



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche  
scientifique



UNIVERSITE DE 20 AOÛT 1955 SKIKDA  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE PETROCHIMIE

**Mémoire de fin d'études**

En vue de l'obtention du diplôme de

**Master**

Filière: industries pétrochimiques

Spécialité: Génie pétrochimique

**ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DES  
PEINTURES ET DES VERNIS CONTRE LA  
CORROSION DU FER BLANC DANS LES  
MILIEUX ACIDES ET SALINS**

Soutenu le : 02/07/2025

**Réalisé par :**

- ❖ BENDJAMA Omayma
- ❖ GHARIANI Rahma

**Encadré par :**

Dr BOUSSAHA EL Hadi

Année universitaire : 2024/2025



# Remerciements

*Nous remercions notre encadreur Dr. Boussaha EL Hadi pour avoir accepté de nous encadrer de nous diriger, pour sa compréhension, ses encouragements ainsi pour la confiance qu'il nous a accordé en réalisant ce travail avec tous notre sincères gratitudes et respect.*

*Nous adressons aussi nos remerciements à tous les membres de jury pour avoir bien accepté d'examiner notre modeste travail.*

*Nous remercions tous nos enseignants du département de pétrochimie qui nous ont éclairé la voie du savoir et pour leur soutien pendant notre parcours universitaire sans oublier les ingénieurs de laboratoire.*

*Nous adressons nos sincères remerciements a tout le personnel de la société EMB-Azzaba.*

*À la mémoire du professeur Medjram Mohamed EL salah.*

*Un grand merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.*



# Dédicace

*Avant tout, toute Louange à Allah, "Al hamdoulilah", qui m'a permis d'arriver jusqu'ici, qui m'a donné la force, la patience et la santé pour mener à bien ce travail. Sans Sa Volonté et Sa Miséricorde, rien n'aurait été possible.*

*Je dédie ce travail, avec tout mon amour,*

*A mon cher père et à ma précieuse mère,*

*Piliers de ma vie, prières de mon cœur. Merci pour votre soutien et vos encouragements, vos sacrifices silencieux, et cet amour pur qui m'a portée jusqu'ici. Aucun mot ne peut traduire ce que je ressens... Dieu seul pourra vous récompenser en vous accueillant dans son paradis.*


*A mes très chers frères et sœurs,*

*A tous les membres de ma grande famille,*

*A mes chers amis et à mes proches,*

*À tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin,*

*À ma chère binôme et amie Rahma,*



*Un merci tout particulier pour ton travail remarquable, ta rigueur et ton sens de l'organisation, et pour ta patience. Ta contribution a été précieuse, ton implication exemplaire, je te souhaite du fond du cœur beaucoup de réussites.*

*Omayma*



# Dédicace

*J'ai le grand honneur à dédier ce modeste mémoire de fin d'études.*

*À mes parents pour leurs encouragements et toute l'aide qu'ils m'ont apporté durant mes études.*

*À ma sœur Abir et mon frère Ahmed pour leurs soutiens et leur tendresse.*

*À la mémoire de ma grand-mère et mon oncle Kamel et ma tante Monira.*

*À mes grands-parents, mes tantes, mes oncles, mes cousins, mes cousines et à toute ma famille.*

*À ma douce binôme Omayma avec qui j'ai partagé ce modeste travail.*

*À tous mes amis qui m'ont soutenu, aidé et encouragé.*



*Rahma*

## الملخص

يُعد الفولاذ من أهم المواد وأكثرها تنوعًا وقابلية للتكيف. ويُستخدم في مجموعة واسعة من القطاعات الصناعية، ولكنه عرضة بشكل خاص للتآكل. يُعتبر التآكل مشكلةً حرجةً في معظم القطاعات الصناعية؛ إذ يؤدي إلى تدهورٍ تدريجيٍّ للمعادن عند ملامستها للبيئات المسببة للتآكل. تستند دراستنا إلى مقارنة مقاومة التآكل لمختلف أنواع الدهون والورنيشات المطبقة على الصفيح في بيئاتٍ ملحية (كلوريد الصوديوم) وحمضية (حمض الكبريتيك). أُجريت هذه الدراسة باستخدام طريقة قياس الوزن في ظل ظروفٍ مُتحكمٍ بها، مثل زمن الغمر وتركيزات الوسائط، مع الطلاء وبدونه. تُبرز النتائج فعالية الطلاءات ضد التآكل في البيئات الحمضية والملحية .

**الكلمات المفتاحية:** التآكل، الفولاذ، طريقة قياس الوزن، الورنيش، الدهون، الغمر

## **Résumé**

L'acier est l'un des matériaux les plus importants, polyvalents et adaptables. Il est utilisé dans un large éventail de secteurs industriels, mais il est particulièrement sensible à la corrosion. La corrosion est considérée comme un problème critique dans la majorité des secteurs industriels, elle se traduit par une détérioration progressive des métaux en contact avec des milieux corrosifs. Notre étude est fondée sur la comparaison de la résistance à la corrosion de différentes peintures et vernis appliqués sur du fer blanc en milieu salin (chlorure de sodium) et acide (acide sulfurique). Cette étude a été réalisée par méthode gravimétrique dans des conditions contrôlées, telles que le temps d'immersion et les concentrations des milieux, avec et sans revêtement. Les résultats mettent en lumière l'efficacité des revêtements contre la corrosion dans les milieux acides et salins.

