



HAL
open science

Corrosion de l'instrumentation médico-chirurgicale en acier inoxydable par les solutions prédésinfectantes : mise au point d'un protocole d'étude

Isabelle Georges

► **To cite this version:**

Isabelle Georges. Corrosion de l'instrumentation médico-chirurgicale en acier inoxydable par les solutions prédésinfectantes : mise au point d'un protocole d'étude. Sciences pharmaceutiques. 1989. dumas-01721468

HAL Id: dumas-01721468

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01721468v1>

Submitted on 2 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il n'a pas été réévalué depuis la date de soutenance.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact au SID de Grenoble :
bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

<http://www.cfcopies.com/juridique/droit-auteur>

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

16 exemplaire

UNIVERSITE Joseph FOURIER - GRENOBLE I
Sciences Technologie Médecine

U.F.R. DE PHARMACIE
Domaine de la Merci - La Tronche

Année : 1989

N° d'ordre : 7036

CORROSION DE L'INSTRUMENTATION MEDICO-CHIRURGICALE EN
ACIER INOXYDABLE PAR LES SOLUTIONS PREDESINFECTANTES :
MISE AU POINT D'UN PROTOCOLE D'ETUDE

THESE

Présentée à l'université Joseph FOURIER - GRENOBLE I

Pour obtenir le grade de : DOCTEUR EN PHARMACIE

Par Mlle : Isabelle GEORGES

[Données à caractère personnel]

Cette thèse sera soutenue publiquement le : 9 Octobre 1989

Devant Mme le Professeur Alice VERAIN, Président du Jury

et Mr. le Professeur Jean CALOP
Mr. le Professeur Jean-Jacques RAMEAU
Mlle Dominique BIN, Docteur en Pharmacie



UNIVERSITE Joseph FOURIER - GRENOBLE I
Sciences Technologie Médecine

U.F.R. DE PHARMACIE
Domaine de la Merci - La Tronche

Année : 1989

N° d'ordre :

CORROSION DE L'INSTRUMENTATION MEDICO-CHIRURGICALE EN
ACIER INOXYDABLE PAR LES SOLUTIONS PREDESINFECTANTES :
MISE AU POINT D'UN PROTOCOLE D'ETUDE

THESE

Présentée à l'université Joseph FOURIER - GRENOBLE I

Pour obtenir le grade de : DOCTEUR EN PHARMACIE



115 005473 7

Par Mlle : **Isabelle GEORGES**

[Données à caractère personnel]



Cette thèse sera soutenue publiquement le : **9 Octobre 1989**

Devant Mme le Professeur **Alice VERAÏN**, Président du Jury

et Mr. le Professeur **Jean CALOP**
Mr. le Professeur **Jean-Jacques RAMEAU**
Mlle **Dominique BIN**, Docteur en Pharmacie

J'adresse, tout d'abord, mes plus chaleureux remerciements à **Madame le Professeur Alice VERAÏN**, pour avoir accepté d'assurer la présidence du jury.

Je remercie, tout particulièrement, **Monsieur le Professeur Jean CALOP**, Pharmacien chef de la C.A.M.S.P., qui m'a confié ce sujet et accueillie dans son service, lors de ma 5^e Année hospitalo-universitaire.

Je sais gré à **Monsieur le Professeur Jean-Jacques RAMEAU** d'avoir accepté de porter son regard d'électrochimiste et de corrosionniste sur ce travail. Je l'en remercie vivement.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à **Mademoiselle Dominique BIN**, Pharmacien hygiéniste à la C.A.M.S.P., pour l'aide qu'elle m'a apportée tout au long de cette étude.

Je remercie, enfin, toutes les personnes qui, par leur compétence, leur aide ou leur sympathie m'ont aidée dans ma tâche.

SOMMAIRE

	Page
1. INTRODUCTION	8
2. LES ACIERS INOXYDABLES : ASPECTS STRUCTURAUX ET CORROSION	11
2.1. <u>LES ACIERS INOXYDABLES</u>	12
2.1.1. Définition	12
2.1.2. Structures cristallines	12
2.1.3. Eléments d'addition	14
2.1.4. Classification	14
2.1.4.1. Aciers austénitiques	14
2.1.4.2. Aciers ferritiques	15
2.1.4.3. Aciers martensitiques	15
2.1.5. Aciers inoxydables "médicaux"	16
2.2. <u>LE PHENOMENE DE PASSIVATION</u>	18
2.2.1. Définition	18
2.2.2. Mécanisme de formation de la couche passive	18
2.2.3. Importance de la couche passive	20
2.3. <u>LE PHENOMENE DE CORROSION</u>	22
2.3.1. Définition	22
2.3.2. Mécanisme de la corrosion en milieu aqueux	22
2.3.3. Différentes formes de corrosion	26
2.3.3.1. Corrosion générale	26
2.3.3.2. Corrosion par piqûres	27
2.3.3.3. Corrosion caverneuse	28
2.3.3.4. Corrosion intergranulaire	28
2.3.3.5. Corrosion par aération différentielle	29

	Page
2.4. <u>METHODES D'ETUDE DE LA CORROSION</u>	31
2.4.1. Méthodes d'analyse de l'état de surface	31
2.4.2. Méthodes analytiques	32
2.4.3. Méthodes par différence de pesées	33
2.4.4. Méthodes électrochimiques	34
2.4.5. Tests de corrosion accélérée	35
3. <u>PREDESINFECTION DES INSTRUMENTS MEDICO-CHIRURGICAUX EN ACIER INOXYDABLE : CONSEQUENCES SUR LEUR PERENNITE</u>	38
3.1. <u>LES INSTRUMENTS MEDICO-CHIRURGICAUX EN ACIER INOXYDABLE</u>	39
3.1.1. Réglementation	39
3.1.1.1. Pinces hémostatiques	39
3.1.1.2. Instruments tranchants	40
3.1.1.3. Instruments à fonction statique	42
3.1.2. Fabrication	43
3.1.2.1. Travail de forge	43
3.1.2.2. Usinage	43
3.1.2.3. Finition	44
3.1.3. Utilisation et entretien	45
3.1.3.1. Instrument neuf	46
3.1.3.2. Emballage pour la stérilisation	46
3.1.3.3. Stérilisation	47
3.1.3.4. Utilisation	48
3.1.3.5. Prédésinfection	48
3.1.3.6. Nettoyage	49
3.2. <u>LES SOLUTIONS PREDESINFECTANTES</u>	53
3.2.1. Objectifs	53
3.2.2. Critères de choix	53
3.2.2.1. Efficacité	53
3.2.2.2. Innocuité	54
3.2.2.3. Conditionnement et conservation	55

	Page
3.2.3. Formulation	55
3.2.3.1. Les agents désinfectants	56
3.2.3.2. Les agents nettoyants	62
3.2.3.3. Les inhibiteurs de corrosion	66
3.2.3.4. Les adjuvants divers	67
3.2.4. Modalités d'utilisation	68
3.2.4.1. Préparation de la solution	68
3.2.4.2. Eau de dilution	68
3.2.4.3. Temps de trempage	69
3.2.4.4. Validité des bains	69
3.3. <u>ETUDES ANTERIEURES</u>	70
3.3.1. Etudes menées par les fabricants	70
3.3.1.1. Etude comparative de l'agressivité de trois solutions à base de glutaraldéhyde	70
3.3.1.2. Etude de l'action corrosive d'un détergent-désinfectant à base de polyalkylpolyamides et de chlorure de benzalkonium	71
3.3.1.3. Comportement d'une solution à base de glutaraldéhyde vis-à-vis des métaux	71
3.3.1.4. Etude de compatibilité d'une solution prédésinfectante à base de glutaraldéhyde avec différents instruments	72
3.3.1.5. Etude des propriétés corrosives de diverses solutions de glutaraldéhyde	75
3.3.2. Etude comparative de l'action corrosive de différents désinfectants	76
3.3.3. Etude de l'agressivité d'une solution prédésinfectante à base de glutaraldéhyde	78
4. MISE AU POINT D'UN PROTOCOLE D'ETUDE DES RISQUES DE CORROSION DES INSTRUMENTS MEDICO-CHIRURGICAUX EN ACIER INOXYDABLE LORS DE LEUR PREDESINFECTION	80
4.1. <u>CONDITIONS OPERATOIRES A RESPECTER</u>	81
4.1.1. Instruments médico-chirurgicaux	81
4.1.2. Solutions testées	82
4.1.3. Appareils	85

	Page
4.2. <u>MODE OPERATOIRE</u>	86
4.2.1. Préparation des instruments	86
4.2.2. Préparation des solutions	86
4.2.3. Cycle Trempage-Rinçage-Séchage	87
4.2.4. Etude de l'état de surface des instruments	88
4.3. <u>RESULTATS</u>	89
4.3.1. Caractéristiques fixes des solutions	89
4.3.2. Paramètres variables	90
4.3.2.1. pH	90
4.3.2.2. Conductivité	90
4.3.3. Observations au stéréomicroscope	91
4.3.3.1. Pinces KOCHER	91
4.3.3.2. Ciseaux MOUSSE courbes	91
4.3.4. Observations au microscope électronique à balayage (M.E.B.)	91
4.3.4.1. Pinces KOCHER	91
4.3.4.2. Ciseaux MOUSSE courbes	91
4.4. <u>DISCUSSION</u>	111
4.4.1. Analyse des paramètres influençant la corrosion	111
4.4.1.1. Température	111
4.4.1.2. Concentration en ions chlorure	111
4.4.1.3. Oxygène dissous	112
4.4.1.4. Potentiel d'oxydo-réduction	112
4.4.1.5. pH	112
4.4.1.6. Conductivité	113
4.4.2. Analyse de l'état de surface	113
4.4.2.1. Solution P à 4%	113
4.4.2.2. Solution P à 8%	114
4.4.2.3. Eau de Javel à 2,4° Chl.	114
4.4.2.4. Eau du secteur	115
4.4.3. Proposition d'un protocole d'étude	116

	Page
4.5. <u>CONCLUSION DE L'ETUDE</u>	118
5. CONCLUSION GENERALE	119
6. BIBLIOGRAPHIE	121

1. INTRODUCTION.

A l'heure actuelle, il est proposé un grand nombre de solutions prédésinfectantes et un problème se pose qui est le choix de la solution à acheter.

Au niveau du cahier des charges, il est demandé l'étude de l'activité bactérienne et celle de la toxicité mais rien n'est spécifié quant à l'étude de l'agressivité de la solution vis-à-vis de l'instrumentation médico-chirurgicale. Il est donc nécessaire de définir des tests permettant d'évaluer la compatibilité de ces solutions avec le matériel médico-chirurgical afin d'éviter une dégradation trop rapide de celui-ci.

Actuellement, on constate qu'à l'utilisation les instruments médico-chirurgicaux en acier inoxydable subissent de nombreuses altérations [31] :

- grippage de l'articulation
- perte du pouvoir tranchant
- déverrouillage défectueux de la crémaillère
- cassure des pinces hémostatiques

La cause de ces dommages est principalement un phénomène de corrosion. Pour des raisons de sécurité, d'efficacité et d'hygiène, tout instrument défectueux ou rouillé doit être impérativement remplacé, cela entraînant un coût de fonctionnement plus élevé.

Afin d'obtenir une meilleure adéquation entre ce besoin et le contrôle des dépenses de la santé, il est nécessaire d'investir dans des instruments de qualité et dans des solutions (prédésinfectantes, nettoyantes, désinfectantes) respectant le matériel médico-chirurgical [44].

En ce qui concerne la qualité de l'instrumentation, il existe des normes françaises définissant, entre autre, la composition et la dureté des aciers inoxydables que l'on doit employer pour leur fabrication.

En revanche, il n'existe aucune standardisation des essais de corrosion du matériel médico-chirurgical par les solutions. Il nous a donc paru intéressant de proposer un **"protocole d'étude de la corrosion de l'instrumentation médico-chirurgicale en acier inoxydable par les solutions prédésinfectantes"**.

La mise au point d'un tel protocole passe par l'acquisition de données sur les aciers inoxydables et par la connaissance des phénomènes de passivation et de corrosion de ces mêmes aciers. Par ailleurs, il sera donné quelques méthodes d'étude de la corrosion.

Après avoir cité la réglementation en vigueur en ce qui concerne les instruments médico-chirurgicaux en acier inoxydable, nous décrirons leur fabrication et leur circuit au sein de l'hôpital. Nous nous intéresserons ensuite aux solutions prédésinfectantes (critères de choix, formulations) ainsi qu'à leurs modalités d'utilisation.

Enfin, après une analyse des études préalablement réalisées, nous proposerons un "protocole d'étude de la corrosion des instruments médico-chirurgicaux en acier inoxydable". Celui-ci sera élaboré à la suite d'une étude comparative de l'agressivité des 4 solutions suivantes :

- Eau de Javel
- Eau du secteur
- Solution prédésinfectante à base de glutaraldéhyde à la concentration d'utilisation
- Solution prédésinfectante à base de glutaraldéhyde à une concentration supérieure à celle préconisée

2. LES ACIERS INOXYDABLES :
ASPECTS STRUCTURAUX ET CORROSION

2.1. LES ACIERS INOXYDABLES

2.1.1. DEFINITION

Les aciers sont des alliages de fer et de carbone ($C < 1,7\%$). Ils acquièrent la propriété d'inoxydabilité grâce à l'addition de chrome ($Cr > 12\%$) qui leur confère des propriétés superficielles se traduisant par une résistance élevée à la corrosion [26] [47]. En effet, le chrome se transforme, à la surface du métal, en un composé oxydé qui ralentit, voire stoppe la corrosion (phénomène de passivité).

L'addition de chrome est faite dans la masse mais elle est aussi réalisée par dépôt électrolytique sur la surface du matériau. Toutefois ce type de dépôt n'est pas toujours suffisamment adhérent ni étanche (microfissures); la couche déposée ainsi peut ne pas résister au nettoyage par les ultrasons et aux différents cycles de stérilisation à la vapeur.

En général, plus la teneur en chrome est élevée, plus la résistance à la corrosion est importante. Néanmoins la présence d'autres éléments comme le nickel et le molybdène contribue à améliorer la résistance à la corrosion des aciers inoxydables [30].

Enfin, les différents traitements (thermiques, de polissages, etc ...) subis par les aciers inoxydables, influent aussi sur leurs propriétés mécaniques et leur résistance à la corrosion.

2.1.2. STRUCTURES CRISTALLINES

Les aciers possèdent une structure cristalline constituée par un assemblage de grains. Selon la température, il existe différentes formes de cristallisation du fer pur (variétés allotropiques) [52] [28].

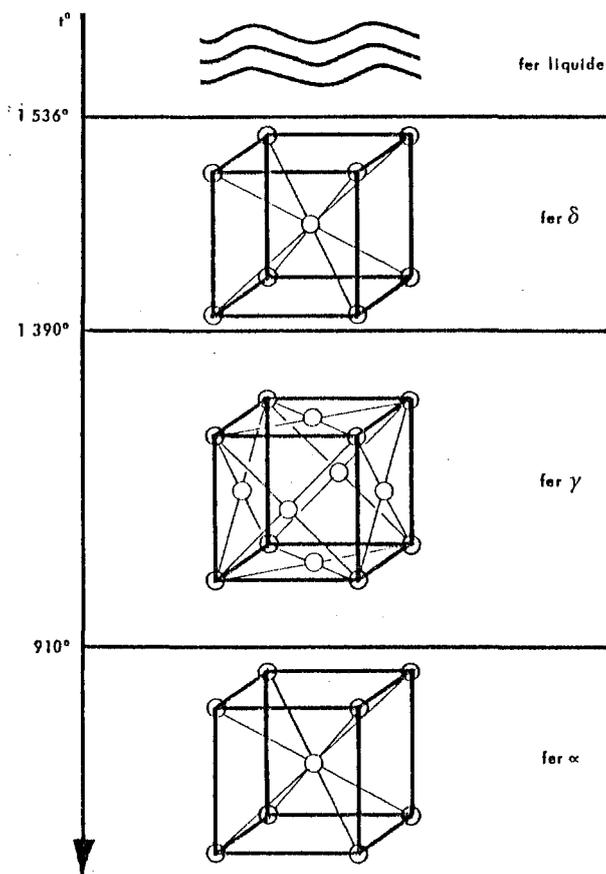
Ainsi à partir du fer liquide, on obtient, en abaissant la température, le fer "delta" qui a une structure cubique centrée. En continuant le refroidissement on passe par la structure "gamma" qui est cubique à faces centrées puis on obtient le fer "alpha" qui a une structure cubique centrée (Cf. schéma 1).

Pour les alliages riches en fer, on retrouve les structures "alpha" et "gamma" appelées respectivement **ferrite** et **austénite**.

La solubilité du carbone diminue lorsque la température diminue. Par conséquent, si on abaisse rapidement la température (opération de trempe), les atomes de carbone sont gênés pour sortir des réseaux de fer "gamma". De leur côté, les atomes de fer dans la structure "gamma" sont gênés dans leur réarrangement en structure "alpha" par la présence des atomes de carbone.

La structure ainsi obtenue s'appelle la **martensite**, et peut être définie comme une "solution sursaturée" de carbone dans le fer. Plus la teneur en carbone est élevée, plus la distorsion des mailles est importante. Les tensions internes ainsi créées confèrent à l'acier inoxydable martensitique une dureté et une résistance mécanique très supérieures à celles des structures obtenues par refroidissement lent.

Schéma 1 : Transformations allotropiques du Fer
in "L'acier et sa mise en oeuvre" (1973) [28]



2.1.3. ELEMENTS D'ADDITION

L'addition, en faible pourcentage, de certains éléments dans les aciers inoxydables est destinée, en particulier, à renforcer leur résistance vis-à-vis des différents phénomènes de corrosion.

Le Nickel améliore la résistance à la corrosion par les acides mais a peu d'effet sur la corrosion par piqûres [57].

Le Molybdène augmente la résistance à la corrosion par les acides [52] et surtout, il diminue le phénomène de corrosion par piqûres [49] et cela en accélérant la formation ou la réparation de la couche passive [57].

Le Cuivre améliore la résistance à l'attaque par les acides [57].

Le Titane et le Niobium diminuent la sensibilité à la corrosion intergranulaire [59] (Cf.chap.2.3.3.4.).

Le Carbone, nécessaire à la dureté, a tendance à accroître les risques de corrosion notamment intergranulaire [57], par formation de précipités de carbure métallique au voisinage des joints de grains (Cf.chap.2.3.3.4.).

2.1.4. CLASSIFICATION

On peut classer les aciers inoxydables en trois groupes d'après leur structure, celle-ci déterminant leurs propriétés [59] (Cf.tableau I).

2.1.4.1. ACIERS AUSTENITIQUES

Les aciers austénitiques contiennent, outre le fer (60-70%), du chrome (12-30%) et du nickel en quantité relativement importante (7-25%) [55]. Parmi ces aciers, on rencontre notamment les types "18-8" et "18-10", c'est-à-dire avec 18% de chrome et respectivement 8 et 10% de nickel.

Pour que les aciers inoxydables gardent la structure austénitique à température ordinaire il est nécessaire de faire une hypertrempe (refroidissement "hyper" rapide de l'acier inoxydable), le nickel étant ajouté pour stabiliser cette structure.

Grâce à la teneur importante en chrome, ces aciers sont fortement inoxydables. Ils sont amagnétiques et très malléables. On peut les durcir par le procédé d'écrouissage : le métal est martelé à froid ou laminé et la compression ainsi créée augmente la dureté [29] par formation de martensite. On peut aussi incorporer du tungstène ou du silicium pour obtenir un effet durcissant [55].

2.1.4.2. ACIERS FERRITIQUES

Les aciers ferritiques sont constitués par des grains de ferrite. Ils contiennent 16 à 30% de chrome [55] et moins de 0,1% de carbone : l'acier inoxydable F17 (AISI 430) (17% de chrome) caractérise ce groupe [32], la nomenclature "AISI" correspondant aux normes américaines.

Ils présentent une bonne résistance à la corrosion. Ils sont magnétiques et ne peuvent subir la trempe.

2.1.4.3. ACIERS MARTENSITIQUES

Les aciers martensitiques renferment, en plus du fer (70-80%), du chrome (12-16%) pour donner le caractère inoxydable et du carbone en quantité importante (0,1-1%) qui leur confère une dureté élevée [49] [55].

Ils sont magnétiques et acquièrent la structure martensitique par la trempe. De plus ils peuvent subir le revenu [29] [57].

- La trempe augmente les caractéristiques mécaniques comme la dureté et améliore également la résistance à la corrosion (Cf.chap.3.1.2.2.).

- La deuxième opération, le revenu, permet de limiter les contraintes internes résultant de la trempe et rend par conséquent l'acier moins "cassant" (plus malléable) (Cf.chap.3.1.2.2.).

Ces aciers présentent donc une bonne résistance à la corrosion et des caractéristiques mécaniques élevées.

Tableau I : Principales propriétés des différentes classes d'aciers inoxydables.

	ACIERS AUSTENITIQUES	ACIERS FERRITIQUES	ACIERS MARTENSITIQUES
Composition en %	Cr : 12-30 C : 0,01-0,1 Ni : 7-25	Cr : 16-30 C < 0,1	Cr : 12-16 C : 0,1-1
Résistance à la corrosion	+++	++	++
Malléabilité	+++	++	+
Dureté	++	+	+++
Trempe	oui	non	oui
Ptés magnétiq.	non	oui	oui

2.1.5. LES ACIERS INOXYDABLES "MEDICAUX"

Nous venons de voir que les aciers inoxydables présentent, en fonction de leur classe, toute une gamme de propriétés métallurgiques, d'où la nécessité de choisir selon l'application envisagée.

En ce qui concerne la fabrication des instruments médico-chirurgicaux, le choix doit tenir compte des caractéristiques suivantes :

- Inoxydabilité :

Les instruments sont exposés régulièrement à des conditions sévères : trempage dans des solutions plus ou moins agressives, stérilisation à l'autoclave (chaleur et humidité), etc ... Il leur faut donc être inoxydables afin de résister à la corrosion, celle-ci entraînant la perte des propriétés mécaniques (tranchant, souplesse) et des risques accrus de contamination (dépôts).

- Robustesse :

Elle doit être suffisamment importante pour permettre aux instruments de résister aux conditions et rythmes d'utilisation.

- Souplesse :

Elle doit être telle que les instruments à forci-pression (crémaillère) et à ressort ne cassent pas lors de l'emploi.

- Propriété de coupe :

Cette propriété est indispensable pour tous les instruments tranchants. L'acier doit résister à l'usure, l'instrument doit rester tranchant au cours des utilisations successives, d'où la nécessité d'un acier inoxydable possédant une certaine dureté.

- Malléabilité :

L'acier doit être suffisamment malléable pour permettre une réalisation facile car les instruments médico-chirurgicaux possèdent souvent des formes particulières et précises.

Tenant compte de ces différentes exigences, seuls sont retenus les **aciers inoxydables martensitiques** dont la composition présente un bon compromis pour satisfaire à ces critères [57].

Les aciers austénitiques très résistants à la corrosion mais ne possédant qu'une faible dureté, ne seront utilisés que pour la fabrication des instruments à fonction statique, type cupules, écarteurs, etc ... [40].

Il faut noter que pour améliorer le caractère inoxydable des aciers martensitiques, on les soumet à des traitements de surface (polissage manuel ou électrolytique, passivation) lors de la fabrication des instruments [40].

Les aciers martensitiques présentant de multiples nuances donc des propriétés métallurgiques différentes, il est important de bien choisir l'acier. L'Association Française de Normalisation (AFNOR) a édité plusieurs normes consacrées à l'instrumentation médico-chirurgicale. Ces normes, qui seront détaillées dans le chapitre 3.1.1., définissent notamment les compositions et les propriétés des aciers à employer selon les instruments à réaliser.

2.2. LE PHENOMENE DE PASSIVATION

2.2.1. DEFINITION

L'attaque des métaux se traduit, soit par leur dissolution sous forme ionique (1), soit par l'apparition à leur surface d'une pellicule d'oxyde (2).



Si ces oxydes sont peu solubles, la couche qu'ils forment constitue une barrière ayant pour effet de limiter la corrosion. Cette protection naturelle est appelée **passivation**.

En ce qui concerne les aciers inoxydables, ils résistent, dans de nombreux milieux, à la corrosion grâce à la formation d'un **film passif superficiel d'oxyde de chrome**.

Ce film, de quelques millièmes à quelques centièmes de micromètres d'épaisseur [49], possède la remarquable propriété de ralentir les transferts de matière et de charges électriques au travers de l'interface entre le métal et le milieu aqueux auquel il est exposé [32].

Il possède de plus deux propriétés fondamentales qui sont :

- formation spontanée à l'air
- régénération spontanée s'il est détruit localement, cela à condition que le milieu ambiant le permette, c'est-à-dire à condition que le métal soit passif dans ce milieu, faute de quoi la corrosion peut se développer rapidement [49].

2.2.2. MECANISME DE FORMATION DE LA COUCHE PASSIVE

L'acier ne peut être passivé qu'en présence d'oxygène ou d'agents oxydants et à condition que ceux-ci puissent agir sur toute la superficie car, pour que le métal soit protégé, il est nécessaire que le film soit continu [55].

L'acier ordinaire formera une couche d'oxyde de fer (rouille) qui est discontinue et par conséquent le phénomène d'oxydation pourra gagner en profondeur (Cf. schéma 2 fig.1). L'acier devient inoxydable grâce à la présence de l'élément chrome à une teneur supérieure à 12%. Celui-ci s'oxyde plus facilement que le fer et il forme une couche d'oxyde continue et isolante de telle sorte que l'acier est protégé de la corrosion (Cf. schéma 2 fig.2). Le métal est passivé.

Schéma 2 : Phénomène de passivation

d'après Kossowsky (1984) [52]

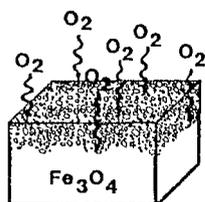


Figure 1

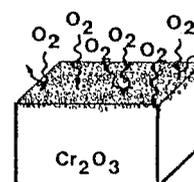


Figure 2

L'échelle des potentiels électrochimiques qui indique la tendance des métaux à se dissoudre permet de les classer du plus noble au plus actif (Cf. Chap.2.3.2). Un même métal peut cependant posséder plusieurs degrés de noblesse. C'est le cas des aciers inoxydables. Leur état passif n'a lieu, comme nous l'avons vu, que dans certaines conditions, en particulier oxydantes. Les milieux réducteurs tendent à rétablir l'activité du métal et donc à le dépassiver [55].

Ainsi on observe selon les conditions environnantes [26] :

- Un état passif où le métal recouvert d'une couche passivante prend un potentiel métal-solution élevé et ne subit pas de corrosion notable.

- Un état actif caractérisé par l'absence de couche protectrice à la surface du métal, qui prend alors un potentiel métal-solution inférieur à celui de l'hydrogène et peut être attaqué à une vitesse appréciable.

En conclusion, nous retiendrons qu'un acier dit inoxydable n'est inoxydable que sous certaines conditions susceptibles de le passiver ou de le garder passif. En dehors de ces conditions l'alliage perd tout ou partie de sa résistance à la corrosion. D'autres éléments (Ni, Mo, Cu, etc ...) incorporés à l'alliage fer-chrome peuvent élargir la résistance aux milieux non oxydants.

2.2.3. IMPORTANCE DE LA COUCHE PASSIVE

La stabilité et la continuité de la couche passive sont les éléments déterminants de la résistance à la corrosion des métaux et alliages passivables, en l'occurrence des aciers inoxydables [49] [58].

Il est ainsi nécessaire que :

- la teneur ainsi que la répartition en chrome soient correctes
- l'état de surface soit très lisse et très propre, cela étant facilité par les traitements préalables comme le polissage
- le milieu environnant soit oxydant

Si la couche passive se trouve localement "affaiblie" (rayures, chocs, etc ...), soit elle se régénère spontanément (**repassivation**), soit elle ne peut se reformer et la corrosion s'installe (**dissolution locale**). L'évolution dans l'un ou l'autre sens est fonction de la nature du milieu agressif et du caractère permanent ou passager des causes ayant provoqué cette hétérogénéité du film passif.

Schématiquement, nous pouvons envisager trois types de situations :

- Un acier inoxydable préalablement passivé est immergé dans une solution peu oxydante (par exemple une solution d'acide sulfurique) : il reste passif et son potentiel de corrosion se stabilise. La vitesse de dissolution reste limitée. Si pour une raison quelconque, par exemple d'origine mécanique (rayures), la couche passive est localement détruite, le métal ainsi mis à nu subit une dissolution active susceptible de se propager très rapidement sur toute la surface du métal qui subira alors une **corrosion générale rapide**.

- Si la perturbation et l'hétérogénéité du film passif restent localisées, il y a alors **corrosion localisée**. Ce type de corrosion a lieu :

- * soit à la suite de la présence d'une hétérogénéité métallurgique (précipité de carbure, par exemple, entraînant une corrosion intergranulaire)

- * soit parce qu'il est lié à la nature du milieu et à la géométrie du métal (corrosion par piqûres, par crevasses)

* soit enfin, parce que, en milieu relativement peu agressif, il existe une perturbation entretenue (corrosion cavitation, corrosion sous contrainte mécanique)

- Si la cause de l'endommagement est extérieure au métal et temporaire, la "réparation" du film passif sera rapide et **aucune corrosion** n'apparaîtra. Cela se produit lorsqu'un acier inoxydable est plongé dans une solution d'acide nitrique (30 à 40%) : cet acide oxydant favorise suffisamment la formation du film superficiel pour que le métal reste passif. Cette propriété est d'ailleurs utilisée pour fabriquer un film passif sur les aciers inoxydables ou pour réparer tous les accidents superficiels subis par la surface.

2.3. LE PHENOMENE DE CORROSION

2.3.1. DEFINITION

Les métaux, à l'exception des métaux précieux que l'on trouve à l'état naturel, sont toujours extraits de minerais. A l'état pur, ils ont tendance à s'altérer au contact de l'atmosphère, des eaux et des divers milieux corrosifs pour retourner progressivement à leur état originel thermodynamiquement plus stable (oxydes, hydroxydes,...) [55] [32].

Ce processus de dégradation des matériaux constitue le **phénomène de corrosion**, phénomène complexe de nature électrochimique caractérisant la réaction avec le milieu environnant [33].

