



**TUBES TECHNOLOGIES**  
PHARMA • BIOTECH • PROCESS

# LES ACIERS INOXYDABLES DANS LA CONSTRUCTION D'INSTALLATIONS PHARMACEUTIQUES ET BIOTECH MATÉRIAUX // SURFACES // TRAITEMENT

Dockweiler - Article spécialisé



PHARMACIE

BIOTECHNOLOGIES

SEMI-CONDUCTEUR

COSMÉTIQUE

AGROALIMENTAIRE

# SOMMAIRE

> Préface.....	3
> Introduction.....	3
<b>APPLICATION.....</b>	<b>4</b>
<b>MATÉRIAUX.....</b>	<b>5</b>
<b>QUALIFICATION DES MATÉRIAUX.....</b>	<b>6</b>
<b>CARACTÉRISATION DES SURFACES.....</b>	<b>7</b>
<b>RÉSISTANCE À LA CORROSION.....</b>	<b>8</b>
<b>SOUDAGE.....</b>	<b>12</b>
> 1. Taux de Ferrite.....	12
> 1.1 Recuit de mise en solution.....	13
> 1.2 Utilisation de gaz d'inertage contenant du N <sub>2</sub> .....	13
> 1.3 Utilisation d'anneaux de soudure.....	14
> Phases sigma.....	14
<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>15</b>

## PRÉFACE

Les process pharmaceutiques ont évolué. Une installation de tuyauterie moderne est plus exigeante sur la qualité des matériaux utilisés et sur ses directives de traitements de surface.

Est-ce que des matériaux tels que le 1.4435, le 1.4539 ou l'UNS N08367 (AL6XN) peuvent être utilisés pour garantir les propriétés hygiéniques et mécaniques des systèmes de tuyauterie ?

Quelles directives normatives doivent maintenant être respectées ?

## INTRODUCTION

Par le passé, lors de la planification et de la construction des installations pharmaceutiques, les propriétés de corrosion et d'hygiène étaient d'un intérêt secondaire. On travaillait généralement en l'absence d'eau, avec des solvants organiques. Il n'y avait donc pas ou peu de risque de contamination biologique.

Outre les bioréacteurs de grand volume pour les solutions à base d'eau, les procédés modernes de fabrication de produits pharmaceutiques font aujourd'hui également appel à la technologie de micro-réaction, pour produire des préparations plus petites et plus faciles à contrôler.

Pour ces deux procédés, les installations doivent, malgré leurs grandes complexités, être parfaitement nettoyables, être résistantes à la corrosion, et présenter une finition de surface suffisante.

Ceci permet de garantir une répétabilité sur la qualité du produit fini tout en assurant une longue durée de vie à l'installation.



Illustration 1a et 1b : réacteur pour production par lot, ancien (à gauche) et moderne (à droite)  
(Source : [www.aria.developpement-durable.gouv.fr](http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr)) et source : Adobe Stock)

Dans le cadre de l'industrie pharmaceutique, nous considérons quatre applications différentes. D'abord, les API (Active Pharmaceutical Ingredients), c'est-à-dire les composants actifs des différents produits pharmaceutiques.

Ensuite la production d'eau de haute pureté, appelée WFI (Water for Injection) ou EPPI en français (Eau Pour Préparation Injectables).

Par ailleurs, nous avons à considérer certains mécanismes de nettoyage, comme le CIP (Cleaning In Place) ou des procédés de stérilisation, comme le SIP (Stérilisation in Place).

Enfin, lors de la mise sous forme pharmaceutique, l'API et l'eau PPI (WFI) se mélangent.

Le tableau suivant donne un aperçu des applications rencontrées. Pour chacune d'elle, il indique :

- les exigences en matière de résistance à la corrosion PREN (Pitting Resistance Equivalent Number),
- les états de surface préconisés
- les nuances d'Inox correspondantes.

APPLICATION	PREN REQUIS	QUALITÉ DE SURFACE	QUALITÉ DE SURFACE	QUALITÉ SELON ASME BPE / DIN EN 11866 ET SUIVANTES
WFI	20-26	EP	UNS S31603 (316L) / 1.4435	SF4, HE5
EAUX USÉES	20-25	BF, MB	UNS S31603 (316L) / 1.4404	SF1, H3
API CONTINUES	20-45	BF, MB, EP	UNS S31603 (316L) / 1.4404, 1.4435, 1.4539/UNS N08904 (904L), UNS N08367 (AL-6XN), UNS N06022 (C22)	SF6, HE3
API PAR BATCH	20-30	BF, MB	UNS S31603 (316L) / 1.4404, 1.4435	SF1, H3 FERMENTEUR
FERMENTEUR	25-40	EP	UNS S31603 (316L) / 1.4435, UNS N08904 (904L), UNS N08367 (AL-6XN),	SF4, HE5
VACCINS	25-40	EP	UNS S31603 (316L) / 1.4435, UNS N08904 (904L), UNS N08367 (AL-6XN),	SF4, HE5
SANG PLASMA	25-40	EP	UNS S31603 (316L) / 1.4435, UNS N08904 (904L), UNS N08367 (AL-6XN),	SF4, HE5
CIP	20-25	BF, MB	UNS S31603 (316L) / 1.4435	SF1, H3
SIP	20-25	EP	SF4, HE5	SF4, HE5

Tableau 1 : électropoli (EP), bright finished (BF), metal bright (MB)]

Le tableau montre que dans les procédés modernes tels que la fermentation, les vaccins ou la production de plasma sanguin, les contraintes PREN requises et les qualités de surface exigées sont maximales. La raison principale est liée au fait qu'ils travaillent essentiellement dans des milieux aqueux à teneur élevée en chlorure.