**Mots clés :** corrosion, acier, méthode gravimétrique, vernis, peintures, immersion.

## **Abstract**

Steel is one of the most important, versatile, and adaptable materials. It is used in a wide range of industrial sectors, but it is particularly susceptible to corrosion. Corrosion is considered a critical problem in most industrial sectors; it results in the progressive deterioration of metals in contact with corrosive environments. Our study is based on a comparison of the corrosion resistance of different paints and varnishes applied to tinplate in saline (sodium chloride) and acidic (sulfuric acid) environments. This study was conducted using a gravimetric method under controlled conditions, such as immersion time and media concentrations, with and without coating. The results highlight the efficiency of coatings against corrosion in acidic and saline environments.

**Keywords:** corrosion, steel, gravimetric method, varnish, paints, immersion.

# Liste des figures

<b>N°</b>	<b>Titre des figures</b>	<b>Page</b>
<b>Chapitre I : Généralités sur les peintures et les vernis</b>		
<b>Figure I.1</b>	Boîtes de peinture.	1
<b>Figure I.2</b>	Liant de peinture.	3
<b>Figure I.3</b>	Pigments de peinture.	4
<b>Figure I.4</b>	Les matières de charge.	4
<b>Figure I.5</b>	Procédé de fabrication de la peinture.	16
<b>Figure I.6</b>	Peinture de protection.	17
<b>Figure I.7</b>	Le vernis.	18
<b>Figure I.8</b>	La résine de pin.	20
<b>Figure I.9</b>	L'huile de noix.	21
<b>Figure I.10</b>	Enregistreur de temps de séchage.	25
<b>Figure I.11</b>	Application au pinceau de la peinture.	31
<b>Figure I.12</b>	Application du vernis par pulvérisation.	32
<b>Figure I.13</b>	Pistolets pneumatiques conventionnels.	32
<b>Figure I.14</b>	Pistolets airless.	33
<b>Figure I.15</b>	Processus de séchage physique des peintures.	34
<b>Chapitre II : Corrosion et méthodes de protection</b>		
<b>Figure II.1</b>	Cycle de vie de fer et de ses dérivés.	37
<b>Figure II.2</b>	Corrosion sèche par les gaz acides due à la combustion du charbon.	38
<b>Figure II.3</b>	Corrosion par la soude sur une unité Merox d'épuration du LPG.	39
<b>Figure II.4</b>	La corrosion électrochimique.	40
<b>Figure II.5</b>	Corrosion sous contrainte.	41
<b>Figure II.6</b>	Corrosion-érosion.	42
<b>Figure II.7</b>	Corrosion par frottement.	42

<b>Figure II.8</b>	Corrosion – cavitation.	43
<b>Figure II.9</b>	Morphologie de la corrosion.	43
<b>Figure II.10</b>	Corrosion galvanique.	45
<b>Figure II.11</b>	Corrosion par piqûres.	45
<b>Figure II.12</b>	Corrosion caverneuse.	46
<b>Figure II.13</b>	Corrosion intergranulaire.	47
<b>Figure II.14</b>	Corrosion sélective.	47
<b>Figure II.15</b>	Système de corrosion.	49
<b>Figure II.16</b>	Prévention de la corrosion par une forme adaptée des pièces.	51
<b>Figure II.17</b>	Préparation de surface.	56
<b>Figure II.18</b>	Décapage à l'eau sous pression UHP.	56
<b>Figure II.19</b>	Système de peinture anticorrosion.	57
<b>Figure II.20</b>	L'essai de quadrillage.	59
<b>Figure II.21</b>	Vernissage feuille à feuille.	61
<b>Figure II.22</b>	Corrosion des boîtes de conserve.	63
<b>Chapitre III : Partie expérimentale</b>		
<b>Figure III.1</b>	Feuille de fer blanc.	69
<b>Figure III.2</b>	Echantillons à face vernie.	69
<b>Figure III.3</b>	Echantillons vernis.	70
<b>Figure III.4</b>	Les pinceaux et les vernis utilisés.	72
<b>Figure III.5</b>	Préparation des solutions de chlorure de sodium.	73
<b>Figure III.6</b>	Solutions d'acide sulfurique.	73
<b>Figure III.7</b>	Décapage chimique par immersion des échantillons à face vernie.	74
<b>Figure III.8</b>	Décapage chimique par immersion des échantillons vernis.	75
<b>Figure III.9</b>	Représentation graphique de la variation de la masse en fonction du temps des échantillons à face vernie.	76
<b>Figure III.10</b>	Représentation graphique de la variation de la masse en fonction du temps des échantillons revêtus en vernis blanc.	78

<b>Figure III.11</b>	Représentation graphique de la variation de la masse en fonction du temps des échantillons revêtus en couché blanc.	80
<b>Figure III.12</b>	Représentation graphique de la variation de la masse en fonction du temps des échantillons revêtus en vernis transparent.	82
<b>Figure III.13</b>	Représentation graphique de la variation de la masse en fonction du temps des échantillons revêtus en vernis or.	84