Le phénomène de corrosion revêt des formes variées (piqûres, fissures, etc ...). Ainsi, en fonction des conditions extérieures (milieu humide, solution corrosive, atmosphère sèche, etc ...) et de sa structure, le métal se comportera différemment face à la corrosion.

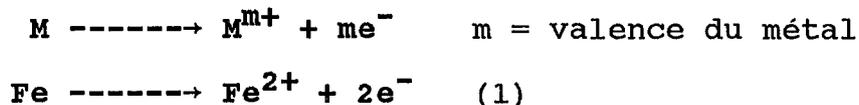
Dans la suite, seul le phénomène de corrosion en milieu aqueux sera développé car c'est celui mis en jeu dans notre étude.

2.3.2. MECANISME DE LA CORROSION EN MILIEU AQUEUX

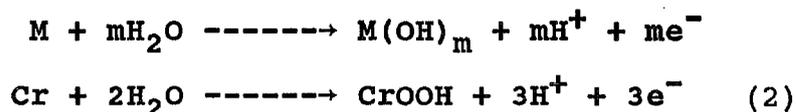
Un métal plongé dans une solution agressive est le siège de deux types de réactions électrochimiques [26] [46] :

* une réaction d'oxydation (a)

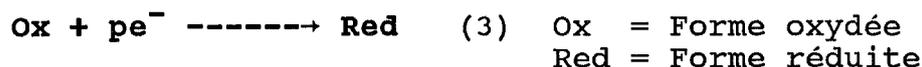
- soit avec dissolution du métal M à l'état d'ions selon :



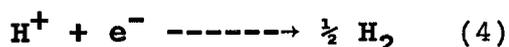
- soit avec formation d'une couche passive selon :



* une réaction de réduction (b) de composés présents dans la solution selon :



Les deux principaux composés oxydants rencontrés en corrosion sont H^+ et O_2 dissous qui sont réduits respectivement selon les réactions :



Chacune de ces réactions électrochimiques est caractérisée par son potentiel d'équilibre (potentiel thermodynamique) [26]:

$$E = E^{\circ} \text{Ox/Red} + \frac{RT}{nF} \text{Log} \frac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]}$$

Ox : Concentration de la forme oxydée
 Red : Concentration de la forme réduite
 R : Constante des gaz parfaits
 T : Température absolue
 F : Faraday = 96500 coulombs
 n : Nombre d'électrons mis en jeu

E° = Potentiel normal d'oxydo-réduction du couple Ox/Red. Il s'agit d'un potentiel fixe spécifique du couple considéré dans des conditions particulières (conditions normales). La valeur de E° est répertoriée dans les tables (Cf. tableau II).

Les métaux, dont le potentiel normal est le plus négatif, sont très réactifs et les moins résistants à la corrosion. Par exemple, les métaux situés avant le cuivre se corrodent ou s'oxydent facilement, tandis que ceux situés après ne se corrodent pas aisément. Pour cette raison l'or et l'argent existent à l'état natif, tandis que le fer et l'aluminium se trouvent toujours, dans les gisements, sous formes combinées et à l'état d'oxyde [33].

Tableau II : Série des potentiels normaux (25°C)
in "Prévention de la corrosion" (1977) [33]

ÉLÉMENT	RÉACTION D'ÉLECTRODE	POTENTIEL V PAR RAPPORT A L'ÉLECTRODE STANDARD
(Extrémité active)		
Sodium	$\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + e$	- 2,712
Magnésium	$\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{++} + 2e$	- 2,34
Beryllium	$\text{Be} \rightarrow \text{Be}^{++} + 2e$	- 1,70
Aluminium	$\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{+++} + 3e$	- 1,67
Manganèse	$\text{Mn} \rightarrow \text{Mn}^{++} + 2e$	- 1,05
Zinc	$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{++} + 2e$	- 0,762
Chrome	$\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{+++} + 3e$	- 0,71
Fer	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{+++} + 3e$	- 0,44
Cadmium	$\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{++} + 2e$	- 0,402
Cobalt	$\text{Co} \rightarrow \text{Co}^{++} + 2e$	- 0,277
Nickel	$\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}^{++} + 2e$	- 0,250
Étain	$\text{Sn} \rightarrow \text{Sn}^{++} + 2e$	- 0,136
Plomb	$\text{Pb} \rightarrow \text{Pb}^{++} + 2e$	- 0,126
Hydrogène	$\text{H} \rightarrow 2\text{H}^+ + 2e$	0,000 (réf.)
Cuivre	$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{++} + 2e$	+ 0,345
Cuivre	$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^+ + e$	+ 0,522
Argent	$\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+ + e$	+ 0,800
Platine	$\text{Pt} \rightarrow \text{Pt}^{++} + 2e$	+ 1,2
Or	$\text{Au} \rightarrow \text{Au}^{+++} + 3e$	+ 1,42
(Extrémité noble)		

Les potentiels d'équilibre des réactions (1) à (5) sont respectivement :

$$E_1 = E^\circ_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} + \frac{RT}{2F} \text{Log} [\text{Fe}^{2+}]$$

$$E_2 = E^\circ_{\text{CrOOH}/\text{Cr}} + \frac{RT}{3F} \text{Log} [\text{H}^+]$$

$$E_3 = E^\circ_{\text{Ox}/\text{Red}} + \frac{RT}{pF} \text{Log} \frac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]}$$

$$E_4 = E^\circ_{\text{H}^+/\text{H}_2} + \frac{RT}{F} \text{Log} \frac{[\text{H}^+]}{[\text{H}_2]^{\frac{1}{2}}}$$

$$E_5 = E^\circ_{\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}} + \frac{RT}{4F} \text{Log} [\text{O}_2][\text{H}^+]^4$$

Lorsque le métal M est introduit dans la solution agressive, les deux réactions (a) et (b) ont lieu simultanément, à la même vitesse (échange du même nombre d'électrons pendant un laps de temps donné). Le métal prend alors un potentiel dynamique, différent du potentiel d'équilibre, appelé **potentiel de corrosion** qui dépend des conditions expérimentales.

Pour qu'un métal se corrode, en l'absence de courant électrique extérieur, il faut qu'il existe dans la solution un système Ox/Red réductible dont le potentiel d'équilibre soit plus élevé que le potentiel d'équilibre de la réaction de dissolution du métal :

$$E_{\text{Ox/Red}} > E_{\text{M}^{n+}/\text{M}}$$

Lorsque cette condition est réalisée, le potentiel métal-solution s'établit à une valeur comprise entre ces deux potentiels d'équilibre : c'est le potentiel de corrosion du métal dans le milieu considéré [26].

Dans le cas où deux métaux sont plongés dans un électrolyte [32], la réaction (b) se localise sur un des deux métaux. Il se forme une pile, c'est-à-dire que l'on constate une différence de potentiel entre ces deux métaux (**couplage galvanique**). Celui qui possède le plus faible potentiel thermodynamique, donc le métal le plus électropositif, se comporte comme une anode, il est oxydé et dissous sous forme d'ion. L'autre métal, possédant un potentiel thermodynamique supérieur, constitue la cathode et n'est pas attaqué ; il sert de support à la réaction (b).

Dans le cas des alliages, il faut, en outre, tenir compte de toute hétérogénéité de surface car cela peut donner naissance à des **couplages galvaniques** au sein d'un même métal [43]. Ainsi un acier inoxydable peut être attaqué même dans un milieu peu agressif si les différents éléments d'alliage et en particulier le chrome, sont mal répartis dans la masse ou si les opérations de finition ont été mal réalisées.

En conclusion, l'importance du phénomène de corrosion en milieu aqueux est fonction [32] :

- des potentiels thermodynamiques des métaux
- de la nature de l'électrolyte (la solution)
- des surfaces relatives des zones anodiques et cathodiques (structure hétérogène)
- de la vitesse de chacune des réactions électrochimiques (a) ou (b)

2.3.3. DIFFERENTES FORMES DE CORROSION

Comme tous les métaux et alliages passivables, c'est à l'état actif que les aciers inoxydables peuvent être sujets à la corrosion uniforme [26]. Ils sont cependant susceptibles de subir d'autres formes de corrosion se traduisant généralement par des dissolutions très localisées, souvent très rapides et très pénétrantes, qui peuvent occasionner la ruine du matériau moyennant la dissolution d'une très faible quantité de métal.

Ces formes de corrosion sont rassemblées sous le terme de "corrosions localisées". Elles sont d'autant plus pernicieuses que, d'une part, elles se produisent très souvent dans des milieux peu agressifs dans lesquels la corrosion générale est faible, et que, d'autre part, elles sont difficiles à détecter en raison de leur localisation ou des dimensions de la surface attaquée.

2.3.3.1. CORROSION GENERALE

La corrosion générale aussi appelée uniforme est très fréquente. Elle se propage de façon régulière sur toute la surface du métal puis progresse en profondeur [43].

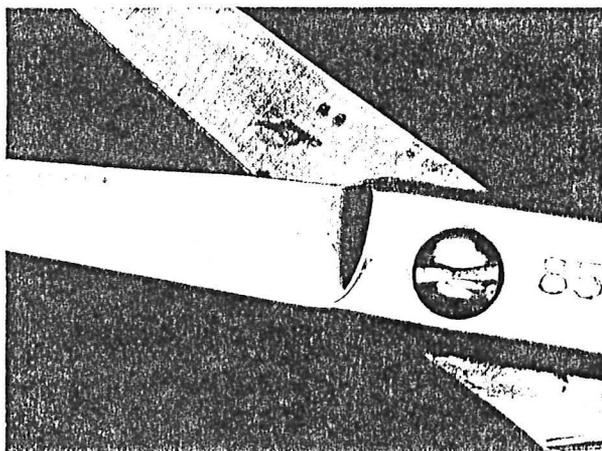
Cela se produit lorsque le milieu s'oppose à la formation du film protecteur. On considère alors que la surface du métal est constituée de sites anodiques et de sites cathodiques répartis de façon aléatoire dans le temps et sur la surface. Il se produit ainsi une corrosion uniforme qui progresse point par point. La perte d'épaisseur est alors sensiblement constante.

Cette corrosion peut représenter une perte importante en métal mais elle n'est pas la plus grave car il est aisé de l'évaluer par des essais simples en laboratoire. La solution réside alors dans le choix de matériaux appropriés aux conditions extérieures [33], ou dans le calcul de l'épaisseur du matériau choisi.

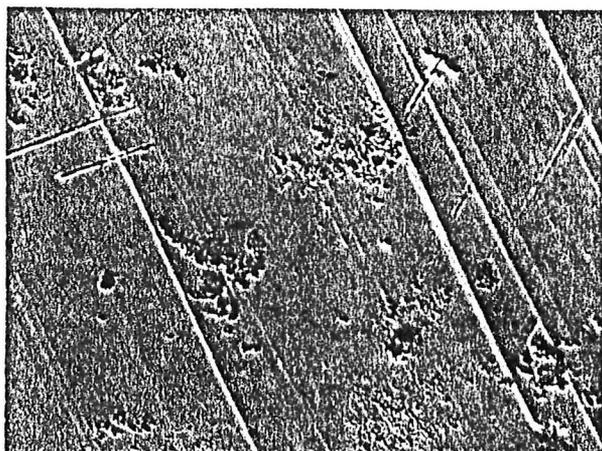
2.3.3.2. CORROSION PAR PIQURES

Les piqûres constituent une forme d'attaque extrêmement localisée qui aboutit rapidement à la perforation du métal. Elles résultent très fréquemment de la présence d'ions chlorure dans la solution [55]. Ces ions provoquent une destruction locale de la couche passive (Cf. Chap. 2.2.2.). Dans la plupart des cas le diamètre des piqûres est faible, mais si elles sont souvent isolées, il arrive qu'elles soient si rapprochées que la surface semble "rongée" (Cf. photo 1).

Photo 1 : Piqûres sur un acier inoxydable martensitique
in "Guide pour le nettoyage, la décontamination et la
stérilisation des instruments de chirurgie" (1987) [16]



Piqûres grandeur
nature



Vue au microscope électronique
à balayage (x320)

Les risques de corrosion par piqûres sont accrus par une augmentation de la température, un mauvais état de surface, la présence d'agents oxydants, l'agitation du milieu, etc ...

Ce type de corrosion est particulièrement à redouter pour les aciers inoxydables et autres alliages passivables car tout point de rupture de la couche passivante devient anodique. Parmi les aciers inoxydables, la classe des aciers martensitiques est particulièrement sensible à ce type de corrosion [40]. L'addition de molybdène comme élément d'alliage, la qualité du traitement de l'acier et du travail de finition limitent considérablement ce phénomène [32] [33].

2.3.3.3. CORROSION CAVERNEUSE

La corrosion caverneuse apparaît dans des zones confinées, des recoins de structure, entre deux pièces mal ajustées [26]. Elle se manifeste aussi sous des dépôts de tartre, de rouille ou de toute autre matière solide fixée sur la surface d'un métal mal poli [43].

Elle évolue donc à partir de zones où l'agent agressif est emprisonné sans possibilité de disparition. La composition de ces volumes peut évoluer dans de grandes limites, en particulier le pH peut devenir très acide. Ce type de corrosion se traduit par la dissolution très rapide de la zone confinée, après cependant un temps d'incubation plus ou moins long.

La corrosion caverneuse se déroule schématiquement en deux temps :

- La période d'incubation pendant laquelle le métal ne subit aucune altération mais où le milieu devient de plus en plus acide. Lors de cette période il est à peu près impossible de détecter une future corrosion.

- La période de propagation est souvent très rapide et entraîne la ruine du matériau sans qu'il soit possible de ralentir la corrosion.

Ce type de corrosion peut apparaître pour des concentrations faibles en ions chlorure (quelques dizaines de ppm) et à température ambiante ; le phénomène étant accentué par une augmentation de ces deux paramètres. L'agitation du milieu, en revanche, diminue le risque. Il faut noter aussi que cette forme de corrosion est souvent l'évolution naturelle d'une corrosion initiale par piqûres.

2.3.3.4. CORROSION INTERGRANULAIRE

La corrosion intergranulaire ou intercristalline consiste en une dissolution préférentielle des zones intergranulaires [32]. Elle est très pénétrante et provoque une désagrégation des grains et une perte complète des propriétés du matériau [33].

L'explication de ce phénomène couramment admise est un appauvrissement en chrome, aux joints des grains, consécutif à la consommation locale de cet élément par une précipitation de carbure [40].

Ce phénomène se rencontre dans le cas des aciers inoxydables austénitiques après que l'acier ait été chauffé à une température élevée (500-800°C) pendant un certain temps (opération de soudage par exemple). Du fait de l'élévation de la température, le carbone peut se déplacer et diffuser vers les joints de grains. Cependant il n'en va pas de même pour le chrome dont le coefficient de diffusion est très faible. Le carbone se trouve donc "surconcentré" aux joints des grains et il précipite sous forme de carbure de chrome. Ce dernier ne pouvant provenir que du voisinage immédiat des joints, il s'en suit une diminution de la teneur en chrome à cet endroit [59].

Cette baisse de la concentration en chrome ($Cr < 12\%$) entraîne non seulement une diminution de la résistance à la corrosion mais engendre aussi une différence de concentration entre le cœur des grains riche en chrome et les joints pauvres en cet élément. Par conséquent, les grains constituent la zone cathodique et les joints la zone anodique qui se corrode [33].

Pour lutter contre ce phénomène, on incorpore, lors de la fabrication de l'acier inoxydable, des éléments dits stabilisateurs comme le titane [33]. Ces éléments possèdent une affinité pour le carbone plus importante que le chrome. Ils forment leur carbure respectif et de cette manière fixent le carbone. Le chrome ne peut pas déplacer le carbone de ces carbures et ainsi les carbures de chrome ne peuvent se former. Par conséquent, l'appauvrissement en chrome au niveau des joints de grains ne peut plus se produire et l'acier reste inoxydable.

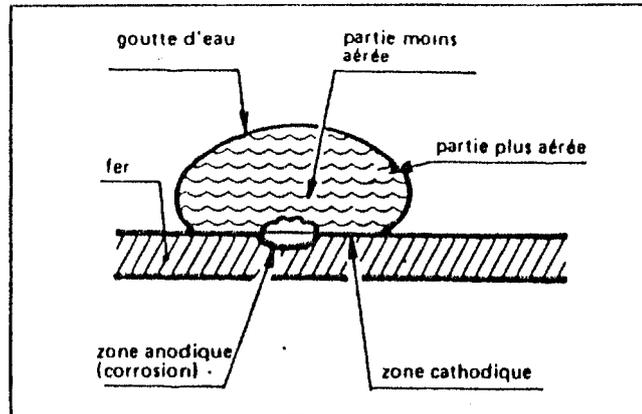
2.3.3.5. CORROSION PAR AERATION DIFFERENTIELLE

Des piles anode-cathode se forment en surface en raison d'hétérogénéités existant dans le métal. Ces hétérogénéités, souvent dues à la composition ou à l'état de surface du métal, peuvent aussi provenir d'une différence d'oxygénation : c'est le phénomène d'aération différentielle [32].

Les zones à basse concentration en oxygène sont anodiques et celles à haute concentration se comportent comme des cathodes. Ainsi lorsqu'un acier au carbone se trouve partiellement immergé, il se forme une pile entre la partie aérée et la partie immergée. Cette dernière constitue l'anode et peut être le siège d'une corrosion sévère [40].

Ainsi une goutte d'eau sur un acier au carbone entraîne un "enrouillement" au centre de celle-ci, les parties circonférentielles étant davantage aérées (Cf. schéma 3).

Schéma 3 : Différence de concentration en oxygène au contact de l'acier
d'après Bensimon (1987) [32]



Dans la pratique, la corrosion par aération différentielle est souvent due à des conditions de stagnation et fréquemment jumelée avec la corrosion cavernueuse. Par conséquent, pour limiter ce phénomène de corrosion, il faut éviter tout ce qui peut engendrer des zones confinées. Il convient donc de veiller à ce que les joints soient bien ajustés, à ce que les dépôts soient éliminés, etc ... [33].

2.4. METHODES D'ETUDES DE LA CORROSION

Pour connaître le type de corrosion auquel on se trouve confronté, il est nécessaire de faire appel aux techniques d'analyse de surface. Ces méthodes permettent, de plus, de suivre qualitativement l'évolution de la corrosion.

Pour évaluer quantitativement le phénomène de corrosion, on a recours à des méthodes analytiques (dosage des éléments constitutifs des dépôts, dosage des éléments en solution) et à des méthodes physiques (différence de pesées, méthodes électrochimiques).

Il peut être aussi intéressant de tester la résistance des matériaux face à la corrosion en mettant en oeuvre des tests de corrosion accélérée. L'AFNOR en propose certains, applicables à différents matériaux (acier inoxydable, aluminium, etc ...) et à différentes conditions extérieures (milieu marin, haute température, etc ...).

2.4.1. METHODES D'ANALYSE DE L'ETAT DE SURFACE

Parmi les méthodes d'analyse de l'état de surface on peut citer :

- les techniques optiques : oeil, loupe, microscope optique, binoculaire
- les techniques de microscopie électronique : microscope électronique à balayage (M.E.B.) ou à transmission (M.E.T.)
- les techniques d'analyse de surface : spectroscopie Auger, spectroscopie à décharge lumineuse (S.D.L.), spectroscopie de masse des ions secondaires (S.I.M.S.)
- les techniques d'analyse de volume : diffraction des rayons X

Les techniques optiques, facilement mises en oeuvre et peu onéreuses, sont utilisées en première approche et sont associées, généralement, à des techniques d'analyse de surface plus précises (M.E.B.) afin de mettre en évidence les phénomènes de corrosion à leur début. Ainsi la corrosion par piqûres ne peut être décelée à son stade initial que grâce à des méthodes possédant un haut pouvoir de résolution. Il est ensuite aisé de suivre l'évolution des piqûres grâce à un examen visuel ou à une autre technique optique.

Parmi les techniques de microscopie, celle du **microscope électronique à balayage** est très utilisée pour étudier les phénomènes de corrosion, notamment pour les deux raisons suivantes [61] :

- La préparation des échantillons est facile. Le principe de fonctionnement du microscope électronique à balayage utilise la réflexion des électrons, propriété naturelle des métaux, ce qui les prédispose à cette technique d'observation de préférence à celle utilisant le microscope électronique à transmission.

- L'image obtenue possède une profondeur de champ ce qui facilite l'interprétation : les piqûres, les fissures, les dépôts, etc ..., apparaissent plus nettement.

De plus, il faut noter que certaines méthodes actuelles d'analyse des rayonnements électroniques peuvent être couplées au microscope électronique à balayage. Cela permet d'identifier les éléments d'après le spectre de longueurs d'ondes réémises. De telles informations peuvent être très utiles dans l'étude des phénomènes de corrosion. Ainsi, on peut mettre en évidence [61] :

- des impuretés (particules de fer) à l'origine d'une corrosion galvanique

- des éléments présents dans la solution (chlorures sous forme de cristaux de NaCl) responsables de la corrosion

2.4.2. METHODES ANALYTIQUES

L'analyse élémentaire des dépôts permet de déterminer s'il s'agit de produits de corrosion, de résidus de matières organiques ou autres. Les dépôts sont prélevés et conservés en solution acide, à +4°C, avant d'être analysés par spectroscopie d'absorption atomique. Cette technique est basée sur une méthode d'absorption due aux atomes. Les atomes sont excités et l'énergie nécessaire à cette excitation correspond à une quantité définie de lumière qui est absorbée. Il est ainsi possible d'analyser qualitativement et/ou quantitativement les éléments présents car chaque atome possède une énergie d'excitation qui lui est propre.

L'analyse élémentaire des solutions permet de rechercher et de quantifier des éléments constitutifs de l'acier inoxydable comme le chrome, le fer, le nickel, le molybdène, etc ... S'il y a eu corrosion, ces éléments sont retrouvés en solution. La méthode analytique utilisée peut être, là encore, la spectroscopie d'absorption atomique. Il est possible d'utiliser une autre technique, la gamma-spectrométrie, qui nécessite l'excitation du noyau grâce à un flux d'électrons thermiques. En revenant à leur état fondamental, les noyaux émettent un rayonnement gamma qui est détecté et analysé [36] [48].

Quelle que soit la méthode analytique envisagée, il est impératif de travailler avec un témoin. En effet, dans l'eau de dilution il peut y avoir des ions métalliques en solution si bien que les résultats, tant qualitatifs que quantitatifs, se verraient faussés. De plus, en raison des faibles quantités de métaux à doser, il est nécessaire de connaître la précision de la méthode afin d'interpréter convenablement les résultats.

2.4.3. METHODES PAR DIFFERENCE DE PESEES

La méthode pondérale consiste à évaluer quantitativement la perte de masse subie par une surface donnée du métal [33]. L'évaluation de la corrosion se fait donc par la différence entre la masse "M1" du métal avant toute corrosion et la masse "M2" du métal corrodé.

Avant tout contact avec le milieu corrosif, les échantillons métalliques sont nettoyés et dégraissés à l'acétone. Ils sont ensuite minutieusement pesés et mesurés pour calculer la superficie exposée.

L'exposition terminée, les échantillons sont examinés. Cet examen visuel est très important car il fournit des renseignements sur les causes de la corrosion. Par exemple des dépôts peuvent être à l'origine de corrosion cavernueuse (Cf. Chap.2.3.3.3.).

Les échantillons doivent ensuite être correctement nettoyés, une élimination incomplète des produits de corrosion se répercutant directement sur le taux de corrosion. Les méthodes de nettoyage utilisées peuvent être classées en :

- méthodes mécaniques (brossage, grattage, ponçage, frottement avec un bouchon de caoutchouc sous l'eau, etc ...)
- méthodes chimiques (emploi de réactifs chimiques et de solvants)

- méthodes électrolytiques (l'échantillon est mis sous tension en anode dans des réactifs chimiques variés avec ou sans addition d'inhibiteurs)

Le brossage ou le grattage sont souvent employés pour éliminer les dépôts dûs aux méthodes chimiques ou électrolytiques. Des essais à blanc devront être faits pour déterminer la quantité de métal éliminée par la méthode de nettoyage elle-même. Dans tous les cas la méthode de nettoyage doit être mentionnée lorsque l'on rend compte des résultats [33].

Pour exprimer l'ampleur ou le taux de corrosion, on donne les résultats en mm.an^{-1} ou en $\text{mg.cm}^{-2}.\text{j}^{-1}$.

Cette technique pondérale d'évaluation du taux de corrosion doit être réalisée très consciencieusement afin de donner des résultats fiables. Toute erreur de pesée ou de mesure affecte les résultats et cela d'autant plus que la corrosion est faible. Cette méthode est par conséquent surtout intéressante pour quantifier la corrosion générale qui peut entraîner des pertes importantes en métal (Cf.Chap.2.3.3.1.).

2.4.4. METHODES ELECTROCHIMIQUES

Le phénomène de corrosion est contrôlé par des facteurs thermodynamiques qui déterminent la tendance à la corrosion et par des facteurs cinétiques qui règlent la vitesse [58]. Par conséquent, il est possible, grâce à des méthodes électrochimiques, de comprendre et de prévoir le comportement des aciers inoxydables face à la corrosion, en tenant compte des paramètres suivants, à savoir, le pH de la solution et le potentiel électrochimique existant à la surface du métal [46].

A partir des grandeurs thermodynamiques, on peut réaliser des **diagrammes potentiel d'électrode/pH** avec en abscisse les valeurs du pH et en ordonnée les valeurs du potentiel de l'électrode métallique en volt. Le diagramme permet, pour une valeur fixée du pH, de déterminer le comportement du métal face à la corrosion.

Il est possible, aussi, de tracer les **courbes de polarisation** du métal en faisant varier l'intensité du courant et en mesurant la tension à la surface du métal [52].

2.4.5. TESTS DE CORROSION ACCELEREE

Les essais de corrosion accélérée sont couramment mis en oeuvre afin de tester la résistance d'un matériau à telle ou telle corrosion ou en vue de contrôler l'agressivité potentielle d'un milieu. Ces tests ont pour but de prévoir le comportement d'un matériau dans les conditions de son utilisation. La durée des tests, relativement courte (heures, jours ou semaines), reflète plusieurs années d'utilisation. Pour cela, il est possible d'augmenter :

- la température
- l'humidité relative
- la concentration en substances corrosives
- la durée de l'exposition
- les contraintes mécaniques

Les essais réalisés sont nombreux et les conditions opératoires ne sont pas toujours bien définies si bien qu'une confusion règne quand on veut comparer les résultats de différentes études. C'est pourquoi l'AFNOR a, d'une part, édité un recueil de normes portant sur la corrosion et la protection des métaux et, d'autre part, défini des normes pour les essais de corrosion des instruments médico-chirurgicaux en acier inoxydable.

Nous résumons, ci-après, les différentes normes concernant le domaine qui nous intéresse à savoir les aciers inoxydables.

- NF A 05 159 [15]

Objet : Détermination de la résistance à la corrosion intergranulaire des aciers inoxydables austénitiques et austéno-ferritiques, en milieu acide sulfurique-sulfate cuivrique (essai dit de MONYPENNY-STRAUSS).

Principe : L'éprouvette est maintenue pendant une certaine durée (20 à 24 H) dans une solution d'acide sulfurique-sulfate cuivrique en ébullition et est ensuite soumise à un essai de pliage ou d'aplatissement. La face convexe de l'éprouvette est alors examinée dans le but de relever des fissures éventuelles.

Résultats :

- Examen à l'oeil nu de la face convexe de l'éprouvette, comparaison avec une éprouvette témoin.
- Examen micrographique des pliures.

- NF A 05 160 [23]

Objet : Détermination de la corrosion intergranulaire des aciers inoxydables austénitiques, en milieu nitrique chaud (Essai dit de HUEY).

Principe : L'éprouvette, après avoir été pesée, mesurée et dégraissée, est immergée dans une solution bouillante d'acide nitrique pendant 5 périodes de 48 H chacune. Après chaque période, l'éprouvette est lavée, séchée et pesée.

Résultats :

- Perte de masse moyenne par période.
- Examen micrographique d'une coupe permettant d'évaluer la pénétration de la corrosion.

- NF X 41 002 [24]

Objet : Fixer le principe, les caractéristiques des réactifs et de l'appareillage, ainsi que le mode opératoire d'un essai au brouillard salin garantissant une bonne reproductibilité. Lors du compte rendu des résultats, la nature de l'éprouvette métallique doit être précisée.

Principe : Attaque corrosive accélérée par un brouillard salin artificiel de composition définie (concentration en chlorure de sodium = 5% +/- 0,5% ; pH = 7), dans des conditions précises de température, de pression et d'humidité. La durée de l'essai est fixée par convention entre l'acheteur et le vendeur. A la fin de l'essai les éprouvettes sont lavées légèrement ou plongées dans l'eau courante à une température n'excédant pas 37°C, afin d'éliminer les traces de sel, puis immédiatement séchées.

Résultats :

- Perte de masse des éprouvettes.
- Densité des piqûres par unité de surface.
- Surface des taches.

- NF S 90 460 [20] et NF S 90 461 [21]

* Essai de résistance au sulfate de cuivre : Les instruments médico-chirurgicaux propres et exempts de graisse sont immergés dans une solution aqueuse d'acide sulfurique et de sulfate de cuivre, pendant 6 mn, à température ambiante puis lavés à l'eau distillée et essuyés avec un coton.

On ne devra constater aucun dépôt de cuivre sur les instruments (on négligera les éventuels dépôts sur le pourtour des gouttes de solution ainsi qu'au niveau des articulations, des crémaillères et des mâchoires).

* Essai de résistance à l'ébullition : Les instruments médico-chirurgicaux propres et exempts de graisse sont mis à bouillir pendant 30 mn, dans l'eau distillée, dans un bécher en verre ou en céramique. On laisse ensuite refroidir les instruments pendant au moins 1 heure dans l'eau distillée ayant servi à l'essai, puis on les laisse sécher pendant 2 heures dans une pièce fermée.

Les instruments sont inspectés pour déceler tout signe visible de corrosion. Toute tache ne pouvant être éliminée en frottant vigoureusement avec un chiffon doit être considérée comme une preuve de corrosion.

* Essai de résistance en milieu organique : Les instruments sont nettoyés et essuyés puis enveloppés dans un tissu imbibé de la solution de composition suivante (g/l) :

NaCl	2,50
NH ₄ OH	0,06
urée	0,50
acide lactique	1,25
acide butyrique	5,00

Ils sont ensuite placés dans un sac en PVC fermé soigneusement afin que la solution ne s'évapore pas. L'ensemble est maintenu pendant 100 H à 40°C.