Les aciers inoxydables (selon EN 10020) désignent des aciers présentant un degré de pureté particulier, par exemple des aciers dont la teneur en soufre et en phosphore ne dépasse pas 0,025 %. Les aciers inoxydables se caractérisent par une teneur en chrome supérieure à 10,5 %. Grâce à cette teneur élevée en chrome, une couche passive protectrice et dense d'oxyde de chrome se forme à la surface du matériau. Le terme «acier inoxydable» est donc trompeur. Seule la couche d'oxyde de chrome ne mesurant que quelques microns (µm) est passive à la plupart des attaques chimiques. Dans certaines conditions d'utilisation agressives, les aciers inoxydables peuvent se corroder en profondeur. C'est pourquoi le bon choix du matériau est décisif et doit être approprié à son utilisation.

**Le matériau le plus utilisé dans l'industrie pharmaceutique est le 316L (UNS S31603), car il présente un excellent compromis de résistance à la corrosion, de facilité de mise en œuvre et de prix.**

## NOUS ALLONS DONC CI-DESSOUS L'EXAMINER PLUS EN DÉTAIL :

- Le 316L est une dénomination Américaine. Les bornes définissant ses pourcentages d'alliage sont larges. La nomenclature Européenne est, quant à elle, plus précise, et propose deux nuances en équivalence du 316L Américain : le 1.4404 et le 1.4435. Le 1.4435 contient une proportion plus élevée de chrome et de molybdène que le 1.4404, ce qui le rend plus qualitatif et plus résistant à la corrosion locale. Le 316L est généralement produit que sur les proportions basses de ces alliages.

## LES AUTRES ÉLÉMENTS D'ALLIAGE DE CET ACIER INOXYDABLE SONT LES SUIVANTS :

**LE MOLYBDÈNE**, combiné au chrome, il permet de stabiliser la couche passive, notamment dans les environnements contenant des chlorures. Il augmente également la résistance à la corrosion par piqûres, ainsi que la résistance à la corrosion par les acides sulfuriques et phosphoriques.

**LE NICKEL**, en tant que formateur d'austénite. Les aciers inoxydables standard contiennent entre 8% et 14% de nickel. La proportion est plus élevée pour les matériaux plus fortement alliés, comme le 1.4539 (904L). Le nickel augmente la résistance aux fluides oxydo-réducteurs (réactifs redox) et assure une bonne soudabilité du matériau.

**L'AZOTE**, est également un puissant formateur d'austénite. L'azote exerce une influence importante sur la résistance à la corrosion par piqûres et à la corrosion caverneuse.

**LE CUIVRE**, (jusqu'à 3%) a lui aussi pour effet d'augmenter la résistance à la corrosion, en particulier en combinaison avec le molybdène.

**LE SOUFRE**, en faible quantité, améliore l'usinabilité. Le soufre réduit la résistance à la corrosion et constitue un puissant élément tensioactif dans les aciers inoxydables austénitiques. Il exerce donc une influence sur le flux de masse dans le bain de soudure. Il en résulte des soudures lisses ou rugueuses, ou encore une déviation de l'arc électrique (effet Marangoni). Dans les aciers inoxydables plus fortement alliés comme le 1.4435, la teneur en soufre est généralement limitée, car ce dernier peut former des sulfures de molybdène pouvant entraîner des problèmes lors du laminage.

NUANCE	%C	%MN	%P	%S	SI	%CR	%NI	%MO	%CU	%N
316L	≤0,03	2	0.045	0.03	0.075	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	-	<0,1
1.4435	≤0,03	2	0.045	0.015	1	17,0-19,0	12,5-15,0	2,5-3,0	-	-
1.4539	≤0,02	2	0.03	0.01	0.7	19,0-21,0	24,0-26,0	4,0-5,0	1,2 - 2,0	0,15
AL6XN	≤0,030,03	2	0.02	0.03	1	20,0-22,0	23,5-25,5	6,0-7,0	0,75	0,18-0,25

Tableau 2 : Composition en %des matériaux courants, (source : normes de matériaux DIN, EN et ASTM)

La résistance à la corrosion de ces matériaux exige également une mise en œuvre spécifique.



# QUALIFICATION DES MATÉRIAUX

Toutes les coulées disponibles sur le marché ne présentent pas les mêmes caractéristiques. Il est donc important de qualifier chaque lot avant sa transformation en tubes ou en accessoires.

Il faut faire attention aux composants secondaires tels que l'aluminium, le silicium ou le calcium, afin d'exclure une formation accrue de scories lors de la soudure. Il est recommandé de procéder à des tests de soudage avant d'utiliser une coulée donnée et de vérifier comment le matériau peut être travaillé.

Illustration 2 : Échantillons de soudure de deux fontes différentes destinées à l'Assurance qualité avant l'achat du matériau (Source : Dockweiler AG)

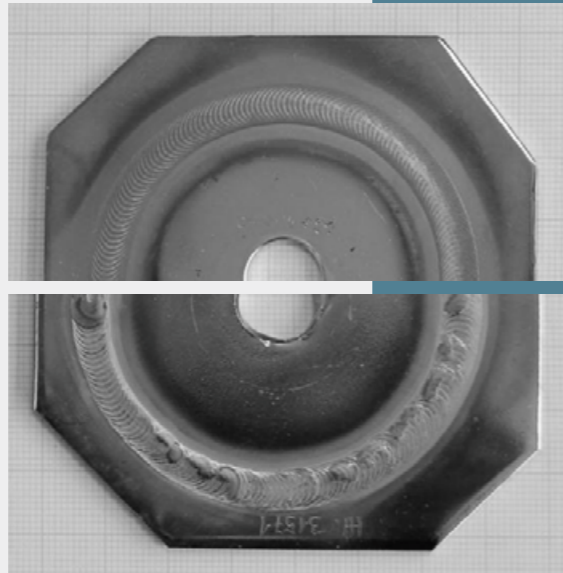
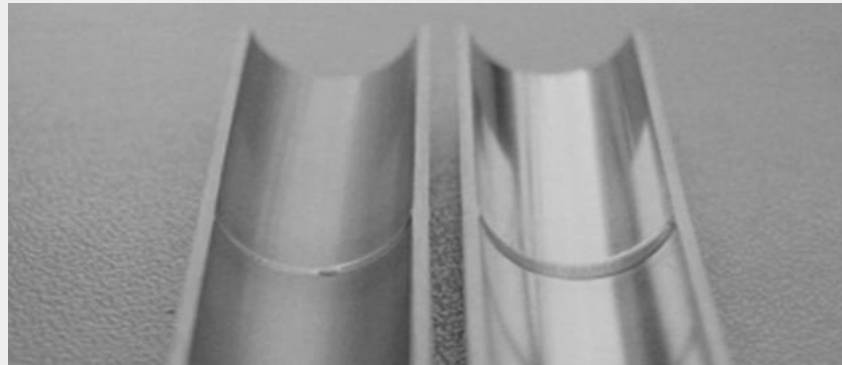