# Liste des tableaux

<b>N°</b>	<b>Titre des tableaux</b>	<b>Page</b>
<b>Chapitre II : Corrosion et méthodes de protection</b>		
<b>Tableau II.1</b>	Principaux types de vernis.	58
<b>Tableau II.2</b>	Techniques d'application des vernis.	62
<b>Tableau II.3</b>	Cuisson des vernis.	62
<b>Chapitre III : Partie expérimentale</b>		
<b>Tableau III.1</b>	Matériaux et matériel utilisé.	68
<b>Tableau III.2</b>	Composition chimique de l'acier doux.	69
<b>Tableau III.3</b>	Résultats de la perte de masse des échantillons à face vernis.	75
<b>Tableau III.4</b>	Masse des échantillons revêtus en vernis blanc avant et après vernissage.	77
<b>Tableau III.5</b>	Résultats de la perte de masse des échantillons revêtus en vernis blanc.	77
<b>Tableau III.6</b>	Masse des échantillons revêtus en couché blanc avant et après vernissage.	79
<b>Tableau III.7</b>	Résultats de la perte de masse des échantillons revêtus en couché blanc.	79
<b>Tableau III.8</b>	Masse des échantillons revêtus en vernis transparent avant et après vernissage.	81
<b>Tableau III.9</b>	Résultats de la perte de masse des échantillons revêtus en vernis transparent.	81
<b>Tableau III.10</b>	Masse des échantillons revêtus en vernis or avant et après vernissage.	83
<b>Tableau III.11</b>	Résultats de la perte de masse des échantillons revêtus en vernis or.	83

# Liste des abréviations

<i>Symbole</i>	<i>Définition</i>	<i>Unité</i>
<b>ACQPA</b>	Association pour la certification et la qualification en peinture anticorrosion	/
<b>Afnor</b>	Association française de normalisation	/
<b>bar</b>	Unité de mesure de pression	bar
<b>C °</b>	Degré Celsius : unité pour exprimer la température	C °
<b>C1</b>	Concentration initiale (solution mère)	mol/L
<b>C2</b>	Concentration finale (solution fille)	mol/L
<b>cm</b>	Centimètre : Unité de longueur	cm
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de carbone	/
<b>COV</b>	Composés organiques volatils	mg/m <sup>3</sup>
<b>CPV</b>	Concentration pigmentaire volumique	%
<b>CSC</b>	Corrosion sous contrainte	/
<b>Cu</b>	Cuivre	/
<b>EMB</b>	Entreprise nationale des emballages métalliques	/
<b>ES</b>	Extrait sec	%
<b>E<sub>v</sub></b>	Échantillon revêtu	/
<b>Fe</b>	Fer	/
<b>Fe<sup>2+</sup></b>	Ion ferreux	/
<b>Fe<sup>3+</sup></b>	Ion ferrique	/
<b>g</b>	Gramme : Unité de mesure de masse	g
<b>h</b>	Heure : Unité de mesure de temps	h
<b>H<sub>2</sub></b>	Dihydrogène	/
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Sulfure d'hydrogène	/
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Acide sulfurique	/
<b>HgS</b>	Sulfure de mercure	/
<b>HVLP</b>	High volume Low pressure	/
<b>ISO</b>	Organisation internationale de normalisation	/
<b>kPa</b>	Kilopascal : Unité de mesure de pression	kPa

<b>LPG</b>	Liquified petroleum gas	/
<b>m</b>	Masse	g ou kg
<b>m<sup>2</sup></b>	Mètre carré : Unité de mesure de surface	m <sup>2</sup>
<b>mbar</b>	Millibar : Unité de pression atmosphérique	mbar
<b>min</b>	Minute : Unité de mesure de temps	min
<b>ml</b>	Millilitre : Unité de mesure de volume	ml
<b>Mn</b>	Manganèse	/
<b>N<sub>2</sub></b>	Diazote	/
<b>NaCl</b>	Chlorure de sodium	/
<b>NF</b>	Norme française	/
<b>NF EN</b>	Norme française Européenne	/
<b>O<sub>2</sub></b>	Dioxygène	/
<b>PH</b>	Potentiel hydrogène	/
<b>PPR</b>	Peintures primaires réactives	/
<b>s</b>	Seconde : Unité de mesure de temps	s
<b>Si</b>	Silicium	/
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de soufre	/
<b>Tg</b>	Température de transition vitreuse	C °
<b>TiO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de titane	/
<b>TQC</b>	Kit de test d'adhérence	/
<b>UB</b>	Unité de brillance	GU
<b>UHP</b>	Ultra high pressure	/
<b>UV</b>	Ultraviolet	/
<b>V</b>	Volume	m <sup>3</sup> /L
<b>V1</b>	Volume initial (solution mère)	ml
<b>V2</b>	Volume final (solution fille)	ml
<b>δ</b>	Paramètre de solubilité	/
<b>ρ</b>	Masse volumique	kg/m <sup>3</sup>
<b>Σ</b>	Somme de plusieurs termes	/