On ne doit constater aucune trace de corrosion. Cet essai est réalisé uniquement en cas de résultats douteux avec les deux essais précédents.

3. PREDESINFECTION
DES INSTRUMENTS MEDICO-CHIRURGICAUX
EN ACIER INOXYDABLE :
CONSEQUENCES SUR LEUR PERENNITE

3.1. LES INSTRUMENTS MEDICO-CHIRURGICAUX EN ACIER INOXYDABLE

3.1.1. REGLEMENTATION

Nous avons vu (Chap.2.1.5.) que le choix des aciers inoxydables utilisables pour la fabrication des instruments médico-chirurgicaux est, en raison des critères exigés, très restreint. L'Association Française de Normalisation (AFNOR) a établi deux normes fixant les nuances d'acier inoxydable martensitique à utiliser selon le type d'instrument à réaliser :

NF S 90 450 "Pincés hémostatiques. Acier inoxydable.
Composition chimique et dureté."

NF S 90 451 "Instruments tranchants. Acier inoxydable.
Composition chimique et dureté."

Certaines nuances d'acier inoxydable austénitique sont, par ailleurs, utilisées pour la réalisation d'instruments à fonction statique.

Les aciers "pakistanaïis" ne devraient plus être employés. En effet, l'alliage fer-chrome est mal réalisé et le travail de finition est incomplet [40]. Ils continuent néanmoins à l'être en raison de leur faible prix de revient mais les instruments obtenus sont de qualité très médiocre. Les aciers européens, en revanche, possèdent la même qualité quel que soit le pays producteur. "Les aciers suédois" ne sont plus supérieurs aux autres, car tous renferment maintenant du molybdène incorporé pour améliorer le tranchant et l'inoxidabilité [29].

3.1.1.1. PINCES HEMOSTATIQUES

Une seule qualité d'acier inoxydable martensitique a été retenue par l'AFNOR : il s'agit de la nuance Z20 C13 ce qui signifie que l'acier renferme en moyenne 0,20% de carbone et 13% de chrome.

La norme NF S 90 450 [19] fixe les principales spécifications, à savoir composition et dureté, propres à cet acier (Cf. tableau III).

Tableau III

Composition en % massique							Dureté min. en HRC ³⁾	
C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Après trempe ¹⁾	Après revenu ²⁾
0,18 à 0,24	1,0	1,0	0,04	0,03	1,0	12,0 à 14,0	48	46

1) Trempe à l'air depuis 1 000°C jusqu'à 1 040°C

2) Revenu entre 200°C et 300°C

3) HRC : Dureté Rockwell Cône du métal brut de trempe ou à l'état de livraison, selon le cas, mesurée après enlèvement à la meule d'une épaisseur suffisante pour éliminer la couche décarburée.

3.1.1.2. INSTRUMENTS TRANCHANTS

La norme NF S 90 451 [22] définit trois nuances d'acier inoxydable martensitique :

- **Z40 C14** (0,40% de carbone et 13% de chrome en moyenne)

- **Z50 CD13** (0,50% de carbone et 13% de chrome en moyenne et du molybdène)

- **Z70 CD14** (0,70% de carbone en moyenne, 14% de chrome maximum et du molybdène)

Les compositions de ces nuances sont les suivantes (Cf. tableau IV) :

Tableau IV

Nuances	Composition en % massique							
	C	Mn max.	Si max.	P max.	S max.	Ni max.	Cr	Mo
Z 40 C 14	0,35 à 0,45	1,0	1,0	0,04	0,03	1,0	12,5 à 13,5	-
Z 50 CD 13	0,45 à 0,55	1,0	1,0	0,04	0,03	1,0	12,0 à 14,0	0,6 à 0,9
Z 70 CD 14	0,65 à 0,75	1,0	1,0	0,04	0,03	1,0	14 max.	0,5 max.

Les duretés de ces nuances sont les suivantes (Cf. tableau V) :

Tableau V

Nuances	Dureté		
	Après trempe		Après revenu à 220°C HRC min.
	HRC min.	Traitement (trempe à l'air)	
Z 40 C 14	56	1 020 à 1 050°C	54
Z 50 CD 13	56	1 020 à 1 050°C	54
Z 70 CD 14	56	1 030 à 1 060°C	54

Les instruments tranchants sont regroupés en quatre classes pour lesquelles le tableau VI ci-dessous indique la nuance à utiliser :

Tableau VI

Instruments tranchants par	Nuances d'acier		
	Z40 C14	Z50 CD13	Z70 CD14
Glissement (Bistouris, Scalpels)		+	+
Percussion (Ciseaux-burins, Gouges)	+	+	
Cisaillement (Cisailles, ...)	+	+	
Pression (Pincés, ...)	+	+	

3.1.1.3. INSTRUMENTS A FONCTION STATIQUE

Pour ces instruments (écarteurs, récipients, etc...) qui n'ont besoin ni de dureté pour la coupe, ni de résistance à la traction, les aciers inoxydables utilisés sont austénitiques. Les nuances étant les suivantes [29] [40] :

Z 06 CN 18-09 (AISI 304) 0,06% C
 18-20% Cr
 8-10% Ni

Z 06 CND 17-11 (AISI 316) 0,06% C
 16-18% Cr
 10-14% Ni
 2-3% Mo

L'AFNOR a d'autre part édité des normes définissant les essais d'aptitude à l'emploi :

- NF S 90 460 "Pincés hémostatiques. Dimensions et essais." [20]
 NF S 90 461 "Pincés, Passe-fils et Porte-aiguilles. Dimensions et essais." [21]
 NF S 90 462 "Instruments chirurgicaux d'usage général. Couteaux, Pincés à disséquer, Bistouris réutilisables, Sondes." [18]
 NF S 90 463 "Ciseaux. Dimensions et essais." [17]

Ces normes donnent les dimensions que doivent posséder les instruments, l'état de surface, l'emballage, le marquage et des méthodes d'essais de résistance à la corrosion, au nettoyage par les ultra-sons ainsi que des essais de résistance mécanique (élasticité, coupe, etc ...).

Les essais de résistance à la corrosion (Cf. Chap.2.4.5.) sont effectués dans les milieux suivants :

- solution de sulfate de cuivre
- eau bouillante
- milieu organique (Solution de Ringer)

L'essai de résistance au nettoyage par les ultra-sons consiste à immerger les instruments dans une cuve remplie d'eau à 50°C et à appliquer une fréquence de 35 kHz.

3.1.2. FABRICATION

Au cours de la fabrication d'un instrument médico-chirurgical trois grandes étapes se succèdent :

- le travail de forge
- l'usinage
- la finition

3.1.2.1. TRAVAIL DE FORGE

Il représente le début de la fabrication, à partir de la barre d'acier et constitue le **procédé d'estampage** [57]. Il s'agit, par une opération de presse, effectuée à une température voisine de 1000°C, de donner, à l'aide de matrices en fonte, la forme brute des différentes parties de l'instrument [25].

Le principe d'estampage rend l'acier cassant et impose de ce fait une **phase de recuit** (200 à 300°C) avec refroidissement très lent afin de rendre l'acier malléable et donc apte à être travaillé.

Une opération de nettoyage (**décalaminage**) fait suite afin d'enlever les impuretés issues de l'action de forge.

Il est important de noter le rôle primordial des matrices. Ce sont elles qui déterminent la valeur finale de l'instrument. Il convient donc de les usiner avec précision et de les entretenir soigneusement.

3.1.2.2. USINAGE

Les pièces sont travaillées avec des fraises et des tours afin de réaliser les articulations, les crémaillères, etc ... Elles sont ensuite assemblées.

Les instruments ainsi obtenus subissent **la trempe** qui consiste à chauffer (1000°C) une pièce métallique puis à la refroidir rapidement. Ce traitement thermique qui a pour but de donner aux instruments dureté et rigidité [40] est essentiel pour la valeur fonctionnelle de l'instrument. C'est pourquoi le refroidissement empirique par immersion a tendance à être remplacé par un refroidissement contrôlé sous azote ou sous vide [47].

Si l'acier doit être adouci, la trempe est alors suivie du **revenu** qui consiste à chauffer (200 à 300°C) la pièce métallique ayant subi la trempe puis à la refroidir lentement. Par ce procédé, les contraintes internes sont diminuées mais l'acier garde une dureté appréciable.

Les instruments sont ensuite ajustés manuellement afin de les rendre fonctionnels.

3.1.2.3. FINITION

Les aciers martensitiques pour résister à la corrosion doivent être soigneusement polis [49]. Toutes les techniques de polissage (manuel, mécanique, électrolytique) sont appliquées [40].

Le **polissage manuel**, utilisant des émeris de grains différents, et le **polissage mécanique** ont pour but de faire disparaître toutes les aspérités et d'amener l'état de surface à une très grande finesse si bien que la couche passive d'oxyde de chrome se formera uniformément.

Les endroits inaccessibles ou difficiles à polir sont les premiers à présenter des points de corrosion. Pour diminuer ce risque, on a recours au **polissage électrolytique**.

Les instruments polis subissent ensuite la **phase de passivation**. Ils sont plongés dans un bain dilué d'acide nitrique qui, d'une part, dissout les parcelles éventuelles d'acier au carbone et, d'autre part, facilite la formation de la couche passive [30].

Les instruments sont contrôlés sur le plan des dimensions et du fonctionnement.

Ils sont marqués par électrolyse ou par rayon LASER. Ils ne doivent pas être gravés car toute gravure est une amorce potentielle de corrosion. Ils portent obligatoirement la mention "inox", le sigle et le pays du fabricant. Certains fabricants impriment la date de fabrication ce qui facilite le suivi des instruments au cours de leur utilisation au sein de l'hôpital. Les instruments sont généralement garantis cinq ans.

Les instruments sont finalement emballés unitairement dans des pochettes en plastique qui devront porter le nom normalisé de l'instrument ainsi que ses dimensions.

A l'initiative de certains professionnels, il a été mis en place La Charte Qualité. Les adhérents s'engagent à :

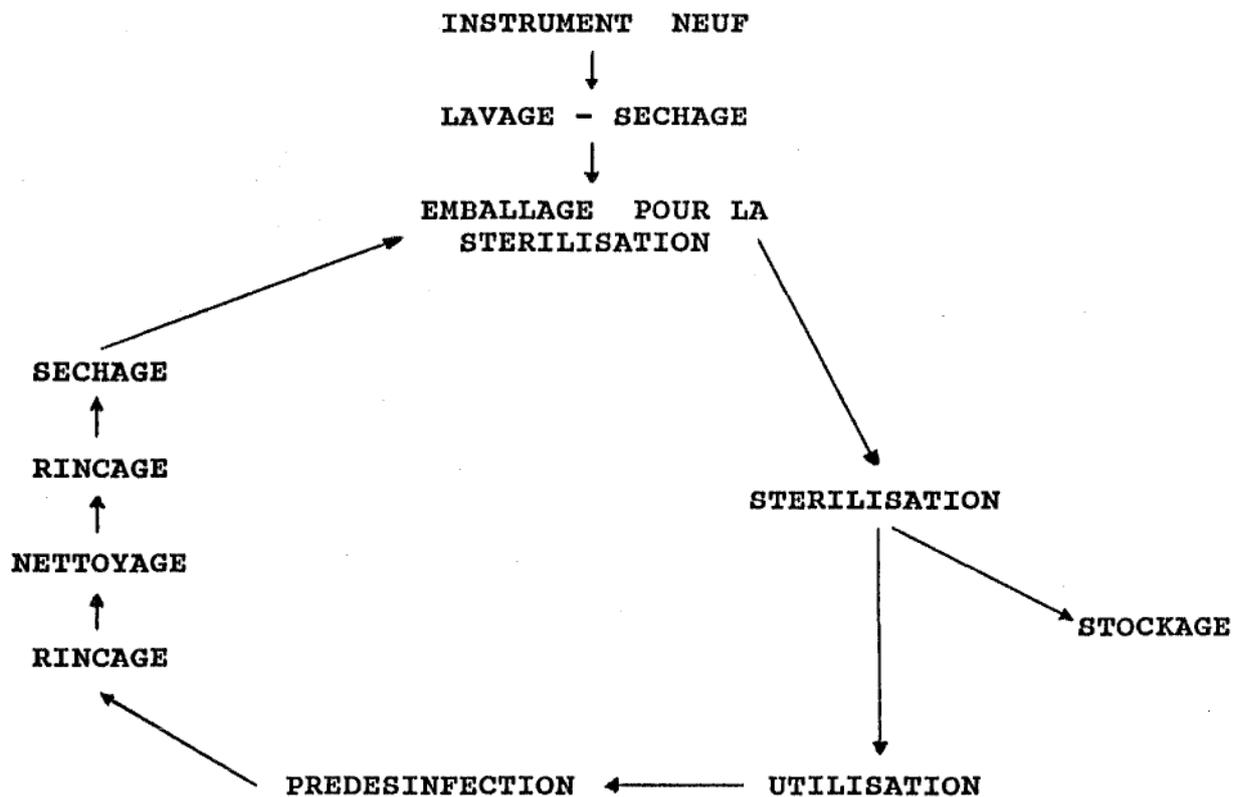
- respecter les normes AFNOR en vigueur
- pratiquer un contrôle unitaire final
- assurer un service après vente
- fournir les renseignements nécessaires à l'entretien
- faire visiter les centres de fabrication
- recevoir un expert qualitatif chaque année
- respecter les décisions du comité de La Charte Qualité

Les instruments fabriqués portent un poinçon composé :

- des initiales de La Charte Qualité
- d'une lettre identifiant le fabricant (par ex. : CQA)

3.1.3. UTILISATION ET ENTRETIEN

Le circuit d'un instrument médico-chirurgical en acier inoxydable peut se résumer schématiquement comme suit :



Il est indispensable que chaque étape soit convenablement mise en oeuvre afin d'éviter, d'une part, tout risque de contamination du personnel et des malades et, d'autre part, toute altération des instruments (défaut de fonctionnement, début de corrosion).

L'AFNOR a édité, en 1987, un guide [16] concernant le nettoyage, la prédésinfection et la désinfection des instruments de chirurgie. Cet ouvrage, ainsi que son équivalent allemand [27] font le point sur ce sujet et donnent des conseils et des recommandations.

3.1.3.1. INSTRUMENT NEUF

Les instruments neufs sont souvent présentés dans des sachets en plastique, il est souhaitable de les déballer pour pallier les condensations et de les stocker, en les répertoriant par catégorie, dans un endroit sec, exempt de vapeurs corrosives.

Avant leur première utilisation, il est nécessaire de les nettoyer afin d'éliminer les éléments de lubrification (mélange d'huile et de silicone).

3.1.3.2. EMBALLAGE POUR LA STERILISATION

Il peut s'agir de conteneurs métalliques, de paniers, de plateaux, ou d'emballage en cellulose. Les emballages doivent laisser passer la vapeur et empêcher la pénétration des germes.

Les instruments doivent être conditionnés de façon à permettre la libre circulation de la vapeur, ils ne doivent pas être empilés. Ils doivent être en position semi-ouverte, les instruments avec fermeture à crémaillère ne doivent être fermés qu'à la première encoche. Il faut éviter de mélanger des instruments de matériaux différents (risque de corrosion par couplage galvanique Cf.Chap.2.3.2.) et il faut éliminer les instruments oxydés, corrodés ou souillés [29].

Dans la zone de conditionnement des précautions particulières doivent être prises afin d'éviter de recontaminer le matériel prédésinfecté et nettoyé : conception adaptée des locaux, tenue professionnelle, protocoles d'entretien.

3.1.3.3. STERILISATION

La stérilisation est une opération permettant d'éliminer ou de tuer les micro-organismes portés par les milieux inertes contaminés. Le résultat de l'opération, non limité à la durée d'application, est l'état stérile.

Selon la note technique Pro pharmacopoea N° 188 : "En pratique, les procédés et les précautions devront être tels que la probabilité d'avoir une unité non stérile soit inférieure à 10^{-6} ."

La stérilisation peut se faire selon différentes techniques :

- **La stérilisation à la vapeur** est réalisée dans un autoclave par injection de vapeur d'eau après mise sous vide de l'enceinte. En pratique, la durée de la phase de stérilisation est souvent portée à 10 mn pour une température de 134°C et une pression de 2 bars au-dessus de la pression atmosphérique et à 20 mn pour une température de 121°C et une pression de 1 bar au-dessus de la pression atmosphérique.

Le titre de vapeur ne doit pas descendre en dessous de 97%. La vapeur utilisée doit être exempte de toute impureté telle que rouille, chlorure, ions calcium ou magnésium afin d'éviter des causes de corrosion et la formation de dépôts ou taches sur les instruments [49].

Ce procédé de stérilisation ne peut être mis en oeuvre que pour du matériel non fragile et thermorésistant (cas des instruments en acier inoxydable).

- **La stérilisation à l'air chaud** (Poupinel) n'est pas recommandée en raison de la trop longue durée d'un cycle. Par ailleurs, la température affichée est celle de l'air qui est un fluide transmettant mal la chaleur et non celle des instruments ; par conséquent, le résultat est peu fiable. De plus, la température est voisine de celle de revenu des instruments (200 à 300°C) et de ce fait les propriétés mécaniques risquent d'être altérées [57].

Ce procédé de stérilisation nécessite donc, pour obtenir un résultat fiable, un chargement correct de l'appareil et le respect des indications du fabricant.

- La stérilisation à l'oxyde d'éthylène est réservée aux instruments thermosensibles (sondes, matériels en matière plastique, etc ...) ne supportant pas la température de l'autoclave. Son utilisation présente certaines difficultés liées à l'inflammabilité et à la toxicité de l'oxyde d'éthylène (altération des acides aminés et des protéines). Des dispositions techniques doivent alors être prises qui augmentent le coût de l'installation et le temps de récupération du matériel, un temps de désorption de l'oxyde d'éthylène résiduel adsorbé par les matériaux étant nécessaire.

Selon le Ministère du Travail :

- Valeur Limite d'Exposition (V.L.E.) = 10 ppm
- Valeur Moyenne d'Exposition (V.M.E.) = 5 ppm

La Pharmacopée Française fixe à 2 ppm la teneur maximale en oxyde d'éthylène contenue dans le matériel médico-chirurgical stérilisé, au moment de l'utilisation.

Il est à noter que les instruments thermosensibles peuvent aussi être désinfectés à froid par immersion dans des solutions désinfectantes.

3.1.3.4. UTILISATION

Les instruments doivent être manipulés avec précaution. Tout choc peut faciliter un début de corrosion par destruction de la couche passive (Cf.Chap.2.2.) et/ou altérer les propriétés de l'instrument (tranchant, etc ...).

Il faut éviter de laisser en contact les instruments avec des solutions agressives à base d'ions halogénures comme les chlorures (solution d'hypochlorite de sodium type eau de Javel) ou les iodures (polyvinylpyrrolidone iodée type Bétadine^R des Laboratoires SARGET) car les risques de corrosion par piqûres sont alors fortement potentialisés (Cf.Chap.2.3.3.2.). Après utilisation les instruments doivent donc être nettoyés afin d'éliminer les traces de ces produits.

Les instruments doivent être aussi débarrassés des souillures organiques car celles-ci sont dangereuses tant pour les personnes (contamination par les micro-organismes) que pour les instruments (corrosion par les liquides biologiques), c'est pourquoi l'étape suivante est primordiale.

3.1.3.5. PREDESINFECTION

L'idéal est que la prédésinfection débute le plus près possible du lieu d'utilisation du matériel afin de minimiser le trajet du matériel souillé (source de contamination de l'environnement) et le plus tôt possible afin d'éviter le dessèchement et l'adhésion des salissures sur le matériel [51].

L'**action détergente** de la solution prédésinfectante permet le décollement et la dispersion des salissures en même temps que son **action désinfectante** abaisse le niveau de contamination du matériel et limite celui de la solution.

Les différentes étapes de la prédésinfection sont les suivantes :

- Elimination des produits (sang, antiseptiques, colles) contenus dans des récipients divers (cupules, etc ...).
- Respect des conseils d'utilisation (dilution, temps de trempage, durée de validité des solutions).
- Immersion totale des instruments en position ouverte.
- Acheminement, vers le local de nettoyage, des bacs et de leur contenu, avec le maximum de sécurité. Pour ce faire, les bacs doivent être fermés de manière étanche et transportés, en suivant le "circuit sale", sur des chariots prévus à cet effet.
- Rinçage des instruments afin d'éliminer tout risque d'interférence "solution prédésinfectante"/"produit nettoyant".

3.1.3.6. NETTOYAGE

Le nettoyage est une étape très importante car il garantit une bonne stérilisation ; en effet, "on ne stérilise bien que ce qui est propre". Il permet l'élimination des salissures résiduelles en associant quatre facteurs : action mécanique, action chimique, température et temps d'action. Il peut être effectué soit à la main, soit en machine, soit par les ultrasons et doit être suivi d'un séchage rigoureux afin d'éviter le phénomène de corrosion par aération différentielle (Cf.Chap 2.3.3.5.).

- **Le nettoyage manuel** est recommandé, quel que soit la suite des opérations, pour des instruments très souillés [29]. Les instruments devront être nettoyés avec une brosse douce (nylon). Les brosses métalliques sont à proscrire, car en plus des rayures altérant le film passif, elles peuvent être à l'origine d'incrustation de particules de fer dans l'acier inoxydable et par conséquent engendrer un début de corrosion par couplage galvanique [49] (Cf.Chap.2.3.2.).

Cette méthode n'est pas toujours très performante et, de plus, elle entraîne la dissémination d'un aérosol contaminant lors du brossage d'où la recommandation faite au personnel qui nettoie, de porter un masque ; le nettoyage manuel devrait toujours être suivi d'un passage en machine ou aux ultra-sons.

- **Le nettoyage en machine** implique un positionnement des instruments tel qu'ils ne puissent pas s'entrechoquer car un choc important (chute) ou des chocs faibles mais renouvelés détruisent la couche passive protectrice (Cf.Chap.2.2.). Si l'altération est profonde, le film passif ne pourra se reformer uniformément et la corrosion pourra avoir lieu facilement. De plus, des instruments qui s'entrechoquent peuvent provoquer une altération des propriétés mécaniques (coupe, tranchant). Pour ces deux raisons, le remplissage des paniers des machines à tambour doit être réalisé avec beaucoup de minutie (paniers bien remplis, mise en place d'un treillis).

Par ailleurs, le positionnement des instruments ne doit pas créer de "zones d'ombre" car le nettoyage sera alors imparfait. Les instruments articulés sont mis en position largement ouverte, et ceux à doigt sont démontés, afin de permettre le lavage de tous les interstices.

La température de l'eau de lavage ne doit pas excéder 30°C afin d'éviter la coagulation des protéines, celle de l'eau de rinçage doit être comprise entre 70 et 95°C afin de faciliter le séchage.

L'eau de rinçage ne doit pas être trop ionisée car lors du séchage on peut voir apparaître des auréoles irisées ou des taches blanchâtres. Les premières sont dues à la présence dans l'eau d'ions de métaux lourds (fer, cuivre, manganèse), les secondes sont dues aux ions calcium ou magnésium. Ces deux types de taches ne représentent, en aucune manière, des débuts de corrosion car elles disparaissent par simple frottement.

En revanche, il peut persister des taches ou des résidus bruns sur les instruments séchés et cela essentiellement aux endroits les moins accessibles lors du nettoyage. Il est indispensable de les éliminer par un bon frottement car sinon il se produit, au bout d'un certain temps, une corrosion ponctuelle par piqûres due à une accumulation d'ions chlorure issus des liquides biologiques ou des solutions antiseptiques.

- **Le nettoyage par ultrasons** nettoie en profondeur et rapidement mais il accentue les carences et faiblesses naissantes de l'instrument [25]. Il permet ainsi de révéler très rapidement l'instrumentation de mauvaise qualité. Le passage aux ultrasons ne peut donc être envisagé que pour du matériel dont l'acier inoxydable est de bonne qualité et d'une seule nuance. Ainsi il ne faut pas soumettre les ciseaux à vis (la vis étant en acier inoxydable austénitique) aux ultrasons et surtout pas les instruments chromés ou nickelés [29]. Dans le premier cas, on risque d'engendrer une corrosion galvanique et dans le second cas, on décolle la couche superficielle de chrome ou de nickel si bien que l'acier n'est plus du tout protégé de l'oxydation et il se corrode très vite.

Les instruments doivent être immergés en position ouverte et il ne doit pas y avoir de "zones d'ombre". Il faut veiller à ce qu'ils ne s'entrechoquent pas pour les mêmes raisons que précédemment (Cf. Nettoyage en machine).

Pour résumer toutes ces précautions d'utilisations, l'AFNOR propose les "19 recommandations de base" [16] suivantes :

- Manipuler les instruments avec soin et ménagement
- Traiter à part les instruments de microchirurgie, les endoscopes, les articles en caoutchouc et matière synthétique
- Nettoyer les instruments avant leur première utilisation
- Rincer minutieusement les instruments en contact avec des produits corrosifs
- Suivre le mode d'emploi des fabricants d'équipement
- Respecter le dosage et le temps conseillés pour les produits de nettoyage, de prédésinfection et d'entretien
- N'utiliser que des solutions prédésinfectantes et non de l'eau pour l'évacuation des instruments souillés en milieu humide
- Utiliser les conditionnements adaptés (éviter les zones d'ombre du nettoyage)
- Ouvrir les instruments articulés avant nettoyage
- Eviter l'utilisation de brosses ou d'éponges métalliques
- Rincer minutieusement après lavage à la main ou à la machine
- Procéder immédiatement au contrôle de propreté et de bon fonctionnement des instruments
- Trier et éliminer les instruments tachés et détériorés
- Si nécessaire, appliquer sur les instruments des produits lubrifiants et protecteurs
- Lubrifier avant stérilisation au Poupinel les articulations avec l'huile de paraffine
- Ne fermer qu'au premier cran les instruments à encoches et crémaillères

- Procéder au conditionnement correct des instruments avant la stérilisation

- Ne pas réutiliser, ni restériliser les articles dits "à usage unique"

- La stérilisation ne remplace pas le nettoyage. "On ne stérilise bien que ce qui est propre".

Le tableau ci-dessous regroupe les recommandations relatives au nettoyage et à la stérilisation des instruments médico-chirurgicaux en acier inoxydable [57] :

Matériau constitutif de l'instr.	Z 10 CNF 18/09	Z 20 C 13	Z 40 C 14	Z50 CD13	Z70 CD14
Familles d'instruments correspond.	Vis	Pincés hémostatiques	Gouges Pincés coupantes Cisailles Ciseaux Burins	Bistouris Scalpels Burins Gouges P.coup. Cisailles Ciseaux	Bistouris Scalpels
Chaleur < 200°C	+	+	+	+	+
Ch. sèche 200-300°C	+	+	-	-	-
Sol. sodée ou alcaline	+	+	+	+	+
Solution chlorée	-	-	-	-	-
Solution pH < 7	-	-	-	-	-
Solution iodée	-	-	-	-	-
F < 35 kHz	+	-	-	-	-
F > 35 kHz	+	+	+	+	+

N.B. + : bien toléré
- : à éviter

3.2. **LES SOLUTIONS PREDESINFECTANTES**

3.2.1. **OBJECTIFS**

Après chaque utilisation le matériel médico-chirurgical doit être immédiatement décontaminé par immersion dans une solution à double action, **détergente et désinfectante**, spécifique à cet usage. Cette solution est appelée **solution prédésinfectante** (anciennement décontaminante) [41].

Cette opération de prédésinfection est définie dans la norme NF T 72 101 [2] comme "une opération, au résultat momentané, permettant d'éliminer, de tuer ou d'inhiber les micro-organismes indésirables en fonction des objectifs fixés. Le résultat de cette opération est limité aux micro-organismes présents au moment de l'opération."

Cette étape est indispensable et fondamentale dans la lutte contre l'infection pour [56] :

- Limiter la prolifération des germes dans un milieu riche en matières protéiques
- Eviter la contamination de l'environnement et/ou du personnel
- Empêcher la fixation des souillures si le matériel n'est pas lavé rapidement
- Améliorer l'efficacité de la désinfection à froid ou de la stérilisation

Ainsi, la formulation d'une solution prédésinfectante devra satisfaire à toutes ces exigences en respectant de nombreux critères chimiques, bactériologiques et toxicologiques.

3.2.2. **CRITERES DE CHOIX**

3.2.2.1. **EFFICACITE**

Il n'existe pas de réglementation des désinfectants au niveau du Ministère de la Santé sauf en ce qui concerne les procédés de désinfection des surfaces par voie aérienne utilisés dans le cas des maladies à déclaration obligatoire. Cependant le Code des Marchés Publics fait obligation d'utiliser des produits (ou des procédés) dont l'efficacité est reconnue selon les normes AFNOR homologuées [45].

La solution prédésinfectante doit tout d'abord posséder une **activité bactéricide**. Cette activité est reconnue selon les normes NF T 72 150 [8] et 72 151 [3].

La solution prédésinfectante doit en outre posséder un **spectre d'action très étendu**, ceci afin de ne pas favoriser la prolifération d'espèces "sélectionnées" par un développement grandement facilité. C'est ainsi que l'action bactéricide du principe actif devra s'exercer aussi bien envers les espèces Gram négatif ou Gram positif, qu'envers les formes sporulées ou anaérobies [62]. L'**activité sporicide** est décrite dans les normes françaises NF T 72 230 [11] et 72 231 [12], l'**activité fongicide** dans les normes NF T 72 200 [10] et 72 201 [5], l'**activité virucide** dans les normes NF T 72 180 [7] et 72 181 [6].

Toutes les normes précédemment citées peuvent être considérées comme des tests de premier stade qui permettent de déterminer, au laboratoire, l'activité antimicrobienne intrinsèque des désinfectants.

Il est à noter l'existence d'autres normes NF T 72 170 [9] et 72 171 [4], NF T 72 300 [45] et 72 301 [45] (en présence de substances interférentes), NF T 72 190 [13] (porte-germes) et NF T 72 281 [14] (désinfection des surfaces par voie aérienne), qui permettent de rechercher, dans des conditions voisines de la pratique, l'activité désinfectante de formulations commerciales utilisées pour la désinfection des surfaces lisses.

