

INFLUENCE DE LA CEMENTATION BASSE TEMPERATURE SUR LA RESISTANCE AU GRIPPAGE ET A L'USURE DES ACIERS INOXYDABLES AUSTENITIQUES.

B. STAUDER, O. REY*, M. BUVRON*, P. JACQUOT, G. PRUNEL

Bodycote hit

Direction du Développement Technologique (D.D.T.)

25, rue des Frères Lumière

BP 143, 69686 Chassieu Cedex

* ZI des Hautes Garennes II

78570, Chanteloup les Vignes

RESUME

Le traitement de Kolsterising[®], procédé HarDiff[®], est actuellement le seul traitement thermo-chimique de cémentation permettant d'accroître considérablement les propriétés mécaniques de surface des aciers inoxydables austénitiques tout en conservant les propriétés de tenue à la corrosion et ce quelle que soit la géométrie des pièces à traiter.

Après un rappel des principaux aspects métallurgiques de ce traitement de carburation, nous présentons les résultats de test tribologique permettant de quantifier le gain apporté en terme de résistance au grippage et à l'usure. Nous comparons ces résultats à celui obtenu lors d'un traitement plus conventionnel de nitruration assisté par plasma. Nous illustrons enfin nos propos de quelques exemples d'applications concrets.

1) INTRODUCTION

Introduit au milieu des années 80 aux Pays-Bas, le traitement, développé par B.H. Kolster, s'est rapidement imposé comme une référence pour l'amélioration des propriétés mécaniques des aciers inoxydables en particulier austénitiques et ce sans détérioration des propriétés de résistance à la corrosion.

Du fait de ces remarquables caractéristiques, ce procédé a été acquis par le groupe Bodycote qui dispose d'une unité de traitement en France.

Nous nous attacherons, après un bref rappel des aspects métallurgiques, à mettre en évidence le gain substantiel apporté par le traitement de **Kolsterising[®]** sur les propriétés tribologiques d'acier inoxydable type 316L, les propriétés de résistance à la corrosion ayant fait l'objet de communications antérieures.

2) RAPPELS METALLURGIQUES

Le traitement consiste en une cémentation par le carbone réalisée à basse température et en phase gazeuse. Il en résulte que la couche traitée se compose uniquement d'une austénite enrichie en carbone, ce dernier étant en insertion dans les sites octaédriques de la maille cubique à face centrée du réseau métallique.

Nous avons choisi d'illustrer les résultats obtenus dans le cas du traitement d'un acier type 316L. **La figure 1** présente l'évolution de la concentration en carbone, analysée par spectrométrie à décharge lumineuse, en fonction de la profondeur dans le cas des trois types de traitement réalisés au sein de la société Bodycote hit à savoir :

Le **Kolsterising® 22**, plus particulièrement dédié au traitement des aciers inoxydables austénitiques avec contraintes d'usure moyenne

Le **Kolsterising® 33**, plus particulièrement dédié au traitement des aciers inoxydables austénitiques avec contraintes d'usure élevée

Le **Kolsterising® Duplex**, plus particulièrement dédié au traitement des aciers inoxydables austénito-ferritiques et martensitiques à durcissement structural.