## Remerciements

## Dédicaces

- Résumés
- Liste des figures
- Liste des tableaux
- Liste des abréviations

# Table des matières

## Introduction générale

Chapitre I : Généralités sur les peintures et les vernis		
I.1.	Introduction	1
I.2.	Les peintures	1
I.2.1.	Définition de la peinture	1
I.2.2.	Historique des peintures	2
I.2.3.	La composition de la peinture	2
I.2.4.	Les types de peintures	5
I.2.4.1.	Les peintures à l'eau	5
I.2.4.2.	Les peintures à l'huile	6
I.2.5.	Propriétés des peintures	7
I.2.5.1.	Propriétés physico-chimiques	7
I.2.5.2.	Propriétés rhéologiques	8
I.2.5.3.	Propriétés du film sec	9
I.2.6.	Formulation des peintures	10
I.2.7.	Fabrication des peintures	14
I.2.8.	Domaines d'application des peintures	16
I.3.	Les vernis	18
I.3.1.	Définition du vernis	18
I.3.2.	Historique des vernis	18
I.3.3.	La composition du vernis	20

I.3.4.	Les types de vernis	22
I.3.4.1.	Les vernis à base d'eau	22
I.3.4.2.	Les vernis à base de solvant	23
I.3.5.	Les propriétés physiques et mécaniques du vernis	24
I.3.6.	Fabrication des vernis	27
I.3.7.	Domaines d'application des vernis	28
I.4.	Les méthodes d'application des peintures et des vernis	30
I.4.1.	Application manuelle	30
I.4.2.	Le trempage	31
I.4.3.	Application mécanique (par pulvérisation)	31
I.5.	Les méthodes de séchage et de durcissement	34
I.5.1.	Le séchage par voie physique	34
I.5.2.	Le séchage par voie chimique	34
I.6.	Conclusion	35
<b>Chapitre II : Corrosion et méthodes de protection</b>		
II.1.	Introduction	36
II.2.	Origine de la corrosion	36
II.3.	Définition de la corrosion	37
II.4.	Classification de la corrosion	38
II.4.1.	La corrosion sèche	38
II.4.2.	La corrosion humide	39
II.5.	Différents modes de corrosion	39
II.5.1.	La corrosion chimique	39
II.5.2.	La corrosion électrochimique	40
II.5.3.	La corrosion biologique	40
II.5.4.	La corrosion associée à des effets mécaniques	41
II.6.	Morphologie de la corrosion	43
II.6.1.	La corrosion uniforme ou généralisée	44
II.6.2.	La corrosion localisée	44
II.7.	Facteurs de corrosion	47

II.7.1.	Facteurs liés au métal	48
II.7.2.	Facteurs liés au milieu	48
II.7.3.	Facteurs liés aux conditions d'emploi	48
II.8.	Impact économique de la corrosion	49
II.9.	Protection contre la corrosion	50
II.9.1.	Mesures préventives	50
II.9.2.	Méthodes de prévention contre la corrosion	51
II.10.	Les peintures dans la lutte contre la corrosion	53
II.10.1.	Formulation des peintures anticorrosives	54
II.10.2.	Fabrication des peintures	54
II.10.3.	Préparation de surface	55
II.10.4.	Système de protection par les peintures	56
II.11.	Qualités et essais des vernis, vernissage des boîtes	58
II.11.1.	Qualités des vernis	58
II.11.2.	Principaux essais de contrôle	59
II.11.3.	Mise en œuvre des vernis	60
II.11.3.1.	Les techniques d'application	60
II.11.3.2.	La cuisson des vernis	62
II.12.	La corrosion des boîtes de conserve	62
II.12.1.	Forme de corrosion dans les boîtes de conserve	63
II.12.2.	Types de corrosion	64
II.12.3.	Mécanismes de corrosion	64
II.12.4.	Accélérateurs de corrosion	65
II.12.5.	Température d'entreposage	66
II.13.	Conclusion	66
<b>Chapitre III : Partie expérimentale</b>		
III.1.	Introduction	67
III.2.	L'objectif	67
III.3.	Méthodes et techniques	67
III.3.1.	Méthodes	67

III.3.1.1. Méthode gravimétrique	67
III.3.1.2. Méthode de décapage en place	67
III.3.2. Matériaux utilisés	68
III.3.2.1. Préparation des échantillons	69
III.3.2.2. Produits à face vernie	69
III.3.2.3. Produits vernis	70
III.4. Procédé expérimental	70
III.5. Préparation des solutions	72
III.6. Protocole de décapage chimique	74
III.7. Résultats et interprétation	75
III.8. Conclusion	85

## Conclusion générale

- Annexes

Annexe A .....	86
Annexe B .....	87
Annexe C .....	88
Annexe D .....	89
Annexe E .....	90
Annexe F .....	92
Annexe G .....	93

# *Introduction Générale*

## **Introduction générale**

Le fer blanc est un matériau largement utilisé dans l'industrie de l'emballage métallique, en raison de sa résistance à la corrosion, sa légèreté, son étanchéité et sa facilité en recyclage. Il s'agit d'une tôle d'acier doux à faible teneur en carbone, recouverte d'une couche fine d'étain.

Du point de vue de la durabilité des matériaux métalliques, la corrosion représente un problème majeur lors de la manipulation, du stockage et de l'expédition des produits. Les changements de température, l'humidité ambiante, le traitement de surface, et l'épaisseur de la couche d'étain sont des facteurs de corrosion qui attaquent le fer blanc.