Figure 3 : Échantillons de soudure d'un tube, en version de surface recuit brillant (BF (Bright Finished)) et nettoyé électrochimiquement (source : Dockweiler AG)



La Figure 3 montre deux échantillons de soudure d'un même lot de tubes. Le tube a été soudé une fois en finition basique et une fois à l'état nettoyé par procédé électrochimique. L'échantillon de gauche présente alors un point de défaut (scorie) dans la zone de la soudure.

La moitié droite du tube a pu être soudée sans point de scorie.

Les points de scorie qui apparaissent sur une soudure résultent d'impuretés superficielles du matériau. Pour l'échantillon de droite, ces impuretés ont été éliminées par le procédé d'électropolissage ou de nettoyage anodique. Il n'y a pas de contamination structurelle du matériau. Ce matériau convient donc pour répondre aux exigences les plus élevées en matière d'hygiène d'un système de tuyauterie.

On constate ainsi le rôle important que joue la qualification spécifique du matériau pour la bonne fonctionnalité de l'ensemble du système.

# CARACTÉRISATION DES SURFACES

La grandeur la plus utilisée dans le domaine de la caractérisation des surfaces est la valeur de Ra. Dans le procédé de mesure de l'état de surface par palpement à l'aide d'un rugosimètre, la surface de l'échantillon est explorée par une pointe en diamant de forme sphérique. Chaque déplacement vertical de la pointe est amplifié puis restitué. La rugosité correspondante est indiquée sous forme de valeur de mesure «Ra».

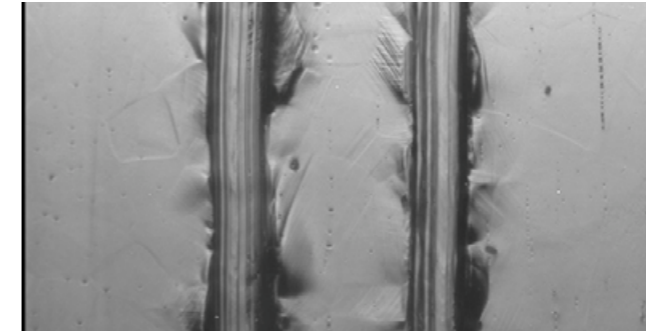
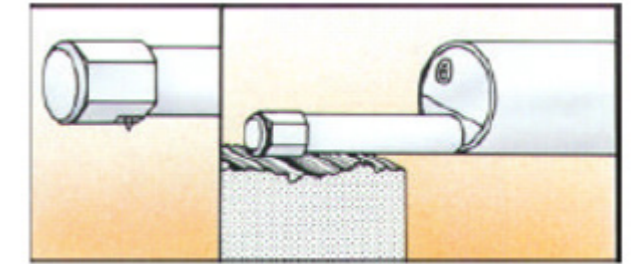


Figure 4 : Traces de la mesure de surface sous le microscope (source : Dockweiler AG)



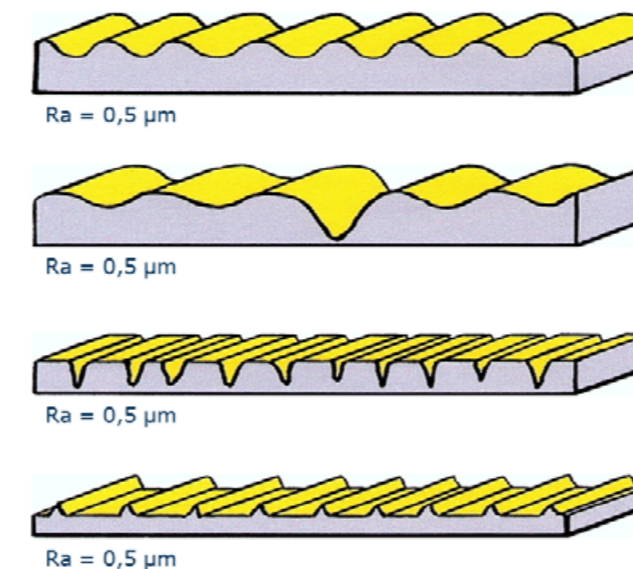
Mesure de rugosité de surface

Dans le cas de la méthode de relevé de rugosité par palpement, il y a une influence massive sur la valeur mesurée, car, par nature, la dureté de la pointe de palpement (dans notre cas, le diamant) dépasse de loin la dureté du matériau (dans notre cas, l'acier inoxydable). Il en résulte les traces de mesure typiques représentées dans la Figure 4 ci-dessous.

Dans l'industrie pharmaceutique, la valeur de Ra est utilisée comme indication de la qualité de surface.

Cette donnée n'est pour autant pas suffisante pour en déterminer la qualité réelle. Selon la topographie de la surface, la capacité à développer des biofilms dans les creux et les bosses sera plus ou moins importante.