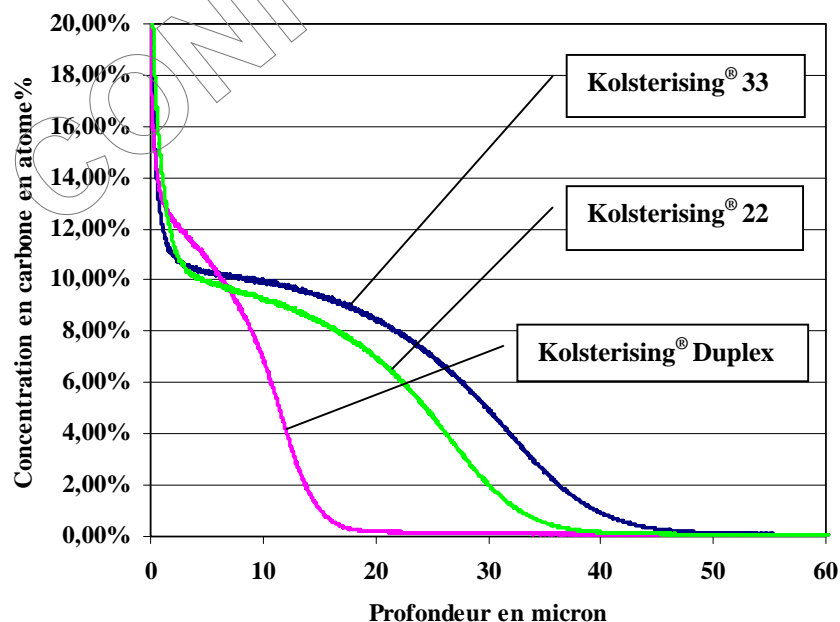


Figure 1 : Evolution de la concentration en carbone en fonction de la profondeur pour différentes modalités de carburation basse température

Nous pouvons observer le fort gradient de concentration en carbone responsable d'un mécanisme de durcissement de solution solide important. La **figure 2** illustre les profils de dureté ainsi que l'aspect micrographique.

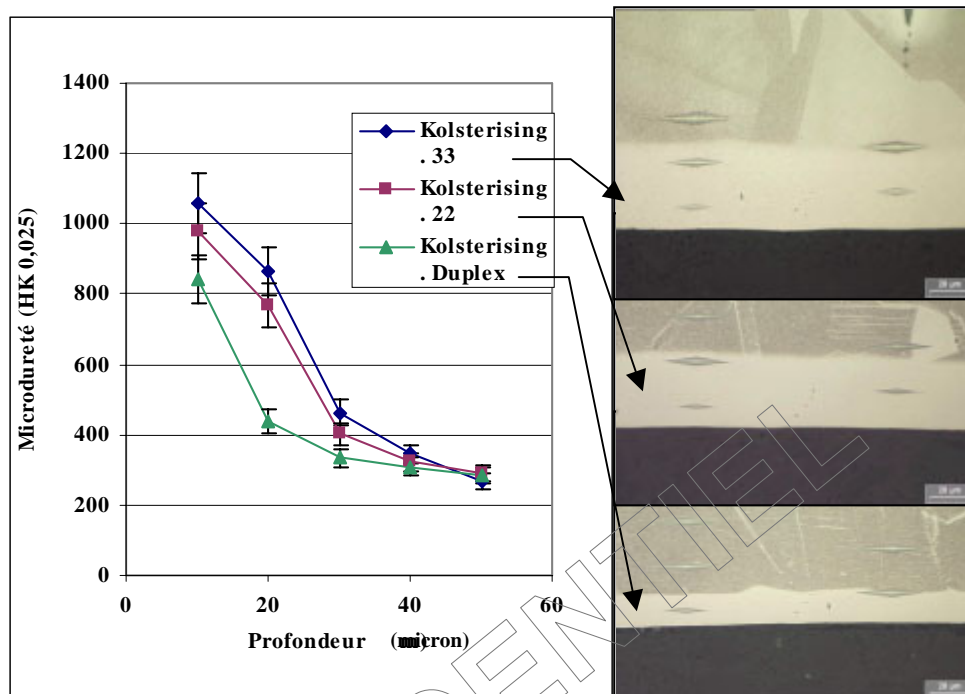


Figure 2 : Profils de microdureté obtenus à l'aide d'un indenteur Knoop sous une charge de 25 grammes et aspect micrographique correspondant dans le cas d'un acier type 316L.

Les paramètres de traitement retenus permettent de réaliser un gradient de composition en carbone et ce sans précipitation de carbure de chrome préjudiciable à la résistance à la corrosion. L'analyse par diffraction des rayons X ne permet pas de mettre en évidence d'autres phases que la phase austénitique toutefois cette carburation conduit à de très fortes contraintes de compression résultant de l'augmentation du paramètre de la maille d'austénite (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Influence du traitement Kolsterising 33 sur le paramètre de la maille austénitique

	INDICE hkl	2θ ($K\alpha$ Co)	Distance interréticulaire(Å)	Paramètre de maille (Å)
316L	111	51,0477	2,07585	3,5954
	200	59,6928	1,79727	3,5945
	220	89,3735	1,27192	3,5975
	311	111,108	1,08463	3,5973
	222	118,864	1,03882	3,5986

Kolsterising® 33	111	49,51912	2,135711	3,6991
	200	57,58214	1,857202	3,7144
	220	86,32466	1,307561	3,6983
	311	106,2228	1,118349	3,7091
	222	113,9643	1,066737	3,6952