Pour limiter ou éviter ce problème, divers moyens de protection sont mis en œuvre, et parmi lesquels les peintures et les vernis occupent une place importante. Toutefois, leur efficacité varie selon leur composition et les conditions d'exposition. Les peintures et les vernis offrent de nombreux avantages, notamment un coût relativement faible, une application simple et rapide, et une esthétique soignée.

Les peintures et les vernis agissent comme des couches barrières créant une protection contre les agents oxydants, les électrolytes, et les agents corrosifs. Ces revêtements doivent avoir une bonne résistance aux agents agressifs présents dans l'environnement.

Dans ce contexte, nous nous interrogerons sur l'efficacité des peintures et vernis pour assurer une protection optimale contre la corrosion du fer blanc dans des milieux acides et salins.

Nous souhaitons évaluer l'efficacité de quatre types de peintures et vernis appliquées sur des échantillons de fer blanc, en les exposant à différents milieux corrosifs. Le comportement des surfaces métalliques revêtues sera comparé à celui des surfaces non revêtues à travers une série de mesures gravimétriques.

Afin de traiter le sujet et de répondre aux questionnements soulevés, une démarche expérimentale rigoureuse a été suivie. Des échantillons de fer blanc ont été préparés, peints avec différents produits, puis immergés dans des solutions corrosives. Des pesées successives ont permis de suivre l'évolution la perte de masse.

Notre mémoire est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre présente les caractéristiques des peintures et des vernis, leur composition, propriétés et domaines d'application.

Le deuxième chapitre traite le phénomène de corrosion, ses types, ses mécanismes, et les moyens de protection.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude expérimentale que nous avons réalisée, les méthodes utilisées, les étapes de l'essai et l'analyse des résultats obtenus.

*Chapitre I*  
*Généralités sur les peintures et les*  
*verniss*

## I.1.Introduction

La peinture et le vernis sont des matériaux essentiels dans la vie quotidienne et dans l'industrie depuis l'antiquité. Ils sont assez similaires dans leur composition, mais chacun a une fonction spécifique. Ils sont appliqués sur diverses surfaces de diverses manières pour protéger, décorer ou bien pour conférer aux surfaces des propriétés distinctives.

## I.2.Les peintures

### I.2.1.Définition de la peinture

La peinture est un matériau de revêtement pigmenté résultant de la dispersion ou de la suspension d'un ou de plusieurs pigment(s) dans un véhicule sous forme liquide, en pâte ou en poudre, appliqué en couche(s) mince(s) sur un support, et grâce un processus de durcissement forme un film sec et opaque aux propriétés protectrices, décoratives ou techniques.

Selon la norme ISO 4618:2014 intitulée « Peintures et vernis — Termes et définitions » la peinture est un produit liquide, en pâte ou en poudre qui, appliqué sur un support, forme une couche possédant des qualités protectrices, décoratives et/ou spécifiques. [1,2]

Parmi les différents types de peintures on a la peinture industrielle qui est destinée à protéger les équipements industriels des différents facteurs d'usure de corrosion ou de l'exposition aux agents chimiques. Ce type de peinture protège l'équipement et lui fournit aussi des finitions esthétiques. [3]



Figure I.1 : Boîtes de peinture [19].

### I.2.2. Historique des peintures

La peinture existe depuis l'antiquité, les plus anciennes peintures se retrouvent dans les cavernes préhistoriques, lors de cette période la peinture était monochrome ; les pigments utilisés sont le charbon et la craie, par la suite, la peinture est devenue polychrome par l'utilisation de la brique pilée et des terres colorées.

La peinture évolue ainsi lors de l'apparition de la civilisation égyptienne, à près de 5000 ans avant Jésus-Christ. À cette époque, les pigments utilisés étaient des pigments naturels ; comme par exemple le bleu obtenu en pilant des verres colorés par des sels de cuivre. Un autre pigment bleu était constitué par le lapis-lazuli, une roche métamorphique opaque, de couleur bleue, entre l'azur et l'outremer, contenant des silicates du groupe des feldspathoïdes. Quant aux pigments rouges, c'étaient des ocres puis du cinabre ou rouge vermillon. Le pigment de cinabre était obtenu par broyage de la pierre dure du même nom, le minéral sulfure de mercure rouge (HgS). Alors que les liants utilisés étaient : le jus de figue, l'œuf et la cire.

L'art pictural évolue ensuite avec les civilisations antiques, notamment en Grèce, on se servait largement de la peinture en architecture, en sculpture, pour la décoration des navires, la décoration des intérieurs et la peinture au chevalet. Les Grecs anciens ont également développé la peinture sur poterie, avec des styles emblématiques comme les figures noires et rouges. Le liant pour ces peintures était plus que probablement l'eau. Avec l'emploi de la brique pilée et des terres colorées (ocres jaune et rouge), la peinture devient polychrome.

