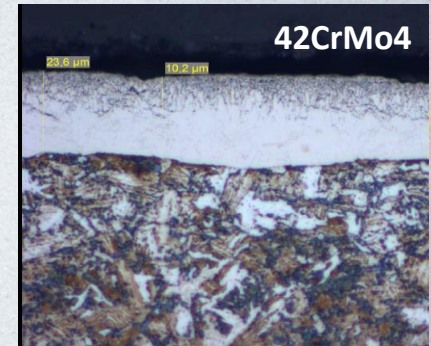
# NITROCARBURATION DES ACIERS INOXYDABLES



- La couche passive protège l'acier inoxydable de la corrosion mais également de la diffusion d'azote. Pour faire diffuser de l'azote dans un acier inoxydable, il faut donc au préalable le dépassiver (c'est-à-dire éliminer la couche passive).
- A une température supérieure à 430°C, la diffusion d'azote dans l'acier provoque la précipitation de nitrures de chrome. Une fois le nitrure de chrome précipité, la fraction de chrome libre résiduel est inférieure à 10,5% et la couche passive n'est plus suffisamment protectrice pour éviter la corrosion.
- Par contre si on réussit à faire diffuser de l'azote sans provoquer de la précipitation, on arrive à durcir l'acier inoxydable en surface tout en préservant sa résistance à la corrosion (une fois repassivé).

# NITROCARBURATION A T° STANDARD SUR L'ACIER INOXYDABLE

- Si on réalise une nitrocarburation à 580°C sur un acier inoxydable, les couches superficielles formées diffèrent de celles obtenues sur acier faiblement allié.
- La forte teneur en chrome de l'acier inoxydable provoque la précipitation de nitrures et carbures de chrome dans la zone de diffusion.
- L'acier inoxydable devient sensible à la corrosion

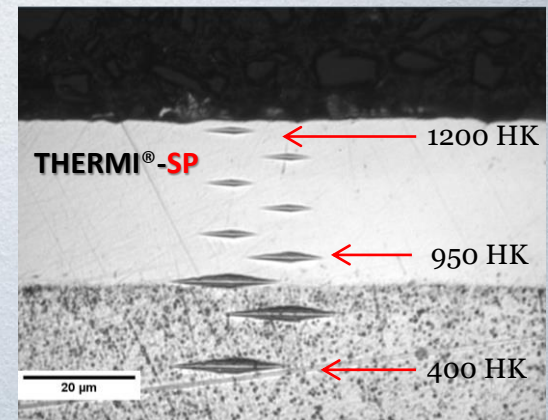
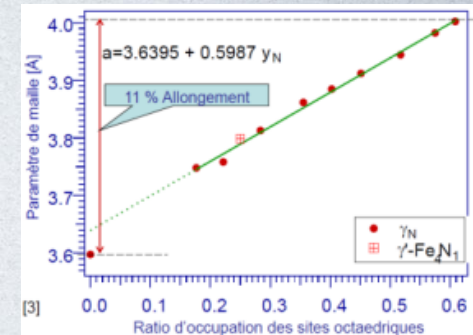


# CARACTERISTIQUES DU TRAITEMENT

## Thermi<sup>®</sup>-SP



- Traitement de nitrocarburation réalisé à basse température (<430°C) pour éviter la précipitation de nitrures et carbures de chrome.
- La diffusion d'azote et de carbone conduit à la sursaturation de la surface sur une épaisseur de 10 à 30 µm. On appelle cette couche saturée la Phase S. Sa dureté varie de 1200 à 900 HV.
- Le chrome n'ayant pas précipité, l'acier conserve son caractère inoxydable.



# APPLICATIONS DU TRAITEMENT Thermi<sup>®</sup>-SP

- Le traitement Thermi<sup>®</sup>-SP est préconisé pour les aciers inoxydables austénitiques.
- Les nuances AISI 316L et AISI 316Ti sont les plus couramment traitées
- Les nuances AISI 303 et AISI 304 demandent une attention particulière car elles sont plus sensibles à la perte d'inoxidabilité.
- Le **Thermi<sup>®</sup>-SP** est recommandé pour les applications suivantes :
  - Pièces automobiles (turbo-compresseurs)
  - Industrie agro-alimentaire
  - Éléments de vanne, robinetterie
  - Dispositifs médicaux
  - Outillage

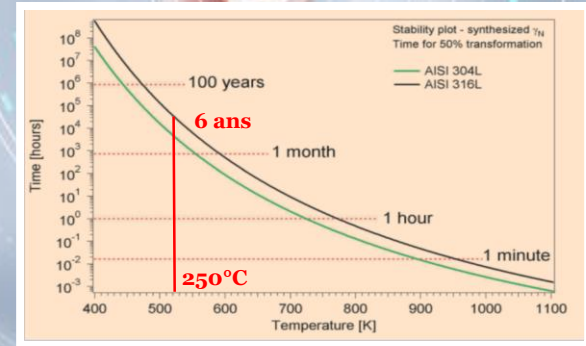


# PRECAUTIONS POUR LE TRAITEMENT Thermi<sup>®</sup>-SP



➔ L'écrouissage superficiel peut être source de sensibilisation à la corrosion des pièces traitées. S'il ne peut être évité, une hypertrempe préalable peut être préconisée.