Généralement, dans l'industrie pharmaceutique, une valeur faible de Ra est synonyme d'une bonne propriété hygiénique du matériau. La norme de détermination de Ra est la DIN EN ISO 4287, ou bien la ASME B46.1:



## CONSTAT:

- La même valeur de Ra peut être obtenue sur des surfaces de profils différents
- Pics et profondeurs extrêmes du profil ne sont pas pris en compte
- L'indication de Ra n'est en théorie pas suffisante pour définir une surface

Figure 5 : Exemples de topographie de surfaces présentant une rugosité identique (source : H. Reich et S.Schmidt, informations de la société HOMMELWERKE GmbH, Halenerstr. 43-45, 47198 Duisburg)

La typologie du profil à une réelle incidence sur la surface développée tel que :

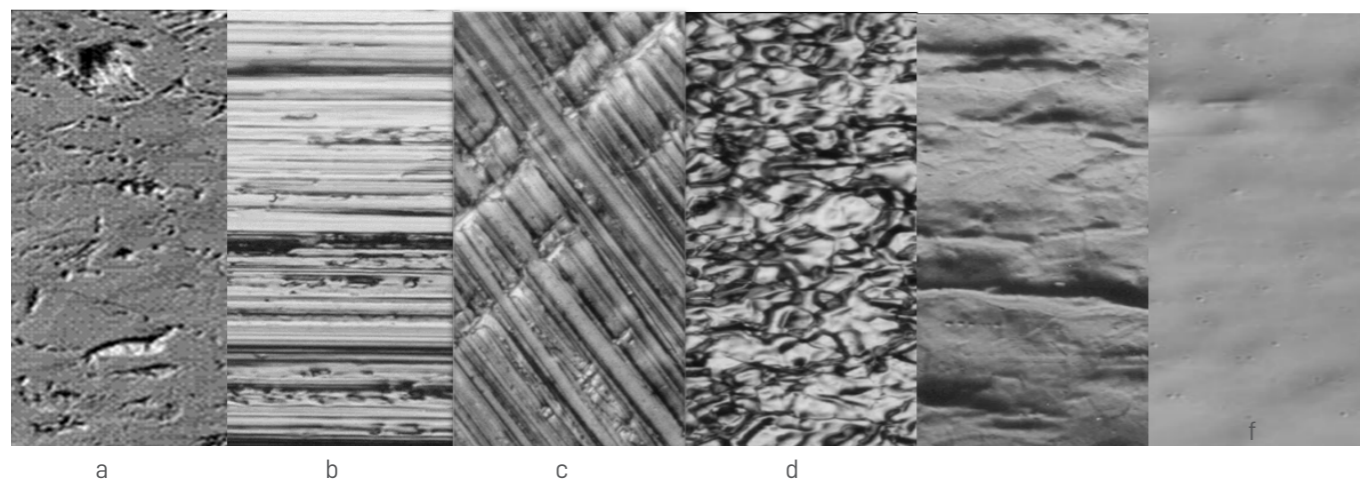
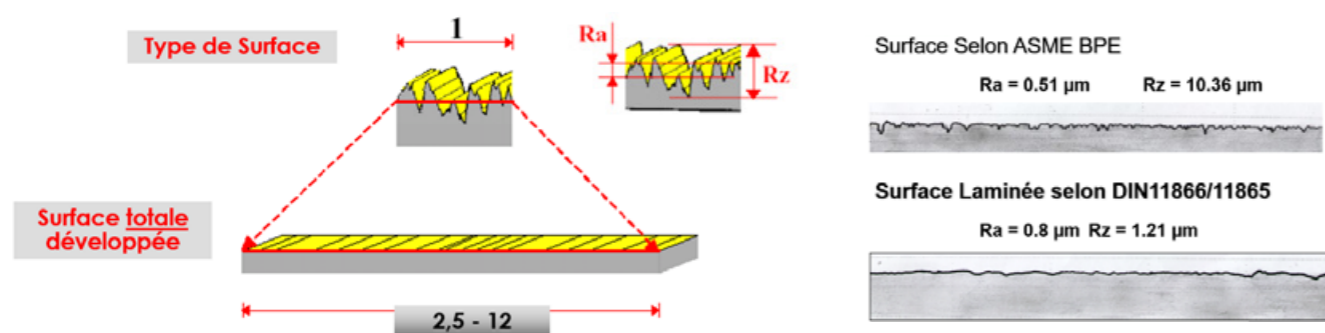


Figure 6 : Surfaces d'aciers inoxydables austénitiques après différents procédés. De gauche à droite a : laminé à froid, métal nu, b : meulé, c : rodé, d : décapé, e : nettoyé par anodisation ; f : électropoli (source : Dockweiler AG)

Le site illustration 6 montre à titre d'exemple 6 topographies macroscopiques de surface obtenues par les différents procédés de traitement.

- a / Les structures métalliques nues présentent des défauts et des impuretés issus du processus de fabrication, mais disposent en général d'une surface fermée.
- b & c / les structures polies ou rodées disposent d'une structure très ouverte et sont donc très difficiles à nettoyer.
- d / Les surfaces décapées sont également très propres, mais ont un aspect mat.
- e / Les structures nettoyées par anodisation sont très propres, mais présentent encore les défauts des précurseurs à métal nu.
- f / Les surfaces électropolies ont les meilleures propriétés hygiéniques possibles (à partir du moment où l'électropolissage a été mis en œuvre sur un matériau avec un bon état de surface de départ)

La surface réelle d'un matériau peut également servir à évaluer les propriétés de nettoyage.

La figure 7 ci-dessous illustre le concept de surface réelle. Si l'on regarde une surface d'en haut, on découvre la surface macroscopique projetée. Dans le cas d'une surface très lisse (électropolie), la valeur de la surface projetée et celle de la surface réelle sont proches l'une de l'autre (à gauche). Dans le cas d'une surface polie, nous avons une grande différence entre la surface réelle et la surface projetée.