Afin d'appréhender la valeur des contraintes internes, des analyses ont été réalisées au CETIM en diffraction des rayons X par la méthode du $\sin^2\psi$ et en utilisant la réflexion (311) de la phase austénitique dans le cas d'un traitement de **Kolsterising® 33**. Dans ces conditions et compte tenu des constantes d'élasticité des aciers austénitiques, la valeur de contrainte dans une direction radiale quelconque est de **-1390 MPa** avec un écart-type de répétitivité de ± 11 MPa. Ce très fort niveau de contraintes compressives au sein de la couche limite considérablement la propagation de fissures. De plus, le nombre élevé de systèmes de glissement de la structure cubique à face centrée de l'austénite conduit à une ductilité remarquable permettant d'accommoder une déformation plastique de l'acier de base sans fissuration ou rupture.

3) ASPECTS TRIBOLOGIQUES

L'objectif de cette étude, réalisée en collaboration avec le Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes de l'École Centrale de Lyon, est d'évaluer plus particulièrement l'amélioration de la résistance au grippage grâce au traitement de **Kolsterising®**. Pour ce faire, nous avons opté pour un essai Faville (ASTM D 2625-90) pour tester le traitement **Kolsterising® 33** sur acier 316L à l'état hypere trempé. Après un rappel du principe de l'essai, nous analyserons les résultats obtenus dans le cas de différentes combinaisons.

3.1) Détails expérimentaux

Le test Faville permet d'étudier le contact entre un pion cylindrique, entraîné en rotation, et deux blocs taillés en V enserrant le pion et exerçant une pression réglable par l'opérateur (**figure 3**). La vitesse angulaire, non réglable, est de 330 tr/min. Le dispositif de serrage comporte deux parties distinctes : l'ensemble porte-mors et bras de serrage, et la roue à rochet. Les mors sont d'abord encastrés dans les porte-mors solidaires des bras de serrage. L'ensemble est alors ramené autour du pion, et on peut alors écraser le pion entre les deux

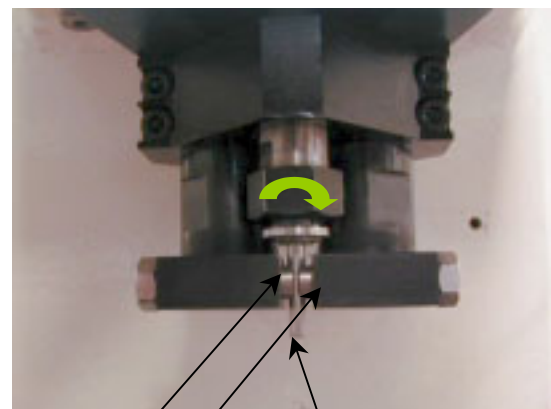
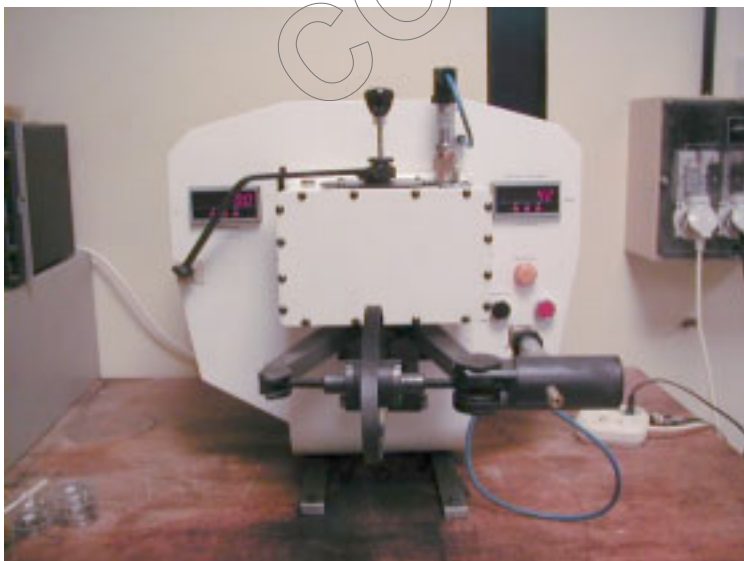
mors. Un capteur hydraulique relié à une des tiges filetées permet une lecture instantanée de la charge imprimée par un mors : valeur maximum 2,5 tonnes. Le couple résistant est mesuré par un autre capteur hydraulique mesurant le déplacement angulaire de l'ensemble (portemors bras de serrage, roue à rochet et axe tournant) autour de l'axe de rotation du pion, la valeur limite étant de 250 daN.cm.