Enfin, la solution prédésinfectante doit **agir rapidement**, à **température ambiante**, et **conserver son activité** pendant toute la durée de son utilisation [54]. Elle ne doit pas être inactivée par la présence de matières organiques (pus, sang, etc ...) ni par les produits qui pourraient être présents de manière résiduelle sur les instruments (produits antiseptiques, solutés, etc ...) [43]. C'est pourquoi la formulation de telles solutions comprend, en plus du ou des principes actifs désinfectants, des tensio-actifs (détergents) et des "tampons" (Cf. Chap.3.2.3.).

3.2.2.2. INNOCUITE

La solution prédésinfectante ne doit **pas présenter de toxicité vis à vis de la peau ou des muqueuses** [43]. Il faut donc faire attention, d'une part, au choix du ou des principes actifs (Cf. "les phénols et le formaldéhyde" Chap.3.2.3.1.) et, d'autre part, au pH de la solution. Des tests de tolérance cutanée sur l'animal (indice d'irritation primaire cutanée et indice d'irritation oculaire), la détermination de la dose létale 50 par voie orale chez l'animal, ainsi que la mesure des teneurs en principes actifs dans le milieu environnant doivent être effectués.

La solution prédésinfectante doit être compatible avec les différents matériaux (ne pas vieillir prématurément les plastiques) et ne doit pas corroder les instruments métalliques (acier inoxydable et autres) [43]. Pour cette raison, des inhibiteurs de corrosion sont fréquemment ajoutés dans la formule de ces solutions (Cf.Chap.3.2.3.3.). Des tests de compatibilité peuvent néanmoins être demandés aux fabricants par les utilisateurs.

Pour faciliter le respect des deux critères ci-dessus, la solution prédésinfectante devra s'éliminer facilement par simple rinçage à l'eau. Le personnel devra, néanmoins, porter des gants, voire des lunettes et devra respecter le temps de trempage préconisé par le fournisseur. Un dépassement accidentel de ce temps est sans conséquence (car prévu par le fabricant) s'il n'est, cependant, pas trop excessif.

3.2.2.3. CONDITIONNEMENT ET CONSERVATION

A température ambiante, la solution prédésinfectante concentrée doit rester stable et son pH ne doit pas varier sinon il y a un risque de dénaturation du ou des principes actifs.

Le conditionnement doit être si possible réalisé sous forme unitaire afin de diminuer les risques d'altération du produit, mais le prix ne doit pas être trop élevé.

L'utilisation de la solution prédésinfectante doit être agréable (odeur, aspect) et aisée (dosettes pour les dilution, pompes, etc ...).

Il doit figurer sur l'emballage le maximum de renseignements pratiques. La norme française NF T 72 110 [1] fixe certaines règles à ce sujet.

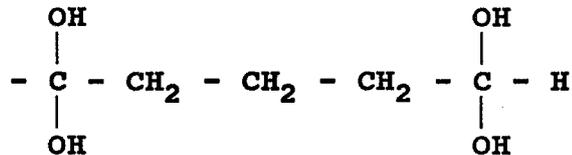
3.2.3. FORMULATION

En raison de toutes les exigences pré-citées, la mise en forme d'une solution prédésinfectante est délicate. Sa formulation fait appel à quatre familles de constituants :

- les agents désinfectants
- les agents nettoyants
- les inhibiteurs de corrosion
- les adjuvants divers

Cette évolution correspond à la neutralisation de la cellule bactérienne.

L'activité bactéricide des aldéhydes est donc liée à la présence des radicaux -CHO libres et nécessite un pH alcalin. Or, en solution alcaline, l'activité bactéricide diminue suite à l'apparition de polymères stables ; le glutaraldéhyde par exemple donne :



La conservation d'une solution d'aldéhydes devra donc se faire à pH légèrement acide afin d'éviter toute polymérisation irréversible du produit. Lors de l'utilisation, la solution aldéhydique devra être activée, c'est à dire alcalinisée pour que le pouvoir bactéricide puisse se manifester [54] [60].

* Le formaldéhyde est un gaz incolore, lacrymogène, d'odeur irritante, très soluble dans l'eau et l'alcool. Afin d'éviter toute diminution d'efficacité par formation de polymères stables, le formaldéhyde est présenté sous forme de solution légèrement acide qui possède une fois activée un spectre d'activité bactéricide particulièrement large. La solution est également sporicide, fongicide (levures surtout) et virucide [42].

De tous les aldéhydes, le formaldéhyde est le plus toxique car le plus réactif. Il est très irritant et provoque des inflammations importantes. La toxicologie aiguë par voie aérienne se schématise ainsi [42] :

- 0,1 ppm : larmolements
- 1 à 5 ppm : irritations des voies aériennes supérieures
- 50 ppm : oedème pulmonaire

Une circulaire ministérielle du 19 juillet 1982 fixe la V.L.E. (Valeur Limite d'Exposition) à 2 ppm.

Des précautions doivent donc être prises lors de son emploi (port de gants, de masque, de lunettes). Il faut éviter de le mettre dans l'eau chaude car il y a alors un dégagement de vapeurs irritantes. En cas de contact avec la peau ou les yeux, il faut immédiatement rincer abondamment et consulter selon l'importance un médecin.

De plus, selon la matière plastique (PVC, polyéthylène, polypropylène, polyamide) utilisée pour la fabrication du matériel médico-chirurgical (sondes, cathéters, canules), le formaldéhyde peut persister plus ou moins longtemps et risquer d'entraîner une intoxication chronique lors de son utilisation [39].

Il faut éviter de mettre le formaldéhyde en contact avec des instruments en caoutchouc qui peuvent se craqueler, du matériel avec des joints en résine qui peut être dissoute. Il faut impérativement que le matériel ne possède plus la moindre trace de protéines car le formaldéhyde les précipite. Il se forme alors un gel nuisible à une bonne désinfection et à l'utilisation répétée du matériel optique (opacification des lentilles) [42].

* Le glutaraldéhyde se présente à l'état pur sous forme d'un liquide huileux ou de cristaux incolores, à odeur caractéristique, peu volatil, soluble dans l'eau et l'alcool. Comme le formaldéhyde et pour la même raison, il est présenté sous forme de solution légèrement acide qui possède une fois activée (pH compris entre 7,5 et 8,5) une action bactéricide, sporicide, fongicide et virucide [53].

Le glutaraldéhyde est un produit légèrement irritant pour la peau et plus sévèrement pour les muqueuses [42]. Il convient donc d'éviter tout contact avec la peau et surtout avec les yeux. En cas d'éclaboussures, il faut rincer abondamment et consulter un ophtalmologiste [43]. Le port de gants et de lunettes est recommandé. En revanche, la volatilité du glutaraldéhyde étant proche de celle de l'eau, il ne dégagera pas, à la température d'utilisation, de vapeurs irritantes comme le font les solutions à base de formaldéhyde [54].

Selon la matière plastique (PVC, polyéthylène, polypropylène, polyamide) utilisée pour la fabrication du matériel médico-chirurgical (sondes, cathéters, canules), le glutaraldéhyde peut persister plus ou moins longtemps et risquer d'entraîner une intoxication chronique lors de son utilisation [53]. Le caoutchouc, par exemple, fixe d'une manière intense le glutaraldéhyde [42].

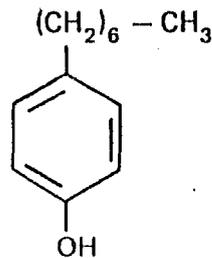
Le glutaraldéhyde a tendance à corroder les métaux et à abîmer le matériel médico-chirurgical mais cela dans des proportions bien moindres que le formaldéhyde. Il ne présente pas la réaction de "formol-gélification" ce qui permet un nettoyage concomitant [60].

* Le glyoxal pur se présente sous forme cristallisée et possède deux fonctions aldéhydiques. Il est vendu en solution aqueuse et toujours utilisé en association avec le formaldéhyde ou le glutaraldéhyde car seul, il ne possède pas une grande activité. Sa présence potentialise l'action des autres aldéhydes soit en améliorant la détergence, soit en libérant du formaldéhyde, soit en stabilisant les autres aldéhydes [42].

- **Les Phénols**

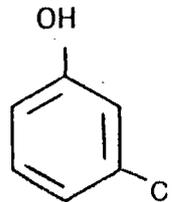
Le phénol (acide phénolique) a été le premier à être utilisé comme désinfectant mais sa toxicité est telle que ne sont plus employés que ses dérivés :

les alkylphénols



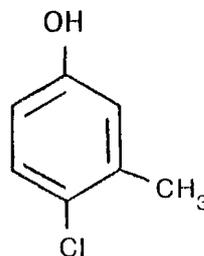
p-heptylphénol

les chlorophénols



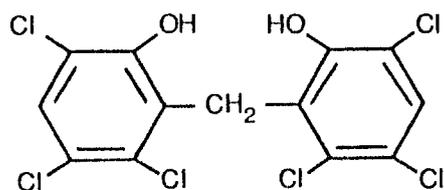
m-chlorophénol

les halogénoalkylphénols



chlorocrésol

les arylphénols



hexachlorofène

Ces dérivés allient, à une activité supérieure, une toxicité inférieure à celle du phénol [62].

En fonction de leur concentration, les phénols produisent soit une dénaturation de la membrane et des protéines cytoplasmiques (forte concentration), soit une libération des constituants cellulaires (faible concentration). Les effets bactériostatiques seraient dus à l'inhibition des systèmes énergétiques ou au découplage de ses réactions (effet chélateur sur certains métaux nécessaires à l'activité bactérienne) [43]. La présence de groupements alkyl et d'halogènes exaltent leur caractère lipophile, ce qui augmente leur activité antimicrobienne [42].

On utilise en général un mélange de phénols sous forme de phénates solubles dans l'eau et la plupart des micro-organismes y sont sensibles. La présence de protéines n'est pas gênante, au contraire, elle optimiserait l'action antibactérienne, en favorisant la pénétration dans la membrane cytoplasmique des bactéries. En revanche, les dérivés phénoliques sont incompatibles avec les sels de métaux lourds [42].

Sur le plan toxicité, certains dérivés du phénol manifestent une action photosensibilisante [43].

Lors de l'utilisation des dérivés phénoliques pour la désinfection du matériel médico-chirurgical, la prudence et le respect des conseils d'utilisation s'imposent. En effet, les solutions phénoliques, de part leur acidité, sont très corrosives vis-à-vis des instruments métalliques [42]. La corrosion peut également intéresser des constituants divers (plastiques, caoutchoucs, ciments optiques, etc ...).

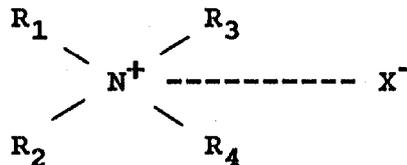
Le tableau VII donne une idée sur la sensibilité des matériaux envers tels ou tels dérivés phénoliques [42].

Tableau VII

	Crésols	Diphényl oxyde	Phénol 10%	Acide picrique
Polypropylène	D	D	B	B
Polyéthylène	C	-	A	-
P.V.C.	D	D	C	D
Teflon	A	A	A	A
Acier inoxydable	A	B	B	B
Aluminium	A	B	B	A
Néoprène	D	D	D	B
Caoutchouc naturel	D	D	D	B
Silicone	D	C	D	D
Céramique	A	A	-	-

N.B. : - = Pas d'études
 A = Très bon comportement
 B = Bon comportement
 C = Assez bon comportement
 D = Non compatible

- **Les Ammoniums Quaternaires**



R_1, R_2, R_3, R_4 sont des chaînes carbonées et X représente un halogène.

Ce sont des molécules bipolaires, ne possédant ni odeur ni couleur. Citons parmi les plus courantes :

- le chlorure de benzalkonium
- le bromure de cétéhexémonium
- le chlorure d'alkyl-ammonium

Le mode d'action antimicrobienne de ces substances est mal connu [62] :

- Inactivation des enzymes (respiration et glycolyse) expliquant l'activité à de très hautes dilutions.

- Dénaturation et solubilisation des protéines, facilitant l'action antimicrobienne.

- Destruction de la paroi bactérienne avec libération du contenu cellulaire dans le milieu.

- Activité bactériostatique très marquée. La concentration péri-membranaire des cationiques renforcée par leur capacité de fixation sur les surfaces bactériennes est si forte que même le lavage ne peut les éliminer totalement. Ils s'opposent ainsi à la prolifération des germes vivants en les isolant du milieu nutritif.

Les ammoniums quaternaires sont inhibés par de nombreux produits (composés anioniques, eaux dures, etc ...). Ils sont inactifs en présence de matières organiques. Il est donc indispensable d'éliminer toute trace de savons, de sang, de pus avant de plonger les instruments dans une solution d'ammonium quaternaire [43].

Les ammoniums quaternaires sont très irritants, quelques fois toxiques mais peu allergisants.

Les ammoniums quaternaires sont des substances corrosives car ils renferment des ions halogène responsables du phénomène de corrosion par piqûres (Cf. Chap. 2.3.3.2.). Afin d'éviter cette corrosion, on remplace si possible les chlorures par des propionates (Ex. propionate de benzalkonium).

3.2.3.2. LES AGENTS NETTOYANTS

Les agents nettoyants sont classés en quatre catégories [42] :

- les agents anioniques
- les agents cationiques
- les agents non ioniques
- les agents amphotères

- **Les tensio-actifs anioniques**

Ils sont constitués d'une chaîne hydrocarbonée saturée (ou faiblement insaturée) sur laquelle est fixé un groupement hydrophile (sulfate, sulfonate). Ils s'ionisent dans l'eau ; l'anion constitue la partie active qui présente un haut pouvoir détergent et selon sa nature on a :

- les alkylsulfates et alkyléthersulfates
- les sulfo-succinates

Les détergents anioniques sont sensibles au pH ; ils ne sont actifs qu'en milieu alcalin. Ils sont incompatibles avec les détergents cationiques. Ils peuvent être associés aux aldéhydes et aux phénols.

* Les alkylsulfates et alkyléthersulfates

Les formules sont respectivement les suivantes :



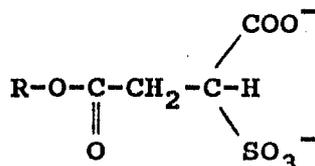
Le cation associé sera le sodium, le magnésium, l'ammonium ou une amine.

R est souvent le radical laurique et le plus souvent utilisé est le laurylsulfate de sodium :



Les alkylsulfates et les alkyléthersulfates sont très moussants mais leur solubilité diminue en eau dure. Ils sont assez irritants pour la peau.

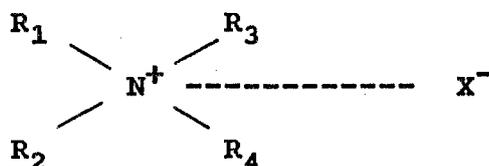
* Les sulfo-succinates



On peut citer ici le dioctylsulfosuccinate de sodium (D.O.S.S.) qui présente une meilleure tolérance cutanée que les alkylsulfates.

- **Les tensio-actifs cationiques**

Leur formule générale est la suivante :



Ils s'ionisent dans l'eau et le cation de grande dimension constitue la partie active.

Ils possèdent un pouvoir moussant assez élevé mais leurs pouvoirs mouillant et détergent sont faibles. Ils sont incompatibles avec les eaux dures et avec les détergents anioniques et sont actifs en milieu acide. Ils sont très irritants. Ils sont aussi très corrosifs si l'anion associé est un halogène (Cf.Chap.3.2.3.1.).

Ces molécules possèdent en revanche un pouvoir bactéricide élevé si bien qu'elles sont surtout utilisées en tant qu'agent anti-microbien (Cf.Chap.3.2.3.1.).

- **Les tensio-actifs non ioniques**

Ils représentent la classe la plus importante et sont les plus utilisés en raison de leur :

- bonne tolérance cutanée
- insensibilité aux variations de pH
- bon pouvoir détergent
- bon pouvoir mouillant
- faible pouvoir moussant
- compatibilité avec les tensio-actifs cationiques , anioniques et amphotères

Ils sont classés d'après la nature de la liaison qui unit la partie hydrophile à la partie hydrophobe :

* Les tensio-actifs à liaison ester

$R-COOR'$ avec R chaîne acide en C_{12} ou C_{18} , lipophile
R'polyalcool, hydrophile

On trouve : les stéarates
les polyéthylèneglycols (P.E.G.)
les esters phosphoriques
les esters de sorbitane (SPANS)
les esters de sorbitane polyoxyéthylénés (TWEENS)

* Les tensio-actifs à liaison éther

$R-O-R'$ avec R lipophile
R'hydrophile

* Les tensio-actifs à liaison amide

$R-CONH-R'$ avec R lipophile
R'hydrophile

Les diéthanolamines (d'acide gras de Coprah par exemple) sont les plus utilisées.

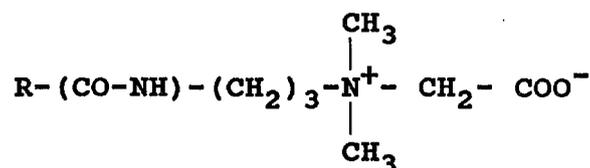
* Les copolymères d'oxydes d'alkènes

Il faut citer les copolymères d'oxyde d'éthylène et d'oxyde de propylène.

- **Les tensio-actifs amphotères**

Ils renferment à la fois un groupement acide et un groupement basique. Ils ont donc un caractère cationique en milieu acide et un caractère anionique en milieu basique.

Ils sont essentiellement constitués d'une chaîne grasse hydrocarbonée et d'un azote quaternaire. Les plus employés sont les bétaines :



Ils sont compatibles avec tous les autres tensio-actifs. Ils possèdent un excellent pouvoir détergent et mouillant et cela quelque soit le pH. Ils sont très faiblement irritants mais leur prix limite leur emploi.

Le tableau VIII résume les propriétés générales des quatre classes de tensio-actifs (T.A.) :

Tableau VIII

	T.A. anioniques	T.A. cationiques	T.A. non ioniques	T.A. amphotères
Pouvoir détergent	bon	mauvais	bon	excellent
Pouvoir moussant	très bon	moyen	faible	très faible
Pouvoir irritant	grand	très grand	faible	très faible
Toxiques	parfois	parfois	rarement	rarement
Allergisants	peu	peu	peu	peu
Incompatibilités	fréquentes avec T.A. cationique	fréquentes avec T.A. anionique	peu	peu
pH d'activité	basique	acide	quelconque	quelconque
Coût	faible	faible	élevé	très élevé

3.2.3.3. LES INHIBITEURS DE CORROSION

Les inhibiteurs de corrosion sont des substances qui, ajoutées en très faible quantité, diminuent la vitesse de corrosion en modifiant la nature ou la structure de l'interface métal/solution. Ces inhibiteurs agissent soit par réaction à la surface du métal, soit par adsorption sur le métal, soit en favorisant la formation du film passif.

- **Les inhibiteurs par réaction** sont essentiellement des substances non oxydantes susceptibles de former des composés insolubles avec les ions issus du processus de corrosion. Font partie de ces inhibiteurs les ions :

- silicate
- phosphate
- carbonate
- benzoate
- magnésium

- **Les inhibiteurs par adsorption** sont généralement des composés organiques qui s'adsorbent sur la surface métallique.

Nous trouvons ainsi :

- les amines primaires et leurs dérivés
- les éthanolamines et leurs dérivés
- les alcools
- les mercaptans

- **Les inhibiteurs oxydants** tels que les nitrates, les chromates, etc ..., élèvent le potentiel oxydo-réducteur de la solution ce qui favorise la formation de la couche passive.

3.2.3.4. LES ADJUVANTS DIVERS

Les adjuvants de mise en forme sont très nombreux :

- substances "tampon"
- colorants
- parfums
- surgraissants
- viscosants
- séquestrants
- stabilisateurs de mousse
- etc ...

- **Les substances tampons** sont nécessaires pour ajuster le pH. Par exemple, lorsque le principe désinfectant est un aldéhyde le pH doit se situer dans une fourchette comprise entre 7,5 et 8,5 pour un maximum d'efficacité. Le pH doit, par ailleurs, prendre des valeurs voisines de la neutralité voire même un pH alcalin, afin de faciliter la passivation. La solution ne doit être, ni agressive pour les utilisateurs, ni corrosive vis-à-vis du matériel.

- **Les colorants et parfums** rendent l'utilisation du produit agréable cependant ils peuvent être à l'origine de manifestations allergiques.

En conclusion, la formulation d'une solution prédésinfectante doit obéir à deux grands critères :

- complète compatibilité entre les principes actifs, les détergents et les autres composants
- facilité et innocuité d'emploi maximales

3.2.4. MODALITES D'UTILISATION

Les précautions qui ont été prises lors de la formulation de la solution prédésinfectante ne doivent pas être détruites par un usage fantaisiste de celle-ci. Le matériel sera donc immergé, immédiatement après son utilisation, dans un bac contenant une solution préparée selon les recommandations du fournisseur. Le temps de trempage écoulé, les instruments seront rincés soigneusement à l'eau avant la phase de lavage afin d'éviter toute interférence entre produits.

3.2.4.1. PREPARATION DE LA SOLUTION

Les solutions prédésinfectantes nécessitent toutes (ou presque) une dilution préalable à leur emploi.

Le pourcentage de destruction des bactéries n'étant pas proportionnel à la dose de désinfectant, augmenter cette dernière ne permettra pas d'obtenir une meilleure protection ; ceci provoquera en revanche des désagréments chez l'utilisateur (odeur trop forte, toxicité accrue) et des risques importants de corrosion [62].

De même il est inutile et dangereux de réaliser des mélanges de produits. En effet, des incompatibilités peuvent se produire si bien que le pouvoir désinfectant et/ou le pouvoir détergent de la solution se verra diminué voire annulé. Il est donc fortement déconseillé d'utiliser l'eau de Javel ou des détergents ménagers en association avec les solutions prédésinfectantes [62].

3.2.4.2. EAU DE DILUTION

L'eau doit posséder un T.H. (titre hydrotimétrique exprimé en degrés français) compris entre 4 et 8 [16] ; une eau dure pouvant inhiber l'efficacité antimicrobienne et/ou détergente de la solution.

La température de l'eau doit être de 30°C environ [16]. Une eau trop chaude risque de provoquer une fixation des souillures organiques sur les instruments, et cela malgré les tensio-actifs. De plus la température entraîne une vaporisation accélérée des aldéhydes [62].

Le pH de l'eau doit être proche de la neutralité et même plutôt alcalin ; les bains prédésinfectants acides pouvant provoquer une corrosion des instruments [16].

La présence de chlorure dans l'eau doit être évitée sinon limitée car ils sont responsables de la corrosion par piqûres. Si la teneur en chlorure reste inférieure à 240 mg/l on ne risque pas de voir apparaître de piqûres ; en revanche, si cette valeur est dépassée, on peut s'attendre à des "trous" de corrosion [27]. Par ailleurs, la présence de métaux, tels que le fer, le cuivre, le manganèse, peut provoquer la formation de taches et de colorations mais il ne s'agit pas de corrosion car on peut les faire disparaître en frottant.

3.2.4.3. TEMPS DE TREMPAGE

Le temps de trempage est environ de 15 à 30 mn pour assurer une bonne efficacité antibactérienne. Il convient de respecter les conseils du fournisseur car un temps de contact trop prolongé peut induire une corrosion sur les instruments [16]. Selon les principes actifs désinfectants et l'importance des risques infectieux, la durée de trempage (ainsi que la concentration de la solution) se verra augmentée.

3.2.4.4. VALIDITE DES BAINS

La durée de validité des bains peut aller jusqu'à deux semaines mais il est recommandé de les renouveler plus fréquemment en fonction de la charge organique. Dans les services, le renouvellement peut être bihebdomadaire, voire quotidien, si les instruments sont très souillés ; dans les blocs, le bain devrait être changé après chaque intervention [16]. Des tests dits de "capacité" permettent de déterminer leur fréquence de renouvellement.

3.3. **ETUDES ANTERIEURES**

De nombreuses études ont été réalisées pour tester l'activité antimicrobienne des solutions à base d'aldéhydes [41] [50], pour évaluer la persistance de résidus aldéhydiques sur le matériel médico-chirurgical [39] [53] ou pour mettre en évidence la résistance in vivo des implants et des prothèses métalliques [34] [35] [37] [38] [58], mais peu se sont intéressées au comportement des instruments en acier inoxydable lors de leur utilisation en milieu hospitalier (prédesinfection, nettoyage, stérilisation).

3.3.1. ETUDES MENEES PAR LES LABORATOIRES FABRICANTS

Les études de compatibilité solutions/instruments, que l'on peut trouver aisément, sont réalisées, pour la plupart, par les laboratoires fabricant les solutions. Ils fixent ainsi le domaine d'utilisation de leurs solutions en garantissant l'absence de corrosion ou d'altération du matériel médico-chirurgical dans des conditions normales d'utilisation. A la suite d'une demande auprès de différents laboratoires, nous avons obtenu cinq résultats d'étude accompagnés d'un protocole plus ou moins complet.

3.3.1.1. **ETUDE COMPARATIVE DE L'AGRESSIVITE DE TROIS SOLUTIONS A BASE DE GLUTARALDEHYDE**

Des éprouvettes en acier inoxydable type Z6 CN 18-09 et des lames de bistouri sont exposées à dix cycles de quinze heures de trempage dans chacune des trois solutions à base d'aldéhyde et dans un bain d'eau distillée. A la fin de chaque cycle, les objets sont rincés à l'eau distillée, séchés à l'étuve à 37°C et pesés jusqu'à poids constant.

Aucune modification de l'aspect n'est constatée et la perte de poids négligeable est sensiblement la même que les objets aient été immergés dans les solutions aldéhydiques ou dans l'eau distillée.

3.3.1.2. ETUDE DE L'ACTION CORROSIVE D'UN DETERGENT-DESINFECTANT A BASE DE POLYALKYLPOLYAMIDES ET DE CHLORURE DE BENZALKONIUM

Des éprouvettes en aluminium, acier inoxydable austénitique (Z6 CN 18-09), cuivre et laiton sont immergées dans la solution désinfectante concentrée à 1% et à une température de 20°C. La corrosion est mesurée en tant que perte de poids en g/m²/24H. La compatibilité avec les matériaux est donnée par l'échelle suivante :

<u>g/m²/24H</u>	<u>Appréciation</u>
0 - 0,5	très résistant
0,5 - 1	résistant
1 - 5	suffisamment résistant
5 - 10	peu résistant
> 10	non résistant

Les résultats obtenus sont les suivants :

Aluminium	0,025 g/m ² /24H
Acier inoxydable austénitique	0,002 g/m ² /24H
Cuivre	0,209 g/m ² /24H
Laiton	0,201 g/m ² /24H

Nous constatons que, dans les conditions expérimentales fixées, la solution désinfectante n'est pas agressive car les quatre matériaux se comportent très bien vis-à-vis de la corrosion.

3.3.1.3. COMPORTEMENT D'UNE SOLUTION A BASE DE GLUTARALDEHYDE VIS-A-VIS DES METAUX

Des instruments en acier inoxydable et en acier au carbone sont immergés pendant plus de 83 jours à une température de 45°C.

La solution à base de glutaraldéhyde n'a pas d'action corrosive sur les aciers inoxydables. Les aciers au carbone, ayant reçu un revêtement métallique, ont en revanche été agressés.

3.3.1.4. ETUDE DE COMPATIBILITE D'UNE SOLUTION PREDESINFECTANTE A BASE DE GLUTARALDEHYDE AVEC DIFFERENTS INSTRUMENTS

Des bacs de trempage sont remplis avec 5 litres de la solution prédésinfectante à 2% dans de l'eau dure. Le matériel suivant y est immergé :

- pince Kocher démontable conforme aux normes AFNOR
- ciseau pointu conforme aux normes AFNOR
- pince à dissection conforme aux normes AFNOR
- lame de bistouri
- pince Kocher de qualité moyenne
- pince à dissection de qualité moyenne
- ciseau mousse de mauvaise qualité
- ciseau pointu de mauvaise qualité

Les instruments restent immergés pendant 96 heures. Aux temps définis, ils sont sortis des bacs afin de vérifier leur état, puis remis à tremper. A la fin des 96 heures, ils sont séchés par tamponnement et laissés 24 heures à l'air et à température ambiante. Il n'y a pas de rinçage.

Les observations sont réalisées à l'oeil nu comparativement à des instruments témoins et elles sont regroupées dans les tableaux IX et X ci-après.

Tableau IX

Instrum. Temps	Kocher NF	Ciseau NF	Pince à diss.NF	Lame de bistouri
5 mn	-	-	-	-
10 mn	-	-	-	-
15 mn	-	-	-	Points noirs sur la tranche
30 mn	-	-	-	"
60 mn	-	-	-	"
2 H	-	-	-	"
3 H	-	-	-	Toute noire dessous
4 H	-	-	-	"
5 H	-	-	-	"
24 H	-	-	-	Toute noire
29 H	-	-	-	"
48 H	-	corrosion de la vis	-	Entièrement corrodée
96 H	-	rouille de la vis	-	"
Après 24 H de séchage	-	"	-	"

Tableau X

Instrum. Temps	Kocher moyenne	Pince à diss. moy.	Cis. mousse mauvais	Cis. pointu mauvais
5 mn	-	-	-	-
10 mn	-	-	-	-
15 mn	-	-	-	-
30 mn	-	-	-	-
60 mn	-	-	-	-
2 H	-	-	-	-
3 H	-	-	-	-
4 H	-	-	-	-
5 H	-	-	-	-
24 H	-	Corrosion rainures	Corrosion vis	-
29 H	-	"	"	-
48 H	-	Rouille soudure	Corrosion import. vis	Corrosion vis
96 H	Corrosion articul.	Noircissem. rainures	Rouille d'un anneau	"
Après 24 H de séchage	Art. toute rouillée	Stries noircies	Rouille vis et anneaux	Rouille vis et lames

3.3.1.5. ETUDE DES PROPRIETES CORROSIVES DE DIVERSES SOLUTIONS DE GLUTARALDEHYDE

- Solution de glutaraldéhyde acide (pH 2,9) SGAC
- Solution de glutaraldéhyde alcaline SGAL
- Solution de glutaraldéhyde alcaline stabilisée SGALS

Deux protocoles sont proposés :

a) Les instruments demeurent constamment immergés dans des récipients en plastique contenant les diverses solutions de glutaraldéhyde pendant une période allant jusqu'à 28 jours.

b) Les instruments sont plongés dans des bacs en plastique contenant la solution de glutaraldéhyde alcaline stabilisée pendant 20 à 60 mn, puis ils sont rincés et séchés à l'air libre et à température ambiante avant d'être immergés à nouveau dans la solution. Ce cycle est renouvelé 40 fois.