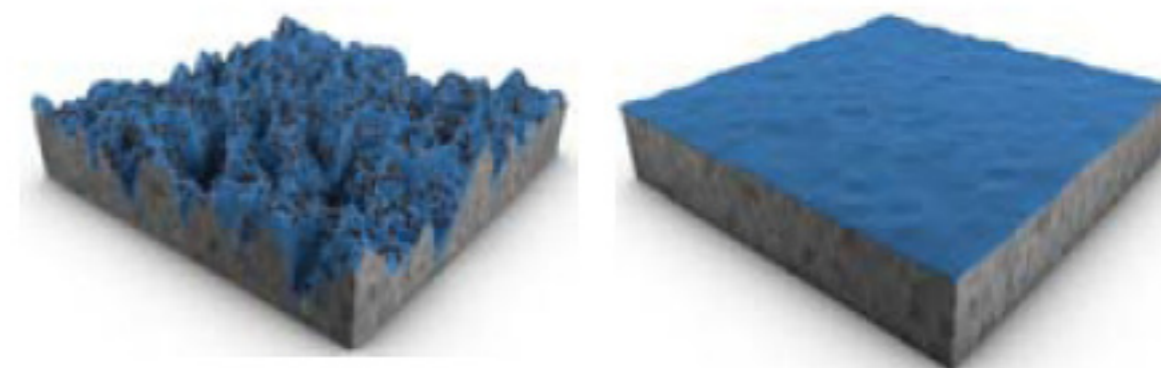


Figure 7 : Modèle de deux surfaces pour illustrer la différence : surface vraie et surface projetée (source : Benedikt Henkel et al. ; L'importance de la couche passive et son influence ciblée sur la préservation de la valeur des surfaces en acier inoxydable dans le secteur médical, technologie de décapage et d'électropolissage, Schülke&Mayr und Henkel Beiz- und Elektropolieretechnik)

Surface développée en fonction de la Typologie de surface

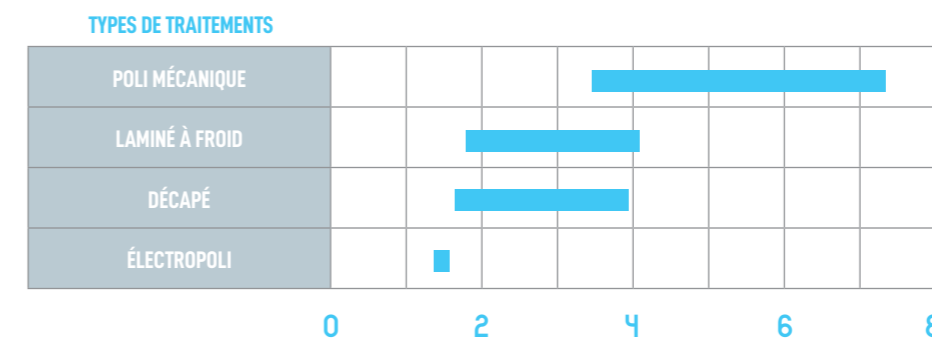


Figure 8 : Impact de l'état de surface sur le développé en fonction du type de traitement de surface pour 1 cm<sup>2</sup> considéré (source : Dockweiler AG)

Figure 8 : donne un aperçu des différentes typologies de surface qui peuvent être adoptés pour les procédés de traitement de surface courants.

Considérons par exemple une surface projetée identique d'un matériau H4 et HE4\* d'une surface de 1 cm<sup>2</sup> selon la représentation dans Figure 7, nous obtenons d'après la Figure 8 une information sur la surface réelle du matériau et donc sur l'aptitude à la nettoyabilité du système.

\*Classes d'hygiène selon la norme DIN 11866/65/64

# RÉSISTANCE À LA CORROSION

En général, nous faisons la distinction entre la corrosion générale ou de surface, la corrosion locale et le troisième phénomène, le rouging.

En raison des teneurs élevées en chlorure des applications pharmaceutiques actuelles, il est important d'adapter le matériau aux paramètres de processus que sont le milieu, la concentration, le temps et la température, et de les évaluer en combinaison. Le type de corrosion généralement observé est la corrosion locale et, en particulier, la corrosion par piqûres (pitting). Pour les conditions décrites, il est donc important de connaître le comportement des matériaux face aux "piqûres" induites par les chlorures.

Différents tableaux, comme le "Corrosion Handbook" d'Outokumpu, peuvent aider. Le numéro PREN (Pitting Resistance Equivalent Number) est également souvent utilisé. Il s'agit d'un paramètre déterminé empiriquement qui peut être calculé à l'aide des formules suivantes :

$$\text{PREN} = \%Cr + 3,3 (\%Mo + 0,5 \%W) + 16 \%N$$

Formule 1 : Valeur PREN pour les aciers inoxydables  
(Source : ASME BPE-2022, Table F-3-1)

$$\text{PREN} = \%Cr + 1,5 (\%Mo + \%W + \%Nb)$$

Formule 2 : Valeur PREN pour les alliages à base de nickel  
(Source : ASME BPE-2022, Table F-3-1)