La mesure de la charge normale et du couple nécessaire à maintenir la vitesse de rotation du pion à une valeur de 330 tr/min permet de déterminer l'évolution au cours de l'essai du coefficient de frottement moyen dans les quatre zones de contact (2 zones par mors). La perte de masse et de cote des échantillons permet de quantifier l'usure. L'observation des faciès d'usure donne des indications sur le mode de dégradation : grippage, fluage ou abrasion des surfaces.

La machine Faville mesure le couple résistant C et la force appliquée F_A , on en déduit la force tangentielle F_T , la force normale appliquée F_N et le coefficient de frottement $\mu = \frac{F_T}{F_N}$:

$$F_T = \frac{C}{4R} \quad \text{avec } R : \text{distance par rapport à l'axe (rayon du pion)}$$

$$F_N = \frac{\sqrt{2}}{2} F_A \quad \text{avec } F_A \text{ force appliquée : somme vectorielle des 2 forces normales } F_A \text{ agissant sur les 2 contacts d'un mors, compte-tenu de la géométrie particulière des mors (4 contacts à } 90^\circ)$$



Mors taillés en V

Pion cylindrique

Figure 3 : Vue d'ensemble du dispositif expérimental et du contact entre mors et pion

Dans les cas dont nous allons exposer les résultats, la charge appliquée de 100 daN est constante ce qui correspond à une force normale de 707 N.

3.2) Résultats et discussion

Le tableau 2 résume les combinaisons retenues, chaque combinaison ayant fait l'objet de trois essais. A titre de comparaison nous avons également testé le cas d'un traitement de nitruration ionique réalisé à 540°C.

Tableau 2 : Configurations d'essai retenues

	Pion	Mors
Kolsterising® 33	brut	bruts
	traité	bruts
	brut	traités
	traité	traités
Nitruration ionique	traité	traités

Le premier critère permettant d'évaluer la résistance à l'usure du couple considéré est la durée globale de l'essai. Il convient de noter que dans tous les cas la fin de l'essai correspond à un grippage parfois sévère. **La figure 4** présente l'évolution de la durée moyenne de l'essai pour les différentes configurations. En l'absence de traitement, le grippage qui intervient après quelques secondes est révélateur de l'accroissement extrêmement rapide du nombre de jonctions adhésives. Les résultats des essais pour les deux configurations avec antagonistes différents nous montrent qu'il y a peu d'adhésion entre l'acier brut et l'acier traité (mors bruts et pion traité). Cependant, sur une pièce trop fréquemment sollicitée (dans le cas de l'essai Faville, les mors), la durée de vie du traitement est très fortement compromise, sans doute en raison de l'élévation plus rapide de la température sur les mors que sur le pion (mors traités et pion brut).

Ceci est également mis en évidence par l'analyse de la perte de masse moyenne par unité de temps (**figure 5**). Nous observons que c'est dans le cas où mors et pions ont subi un traitement de Kolsterising® que la limitation du grippage est la plus sensible.

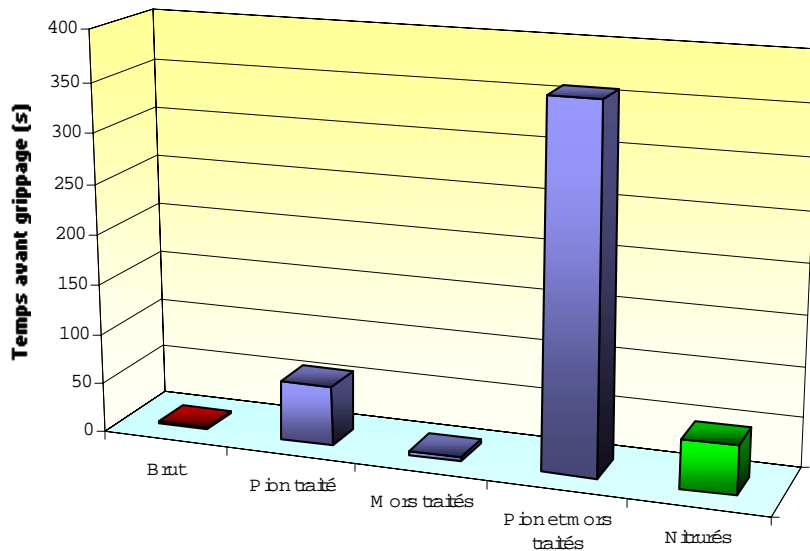


Figure 4 : Evolution de la durée moyenne de l'essai en fonction de la nature des antagonistes.