Pour évaluer l'agressivité des diverses solutions, on recherche, dans un échantillon de la solution, les métaux dissous, au moyen de la spectrophotométrie d'absorption atomique. Par ailleurs, les instruments sont regardés à l'oeil nu pour détecter les marques de corrosion, les tâches ou toute autre indication d'une modification de la surface.

Résultats obtenus suivant le protocole a)

Instruments	Solut.	Nbre jours	métal (ppm)	Observations
Ciseaux chromés	SGAL	2	0	Pas de corrosion
	SGAC	2	23,6	Noircissement et rongement
Ciseaux nickelés	SGAL	3	0,1	Pas de corrosion
	SGAC	1	8,9	Rouille brune
Laparoscope métallisé	SGAL	14	4,5	Pas de corrosion
	SGAC	<1	29,2	Noircissement
Instruments en acier	SGAL	28	0,25	Corrosion lames scalpel en acier au carbone
	SGALS	18	0,25	Pas de corrosion

Résultats obtenus suivant le protocole b)

- Fonte	0,1 ppm	Légère corrosion
- Acier inoxydable	0,2 ppm	Pas de corrosion
- Ciseaux (ac. inox.)	0,3 ppm	Pas de corrosion
- Pince hémostatique (ac. inox.)	0,2 ppm	Pas de corrosion
- Tube métallisé	1,7 ppm	Pas de corrosion
- Ecarteur	0,1 ppm	Pas de corrosion
- Engrenage chromé	0,9 ppm	Pas de corrosion
- Poignée en aluminium	0,1 ppm	Très légèrement rongée

Il existe une grande différence entre la solution de glutaraldéhyde acide et la solution de glutaraldéhyde alcaline qu'elle soit stabilisée ou non. Cette différence se mesure à la quantité de métal dissous mais aussi facilement à l'oeil nu.

En conclusion, nous constatons qu'aucune étude n'est réalisée selon le même protocole :

- cycles alternatifs ou successifs
- température ambiante ou élevée
- bacs de trempage couverts ou non
- éprouvettes métalliques ou instruments
- etc ...

De plus, le mode opératoire est souvent incomplet :

- caractérisation des éprouvettes (dimensions, nombre)
- nature des bacs de trempage
- caractérisation des instruments (nombre, fabrication).
- caractérisation des solutions
- etc ...

Ce manque de standardisation est un obstacle aux comparaisons et nuit à une bonne qualification de la solution en ce qui concerne son agressivité potentielle.

3.3.2. ETUDE COMPARATIVE DE L'ACTION CORROSIVE DE DIFFERENTS DESINFECTANTS

Une étude a été réalisée afin de tester le pouvoir corrosif de certaines solutions désinfectantes et pré-désinfectantes sur les instruments métalliques [43]. L'évaluation de la corrosion est réalisée par une méthode pondérale qui consiste à suivre la perte de masse subie par une surface donnée du métal.

Des segments, de même grandeur, d'aiguilles hypodermiques de 1,5 mm de diamètre sont pesés et mesurés exactement puis immergés dans des béciers contenant 100 ml de solutions aqueuses désinfectantes utilisées aux concentrations usuelles.

L'immersion dure 14 jours, à température ambiante (20°C). Les solutions sont renouvelées tous les jours et une agitation de 6 heures par jour est réalisée 5 jours par semaine. Après les 14 jours de contact, les fragments d'acier inoxydable sont abondamment rincés. Ils sont frottés avec une brosse douce et une ficelle coulissante élimine toute corrosion dans le trou de l'aiguille. Les fragments sont ensuite séchés à l'étuve (60°C) pendant 1 heure puis pesés après refroidissement.

Les 14 solutions testées ont les compositions suivantes :

Sol	D Ph	A IV	Glut	Form	Glyox	TA	IC	Autres
A		+	+	+		+	+	
B		+	+		+	+	+	Emulsionnants
C			+					2.5, diméthoxy tétrahydrofurane
D	+							
E	+					+		Substance tampon
F		+	+	+				
G	+							Mercuriothiolate et sulforicinate de sodium Alcool éthylique
H		+	+	+		+	+	
I		+	+			+		
J	+					+		
K		+				+		Sels cuprosodiques de dichlorophylène
L			+			+		Mouillant
M	+							Mercuriothiolate de sodium Protéase fongique
N		+				+		

NB : D Ph = Dérivés phénoliques
 A IV = Ammoniums quaternaires
 Glut = Glutaraldéhyde
 Form = Formaldéhyde
 Glyox = Glyoxal
 TA = Tensio-actifs
 IC = Inhibiteur de corrosion

Les résultats exprimés en g/m²/24H sont les suivants :

Solution A	0,012
Solution B	0,021
Solution C	0,041
Solution D	0,112
Solution E	0,043
Solution F	0,009
Solution G	0,008
Solution H	0,005
Solution I	0,069
Solution J	0,050
Solution K	0,061
Solution L	0,015
Solution M	0,046
Solution N	0,061

L'analyse des résultats fait apparaître une relative stabilité de l'acier inoxydable vis-à-vis des 14 désinfectants. Il est impossible de se prononcer sur l'importance de la corrosion en fonction des principes actifs, car les différences de masse ne sont pas assez significatives.

3.3.3. ETUDE DE L'AGRESSIVITE D'UNE SOLUTION PREDESINFECTANTE A BASE DE GLUTARALDEHYDE

Le glutaraldéhyde est un principe actif désinfectant très employé pour la formulation des solutions prédésinfectantes et désinfectantes. Il est, cependant, nécessaire d'ajouter d'autres composés et au minimum les suivants :

- Substance tampon pour stabiliser le pH entre 7,5 et 8,5
- Tensio-actifs pour l'action détergente
- Inhibiteur de corrosion

Une telle solution a été réalisée et testée à la concentration de 2% [54] [60]. Son activité bactéricide, sporicide, fongicide et virucide ainsi que sa faible toxicité ont été vérifiées. Son comportement vis-à-vis du matériel médico-chirurgical métallique a donné les résultats suivants :

- Non corrosif vis-à-vis des instruments en acier inoxydable après une immersion de 2 semaines.

- N'affecte pas le tranchant des instruments coupants. Un bistouri et un coupe-ongles chirurgicaux furent immergés plusieurs fois pendant 2 semaines sans aucun effet sur les parties coupantes.

- Non corrosif pour les sachets de suture en aluminium. Des sachets en aluminium de suture furent immergés pendant 30 jours à 37,8°C. Il n'y eut aucune corrosion des feuilles en aluminium à la fin de cette période.

Cette solution prédésinfectante à base de glutaraldéhyde s'avère non corrosive pour les instruments métalliques, ne détériore pas les instruments d'optique et n'agresse pas les plastiques et caoutchoucs.

4. MISE AU POINT D'UN PROTOCOLE D'ETUDE
DES RISQUES DE CORROSION
DES INSTRUMENTS MEDICO-CHIRURGICAUX
EN ACIER INOXYDABLE LORS DE LEUR PREDESINFECTION

4.1. CONDITIONS OPERATOIRES A RESPECTER

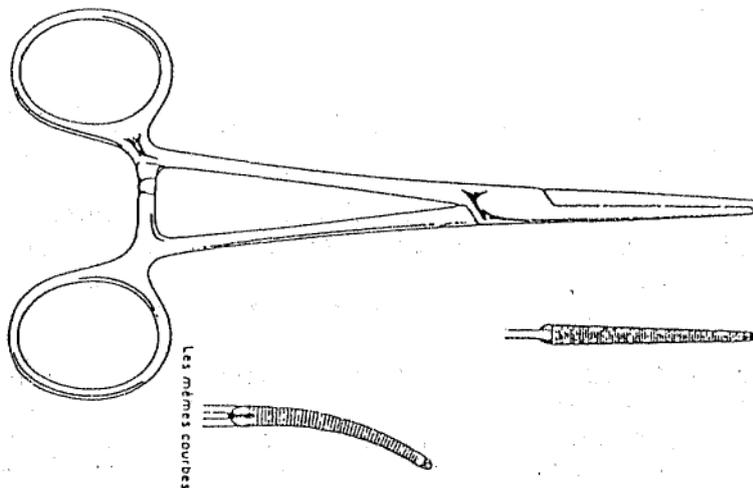
4.1.1. INSTRUMENTS MEDICO-CHIRURGICAUX

Les instruments étudiés sont en **acier inoxydable martensitique forgé**. Ils répondent aux **normes AFNOR**, tant pour la qualité de l'acier que pour les caractéristiques dimensionnelles et la résistance mécanique.

Nous nous proposons d'étudier deux types d'instruments d'usage très courant. Il s'agit, d'une part, de **pincés hémostatiques de "qualité service"** et d'autre part, de **ciseaux de "qualité bloc opératoire"** (la finition étant, dans ce cas, réalisée avec une extrême attention).

- Les pincés hémostatiques sont des pincés KOCHER (Cf. schéma 4). Elles sont à griffes, d'usage général et peuvent éventuellement servir de clamp.

Schéma 4 : Pince hémostatique KOCHER
in NF S 90 460 [20]



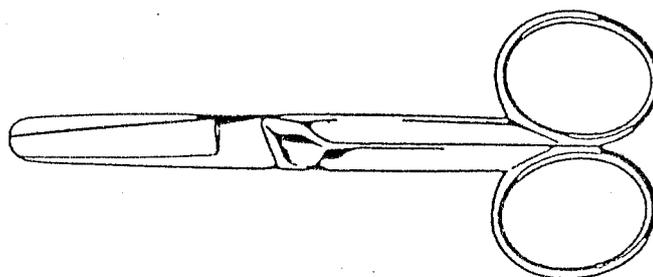
Leurs caractéristiques sont définies dans les normes :

- NF S 90 450 [19] en ce qui concerne la composition chimique et la dureté
- NF S 90 460 [20] en ce qui concerne les dimensions et les essais

L'acier inoxydable martensitique utilisé pour leur fabrication est la nuance **Z20 C13**. La quantité de carbone présent dans l'alliage, est de l'ordre de 0,20% et la quantité de chrome de l'ordre de 13% (Cf.Chap.3.1.1.1.).

- Les ciseaux sont des ciseaux MOUSSE courbes
(Cf.schéma 5).

Schéma 5 : Ciseaux MOUSSE courbes
in NF S 90 463 [17]



Leurs caractéristiques sont définies dans les normes :

- NF S 90 451 [22] en ce qui concerne la composition chimique et la dureté
- NF S 90 463 [17] en ce qui concerne les dimensions et les essais

L'acier inoxydable martensitique utilisé pour leur fabrication est la nuance **Z40 C14**. La quantité de carbone présent dans l'alliage, est de l'ordre de 0,40% et la quantité de chrome de l'ordre de 14% (Cf.Chap.3.1.1.2.).

4.1.2. SOLUTIONS TESTEES

Les solutions prédésinfectantes renferment différents principes actifs bactéricides (Cf.Chap.3.2.3.1.). Nous nous proposons d'étudier une solution à base d'aldéhydes. Cette solution est le **SEKUGERM** des Laboratoires **PARAGERM** (Z.I. 3°Rue-06510 CARROS).

L'agressivité potentielle de cette solution, vis à vis des instruments médico-chirurgicaux en acier inoxydable, sera comparée à celle d'une solution d'hypochlorite de sodium, l'eau de Javel étant encore très employée en milieu hospitalier (très actif, faible prix) et à celle de l'eau qui servira à faire les dilutions.

- La solution prédésinfectante aldéhydique (SEKUGERM), qui sera notée par la suite solution P, est un produit concentré destiné à la prédésinfection de l'instrumentation médico-chirurgicale.

Son spectre d'activité est suffisamment large pour éviter la prolifération des germes dans un milieu riche en matières protéiques (la solution passe les normes NF et DGHM en vigueur). Son action détergente renforcée évite la précipitation des protéines et la fixation des souillures sur le matériel. La présence d'un inhibiteur de corrosion diminue les risques d'altération des instruments métalliques.

Sa composition qualitative est la suivante :

- Glutaraldéhyde
- Glyoxal
- Tensio-actifs anioniques et non ioniques
- Inhibiteur de corrosion
- Colorant
- Parfum
- Eau déminéralisée

Ses caractères physico-chimiques sont les suivants :

- Liquide limpide, de couleur verte
- Densité : 1,082 +/- 0,003
- pH du produit pur : 4,6 +/- 0,5
- pH de la solution à 2% (eau de conduite) : 7 +/- 0,5
- Biodégradabilité supérieure à 90%

Le produit est conditionné dans des bidons de 1 litre. Il est stable entre -10°C et +40°C et se conserve à température ambiante pendant 3 ans.

Lors de son utilisation, des précautions d'emploi s'imposent car il s'agit d'un produit irritant (port de gants, rinçage abondant en cas d'éclaboussures). Une dilution est nécessaire avant l'emploi :

- Usage courant : 2%, trempage pendant 20 mn. (En cas de risque infectieux élevé, doubler la concentration).
- Prédésinfection rapide : 4%, trempage pendant 15 mn.

La solution sera étudiée à la concentration de 4% et 8% afin de refléter un éventuel surdosage et de se trouver dans des conditions extrêmes. Les dilutions sont réalisées avec l'eau du secteur.

- La solution d'eau de Javel ou d'hypochlorite de sodium est un désinfectant très efficace. Cette activité est due à la libération de chlore. Celui-ci est très oxydant et de ce fait il détruit les protéines structurales et enzymatiques de la cellule microbienne. L'activité bactéricide est cependant influencée par plusieurs facteurs tels que le pH, la concentration, la température, la nature des matières organiques, la dureté de l'eau, l'addition d'autres halogènes, la présence d'ammoniac ou de composés aminés [42].

L'eau de Javel possède une durée de conservation limitée (3 mois à compter de la date indiquée sur l'emballage).

Son utilisation impose quelques précautions :

- Laver et rincer la surface avant pour faciliter l'action désinfectante

- Ne pas mélanger à d'autres produits ; on risque de diminuer l'activité désinfectante

- Manipuler avec précaution (en cas de projections, rincer abondamment)

- Respecter les temps de contact (10 mn désinfection générale, 20 mn désinfection de la vaisselle).

La solution d'eau de Javel sera étudiée à 2,4° chlorométrique qui est la concentration employée couramment pour la désinfection. La dilution est réalisée avec l'eau du secteur.

- L'eau du secteur qui sert à réaliser les dilutions est utilisée comme témoin.

4.1.3. APPAREILS

Deux méthodes d'analyse de l'état de surface sont utilisées pour mettre en évidence l'action corrosive des solutions précitées vis-à-vis des instruments en acier inoxydable précités :

- Microscope stéréoscopique (muni de deux oculaires)
- Microscope électronique à balayage

- Le microscope stéréoscopique est un **stéréomicroscope DRC ZEISS**. Il grossit de 10 à 80 fois.

Il est équipé :

- d'un éclairage KL 1500/EPI/Double (ZEISS)
- d'un dispositif photographique CONTAX 139/T2/36 (ZEISS) muni de pellicules EKTACHROME 160 couleur (KODAK)

- Le microscope électronique à balayage (Cf.Chap.2.4.1.) est un **Jéol JSM 840**. Il peut grossir jusqu'à 100 000 fois. Cependant, les images ne peuvent être facilement interprétées que pour des grossissements inférieurs à 40 000 fois.

Les observations peuvent là aussi être photographiées. L'appareil est, par ailleurs, équipé pour réaliser des analyses élémentaires des dépôts et/ou du métal.

4.2. MODE OPERATOIRE

4.2.1. PREPARATION DES INSTRUMENTS

Chaque instrument est représenté par trois exemplaires. Avant d'être immergés dans les différentes solutions, les instruments neufs sont lavés avec un détergent neutre afin d'éliminer le film protecteur constitué de produits lubrifiants. Ils sont ensuite rincés et séchés minutieusement puis observés à l'aide du stéréomicroscope afin de déceler une éventuelle imperfection (rayure profonde, choc, etc ...) qui est alors photographiée.

4.2.2. PREPARATION DES SOLUTIONS

- **Solution P à 4%** : diluer 40 ml de la solution concentrée dans 960 ml d'eau du secteur (dilution au 1/25°).

- **Solution P à 8%** : diluer 80 ml de la solution concentrée dans 920 ml d'eau du secteur (dilution au 2/25°).

- **Solution d'eau de Javel à 2,4° Chl.** : diluer 1 dose d'extrait d'eau de Javel (250 ml) à 48° Chl. dans 4750 ml d'eau du secteur (dilution au 1/20°).

- **Eau du secteur** : mesurer 1 litre d'eau.

Les solutions, préparées en double, sont versées en totalité (1 litre) dans 8 bacs en plastique munis de couvercle.

Avant de commencer un cycle de trempage, ont été effectués systématiquement :

- Dosage du chlore actif (eau de Javel) par la méthode iodométrique de BUNSEN

- Dosage des aldéhydes totaux (Solution P) par la méthode pHmétrique à l'hydroxylamine

- Mesure du pH (pHmètre BECKMAN Model 3500)

- Mesure de la conductivité (Conductivimètre BISCHOF L 17)

Avant de commencer un cycle de trempage, ont été effectués ponctuellement :

- Dosage des chlorures par méthode argentimétrique
- Mesure du potentiel d'oxydo-réduction
- Dosage de l'oxygène dissous

4.2.3. CYCLE TREMPAGE-RINCAGE-SECHAGE

L'étude comprend 20 cycles successifs de 24 heures de trempage. Ce nombre de cycles de 24 heures prend en considération la durée de garantie des instruments (5 ans) et un nombre moyen d'utilisation, donc de séjour dans la solution prédésinfectante, par an.

Les instruments sont de deux sortes et les solutions au nombre de quatre si bien que l'on a à étudier :

- 3 pinces KOCHER dans la solution P à 4%
- 3 ciseaux MOUSSE courbes dans la solution P à 4%
- 3 pinces KOCHER dans la solution P à 8%
- 3 ciseaux MOUSSE courbes dans la solution P à 8%
- 3 pinces KOCHER dans l'eau de Javel à 2,4° Chl.
- 3 ciseaux MOUSSE courbes dans l'eau de Javel à 2,4° Chl.
- 3 pinces KOCHER dans l'eau du secteur
- 3 ciseaux MOUSSE courbes dans l'eau du secteur

Les trois exemplaires de chaque type d'instrument sont immergés totalement dans les différentes solutions à tester. Les instruments sont largement ouverts et ne doivent pas se chevaucher. Les bacs sont couverts.

Après chaque cycle de 24 heures de trempage, les instruments sont rincés et frottés avec une brosse en nylon sous l'eau du robinet (environ 30 secondes). Ils sont ensuite séchés par tamponnement avec un linge puis par un courant d'air chaud, pendant 15 à 30 secondes, afin d'atteindre les endroits confinés. Les instruments secs sont alors observés à l'oeil nu et au stéréomicroscope.

Une fois l'observation terminée, les instruments sont placés tous ensemble (les 24) dans une boîte en aluminium et agités par 10 retournements successifs de celle-ci. Cela a pour but de reproduire les contacts et chocs qui se produisent lors du transport des instruments.

Après avoir mesuré le pH, la conductivité et la température de chaque solution, les bacs sont vidés, rincés sous l'eau du robinet et essuyés. Les bains sont renouvelés toutes les 24 heures.

Nous réalisons, selon ce protocole, 20 cycles ; à la fin du 20^e, les instruments ne sont pas rincés afin de garder les produits de corrosion qui seront observés et analysés au microscope électronique à balayage. Ces observations sont utiles pour définir le type de corrosion.

4.2.4. ETUDE DE L'ETAT DE SURFACE DES INSTRUMENTS

* Les instruments, à la fin de chaque cycle, sont observés à l'oeil nu et au stéréomicroscope afin de déceler une éventuelle apparition de corrosion qui est notée et photographiée sous différents grossissements (x10, x20, x40).

Réglage de l'appareil photographique :

- présélection de la vitesse : automatique
- index de correction de l'exposition : x 1/2

Réglage de l'éclairage :

- fonctionnement de la lampe : pleine puissance
- réglage de la puissance de la lumière : degré 4 (acier inoxydable non altéré) et degré 5 (acier inoxydable corrodé et donc moins brillant).

* Les instruments, à la fin du 20^e cycle, n'ont pas été nettoyés. Ils sont observés ainsi au microscope électronique à balayage afin de photographier et d'analyser les produits de corrosion. Ils sont ensuite débarrassés des dépôts et de nouveau observés et photographiés. Pour décaper les instruments sans les corroder, on les placera dans une cuve à ultra-sons contenant une solution d'acide chlorhydrique à 25% additionnée de 1,25% de dihydroabiéthylamine, qui est un inhibiteur de corrosion.

4.3. RESULTATS**4.3.1. CARACTERISTIQUES FIXES DES SOLUTIONS**

- Volume des bains : 1 litre

- Température des bains : 22°C +/- 3°C

- Concentration en aldéhydes totaux (exprimée en gramme de formaldéhyde par litre) :

- Solution P à 4% : 2,4
- Solution P à 8% : 4,8

- Degré chlorométrique de l'eau de Javel : 2,4 +/- 0,3

- Concentration en ions chlorure (mg/l) :

- Solution P à 4% : 3,2
- Solution P à 8% : 6,4
- Eau du secteur : 4,2

- Oxygène dissous (ppm) à 22°C

- Solution P à 4% : 6,01
- Solution P à 8% : 6,44
- Eau de Javel : /
- Eau du secteur : 2,44

- Potentiel d'oxydo-réduction (volt) :

- Solution P à 4% : 0,43
- Solution P à 8% : 0,43
- Eau de Javel : 0,99
- Eau du secteur : 0,44

4.3.2. PARAMETRES VARIABLES

4.3.2.1. pH

Le pH des solutions est mesuré avant et après chaque cycle de trempage de 24 heures.

n : nombre de fois où la mesure a été effectuée

m : moyenne des n valeurs

σ : écart-type

Val. Ext. : valeurs extrêmes enregistrées

Solutions	AVANT TREMPAGE			APRES TREMPAGE		
	n	m +/- σ	Val. Ext.	n	m +/- σ	Val. Ext.
Sol. P 4%	17	6,3 +/- 0,3	5,9-6,7	16	7,2 +/- 0,3	6,1-7,5
Sol. P 8%	18	5,0 +/- 0,2	4,6-5,6	17	5,1 +/- 0,3	4,8-6,2
Eau de J.	16	11,2 +/- 0,3	11,1-12,0	17	10,9 +/- 0,6	9,4-11,6
Eau	18	8,3 +/- 0,3	7,4-8,8	18	8,4 +/- 0,2	7,9-8,7

4.3.2.2. CONDUCTIVITE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

La conductivité des solutions est mesurée avant et après chaque cycle de trempage de 24 heures.

n : nombre de fois où la mesure a été effectuée

m : moyenne des n valeurs

σ : écart-type

Val. Ext. : valeurs extrêmes enregistrées

Solutions	AVANT TREMPAGE			APRES TREMPAGE		
	n	m +/- σ	Val. Ext.	n	m +/- σ	Val. Ext.
Sol. P 4%	5	715 +/- 55	620-800	3	710 +/- 60	600-780
Sol. P 8%	5	1100 +/- 50	1050-1200	3	1100 +/- 60	1050-1250
Eau de J.	3	8500 +/- 1000	7500-10000	/	/	/
Eau	16	225 +/- 20	190-300	4	230 +/- 35	180-280

4.3.3. OBSERVATIONS AU STEREOMICROSCOPE

4.3.3.1. PINCES KOCHER

- Récapitulatif des observations : Tableau XI (page 92)

Abréviations utilisées dans le tableau :

- N° = Numéro du cycle
- Corr. = Corrosion
- Art. = Articulation
- Rain. = Rainures
- Crém. = Crémaillère
- Ann. = Anneaux

- Photographies (Voir page 94 à 99)

4.3.3.2. CISEAUX MOUSSE COURBES

- Récapitulatif des observations : Tableau XII (page 93)

Abréviations utilisées dans le tableau :

- N° = Numéro du cycle
- Corr. = Corrosion
- Art. = Articulation
- Ann. = Anneaux

- Photographies (Voir page 100 à 103)

4.3.4. OBSERVATIONS AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE

4.3.4.1. PINCES KOCHER

Voir photographies page 104 à 109

4.3.4.2. CISEAUX MOUSSE COURBES

Voir photographie page 110

Tableau XI

N°	Sol. P à 4%	Sol. P à 8%	Eau de Javel	Eau du secteur
1	/	/	Corr. art. et crém. <6>	Art. : Dépôt de rouille
2	/	/	Propagation de la corr.	Début de corr. des rain.
3	/	/	Corr. ann. rivet et rain.	Corr. art. : étalement
4	/	/	Propagation	"
5	/	Corr. art. faible	"	"
6	Art. terne <2>	"	Art. cré. ann. rivet et rain. rongés <7> <8>	Art. : Dépôt de rouille important <11>
7	Début corr. art.	"	Généralisation de la corr.	Faible corr. rain. et cré.
8	"	"	"	"
9	Début corr. rain. et cré.	"	"	"
10	"	"	"	"
11	"	"	"	"
12	"	"	"	"
13	Art. : Corr. faible <3>	"	"	"
14	Corr. faible rain. et cré.	"	"	"
15	"	"	"	"
16	"	"	"	"
17	"	"	"	"
18	"	"	"	"
19	"	"	"	"
20	Corrosion très faible art., rain. et cré. <4>	Corrosion très faible au niveau de l'art. <5>	Corrosion en profondeur rivet, art., cré. ann rain <9,10>	Corrosion "en surface" importante à l'art. <12>

Tableau XII

N°	Sol. P à 4%	Sol. P à 8%	Eau de Javel	Eau du secteur
1	/	/	Art., ann. et vis rongés <15>	/
2	/	/	Extrémité des lames corrodés	/
3	/	/	Progression de la corr.art<16>	/
4	/	/	"	/
5	/	/	"	/
6	/	/	Extrémité des lames rongés <17>	/
7	/	/	Propagation	/
8	/	/	"	/
9	/	/	"	/
10	/	/	"	/
11	/	/	Chute extrémité toute rongée	/
12	/	/	Généralisation de la corr.	/
13	Faible corr. à la vis <14>	/	"	/
14	"	/	"	/
15	"	/	"	/
16	"	Faible corr. au niveau vis	"	/
17	"	"	"	/
18	"	"	"	/
19	"	"	Extrémité lames rongée <18>	/
20	Corrosion très faible au niveau vis	Corrosion très faible au niveau vis	Corrosion en profondeur art, lames, ann et vis <19,20>	Absence de corrosion Aspect terni de l'acier

Photographies obtenues au stéréomicroscope

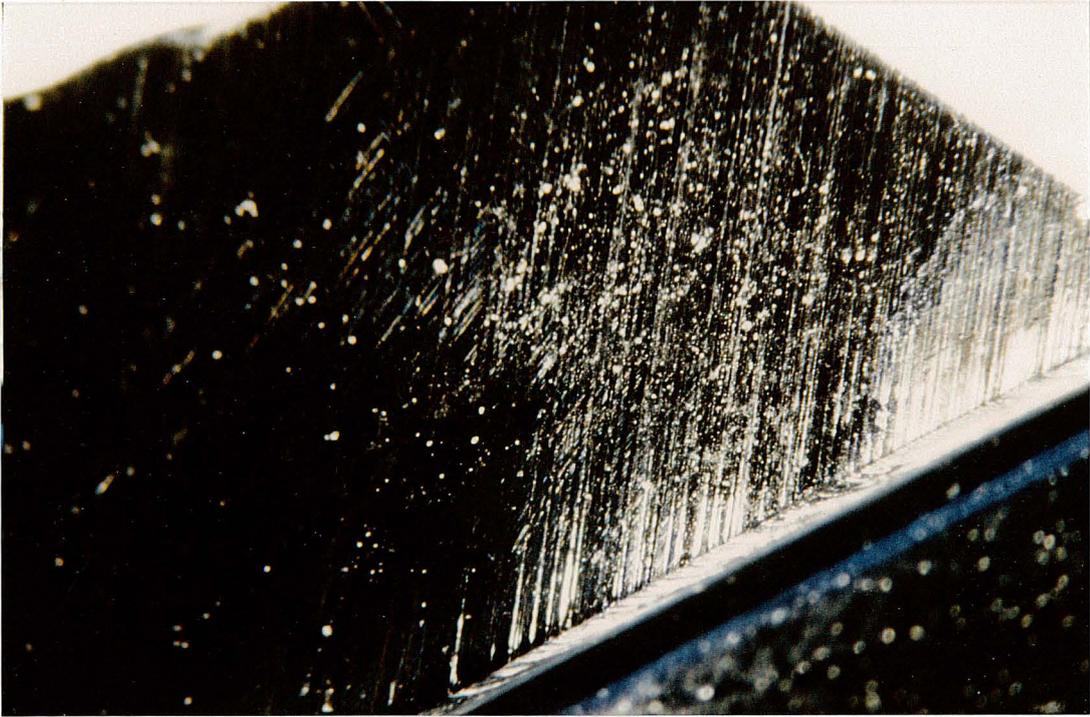


Photo <1> : Pince KOCHER neuve
Articulation (x20)