➔ La température d'utilisation des pièces peut conduire à la déstabilisation de la couche formée. Plus la température d'utilisation sera élevée, plus la transformation arrivera tôt.



Source : T. Christiansen and M.A.J. Somers, Zeitschrift für Metallkunde 97, 2006, 79-88

# Thermi<sup>®</sup>-SNT

## **Nitruration appliquée aux aciers inoxydables ferritiques et martensitiques**

# NITRURATION HAUTE TEMPERATURE DES ACIERS INOXYDABLES

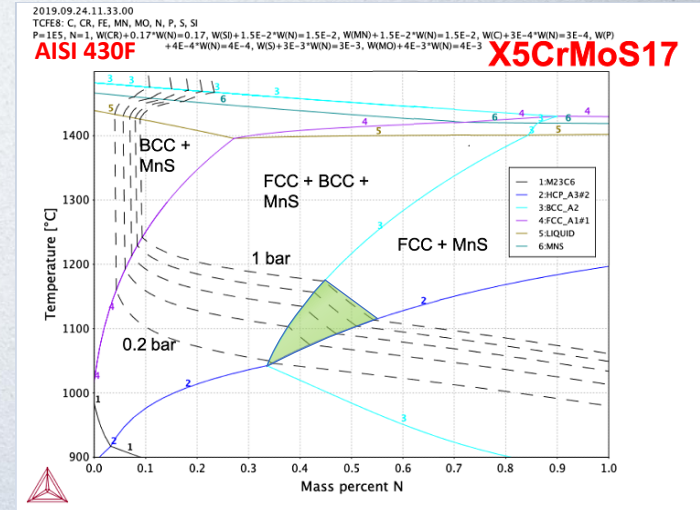
- Le **Thermi®-SNT** est un traitement de durcissement superficiel à l'azote des aciers inoxydables ferritiques et martensitiques.
- Il se réalise dans des fours de trempe sous vide à une température supérieure au domaine de précipitation du nitrure de chrome. L'azote utile à la diffusion est amené par la dissociation à haute température du di-azote  $N_2$ .
- L'enrichissement en azote est suivi d'une trempe sous pression afin de réduire au maximum le temps de séjour des pièces dans la plage de température provoquant le précipitation du nitrure de chrome.

# CALCUL DES CONDITIONS DE TRAITEMENT DU Thermi<sup>®</sup>-SNT



→ La détermination des conditions de traitement (température, pression d'azote, teneur en azote, durée de maintien) se fait à l'aide de logiciel de calculs thermodynamiques.

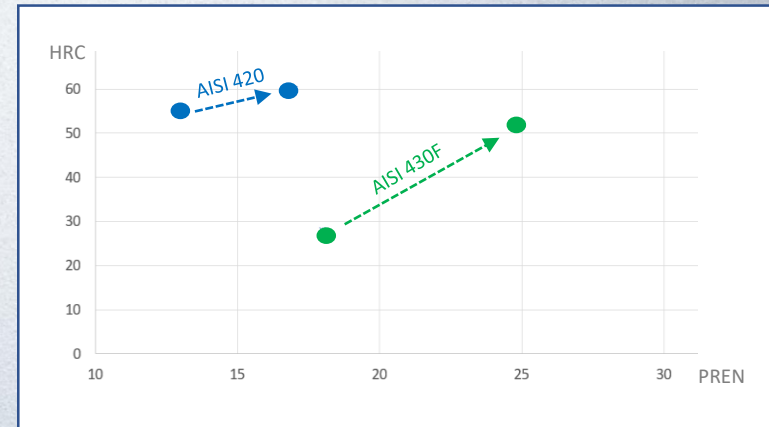
→ Ces calculs visent à identifier les conditions pour lesquels l'ajout d'azote formera une phase austénitique sans précipitation de nitrures.





# REPONSE DES ACIERS INOXYDABLES AU Thermi<sup>®</sup>-SNT

- Les performances du **Thermi<sup>®</sup>-SNT** vont dépendre de la nuance d'acier.
- Les inox ferritiques tels que l'AISI 430F ou équivalent voient leur dureté de surface passer de 28 à 52 HRC tandis que leur indice PREN évolue de 18 à 25 (proche de l'AISI 316L).
- Les inox martensitiques gagnent peu en dureté mais leur PREN va s'améliorer.



# APPLICATIONS DU TRAITEMENT Thermi<sup>®</sup>- SNT

- Le traitement **Thermi<sup>®</sup>- SNT** est préconisé principalement pour les aciers inoxydables ferritiques et martensitiques.
- Il est recommandé pour les applications suivantes :
- Auto : secteur pompe et injection...
  - industrie : pompes, vannes, buses...
  - Médical : instrumentation
  - Agroalimentaire : machines d'embouteillage
  - Arts de la table



Merci à tous pour votre participation !

**Pour nous contacter :**  
**[marketing@thermi-lyon.com](mailto:marketing@thermi-lyon.com)**



Ne manquez pas notre prochain Webinar :

**Jeudi 19 Novembre**  
**16h00**

**Revêtements sous**  
**vide**



THERMI-LYON  
Groupe



[www.groupe-thermi-lyon.com](http://www.groupe-thermi-lyon.com)