Au cours des années suivantes, la peinture a continué à évoluer, influencée par des facteurs tels que les mouvements artistiques, les avancées technologiques et les changements sociaux. Des techniques et des styles variés ont émergé, reflétant la diversité de la vision artistique humaine à travers le temps et l'espace. [1,4]

### I.2.3. La composition de la peinture

- **Le liant**

Selon la nature du liant, on nomme le type de peinture. Le liant ou la résine, est le constituant principal d'une peinture. C'est un polymère qui peut se présenter sous forme liquide, visqueuse ou même sous forme solide. Ce dernier peut être d'origine

naturelle ou synthétique. Il doit avoir de bonnes caractéristiques filmogènes (capacité à former un film liquide mince lorsqu'on étale la peinture). Le liant d'une peinture est lui-même constitué d'un mélange de résines, de gommes et souvent aussi de plastifiants. Cet ensemble complexe forme la partie non volatile de la peinture dans laquelle sont dispersés les pigments et les charges. Les matières utilisables comme liant pour peintures sont extrêmement nombreuses et variées, certaines sont des produits naturels d'origine le plus souvent végétale, transformés et améliorés par des procédés physiques et chimiques, d'autres sont entièrement élaborés par synthèse totale à partir d'éléments simples tirés du pétrole. [5,6]



**Figure I.2 :** Liant de peinture [6].

- **Les pigments**

Le mot pigment vient du latin « pigmentum » qui signifie matière colorante. Les pigments sont les composants responsables de la couleur et du pouvoir opacifiant de la peinture, ils se présentent généralement sous forme de poudre. Selon la norme ISO 4618:2014 « C'est un colorant sous forme de particules, insoluble dans le milieu de suspension (par exemple produit de peinture ou plastique) ». Les pigments sont classés en pigments minéraux (Dioxyde de titane) et organiques (rouge molybdène) et métalliques (pâte d'aluminium). [2, 5, 7]



**Figure I.3 :** Pigments de peinture [7].

- **Les charges**

Les charges ou les matières de charge sont des substances sous forme de poudres fines, inertes blanches ou légèrement colorées ajoutées à la peinture afin d'améliorer ces caractéristiques physiques, chimiques et métalliques. Les charges peuvent être d'origine minérale naturelle ou végétale naturelle, elles sont caractérisées par un faible pouvoir opacifiant et un très faible indice de réfraction. [5,6]



**Figure I.4 :** Les matières de charge [6].

- **Les solvants et les diluants**

Les solvants et les diluants ont pour fonction essentielle d'amener la préparation liquide à la viscosité favorable pour sa bonne mise en œuvre par le procédé choisi. Ils représentent la phase volatile dans les composants de peinture. Quelques exemples : hydrocarbures aliphatiques, hydrocarbures aromatiques, alcools, chlorures, cétones, white spirit, etc.

- Le diluant est un liquide volatil non solvant du liant qui s'ajoute à la peinture et au vernis, dont le but est la dilution ou le nettoyage après usage. L'évaporation du diluant dépend des conditions de température.
- Le solvant est un liquide volatil, mais contrairement au diluant son rôle est la dissolution des composants (liant) pour l'application. Le solvant doit disparaître par évaporation dans l'atmosphère ambiante aussi complètement que possible pour que le feuil atteigne ses propriétés définitives. [5,6]

- **Les additifs**

Un additif ou adjuvant, conformément à la norme ISO 4618 :2014 « ce terme désigne toute substance liquide ou solide ajoutée en petites quantités (siccatifs, agents dispersants, etc.) dans un produit de peinture, améliore ou modifie une ou plusieurs propriétés », ou ajoute une propriété spécifique. Leur action intervient à toutes les étapes de la fabrication et de l'emploi de la peinture :

- Fabrication : agents mouillants, dispersants, antimousses ;
- Produit en pot : agents épaississants, anti-sédiments, anti peaux ;
- Formation du feuil : agents de tension, anti-flottation... ;
- Séchage : siccatifs, catalyseurs... ;
- Feuil sec : absorbeurs UV, fongicides... [2,5,6]

## **I.2.4. Les types de peintures**

### **I.2.4.1. Les peintures à l'eau**

Appelées également peinture au latex, leurs principal solvant est l'eau. Elles sont fabriquées à partir de résine d'acrylique ou de résine d'acétate de polyvinyle. Elles sont Caractérisées par une large gamme de couleurs, elles ne dégagent pas d'odeur et sèche rapidement. En outre, elles peuvent être utilisées en intérieur comme à l'extérieur.

- **La peinture alkyde**

C'est une peinture mixte, elle combine des caractéristiques de la peinture acrylique et de la peinture glycéro. Elle est constituée d'une résine alkyde caractérisée par une excellente adhérence sur différents substrats et une bonne résistance à la décoloration, elle est appliquée dans les travaux publics et les machines industrielles. [8]

- **La peinture vinylique**

Elle est essentiellement formulée à partir de d'eau, mais aussi d'acétate de vinyle, de pigments et de charges. C'est une peinture assez élastique, souple et adhérente, idéale pour les décorations intérieures. Elle est applicable partout sauf sur les métaux et possède un pouvoir couvrant élevé. [6,9]

- **La peinture acrylique**

C'est une peinture écologique qui se compose d'un solvant à base d'eau, d'une résine acrylique et des pigments. Elle est considérée comme une peinture respectueuse de l'environnement et moins nocive pour la santé due à sa faible teneur en composés organiques volatils (COV). Elle a un pouvoir couvrant élevé. En plus, elle s'applique facilement sur différents supports : métal, bois, carrelage, etc. [9,10]

#### **I.2.4.2. Les peintures à l'huile**

La peinture à l'huile peut être appliquée en intérieur comme à l'extérieur et donne un aspect lisse à la surface traitée. Néanmoins, le temps de séchage est lent peut aller jusqu'à un jour, elle est composée d'une grande quantité de solvants synthétiques dangereux pour la santé, elle se caractérise par une forte odeur, et reste plus chère que les peintures à l'eau.