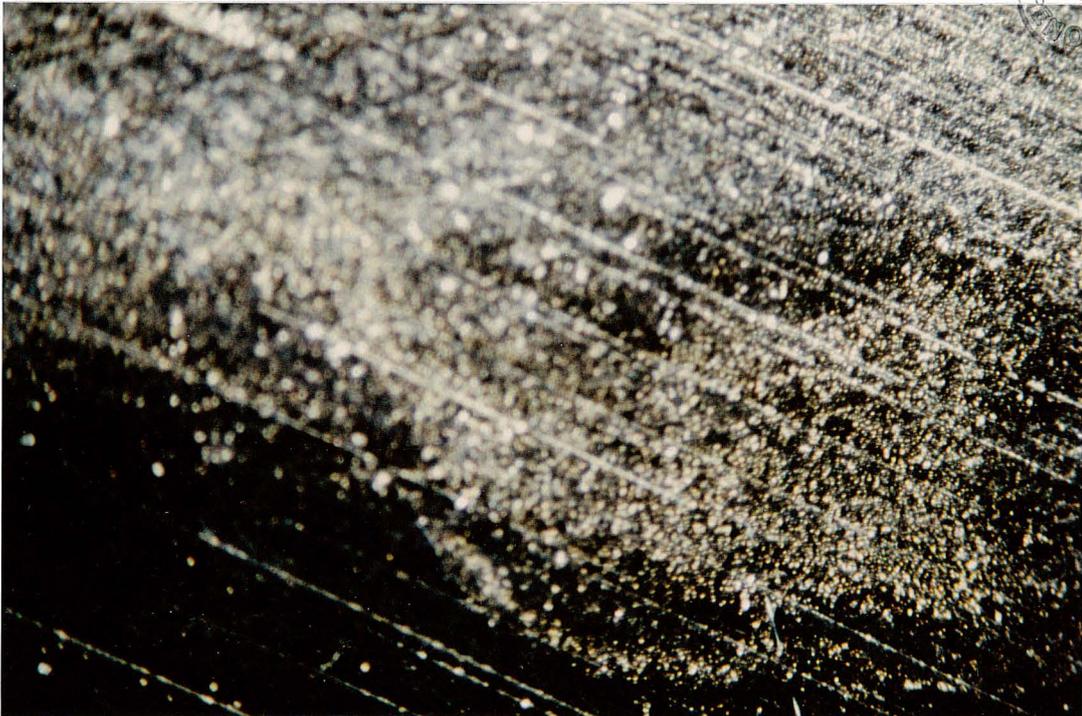


Photo <2> : Pince KOCHER après 6 cycles dans la solution P à
4%
Articulation (x40)



Photo <3> : Pince KOCHER après 13 cycles dans la solution P à 4%
Articulation (x20)

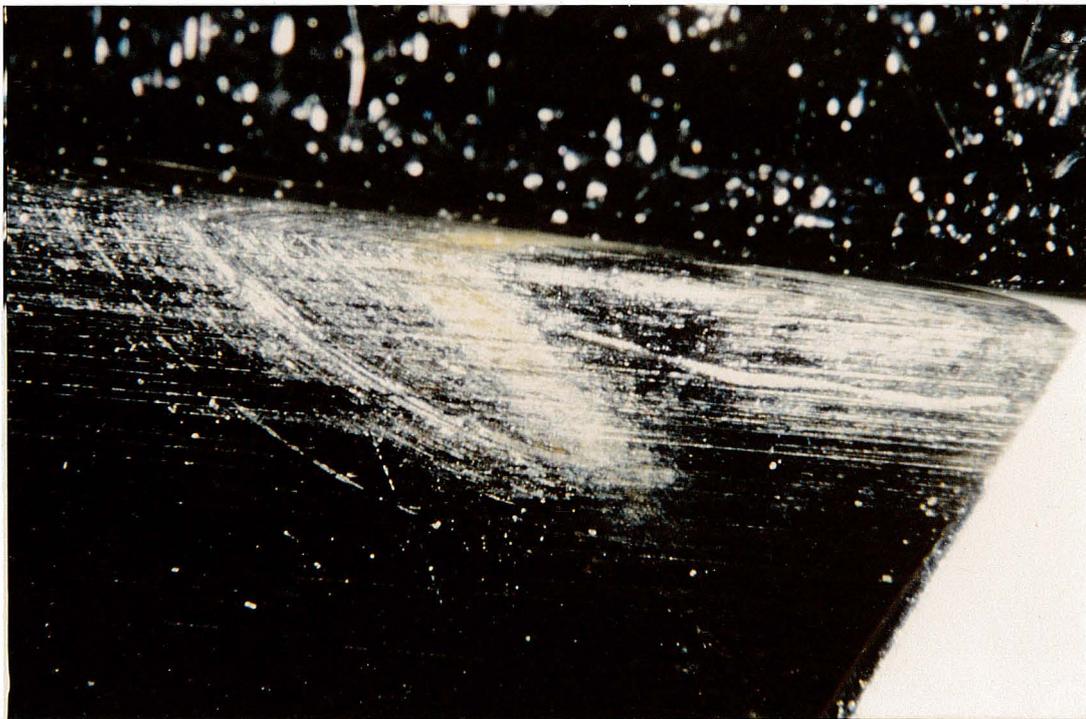


Photo <4> : Pince KOCHER après 20 cycles dans la solution P à 4%
Articulation (x20) tache : 0,2 mm long
0,02 mm large

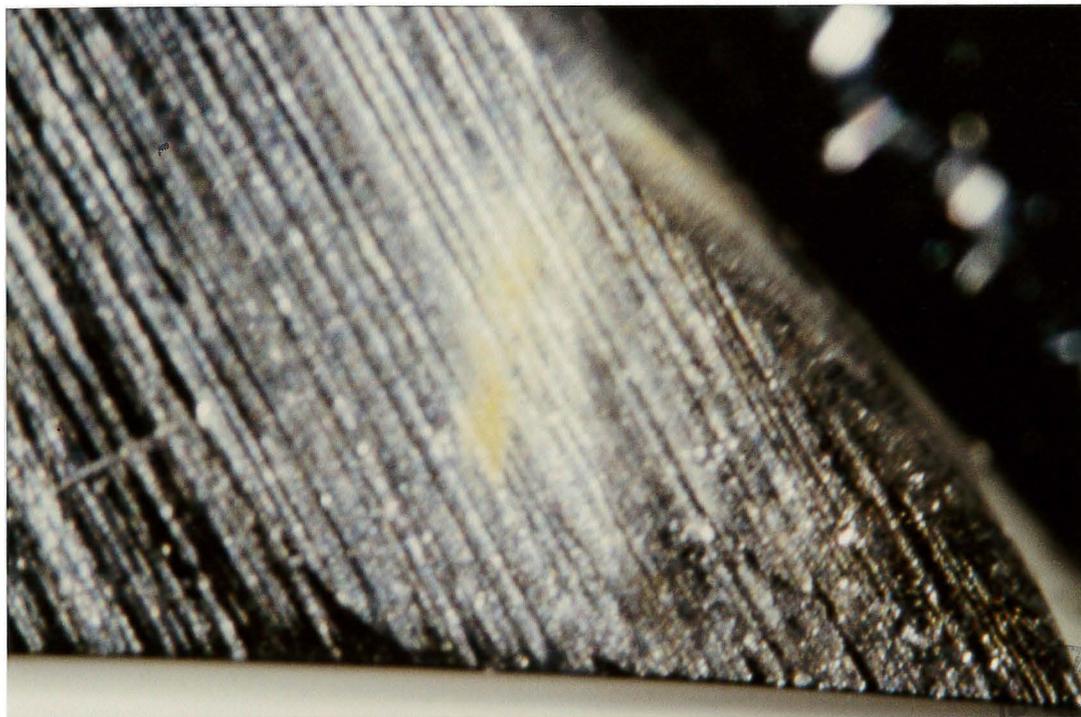


Photo <5> : Pince KOCHER après 20 cycles dans la solution P à 8%
 Articulation (x40) tache : 0,08 mm long
 0,01 mm large



Photo <6> : Pince KOCHER après 1 cycle dans l'eau de Javel à 2,4° Cl.
 Articulation (x40)

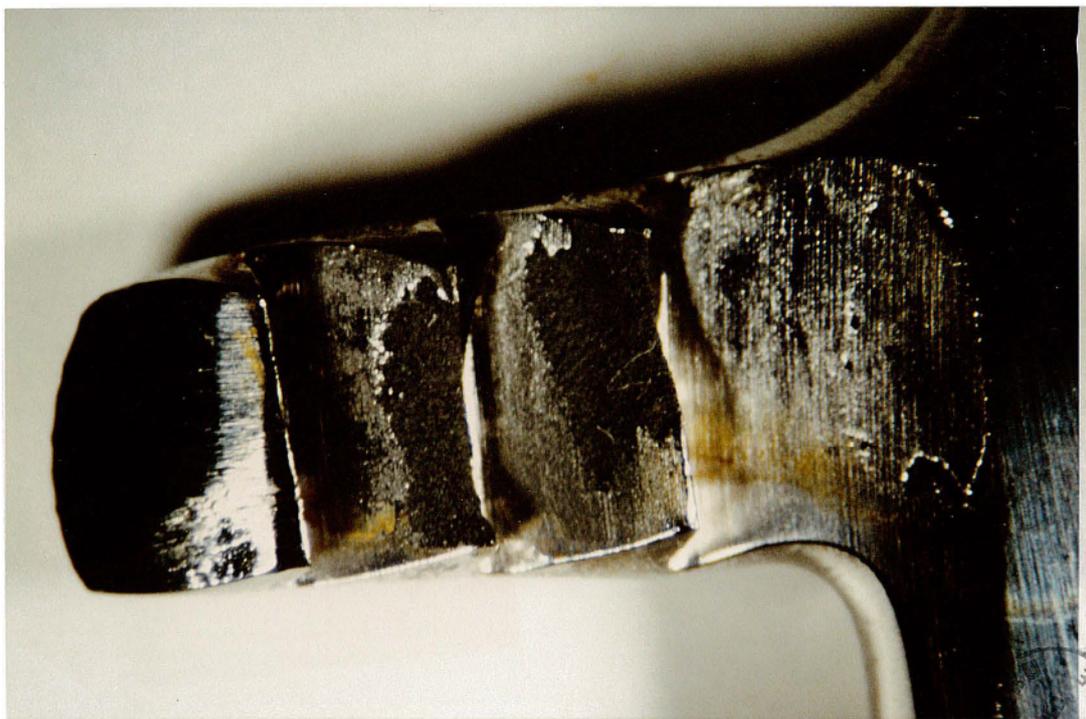


Photo <7> : Pince KOCHER après 6 cycles dans l'eau de Javel à 2,4° Chl.
Crémaillère (x10)



Photo <8> : Pince KOCHER après 6 cycles dans l'eau de Javel à 2,4° Chl.
Anneau (x20)

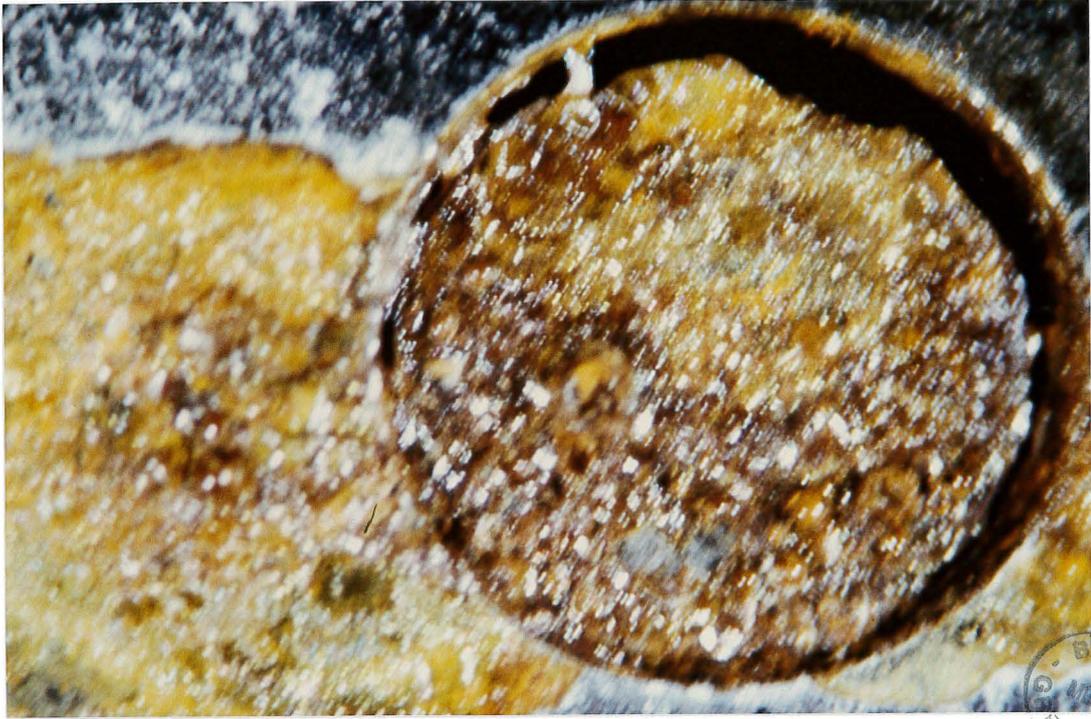


Photo <9> : Pince KOCHER après 20 cycles dans l'eau de Javel
à 2,4° Chl.
 Rivet (x40)

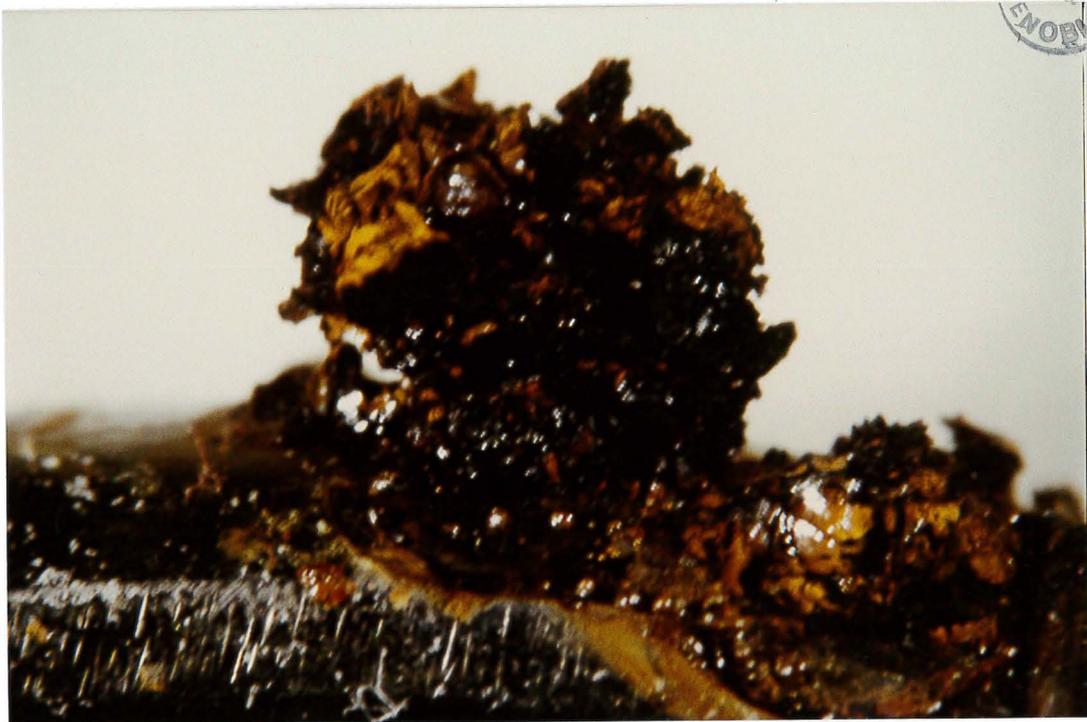


Photo <10> : Pince KOCHER après 20 cycles dans l'eau de Javel
à 2,4° Chl.
 Anneau (x20) diamètre : 0,3 mm

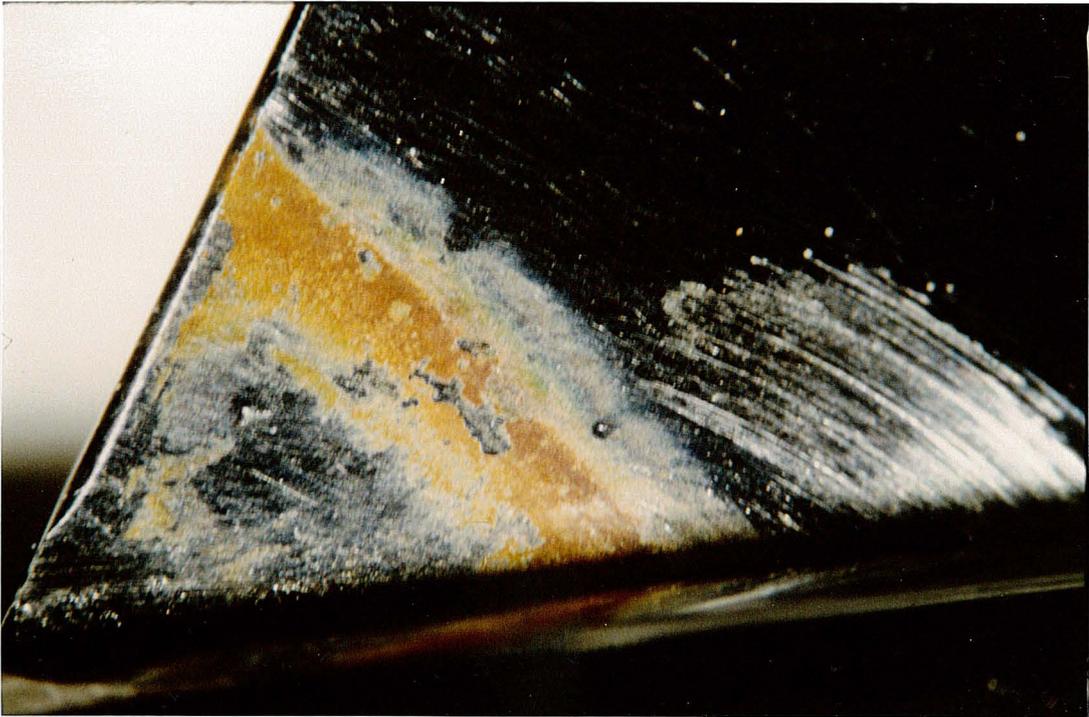


Photo <11> : Pince KOCHER après 6 cycles dans l'eau
 Articulation (x20) tache : 0,4 mm long
 0,1 mm large

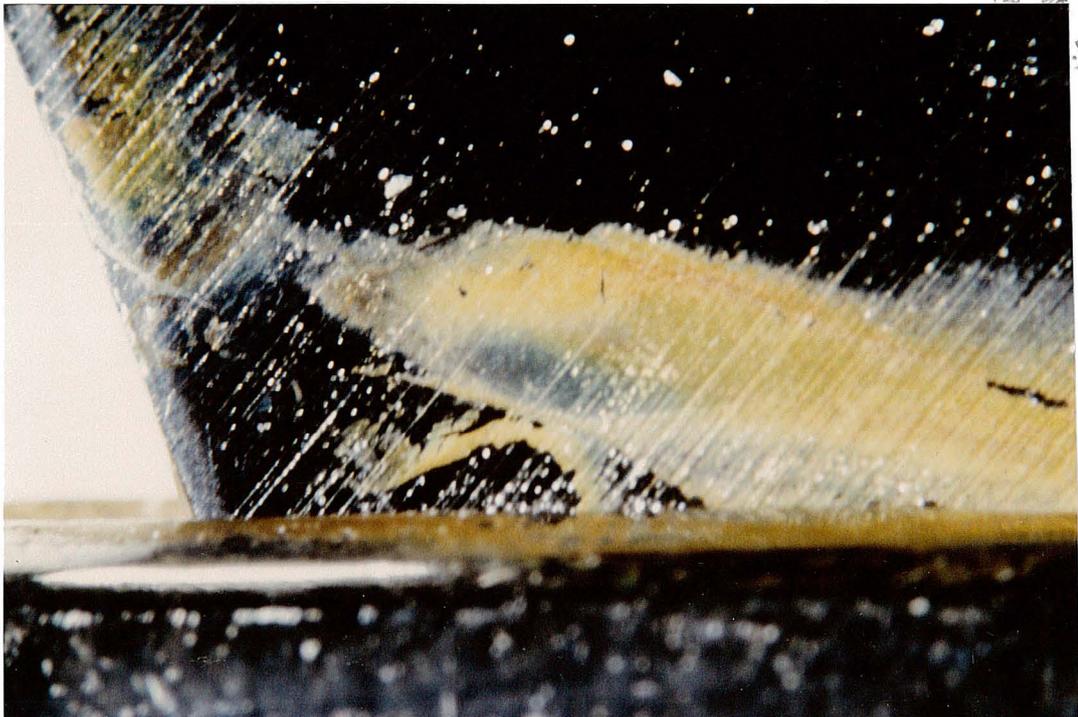


Photo <12> : Pince KOCHER après 20 cycles dans l'eau
 Articulation (x40)



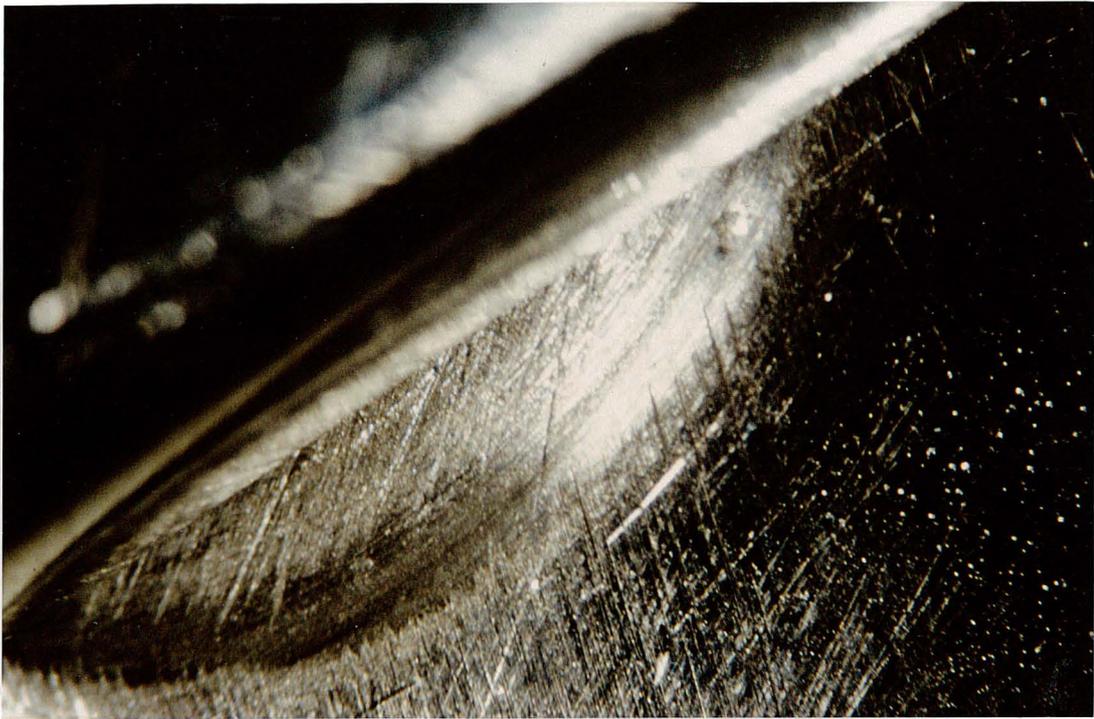


Photo <13> : Ciseaux MOUSSE courbes neufs
Articulation (x20)



Photo <14> : Ciseaux MOUSSE courbes après 13 cycles dans la
solution P à 4%
Vis (x20)



Photo <15> : Ciseaux MOUSSE courbes après 1 cycle dans l'eau de Javel à 2,4° Chl.
Articulation (x20)



Photo <16> : Ciseaux MOUSSE courbes après 3 cycles dans l'eau de Javel à 2,4° Chl.
Articulation (x20)



Photo <17> : Ciseaux MOUSSE courbes après 6 cycles dans l'eau de Javel à 2,4° Cl.
Extrémité de la lame (x20) diamètre : 0,25 mm

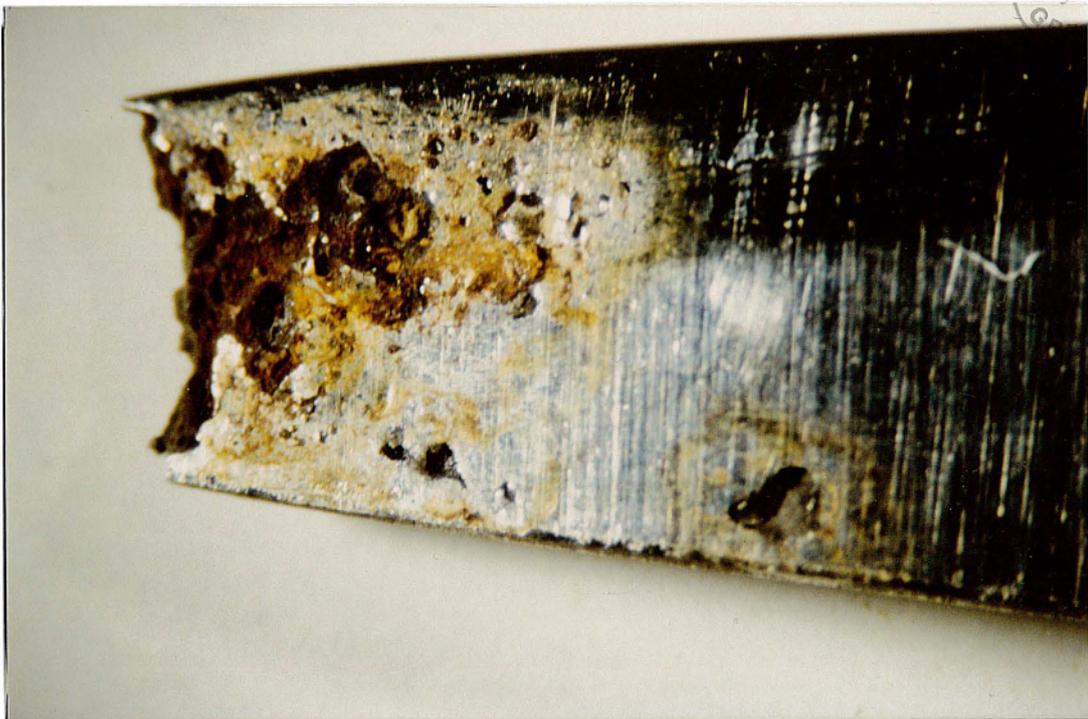


Photo <18> : Ciseaux MOUSSE courbes après 19 cycles dans l'eau de Javel à 2,4° Cl.
Extrémité de la lame (x10)



Photo <19> : Ciseaux MOUSSE courbes après 20 cycles dans l'eau de Javel à 2,4° Cl₂.
Extrémité de la lame (x10) diamètre : 0,45 mm

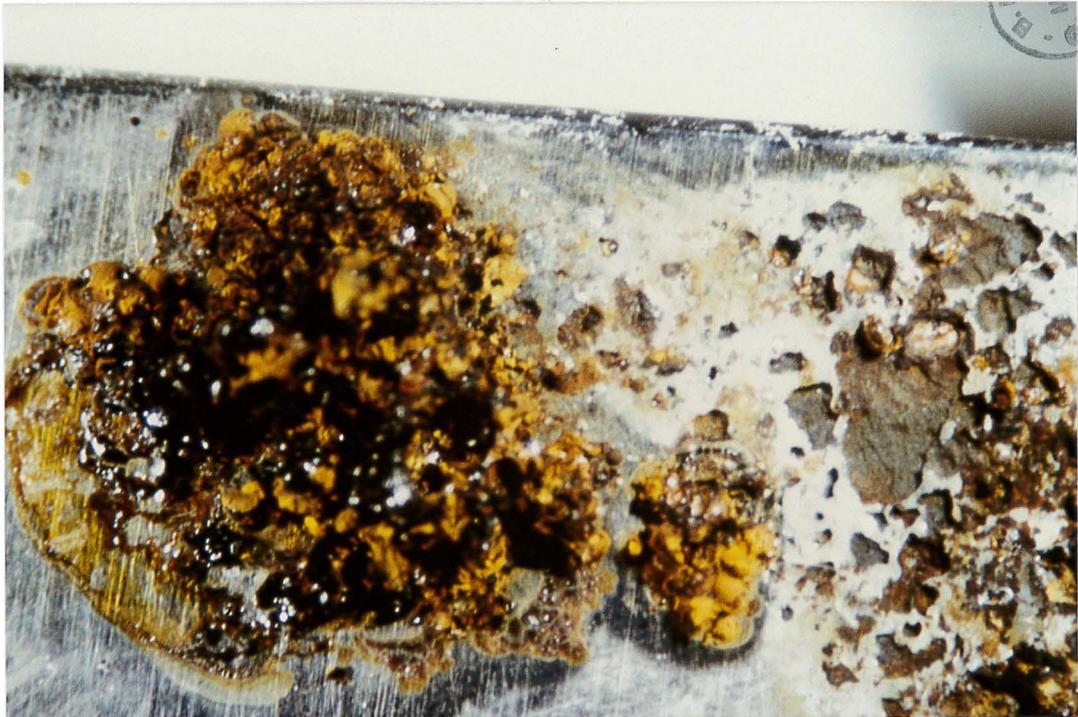


Photo <20> : Ciseaux MOUSSE courbes après 20 cycles dans l'eau de Javel à 2,4° Cl₂.
Articulation (x20)