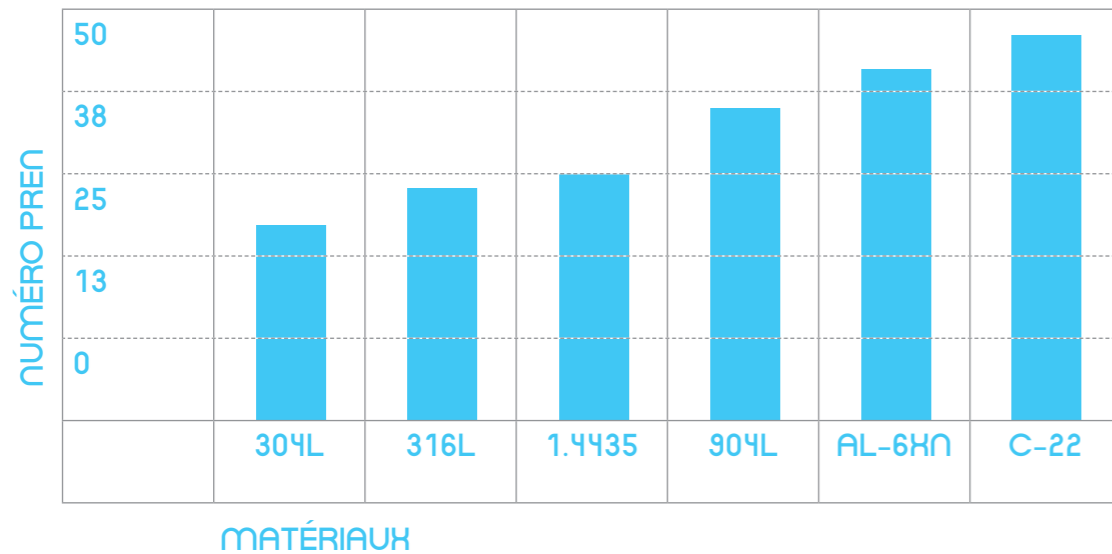


Figure 9 : Résistance à la corrosion par piqûres des échantillons d'alliages selon le calcul PREN (source : Dockweiler AG)

Si l'examen des différents tableaux concernant les états de surfaces et les matériaux à utiliser n'apporte pas de solution satisfaisante, il est également possible de vérifier ou d'infirmer les propriétés des matériaux correspondants dans le cadre d'un test de corrosion selon la norme ASTM G61, comme le montre la figure 2. Figure 10.

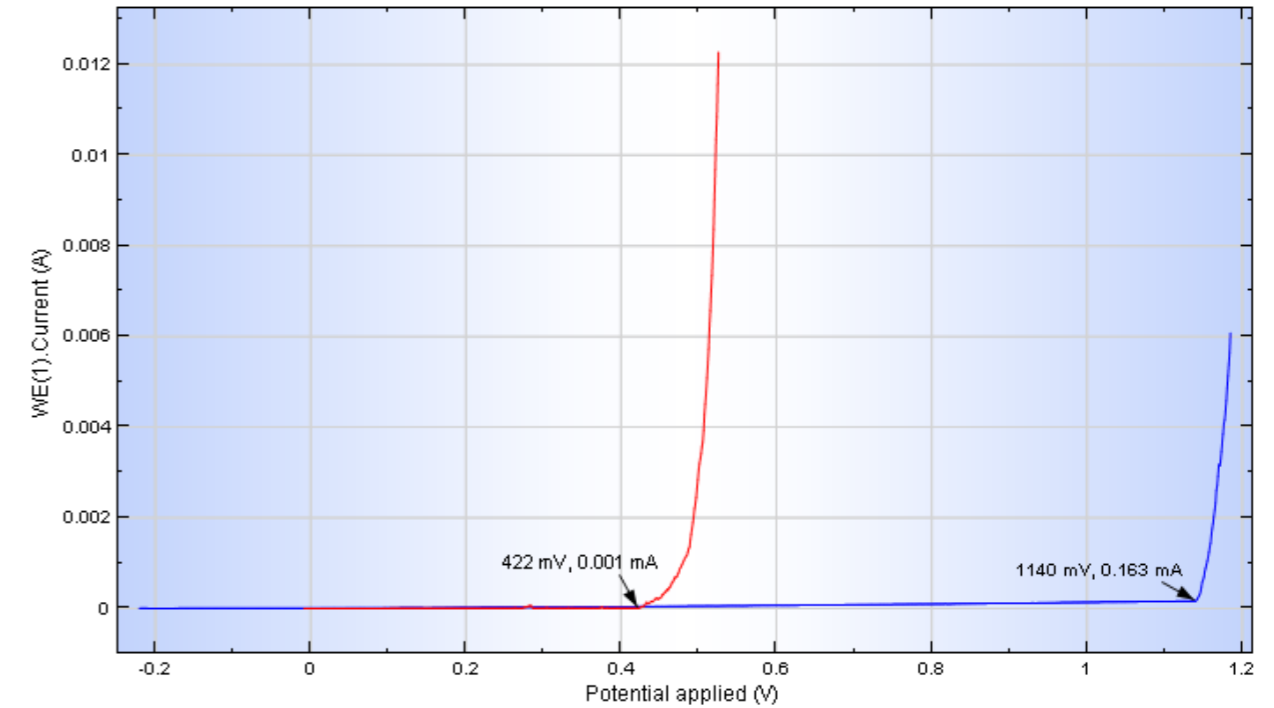


Figure 10 : Diagramme de polarisation et surface ; rouge : métal nu ; bleu : électropoli ; mesure selon ASTM G61 (représentation linéaire), (source : Dockweiler AG)

Lors de ce test, un échantillon du matériau à tester, avec une surface définie, est soumis à une mesure de polarisation cyclique dans le produit corrosif. Ceci permet d'évaluer la résistance de sa couche passive. En augmentant la tension électrique, il se produira un point de rupture de la couche passive, visible par une augmentation soudaine flux électrique. La courbe rouge représente un matériau 1.4571, surface polie par étirage + recuit brillant, et la courbe bleue un matériau 1.4404 avec surface électropoliée.

La valeur de cette tension de pénétration peut être utilisée comme valeur comparative. Elle constitue ainsi un classement qualitatif et quantitatif des différentes options pour le choix du matériau et de sa finition de surface.



Une mise en œuvre dans les règles de l'Art est un élément indispensable pour la cohérence de l'ensemble. L'utilisation de certains matériaux, comme l'Hastelloy C22, l'AL6XN, le 1.4539 ou encore le 1.4435 BN2, pose des défis particuliers lors des opérations de soudage.

## 1. TAUX DE FERRITE

Certains éléments d'alliage, comme le Chrome et le Molybdène, favorisent la formation de structures ferritiques.

Par opposition, des éléments comme le Nickel ou le Manganèse, favorisent les structures austénitiques.