- **La peinture glycérophtalique**

Le liant de ce type de peinture est une résine glycérophtalique. Elle est caractérisée par son séchage long qui s'opère par l'évaporation des solvants organiques et par l'oxydation des liants. Ce type de peinture s'applique sur toutes les surfaces. En plus, les peintures glycérophtaliques ont un grand pouvoir couvrant et une bonne résistance à l'humidité. Elles se présentent sous plusieurs aspects : mat, satiné ou brillant et servent généralement pour les décoratifs traditionnels. [9,10]

- **La peinture polyuréthane**

Composée d'une résine et d'un durcisseur, se caractérise par la création des revêtements ultrarésistants aux chocs et aux rayures ce qui en fait un meilleur choix pour les surfaces susceptibles de subir des chocs, des vibrations, des intempéries et projections de substances chimiques. S'appliquent sur les planchers, mais son temps de séchage est très long et dépend de la température. [9,10]

- **La peinture Epoxy**

C'est une peinture bi-composante à base polymères époxydiques comme liant et d'un durcisseur. Cette peinture est réputée pour sa résistance à l'abrasion et aux produits chimiques, elle est généralement utilisable à froid comme elle peut être utilisée pure ou diluée avec un solvant puis l'additionner avec un durcisseur. Grâce à ces propriétés adhésives, elle représente un revêtement durable, appliqué pour revêtir les sols industriels, les structures métalliques et les équipements soumis à de fortes sollicitations. [10]

## I.2.5. Propriétés des peintures

### I.2.5.1. Propriétés physico-chimiques

- **La concentration pigmentaire volumique**

La CPV est une grandeur arithmétique, définie d'après la norme ISO 4618-1 : c'est le pourcentage du volume occupé par les pigments par rapport au volume de l'ensemble du film sec. On a pris l'habitude de toujours désigner par volume pigmentaire la somme des volumes pigment + matières de charge. [11]

$$CPV\% = \frac{\Sigma V \text{ pigments} + \Sigma V \text{ mat.charge}}{\Sigma V \text{ pigments} + \Sigma V \text{ mat.charge} + \Sigma V \text{ liant sec}} \times 100 \quad (\text{I.1})$$

$\Sigma$  : somme

$$V : \text{volume} = \frac{m}{\rho}$$

- **L'extrait sec :**

L'extrait sec (E.S) d'un produit de peinture, ou la matière non volatile, est le résidu qui reste après évaporation des matières volatiles qu'il contient, dans des conditions d'essai définies. Pour la détermination de l'extrait sec, on prélève un petit échantillon (d'environ 0.5g) du produit à examiner, que l'on étale sur une capsule métallique préalablement tarée. On pèse et, après trois heures d'étuvage à 105 C°. Le résultat est exprimé comme suit : [11,12]

$$ES \% = \frac{\text{poids du résidu après étuvage}}{\text{poids initial de l'échantillon}} \times 100 \quad (\text{I.2})$$

- **Température de transition vitreuse**

Un autre paramètre important à prendre en compte par le formateur est la température de transition vitreuse (Tg) du ou des polymères utilisés dans la formulation. Cette grandeur est définie comme un intervalle de température où se produit un changement d'état du polymère entraînant des modifications de ses propriétés physiques causées par le passage d'un état dur et cassant à un état fondu ou caoutchouteux ou vice-versa cet état étant réversible. La température de transition vitreuse permet de sélectionner le ou les polymères les mieux adaptés à la protection et/ou la décoration des matériaux en fonction de leur destination. [13,14]

### I.2.5.2. Propriétés rhéologiques

- **Rhéologie des peintures liquides**

Pour obtenir les bonnes propriétés des peintures et des revêtements, il faut tenir compte de leur rhéologie, c'est-à-dire de la façon dont le matériau s'écoule ou se déforme. Le comportement rhéologique des peintures décrit les relations entre la viscosité et les forces de cisaillement. Il dépend, principalement pour les peintures en phase solvant, de la masse molaire et de la nature chimique du liant, ainsi que de la concentration pigmentaire volumique.