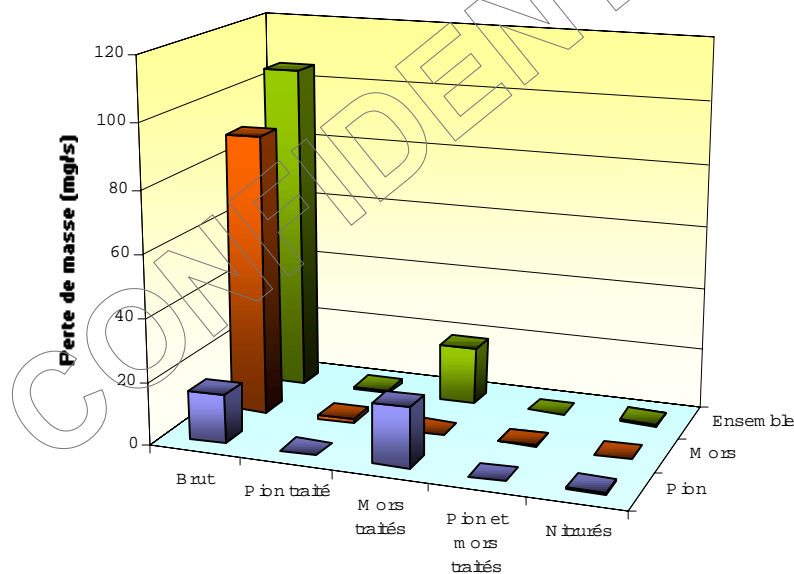


Figure 5 : Perte de masse moyenne mesurée pour les différentes configurations et ramenée à la durée de l'essai

Afin de quantifier plus précisément le gain apporté par les différents traitements, nous avons calculé l'énergie spécifique d'usure E_s . Cette grandeur est égale à l'énergie dissipée dans le contact E ramenée au volume global usé (mors et pion) calculé à partir des pertes de masse. Dans le cas de l'essai Faville, l'énergie E est l'intégrale de la force tangentielle par rapport à la distance parcourue :

$$E = \left(\sum F_t \right) \cdot 2\pi R \cdot \frac{t}{v}$$

où R est le rayon du pion (3 mm) et v la vitesse de rotation (330 tours/min ou 5,5 tours/s).

Le calcul de l'énergie spécifique d'usure E_s est très révélateur (**figure 6**). Pour les essais avec pion brut et quelle que soit la nature des mors, E_s est de l'ordre de 10^2 J/mm³, caractéristique d'une usure très sévère. Pour les essais mors brut-pion traité, cette valeur atteint 10^5 J/mm³, typique d'une usure modérée. Enfin, les essais mors et pion traités donnent une valeur de l'ordre de 10^7 J/mm³, correspondant à une usure assez douce. A titre indicatif, pour des essais Faville sur du carbure de tungstène, E_s atteint 10^9 à 10^{10} J/mm³. Dans le cas de la nitruration ionique, l'énergie spécifique d'usure E_s donne une valeur d'environ 10^6 J/mm³, soit 10 fois moins que pour le traitement de Kolsterising® dans le cas mors et pion traités et 10 fois plus que dans le cas mors bruts-pion traité.