Dans la nuance 1.4435, ces éléments d'alliage sont contenus dans un rapport mutuel qui permet d'obtenir une structure austénitique.

Dans la figure 11, la structure attendue après le soudage est représentée en fonction des équivalents de chrome et de nickel (c'est-à-dire des ferrites et des austénites).

La zone indiquée pour le 1.4435 montre clairement que l'on se trouve à la limite de la structure (partiellement) ferritiques. Lors du soudage, cela peut entraîner la présence d'une proportion notable de ferrite dans le cordon de soudure et la ZAT (Zone Affectée Thermiquement) située de part et d'autre du cordon de soudure.

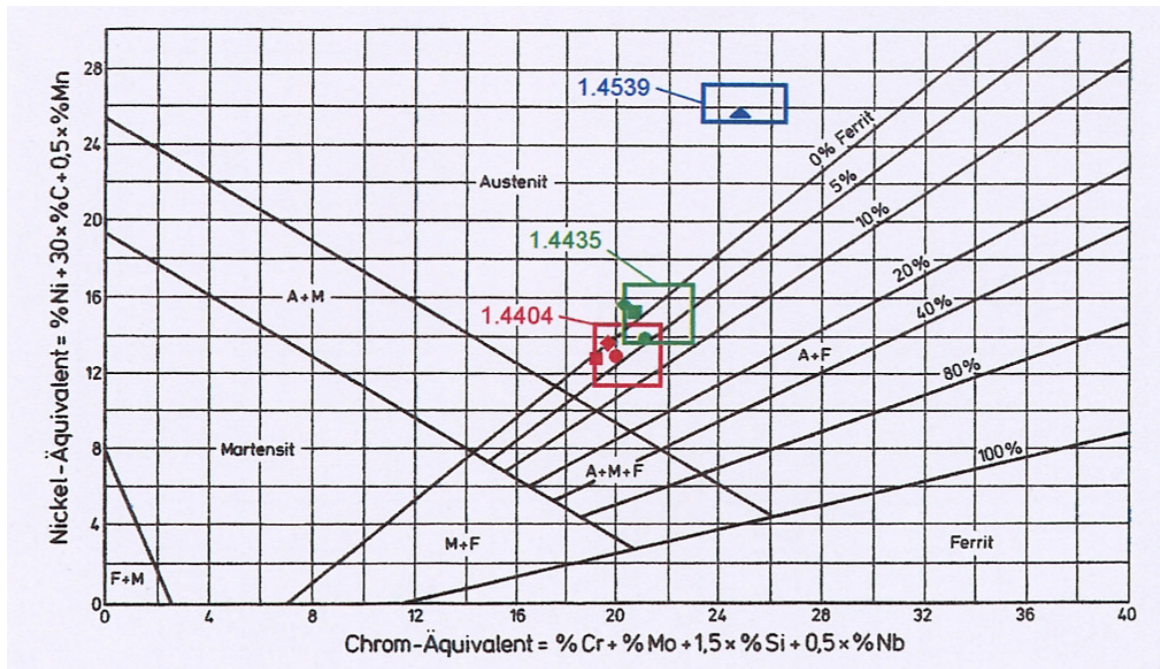


Illustration 11 : Diagramme Schaeffler pour l'estimation du delta ferrite (Source : Dr. Benedikt Henkel, mémoire de fin d'études, TU Wien)

Afin de limiter les risques de corrosion, il faut généralement limiter le taux de ferrite à 3%... Pourtant, il apparaît, selon la figure 11, que le 1.4404 et le 1.4435 contiennent un taux de ferrite compris entre 0% et 10%.

Nous allons comparer maintenant le taux de ferrite obtenu dans le cordon de soudure de 323 échantillons test en 316L et en 1.4435. Le 316L correspond généralement aux taux d'alliage présent dans la nuance 1.4404.

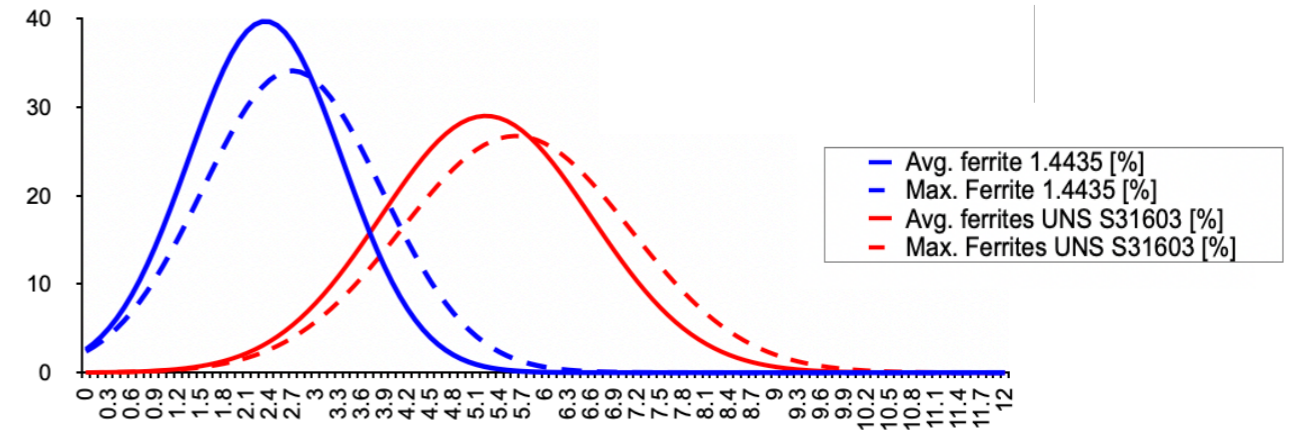


Illustration 12 : Teneurs en taux de ferrite (valeur axe X) des soudures (nombre d'échantillons axe Y) en fonction du matériau (données collectées par mesure magnéto-inductive avec le Feritscope de Fischer), fait en soudures orbitales sans métal d'apport, sur des tubes de 1,65mm d'épaisseur. Il est testé au total 243 coulées 1.4435 et 80 coulées UNS S31603, source : Dockweiler AG

La figure 12 illustre la différence entre les deux alliages lors du soudage. Le matériau 1.4435 BN2 se situe en moyenne à 2,3%, c'est-à-dire en dessous de la valeur critique de 3%. Le matériau UNS S31603 (316L / 1.4404) se situe en moyenne à 5,2%, c'est-à-dire au-dessus de la valeur critique de 3%.