Photographies et spectres obtenus au M.E.B

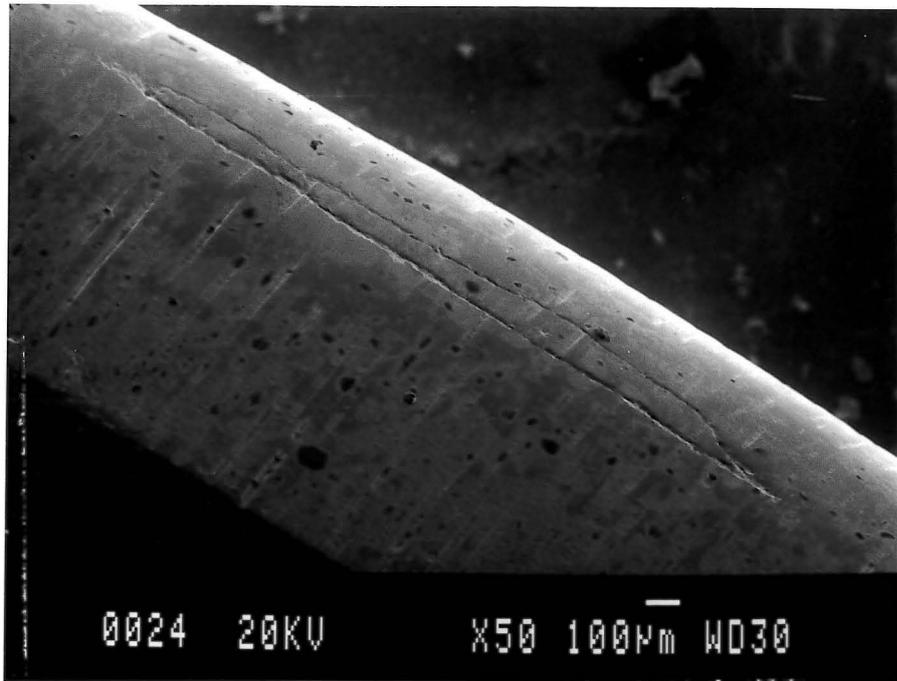


Photo <a> : Pince KOCHER neuve
Anneau : défaut de surface

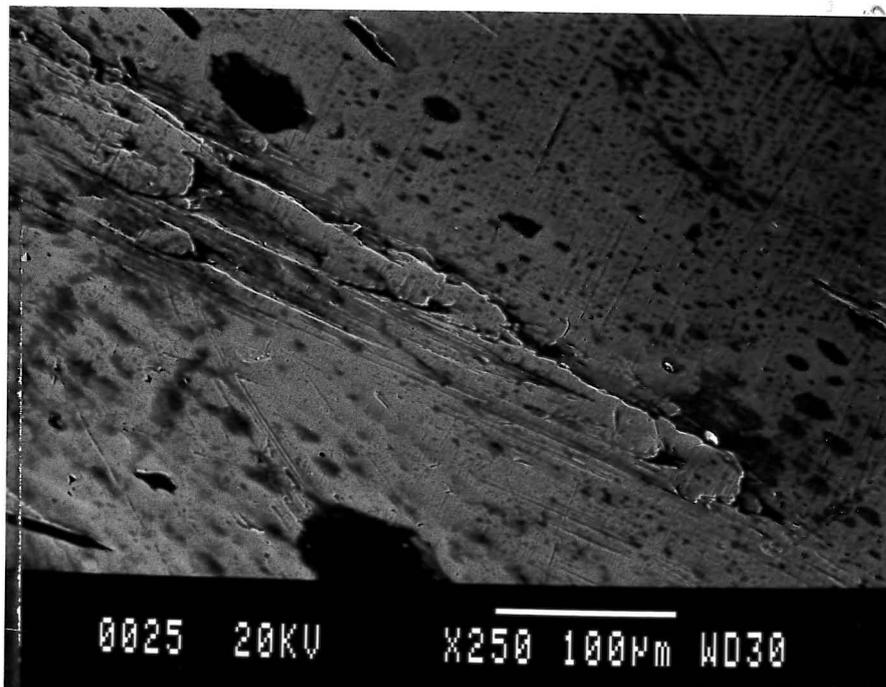


Photo : Pince KOCHER neuve
Anneau : défaut de surface (microfissures)

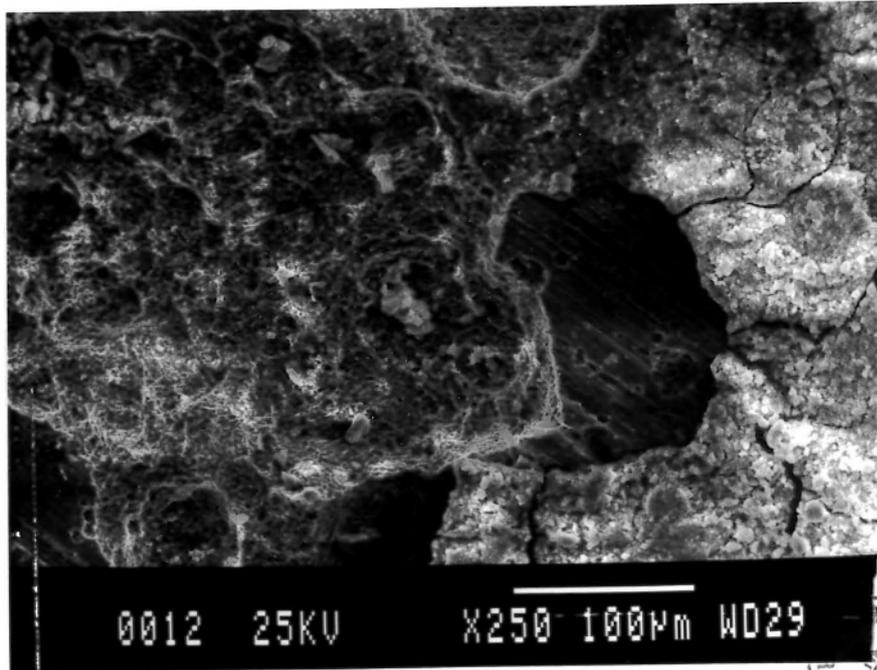
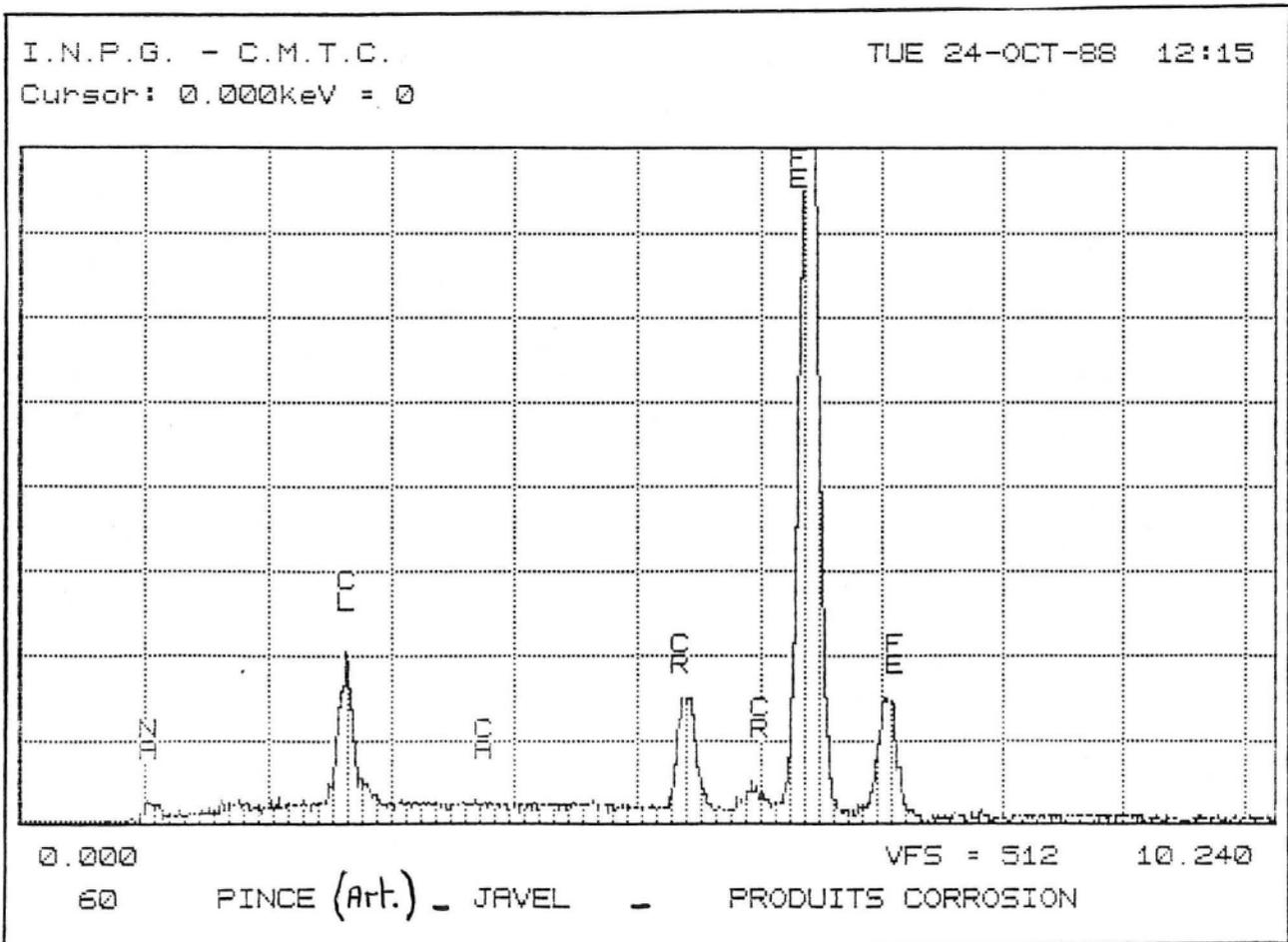


Photo <c> : Pince KOCHER après 20 cycles dans l'eau de Javel à 2,4° C.
 Articulation : produits de corrosion + piqûres



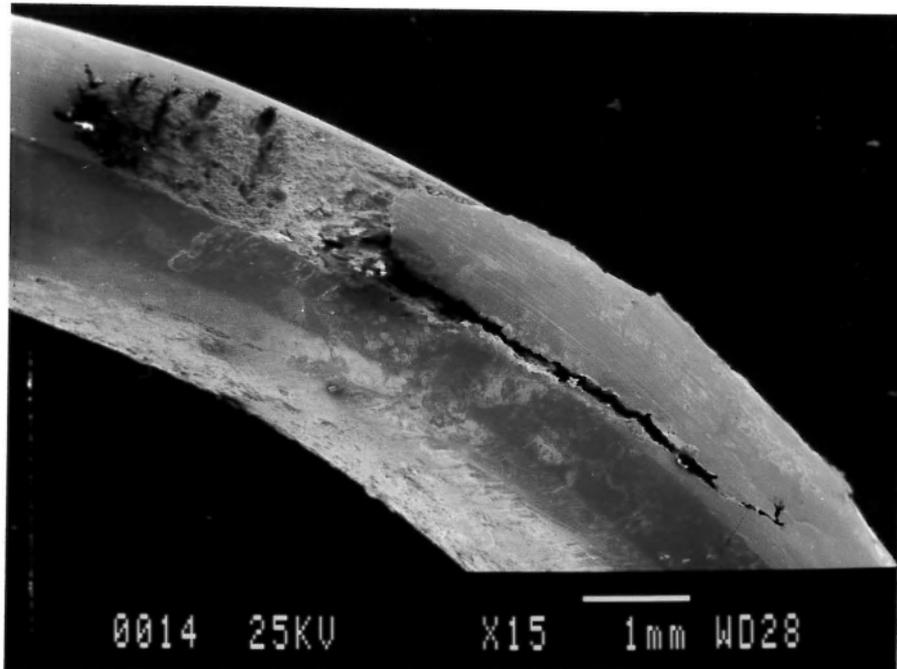


Photo <d> : Pince KOCHER après 20 cycles dans l'eau de Javel à 2,4° Chl.
 Anneau : corrosion sur fissure initiale

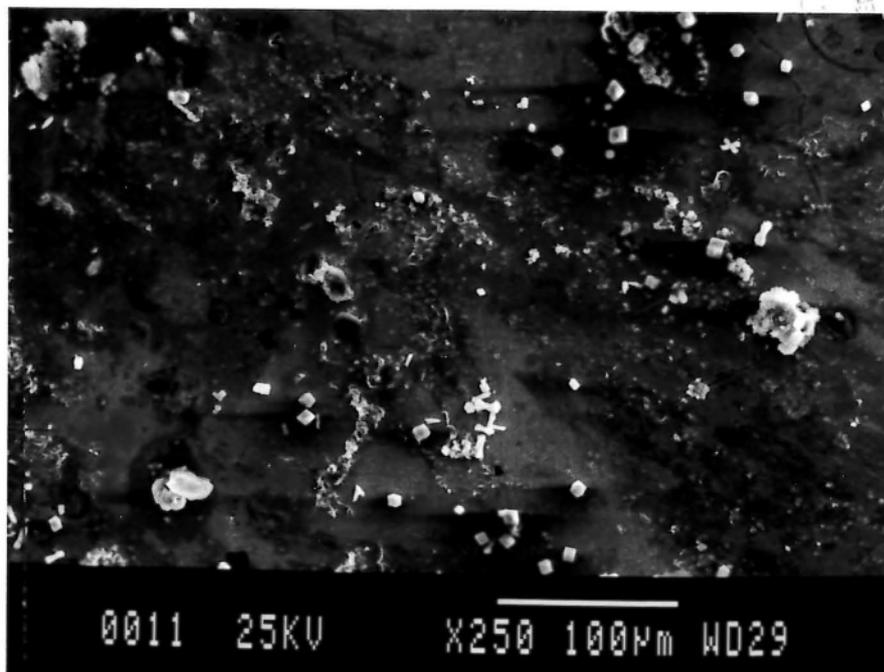


Photo <e> : Pince KOCHER après 20 cycles dans l'eau de Javel à 2,4° Chl.
 Articulation : cristaux cubiques de NaCl

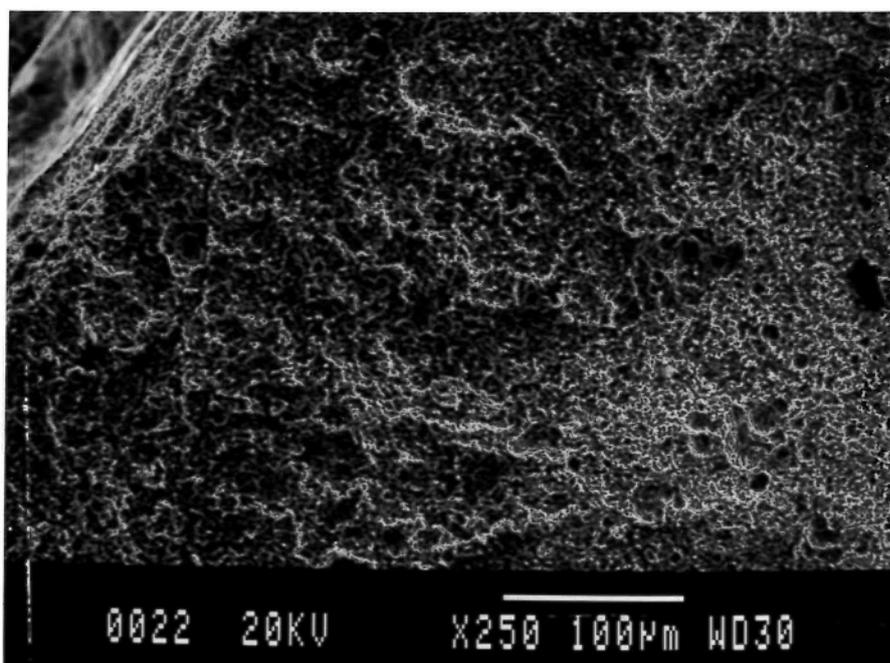


Photo <f> : Pince KOCHER après 20 cycles dans l'eau de Javel à 2,4° Chl.
 Articulation après décapage : piqûres

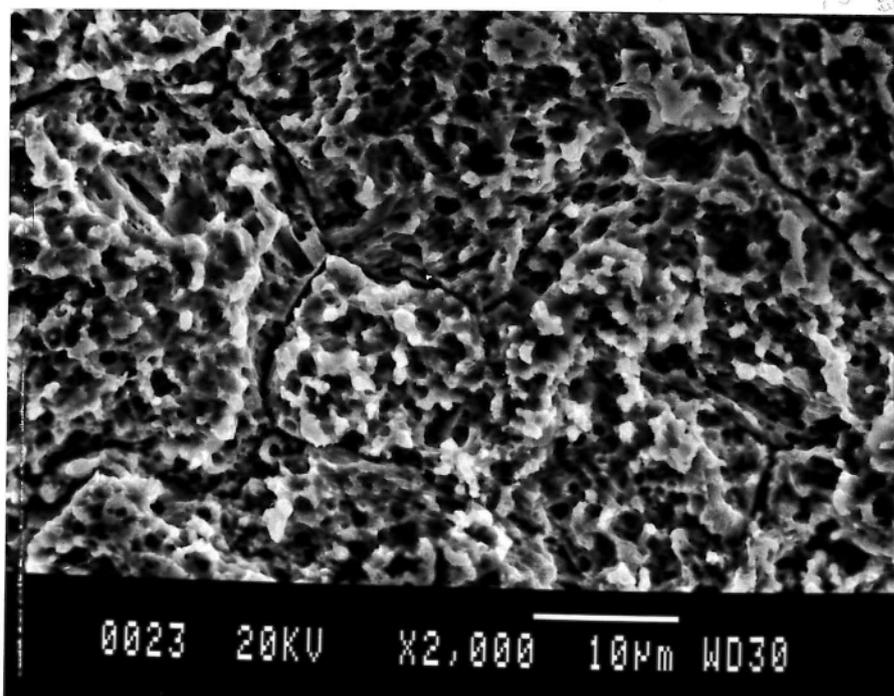


Photo <q> : Pince KOCHER après 20 cycles dans l'eau de Javel à 2,4° Chl.
 Articulation après décapage : attaque des grains

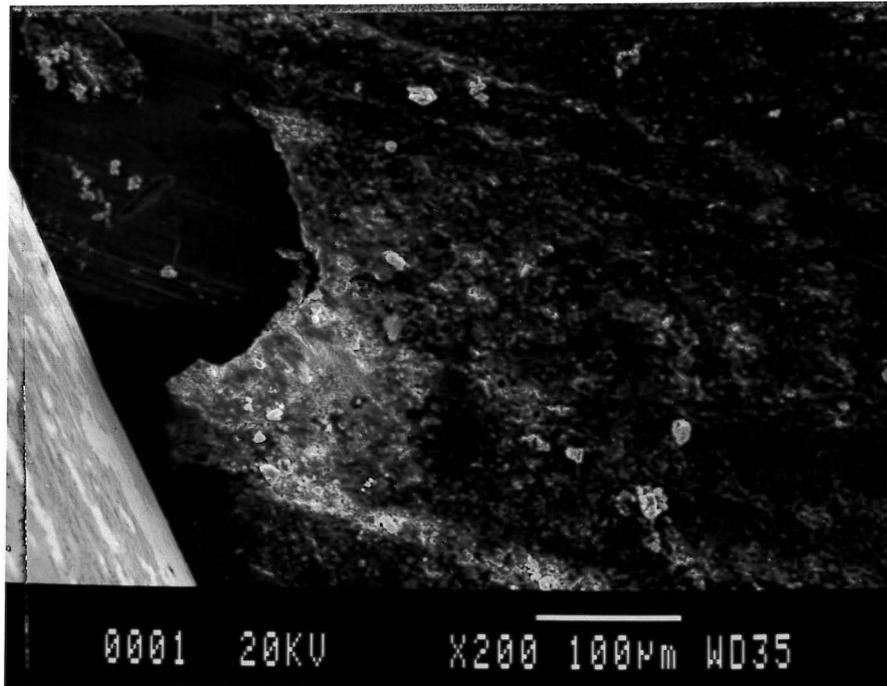


Photo <h> : Pince KOCHER après 20 cycles dans l'eau
Articulation : dépôt de produits de corrosion

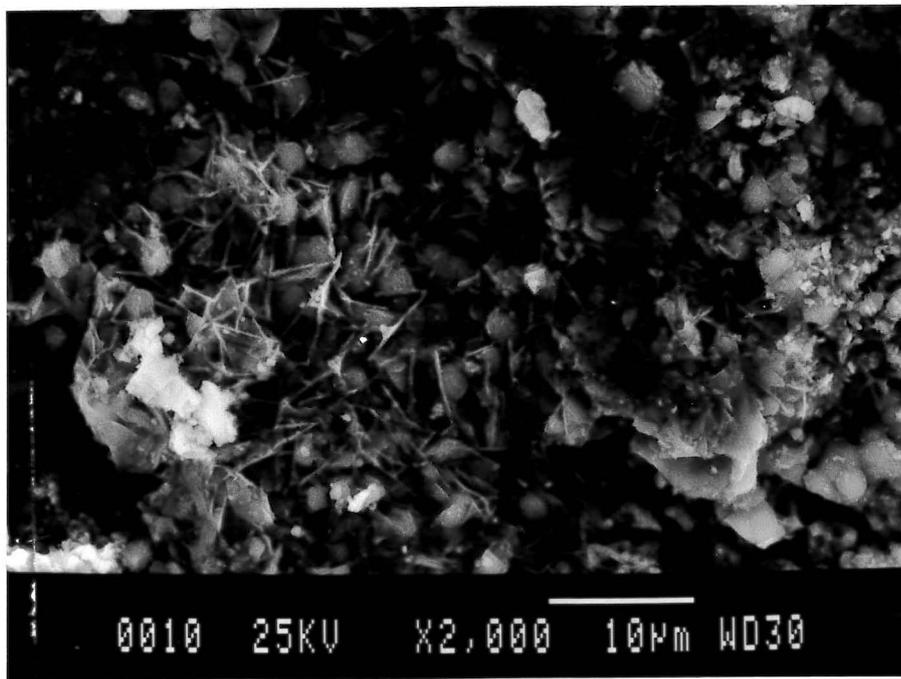


Photo <i> : Pince KOCHER après 20 cycles dans l'eau
Articulation : cristaux d'oxyde de fer (rouille)

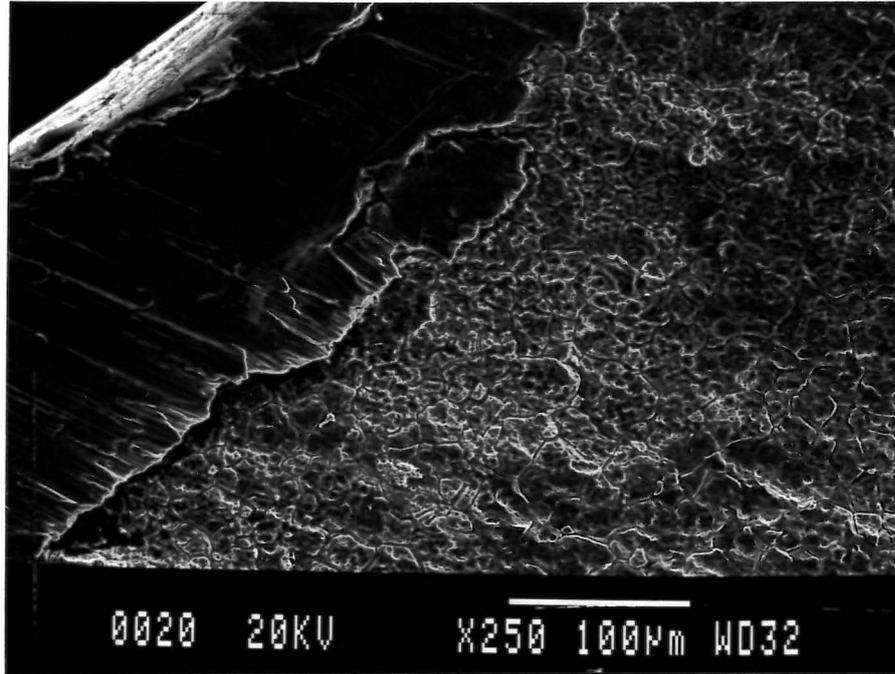


Photo <j> : Pince KOCHER après 20 cycles dans l'eau

Articulation après décapage : corrosion générale

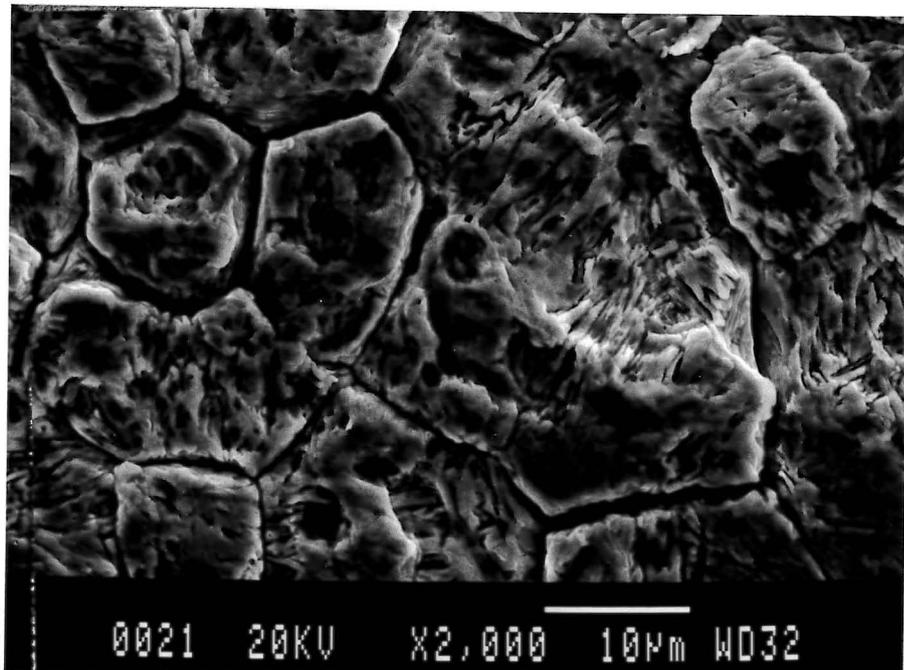


Photo <k> : Pince KOCHER après 20 cycles dans l'eau

Articulation après décapage : corrosion générale
à tendance intergranulaire

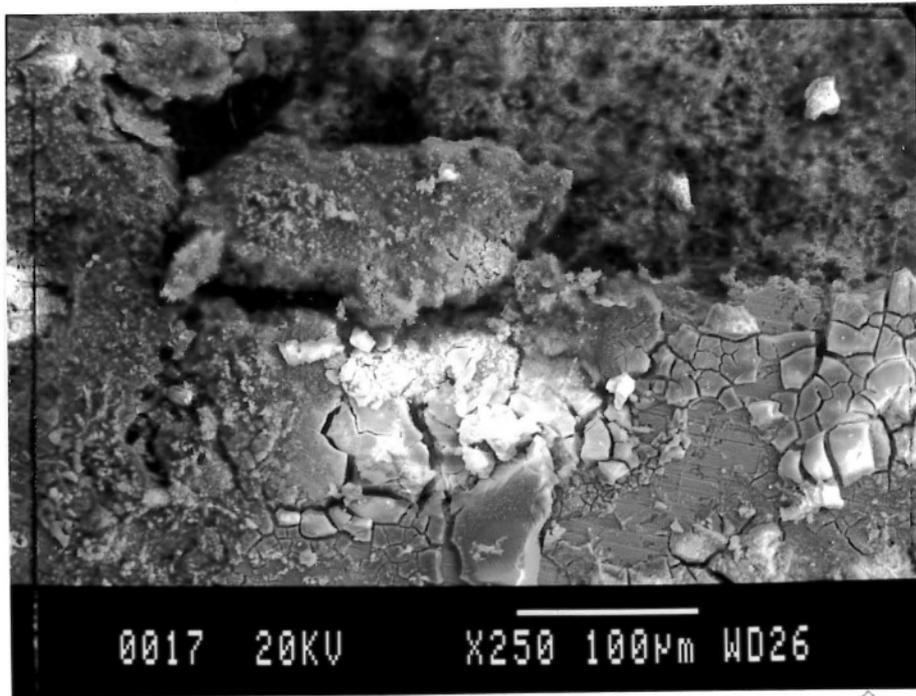
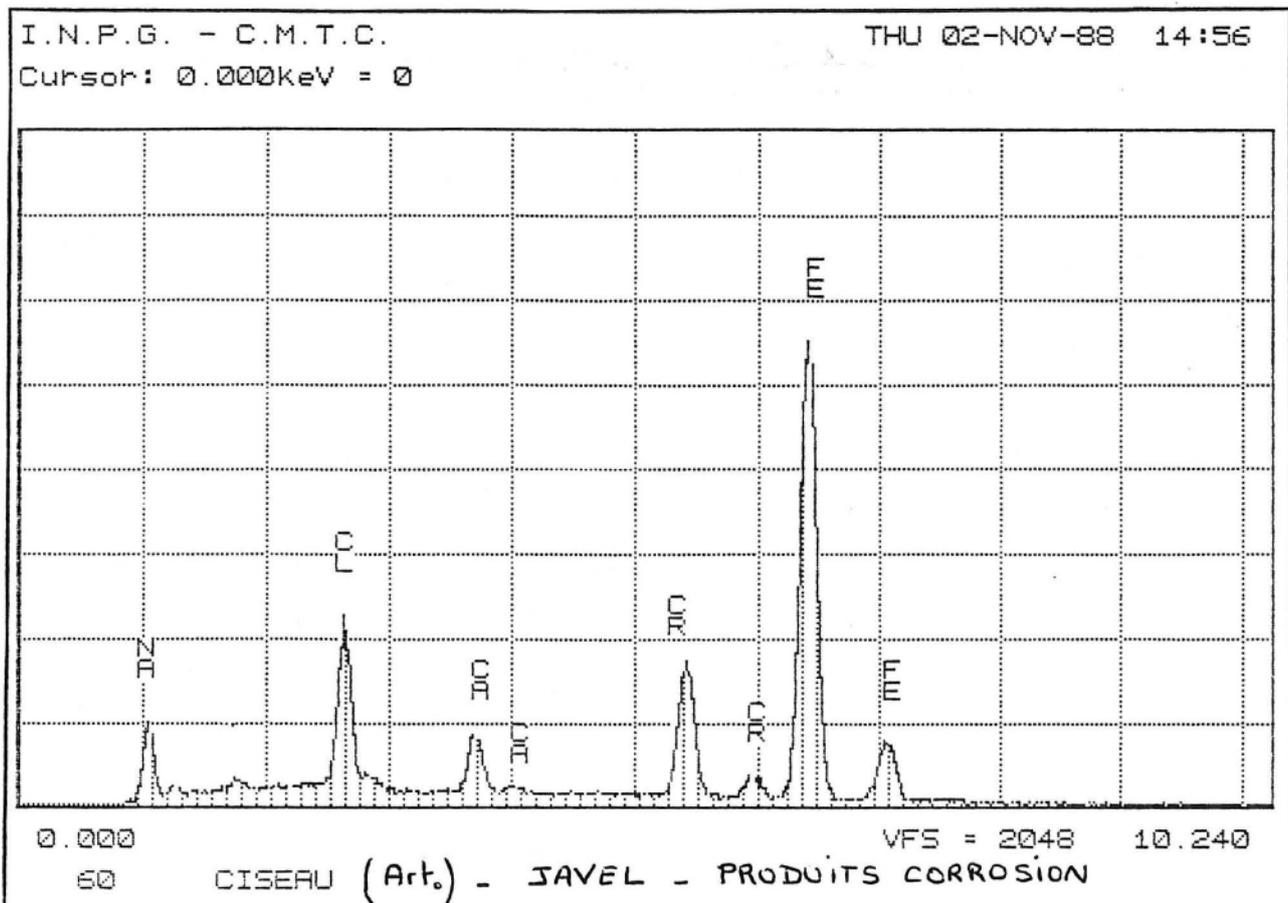


Photo <1> : Ciseaux MOUSSE courbes après 20 cycles dans l'eau de Javel à 2,4° Chl.
 Articulation : produits de corrosion



4.4. DISCUSSION**4.4.1. ANALYSE DES PARAMETRES INFLUENCANT LA CORROSION****4.4.1.1. TEMPERATURE**

La température est un des facteurs physiques influençant la corrosion. Des variations de quelques degrés peuvent agir sur la vitesse de corrosion ; une augmentation de la température provoquant une accélération du phénomène de corrosion. Il est donc nécessaire de connaître la température à laquelle le test a été réalisé.