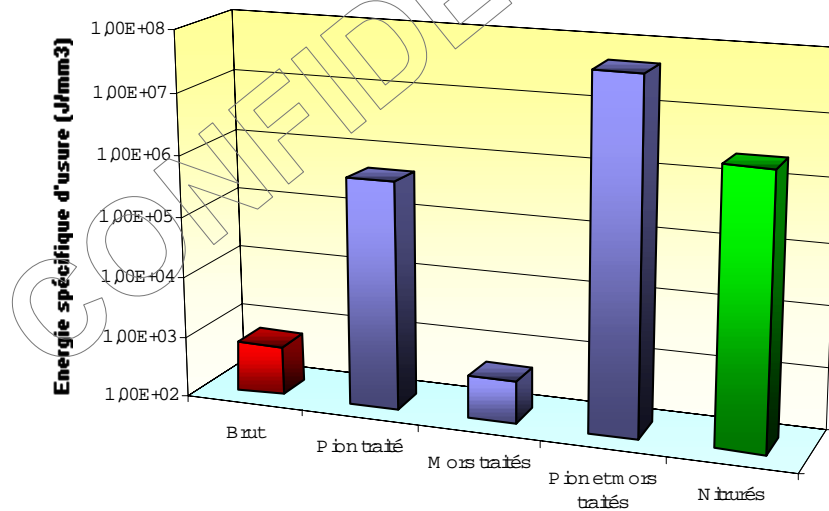


Figure 6 : Evolution de l'énergie spécifique d'usure en fonction de la nature des antagonistes

Ainsi, ces résultats nous indiquent pour le traitement Kolsterising® qu'il faudra toujours privilégier le traitement des deux antagonistes, ou au moins de l'antagoniste le moins sollicité, dans le but de retarder ou d'éviter le grippage.

En qui concerne l'évolution du coefficient de frottement, les essais mors bruts-pion brut et mors traités-pion brut ont été trop courts pour permettre une exploitation correcte des données. Par contre dans le cas des configurations mors bruts-pion traité et mors traités-pion traité, les résultats sont en revanche significatifs. Le coefficient de frottement se stabilise dans les deux configurations à des valeurs voisines de 0,5-0,6 (**Figure 7**). Dans le cas de la nitruration ionique, les résultats donnent un coefficient de frottement nettement plus élevé que pour le Kolsterising[®], avec des valeurs voisines de 1.

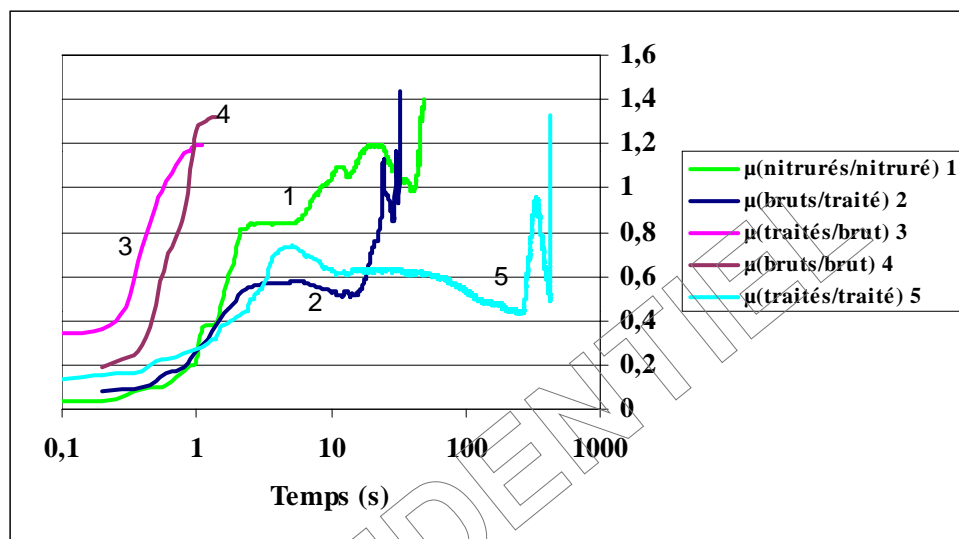


Figure 7 : Evolution du coefficient de frottement μ en fonction du type de traitement (mors, pion)

4) CONCLUSION

Nous avons montré le gain substantiel apporté par le traitement de **Kolsterising[®]** en terme d'amélioration de résistance à l'usure et au grippage. Le fait que ce traitement puisse être réalisé sur tous types de géométrie sur pièces finies et sans dégradations de la résistance à la corrosion, font du **Kolsterising[®]** le traitement de prédilection pour un grand nombre d'applications. Parmi les principaux secteurs utilisant ce traitement, nous pouvons citer en particulier les industries agro-alimentaires, médicales, chimiques, automobiles et textiles.