Si la spécification exige une teneur maximale en ferrite de 3%, cet objectif peut être atteint sans problème en utilisant du 1.4435 BN2. Le gaz d'inertage est de l'argon hydrogéné (Ferromix, Arcal, ...).

Toutefois, pour garantir une résistance optimale à la corrosion du matériau 316L grade 1.4435, trois mesures peuvent être prises lors du traitement.

### 1. 1 RECUIT DE MISE EN SOLUTION

Les pièces particulièrement critiques peuvent être soumises à un processus de recuit afin de reconstituer pleinement la structure austénitique. La pièce est alors chauffée à plus de 1000°C\* dans une atmosphère d'hydrogène, et refroidie lentement à température ambiante. On laisse ainsi à la structure le temps nécessaire pour revenir à une structure austénitique. Cette méthode ne permet d'optimiser que de petites pièces, elle ne peut pas être utilisée sur chantiers, et son coût est élevé.

\*La température de mise en solution dépend du matériau. Pour le 1.4404/1.4435/UNS S31603, la température minimale est de 1040 °C. Pour les matériaux plus fortement alliés, voir ASME BPE, Table MM-5.4-1.

### 1.2 UTILISATION DE GAZ D'INERTAGE CONTENANT DU N 2

L'utilisation d'un gaz d'inertage spécial azoté (Ferromix, Arcal, ...), garantit, comme nous l'avons vu au chapitre 4, la formation d'une structure austénitique. Cela permet de repousser ainsi la ferrite d'environ 2%. En fonction du métal utilisé, cela peut être suffisant pour atteindre une valeur inférieure à 3%.

### 1.3 UTILISATION D'ANNEAUX DE SOUDURE

Si l'on utilise comme matériau d'apport un formateur d'austénite pur, comme le 1.4539, t, cela empêche la formation de ferrite et les problèmes qui en découlent.

## 2. PHASES SIGMA

Les Duplex types 1.4539 et AL-6XN ont tendance à former une phase sigma à des températures d'environ 600 à 900°C.

La phase sigma (phase  $\sigma$ ) est une phase intermétallique qui présente les propriétés suivantes :

- **Non magnétisable**
- **Fragile**
- **Faible résistance à la corrosion**

La faible résistance à la corrosion résulte du fait qu'une partie importante des éléments d'alliage se dépose sur la phase sigma, ce qui entraîne une carence locale en chrome et en molybdène.

Pour l'application pratique, cela signifie que lors du soudage de tubes et de raccords, le cordon de soudure traverse la plage de température dans laquelle se forme la phase sigma. Il y a donc un appauvrissement local en chrome et en molybdène dans la structure mixte adjacente au cordon de soudure. Or, comme ces deux matériaux déterminent en grande partie la résistance à la corrosion du matériau, celle-ci est fortement réduite localement.

Une mesure permettant d'éviter cette influence est le recuit de mise en solution. On utilise la propriété de la phase sigma de se dissoudre à des températures supérieures à 900°C et de revenir à une structure austénitique après la trempe.

En alternative au recuit de mise en solution, il est possible d'utiliser un métal d'apport pour contrecarrer l'influence négative de la phase sigma.

L'alliage à base de nickel 2.4602 peut être utilisé à cet effet, il présente une proportion nettement plus élevée d'éléments d'alliage et surcompense la perte de chrome et de molybdène dans la structure adjacente.



## RÉSUMÉ

Les procédés modernes de fabrication de substances actives pharmaceutiques (API) disposent d'un large choix de matériaux appropriés : du 1.4404, 1.4435, à AL-6XN et du C-22 (ASME BPE 2022, Chapter 3, Part MM). Le choix doit se faire en fonction des paramètres du process (milieu, concentration, durée et température) et, en cas de doute, être confirmé par un test de corrosion. Outre le choix du matériau, la qualification du dit matériau et de sa coulée, la spécification du traitement de surface ainsi qu'une procédure de soudage appropriée jouent également un rôle décisif pour la durée de vie de l'installation et la qualité du produit.

Pour compléter, il convient de mentionner ici que d'autres paramètres de conception (voir également ASME BPE 2022 Chapter 4, Part SD) doivent impérativement être pris en compte pour assurer une installation sûre, hygiénique et une bonne nettoyabilité. Il s'agit notamment de la pression appliquée, des conditions d'écoulement et de l'absence de bras mort.







**TUBES TECHNOLOGIES**  
PHARMA • BIOTECH • PROCESS



T U Y A U T E R I E



R O B I N E T T E R I E



C H A U D R O N N E R I E

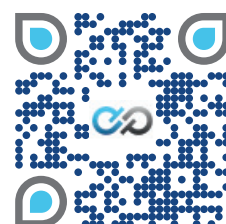


C H A U D R O N N E R I E

ZAC des Pierres Blanches  
31, rue du Traité de Rome - 69780 MIONS (France)

Tél. : +33 4 78 20 37 38  
Fax : +33 4 78 20 46 95

Mail : [info@tubes-technologies.com](mailto:info@tubes-technologies.com)



*Tubes Technologies s'engage avec ses partenaires à fournir les produits cités ; néanmoins, les performances et les normes évoluent. Certains produits sont par conséquent susceptibles d'être modifiés ou remplacés sans préavis, avec la garantie d'une qualité égale ou supérieure.*

[tubes-technologies.com](http://tubes-technologies.com)