Notre étude a été menée à température ambiante (condition rencontrée en pratique) ; la température des bains varie autour de 22°C avec des extrêmes à 16°C et à 26°C. Les variations de température ont été les mêmes pour tous les instruments ; tous les bacs de trempage étaient dans la même salle et l'immersion des instruments était simultanée. Par conséquent, l'influence de la température a été la même pour toutes les solutions étudiées.

4.4.1.2. CONCENTRATIONS EN IONS CHLORURE

Les ions chlorure peuvent entraîner l'apparition de piqûres sur les aciers inoxydables (Cf.chap.2.3.3.2.). Si leur concentration ne dépasse pas 120 mg/l, il n'y a pas de risque de corrosion, au-delà de 240 mg/l, on peut s'attendre à des piqûres [27]. Toutefois, même si leur concentration est faible, il faut faire attention car ils peuvent s'accumuler à différents endroits confinés (articulation d'un instrument, défaut de surface de l'acier, etc ...) et induire le phénomène de corrosion par piqûres voire même une corrosion caverneuse (Cf.chap.2.3.3.3.). Il est donc important de connaître la teneur en ions chlorure même si celle-ci est faible.

Les solutions étudiées, mis à part l'eau de Javel, renferment très peu d'ions chlorure (<10 mg/l). Après chaque cycle de trempage, les instruments sont soigneusement lavés et séchés si bien que le risque d'accumulation des ions chlorure en un endroit est peu probable. Par conséquent, le phénomène de corrosion par piqûres a très peu de chance de se développer.

Il n'en va pas de même avec la solution d'eau de Javel (hypochlorite de sodium) qui renferme des ions chlorure en grande quantité. L'acier inoxydable subira le phénomène de corrosion par piqûres (Cf.chap.4.3.3.).

4.4.1.3. OXYGENE DISSOUS

La présence d'oxygène dans la solution favorise le développement des piqûres (Cf.chap.2.3.3.2.). Il est donc important de connaître la quantité d'oxygène dissous.

La quantité d'oxygène dissous est plus importante dans les solutions P que dans l'eau, cela en partie à cause de la présence de tensio-actifs dans la formule de la solution P. Cette teneur reste cependant acceptable d'autant plus que le risque de corrosion par piqûres est fort improbable.

Pour des raisons techniques, la mesure de l'oxygène dans l'eau de Javel n'a pu être réalisée.

4.4.1.4. POTENTIEL D'OXYDO-REDUCTION

Le potentiel oxydo-réducteur des solutions est important à connaître ; s'il est supérieur au potentiel d'oxydo-réduction de l'acier, la thermodynamique prévoit que le phénomène de corrosion peut se développer (Cf.chap.2.3.2.). Ceci fait abstraction des phénomènes cinétiques.

Les solutions P et l'eau possèdent un potentiel d'oxydo-réduction voisin. Celui de l'eau de Javel est, en revanche, plus élevé.

4.1.4.5. pH

- L'acidité des solutions augmente les risques de corrosion des aciers inoxydables.

Les solutions P possèdent des pH relativement bas, ce qui peut être une des causes des légères traces de corrosion observées sur les instruments (Cf.chap.4.3.3.). Cependant, il faut savoir que les concentrations testées (4% et 8%) ne sont pas les concentrations usuelles d'utilisation. La solution P est habituellement employée à 2% et possède alors un pH neutre. Par conséquent, les traces de corrosion observées le sont dans des conditions plus agressives que la normale.

- La mesure du pH des solutions a été réalisée au début et à la fin des cycles de trempage car une variation du pH peut refléter un phénomène de corrosion, l'absence de variation n'impliquant pas nécessairement l'absence de corrosion.

En ce qui concerne notre étude, aucune variation significative de pH n'a été notée au sein des quatre solutions testées. Il nous semble donc inutile de mesurer le pH à la fin des cycles.

4.4.1.6. CONDUCTIVITE

- Une solution très ionisée augmente les risques de corrosion. En effet, le phénomène de corrosion étant électrochimique, les solutions conductrices facilitent le passage du courant (les échanges d'électrons) et donc l'ionisation du métal.

L'eau est faiblement ionisée, de même que les solutions P. En revanche, l'eau de Javel possède une ionisation importante, ce qui facilite la propagation de la corrosion (Cf.chap.4.3.3.).

- La conductivité des solutions est mesurée avant et après chaque cycle de trempage afin de voir si elle varie avec l'apparition de la corrosion.

Aucune variation de la conductivité des quatre solutions n'a été constatée et pourtant des phénomènes de corrosion ont eu lieu. Il nous semble donc inutile de faire cette mesure.

4.4.2. ANALYSE DE L'ETAT DE SURFACE

4.4.2.1. SOLUTION P à 4%

- Les pinces KOCHER commencent à se corroder au niveau de l'articulation et cela à partir du 7^e cycle. Les rainures et les crémaillères sont touchées à partir du 9^e cycle. Cependant cette corrosion reste très limitée et n'évolue que très lentement (Cf.photo.<3> et <4>).

- Les ciseaux MOUSSE courbes ne développent de corrosion qu'au niveau de leur vis. Cette corrosion, qui débute à partir du 13^e cycle (Cf.photo.<14>), se limite au pourtour de la vis et reste très discrète jusqu'à la fin de l'étude.

A cela trois explications :

- la vis est en acier inoxydable austénitique. Il se produit donc un phénomène de corrosion galvanique entre ce métal et l'acier inoxydable martensitique constituant les ciseaux (Cf.chap.2.3.2.).

- les ciseaux sont de qualité "bloc opératoire" et par conséquent, la finition est mieux réalisée. Les défauts de surface (rayures, aspérités, etc ...) rencontrés sur les pinces sont beaucoup plus rares et donc les risques de corrosion diminués (Cf.chap.2.3.2.).

- les ciseaux renferment plus de chrome et donc présentent une meilleure résistance à la corrosion (Cf.chap.2.1.1.).

4.4.2.2. SOLUTION P à 8%

- Les pinces KOCHER ne développent qu'une très faible corrosion à partir du 5^e cycle, celle-ci restant très faible jusqu'à la fin de l'étude (Cf.photo.<5>).

- Les ciseaux MOUSSE courbes présentent, à partir du 16^e cycle, une faible attaque au niveau de la vis, celle-ci n'évolue pas et la corrosion reste très faible jusqu'à la fin de l'étude. Les explications données ci-dessus pour les ciseaux (cf.chap.4.4.2.1.) sont les mêmes dans ce cas.

4.4.2.3. EAU DE JAVEL à 2,4° Cl.

- Les pinces KOCHER présentent, dès la fin du 1^e cycle, une corrosion marquée au niveau des articulations et des crémaillères (Cf.photo.<6>). Rapidement, les rivets, les rainures et les anneaux sont touchés (Cf.photo.<7> et <8>). La corrosion se développe ensuite et gagne en profondeur (Cf.photo.<9> et <10>). Les endroits précités sont fortement touchés car ils ne présentent pas une surface très lisse :

- défauts de finition au niveau des crémaillères, des rainures

- rayures au niveau de l'articulation

- irrégularités de surface au niveau du rivet

- altération du film passif à la suite d'un choc au niveau des anneaux par exemple

- Les ciseaux MOUSSE courbes, dès la fin du 1^e cycle, sont **fortement corrodés** au niveau des articulations, des vis et des lames (Cf.photo.<15>). La corrosion **se propage** (Cf.photo.<16>) et **gagne en profondeur** pour arriver même à ronger une extrémité jusqu'à ce qu'elle se détache (Cf.photo.<17> et <18>). La corrosion a attaqué préférentiellement :

- les vis, l'acier étant différent de celui formant les ciseaux

- les lames et les anneaux, le film passif ayant pu être altéré par des chocs (Cf.photo.<19>)

- les articulations, la surface étant rayée (Cf.photo.<20>)

A la fin de l'étude, quand on regarde au microscope électronique à balayage (x250), on voit les piqûres, au stade initial, entourées de produits de corrosion (Cf.photo.<c>), ainsi que de cristaux de chlorure de sodium (Cf.photo.<e>).

Sur les spectres des photos <c> et <l>, on peut voir les pics du sodium et du chlore ainsi que celui, plus faible, du calcium qui provient de l'eau de dilution.

Aux endroits présentant des irrégularités de surface (Cf.photos.<a> et), la corrosion provoque des dégâts importants (Cf.photo.<d>).

Après décapage, on constate que l'acier a été rongé par une multitude de piqûres (Cf.photo.<f>). La corrosion par piqûres est, ici, très intense et atteint même le coeur des grains (Cf.photo.<g>).

4.4.2.4. EAU DU SECTEUR

- Les pinces KOCHER, dès la fin du 1^e cycle, présentent un **important dépôt de rouille** au niveau de l'articulation. La corrosion progresse lentement (Cf.photo.<11>) et apparaît au niveau des rainures et des crémaillères à partir du 7^e cycle. A la fin de l'étude, seule l'articulation est bien touchée mais il semble que ce ne soit que superficiellement (Cf.photo.<12>).

- Les ciseaux MOUSSE courbes ne présentent **aucune corrosion**. L'acier inoxydable est seulement un peu terni. L'explication tient au fait que les ciseaux sont mieux finis que les pinces. La surface étant, de ce fait, plus lisse, le film passif est plus régulier et le phénomène de corrosion a plus de mal à se développer.

A la fin de l'étude, quand on regarde les pinces KOCHER au microscope électronique à balayage (x200), on observe les produits de corrosion qui se trouvent au niveau de l'articulation (Cf.photo.<h>). En augmentant le grandissement (x2000), on peut voir les cristaux d'oxyde de fer (Cf.photo.<i>).

Après décapage, on constate que la corrosion n'est, en fait, pas superficielle mais qu'il s'agit d'une **corrosion généralisée à tendance intergranulaire**. Les grains sont apparents et commencent à être attaqués (Cf.photo.<j> et <k>).

Afin de déterminer s'il s'agit effectivement d'une corrosion intergranulaire, il faudrait réaliser une coupe. Cela nous permettrait de voir si la corrosion se prolonge bien le long des joints de grains.

4.4.3. PROPOSITION D'UN PROTOCOLE D'ETUDE DE LA CORROSION

Après avoir réalisé cette étude selon le protocole défini (Cf.chap.4.2.) et analysé les résultats (Cf.chap.4.4.), nous proposons un "**protocole d'étude de la corrosion des instruments médico-chirurgicaux en acier inoxydable par les solutions prédésinfectantes**".

Ce protocole figure à la page suivante.

- a) Laver, avec un détergent neutre, 3 exemplaires d'un même instrument neuf afin d'éliminer les produits lubrifiants
- b) Rincer les instruments puis les essuyer avec un chiffon
- c) Observer les instruments au stéréomicroscope et relever les anomalies de surface (notes et photographies)
- d) Préparer 1 litre de chacune des solutions à étudier et remplir les bacs de trempage en plastique
- e) Vérifier par le dosage d'une partie aliquote que les dilutions sont correctes
- f) Prélever une même quantité nécessaire pour réaliser les mesures et dosages suivants :
 - * ions chlorure
 - * oxygène dissous
 - * pH
 - * potentiel d'oxydo-réduction
- g) Immerger, sans les chevaucher, les instruments en position ouverte
- h) Recouvrir les bacs et laisser les instruments en contact avec la solution pendant 24 heures (1^e cycle)
- i) A la fin des 24 heures, noter la température des bains
- j) Laver les instruments à l'eau courante et les frotter avec une brosse en nylon afin d'éliminer les dépôts
- k) Sécher les instruments en les tamponnant avec un linge puis finir le séchage grâce à un courant d'air chaud
- l) Observer les instruments au stéréomicroscope et noter et/ou photographier les anomalies
- m) Placer les instruments dans une boîte de transfert et retourner celle-ci vigoureusement 10 fois
- n) Rincer les bacs à l'eau et les remplir avec 1 litre de la même solution
- o) Recommencer comme en e) et cela jusqu'au 20^e cycle
- p) Fin du 20^e cycle : laisser sécher les instruments à l'air sans les laver pour garder les produits de corrosion
- q) Observer les instruments au stéréomicroscope et noter et/ou photographier les anomalies
- r) Observer les instruments au microscope électronique à balayage afin de déterminer le type de corrosion

4.5. CONCLUSION DE L'ETUDE

Cette étude nous a permis :

- de confirmer le caractère agressif de l'eau de Javel vis-à-vis des instruments en acier inoxydable (Cf.chap.4.4.2.3.). Dès la fin du 1^e cycle, les instruments sont attaqués et rongés, cette corrosion par piqûres étant due à la présence des ions chlorure. Par ailleurs, la solution d'eau de Javel ne renferme pas de détergent. Pour ces deux raisons majeures, elle devrait être proscrite lors de la prédésinfection et remplacée par des solutions formulées pour cet usage et renfermant un inhibiteur de corrosion.

- de mettre en évidence que le comportement vis-à-vis de la corrosion varie en fonction de l'état de la surface et donc selon la qualité de l'instrument. Les pinces subissent davantage la corrosion que les ciseaux et pourtant elles suivent le même protocole d'essai (Cf.chap.4.4.2.1., 4.4.2.2. et 4.4.2.4.). Les ciseaux de qualité "bloc opératoire" reçoivent des traitements de finition plus poussés que les instruments de qualité "service", les pinces en faisant partie.

- de tester l'agressivité potentielle de la solution P (SEKUGERM) vis-à-vis de deux types d'instruments médico-chirurgicaux. Il en ressort que, suivant le protocole défini, la solution P n'entraîne pas de corrosion notable que ce soit envers les pinces KOCHER ou les ciseaux MOUSSE courbes (Cf.chap.4.4.2.1. et 4.4.2.2.).

- de proposer un protocole d'étude de la corrosion des instruments médico-chirurgicaux en acier inoxydable par les solutions prédésinfectantes (Cf.chap.4.4.3.).

5. CONCLUSION GENERALE

L'objet de ce travail était de proposer "un protocole d'étude de la corrosion de l'instrumentation médico-chirurgicale en acier inoxydable par les solutions prédésinfectantes."

Celui que nous proposons (Cf.chap.4.4.3.) tente de reproduire les conditions auxquelles sont soumis les instruments lors de leur utilisation. Le but étant l'étude de l'agressivité des solutions prédésinfectantes, nous nous sommes intéressés au cycle comprenant les étapes suivantes :

- immersion dans la solution prédésinfectante
- rinçage
- séchage
- chocs subis lors du transfert vers le local de nettoyage

Nous avons testé le protocole avec 4 solutions dont on connaissait approximativement le pouvoir corrosif (Cf.chap.4.). Le suivi expérimental de ce protocole s'est avéré aisé et les résultats obtenus ont confirmé ce que l'on savait sur les solutions à savoir :

- très faible pouvoir corrosif de la solution prédésinfectante aldéhydique étudiée à deux concentrations (Cf.chap.4.3.3.).

- fort pouvoir corrosif de l'eau de Javel (Cf.chap.4.3.3. et 4.3.4.).

- pouvoir corrosif modéré de l'eau du secteur (Cf.chap.4.3.3. et 4.3.4.).

Nous pouvons donc considérer que ce protocole est valable en ce qui concerne les solutions prédésinfectantes.

Par conséquent, il pourra être utilisé pour une étude comparative de l'agressivité des solutions prédésinfectantes vis-à-vis du matériel médico-chirurgical en acier inoxydable.

Cependant pour une étude complète de la durée de vie d'un instrument, il est nécessaire d'élargir le champ du protocole en ajoutant une étape supplémentaire à savoir le passage des instruments à l'autoclave. Les aciers inoxydables sont stérilisés selon ce procédé (Cf.chap.3.1.3.3.) et on pourrait ainsi mettre en évidence une éventuelle sensibilisation, des instruments prédésinfectés, à la vapeur humide.

6. BIBLIOGRAPHIE

- [1] **AFNOR**
Antiseptiques et désinfectants - Dénomination et marquage de l'efficacité antimicrobienne - Fiche technique
Norme Française NF T 72 110, Mars 1981
- [2] **AFNOR**
Antiseptiques et désinfectants - Vocabulaire
Norme Française NF T 72 101, Mars 1981
- [3] **AFNOR**
Antiseptiques et désinfectants utilisés à l'état liquide, miscibles à l'eau - Détermination de l'activité bactéricide - Méthode par filtration sur membranes
Norme Française NF T 72 151, Novembre 1987
- [4] **AFNOR**
Antiseptiques et désinfectants utilisés à l'état liquide, miscibles à l'eau - Détermination de l'activité bactéricide en présence de substances interférentes de référence - Méthode par filtration sur membranes
Norme Française NF T 72 171, Novembre 1988
- [5] **AFNOR**
Antiseptiques et désinfectants utilisés à l'état liquide, miscibles à l'eau - Détermination de l'activité fongicide - Méthode par filtration sur membranes
Norme Française NF T 72 201, Septembre 1987
- [6] **AFNOR**
Antiseptiques et désinfectants utilisés à l'état liquide, miscibles à l'eau - Détermination de l'activité virucide vis-à-vis des bactériophages
Norme Française NF T 72 181, Janvier 1986
- [7] **AFNOR**
Antiseptiques et désinfectants utilisés à l'état liquide, miscibles à l'eau - Détermination de l'activité virucide vis-à-vis des virus des vertébrés
Norme Française NF T 72 180, Mars 1986
- [8] **AFNOR**
Antiseptiques et désinfectants utilisés à l'état liquide, miscibles à l'eau et neutralisables - Détermination de l'activité bactéricide - Méthode par dilution-neutralisation
Norme Française NF T 72 150, Novembre 1987
- [9] **AFNOR**
Antiseptiques et désinfectants utilisés à l'état liquide, miscibles à l'eau et neutralisables - Détermination de l'activité bactéricide en présence de substances interférentes de référence - (Méthode par dilution-neutralisation)
Norme Française NF T 72 170, Novembre 1988

- [10] **AFNOR**
Antiseptiques et désinfectants utilisés à l'état liquide, miscibles à l'eau et neutralisables - Détermination de l'activité fongicide - Méthode par dilution-neutralisation
Norme Française NF T 72 200, Septembre 1987
- [11] **AFNOR**
Antiseptiques et désinfectants utilisés à l'état liquide, miscibles à l'eau, neutralisables et tuant les spores bactériennes - Détermination de l'activité sporicide en présence ou non de substances interférentes - (Méthode par dilution-neutralisation)
Norme Française NF T 72 230, Mars 1981
- [12] **AFNOR**
Antiseptiques et désinfectants utilisés à l'état liquide, miscibles à l'eau, neutralisables et tuant les spores bactériennes - Détermination de l'activité sporicide en présence ou non de substances interférentes - (Méthode par filtration sur membranes)
Norme Française NF T 72 231, Mars 1981
- [13] **AFNOR**
Désinfectants de contact utilisés à l'état liquide, miscibles à l'eau - Méthode des porte-germes - Détermination de l'activité bactéricide, fongicide et sporicide
Norme Française NF T 72 190, Aout 1988
- [14] **AFNOR**
Désinfectants - Procédés de désinfection des surfaces par voie aérienne - Détermination de l'activité bactéricide, fongicide et sporicide
Norme Française NF T 72 281, Septembre 1986
- [15] **AFNOR**
Essais physico-chimiques - Détermination de la résistance à la corrosion intergranulaire des aciers inoxydables austénitiques
Norme Française NF A 05 159, Avril 1981
- [16] **AFNOR**
Guide pour le nettoyage, la décontamination et la stérilisation des instruments de chirurgie
1987
- [17] **AFNOR**
Matériel médico-chirurgical - Instruments chirurgicaux - Ciseaux - Dimensions et essais
Norme Française NF S 90 463, Aout 1982
- [18] **AFNOR**
Matériel médico-chirurgical - Instruments chirurgicaux d'usage général - Couteaux, pinces à disséquer, bistouris réutilisables, sondes
Norme Française NF S 90 462, Aout 1982

- [19] **AFNOR**
Matériel médico-chirurgical - Instruments chirurgicaux -
Pincés hémostatiques - Acier inoxydable - Composition
chimique et dureté
Norme Française NF S 90 450, Avril 1981
- [20] **AFNOR**
Matériel médico-chirurgical - Instruments chirurgicaux -
Pincés hémostatiques - Dimensions et essais
Norme Française NF S 90 460, Aout 1982
- [21] **AFNOR**
Matériel médico-chirurgical - Instruments chirurgicaux -
Pincés, passe-fils et porte-aiguilles - Dimensions et
essais
Norme Française NF S 90 461, Aout 1982
- [22] **AFNOR**
Matériel médico-chirurgical - Instruments tranchants -
Aciers inoxydables - Composition chimique et dureté
Norme Française NF S 90 451, Avril 1981
- [23] **AFNOR**
Produits sidérurgiques - Aciers inoxydables austénitiques
- Essai de comportement en milieu nitrique chaud (Essai
dit de HUEY)
Norme Française NF A 05 160, Décembre 1984
- [24] **AFNOR**
Protection contre les agents physiques, chimiques et
biologiques - Essai au brouillard salin
Norme Française NF X 41 002, Aout 1975
- [25] **ANONYME**
Documentation SIMAL : Réflexions sur l'instrumentation en
acier inoxydable
1980
- [26] **ANONYME**
Documentation UGINE-GUEUGNON : Tôles inoxydables et
spéciales
- [27] **ANONYME**
Guide allemand : Nettoyage et stérilisation des
instruments de chirurgie
1980
- [28] **ANONYME**
L'acier et sa mise en oeuvre
Ed. Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier
(O.T.U.A.)
1973

- [29] **ANONYME**
La fabrication des instruments médico-chirurgicaux :
conséquences pour leur choix, leur entretien et leur
stérilisation
Société Française d'Hygiène Hospitalière, 1988, 13, 9-12
- [30] **ANONYME**
Le problème de la corrosion des instruments chirurgicaux
en acier inoxydable
Extrait catalogue STORZ (USA) Ed.1973
- [31] **BENHAMOUDA C.**
Questionnaire du Groupement des Laboratoires d'Essais des
Matériels de technique médicale
LNE/GLEM
- [32] **BENSIMON R.**
Notions de base sur la corrosion
Memento Cated, 1987, 55, 1-50
- [33] **BOSICH J.F.**
Prévention de la corrosion
Entreprise Moderne d'Edition Ed.1977
- [34] **BROWN S.A., MERRITT K.**
In vivo and in vitro considerations of corrosion testing
Biomat. Med. Dev. Art. Org., 1981, 9, (1), 57-63
- [35] **BROWN S.A., SIMPSON J.P.**
Crevice and fretting corrosion of stainless steel plates
and screws
J. Biomed. Mater. Res., 1981, 15, (6), 867-878
- [36] **BRUNE D., HULTQUIST G.**
Corrosion of stainless steel with low nickel content
under static conditions
Biomaterials, 1985, 6, (4), 265-268
- [37] **BUNDY K.J., VOGELBAUM M.A., DESAI V.H.**
The influence of static stress on the corrosion behavior
of 316L stainless steel in Ringer's solution
J. Biomed. Mater. Res., 1986, 20, (4), 493-505
- [38] **CAHOON J.R., HOLTE R.N.**
Corrosion fatigue of surgical stainless steel in
synthetic physiological solution
J. Biomed. Mater. Res., 1981, 15, (2), 137-145
- [39] **CHAIGNEAU M., LE MOAN G., CHASTAGNIER M., RENAUX J.**
Sur la persistance de résidus dans du matériel médico-
chirurgical stérilisé par le formaldéhyde
Sci. Techn. Pharm., 1982, 1, (11), 39-44
- [40] **CORNU M.**
Instruments de chirurgie
Revue de l'A.D.P.H.S.O., 1982, 7, (3), 39-52

- [41] **DARBORD J.C., BECEL D.**
Décontamination du matériel médico-chirurgical. Technique comparative appliquée à l'étude de différentes solutions
Pharm. Hosp. Franç., 1981, 57, 181-187
- [42] **DARBORD J.C., DAUPHIN A.**
Hygiène hospitalière pratique
Édition Médicale Internationale Ed.1985
- [43] **EBION R.**
Désinfection des instruments et résistance des aciers inoxydables à l'action des désinfectants
Thèse de Docteur en Pharmacie, Nantes, 1981
- [44] **FLEUR F., MONNIER C., INGHELS R., SORDET F.**
Evaluation du matériel médico-chirurgical à l'hôpital : Objectifs et méthodologie
Techniques Hospitalières, 1988, 512, 44-46
- [45] **G.P.E.M.**
Guide du bionettoyage
Février 1989
- [46] **HANSSON C.M.**
Comments on electrochemical measurements of the rate of corrosion of steel in concrete
Cem. Concr. Res., 1984, 14, (4), 574-584
- [47] **HULTQUIST G., LEYGRAF C.**
Highly protective films on stainless steels
Mater. Sci. Eng., 1980, 42, 199-206
- [48] **HULTQUIST G., LEYGRAF C., BRUNE D.**
Quantitative measurements of passive dissolution of chromium, iron and molybdenum from a stainless steel
J. Electrochem. Soc., 1984, 131, (8), 1773-1776
- [49] **HURTAUD B., DECROIX J.**
Corrosion des instruments en acier inoxydable en milieu hospitalier
Journées de l'Association Nationale des Responsables de Stérilisation Centrale
La Rochelle, Octobre 1981
- [50] **JOHNSON L., SHNEIDER D., AUSTIN M., GOODMAN F., BULLOCK J., DEBRUIN J.**
Two per cent glutaraldehyde : a disinfectant in arthroscopy and arthroscopic surgery
Journal of Bone and Joint Surgery, 1982, 64, (2), 231-239
- [51] **KATO H., MATSUSHIMA S., SMYTH J.P.**
Effect of disinfectants with and without usage of detergent for the flexible fiberoptic brochoscope
Jpn. J. Exp. Med., 1979, 49, (5), 337-342

- [52] **KOSSOWSKY R., DUJOVNY M., KOSSOWSKY N., DIAZ F.G., AUSMAN J.I.**
Corrosion of aneurysm clips : evaluation and clinical implications
Acta Neurochir., 1984, 72, 31-43
- [53] **LE MOAN G., CHAIGNEAU M., CHASTAGNIER, PHAM HUY CHUONG**
La persistance de résidus au cours du traitement du matériel médico-chirurgical par le glutaraldéhyde
Ann. Fals. Exp. Chim., 1983, 76, (823), 463-473
- [54] **MASSE J., SAGET G.**
Progrès apportés par l'usage du glutaraldéhyde basique à l'hôpital pour la désinfection des instruments chirurgicaux et médicaux
Phar. Hosp. Franç., 1978, 45, 167-175
- [55] **MOYON C.**
Stérilisation de l'instrumentation médico-chirurgicale
Thèse de Docteur en Médecine, Lille, 1980
- [56] **NYSTRÖM B.**
Disinfection of surgical instruments
J. Hosp. Infect., 1981, 2, (4), 363-368
- [57] **PITRES J.C.**
Les instruments chirurgicaux d'usage général
Revue de l'A.D.P.H.S.O., 1982, 7, (2), 57-63
- [58] **POURBAIX M.**
Electrochemical corrosion of metallic biomaterials
Biomaterials, 1984, 5, (3), 122-134
- [59] **SHREIR L.L.**
Corrosion (Vol.1) : Metal/Environment reactions
Newnes Butterworths. London. Boston. Ed.1979
- [60] **STONEHILL A.A., KROP S., BORICK P.M.**
Buffered glutaraldehyde, a new chemical sterilization solution
Am. J. Hosp. Pharm., 1963, 20, 458-465
- [61] **STOTT F.H.**
Some recent experience with the scanning electron microscope in corrosion research
J. Microsc., 1984, 133, (2), 191-204
- [62] **TASCHER P.**
Formulation d'un nettoyant bactéricide de surface
Revue de l'A.D.P.H.S.O., - , 4, (4), 9-19



A U T O R I S A T I O N D ' I M P R E S S I O N

De la Thèse dont l'intitulé est :

**CORROSION DE L'INSTRUMENTATION MEDICO-CHIRURGICALE
EN ACIER INOXYDABLE PAR LES SOLUTIONS PREDESINFECTANTES
MISE AU POINT D'UN PROTOCOLE D'ETUDE.**

CANDIDAT : M^{lle} **Isabelle GEORGES**

VU

GRENOBLE, le

6 Juillet 89

Le Président du Jury



VU

GRENOBLE, le

29.08.1989

Le Président de l'Université
Joseph FOURIER GRENOBLE I
Sciences. Technologie. Médecine



Ce travail a pour but d'établir un protocole d'étude de la corrosion de l'instrumentation médico-chirurgicale en acier inoxydable par les solutions prédésinfectantes.

Dans une première partie, nous décrivons les aciers inoxydables (composition, propriétés), les phénomènes de passivation et de corrosion (mécanismes, méthodes d'étude), ainsi que les instruments médico-chirurgicaux (réglementation, fabrication) et les solutions prédésinfectantes (formulation, utilisation).

Dans une deuxième partie, après avoir recensé quelques études antérieures, nous mettons en oeuvre un mode opératoire permettant d'étudier la corrosion des instruments en acier inoxydable et nous comparons l'agressivité relative de quatre solutions.

A l'issu de cet essai, nous proposons un protocole d'étude de la corrosion qui pourra être utilisé pour étudier l'agressivité potentielle de diverses solutions prédésinfectantes, vis-à-vis des instruments médico-chirurgicaux.

MOTS CLES : CORROSION - INSTRUMENTATION MEDICO-CHIRURGICALE -
ACIER INOXYDABLE - SOLUTIONS PREDESINFECTANTES -
PROTOCOLE D'ETUDE