Le comportement rhéologique est évalué à l'aide de viscosimètres rotatifs, où le liquide étudié subit un cisaillement entre une surface au repos et une surface en mouvement. Dans l'industrie des peintures et vernis, on définit trois types d'écoulements : newtonien, pseudoplastique et thixotrope, que l'on peut évaluer à l'aide des normes ISO 2884-1 et ISO 2884-2. [14,15]

- **Viscosité**

C'est l'une des caractéristiques les plus visibles de la peinture et elle affecte sa stabilité et son application. Elle indique la consistance du produit. Elle est mesurée avec une coupe consistométrique Afnor n°4, dont les caractéristiques sont données par la norme Afnor NF T 30014. L'unité de la viscosité est la «poise». [12,16]

### I.2.5.3. Propriétés du film sec

- **Aspect et uniformité du feuil**

Une fois la peinture sèche, le film doit être lisse, de couleur et de brillance uniformes, surface régulière et homogène, sans défauts de peinture superficiels, présentant une bonne adhérence entre les couches ou au support, pour des raisons esthétiques et de protection. Ce qui nécessite de l'appliquer par passes perpendiculaires, dites « croisées ». Cela est impératif quel que soit le produit employé (peinture, vernis, lasures) ou l'épaisseur déposée. Le feuil doit être régulier, qu'il soit appliqué en couche mince ou épaisse, à la brosse, à la taloche, au rouleau ou au pistolet. [16,17]

- **Brillance**

La surface peut être brillante, semi-brillante, satinée ou mate. En peinture, le degré de brillance est déterminé par le rapport pigment/liant, les degrés de dispersion, l'épaisseur de couche ou la méthode d'application et de séchage. [16]

- **Couleur**

Le premier aspect d'un feuil est sa couleur. La permanence de la couleur dans le temps, sa résistance à la lumière ou aux conditions atmosphériques sont les premières qualités demandées à une peinture. La couleur d'un objet dépend du type de lumière sous laquelle il est observé. [16,17]

- **Adhérence**

C'est l'une des principales exigences de la peinture, puisque la protection que l'on attend dépend de cette capacité. Grâce à différents essais, on vérifie la capacité d'une peinture à résister au détachement du support sur lequel elle a été appliquée. [16]

- **Pouvoir Couvrant ou opacité**

C'est la mesure de la capacité de la peinture à couvrir par opacité la surface sur laquelle elle a été appliquée. Il est directement déterminé par l'épaisseur de la couche déposée. L'opacité, selon la norme ISO 65043, consiste en la mesure d'un rapport de contraste (pouvoir couvrant) effectuée sur une couche de peinture appliquée sur fond blanc et noir. L'application est faite au filmographe à une épaisseur de peinture

connue. Après un minimum de 24 h de séchage à 23°C, on mesure à l'aide d'un spectrophotomètre [16,17,18]

➤ **Dureté**

La dureté est demandée aux feuillets des peintures de sols, mais aussi aux peintures ou vernis destinés aux bancs, aux rayonnages, aux rampes. Il existe des appareils et des essais permettant de vérifier la dureté de la peinture, afin de mesurer la résistance de la couche de peinture à la pénétration. [16,17]

➤ **Résistance à l'abrasion**

On la mesure avec la norme ISO 11998 et selon la classe on obtient le résultat (Classe 1 : signifie qu'une peinture résistante à l'abrasion humide et que son film de peinture [18]

➤ **Résistance aux intempéries**

Une caractéristique fondamentale de la peinture. Ce contrôle est généralement effectué dans des simulateurs de climat artificiel dans lesquels il est possible de programmer différents cycles de température, l'humidité, la condensation, le rayonnement ultraviolet, etc. [16]

➤ **Résistance au brouillard salin (milieux marins)**

Il s'agit d'un essai accéléré (mesuré en heures) destiné à essayer de prédire le comportement possible de la peinture contre la corrosion dans des conditions d'humidité maximale. [16]

➤ **Lavabilité/lessivabilité**

La lavabilité dépend du type de liant et de sa proportion dans la peinture initiale. A priori, une peinture brillante contenant un fort pourcentage de liant sera lessivable. En revanche, une peinture mate, présentant une structure plus poreuse, plus minérale, le sera beaucoup moins, voire pas du tout. [17]

### **I.2.6. Formulation des peintures**

Contrairement au processus classique de production de produit chimique, la production des peintures n'implique aucune réaction chimique. La composition de la peinture est mise au point par des formulateurs qui choisissent les composants et leurs

teneurs respectives en fonction des propriétés finales recherchées et du mode d'application. C'est dans le cadre des laboratoires de recherche que sont élaborées les formules, qui sont ensuite testées en laboratoire, avant que le produit, si l'on souhaite le certifier, ne soit, dans une seconde phase, soumis à des tests par une tierce partie telle que l'ACQPA. Elles doivent d'une part répondre aux besoins des utilisateurs et d'autre part être adaptées à la protection et/ou à la décoration des subjectiles. [19,20]

- **Le choix du liant de la peinture**

En général, Les résines synthétiques, polyuréthanes, époxydes, acryliques, vinyliques peuvent provoquer des irritations de la peau et des voies respiratoires.

- Conseil pour le choix du liant :

- Privilégier des liants minéraux : peintures à l'argile, peinture à la chaux, peintures aux silicates.
- Privilégier des liants à base d'huiles végétales et de résines naturelles : lin, ricin, carthame, pin, caséine. [21]

- **Le choix du pigment de la peinture**

Il existe de nombreux paramètres qui déterminent comment les pigments se comporteront selon les différentes applications.

- Intensité de la couleur (Color strength)

La couleur des pigments pour peintures dépend principalement de leurs structures chimiques.

L'intensité de la couleur (ou pouvoir colorant) est la facilité avec laquelle un pigment conserve ses caractéristiques de couleur lorsqu'il est mélangé à un autre pigment. Plus l'intensité est élevée, moins il faut de pigment pour obtenir une nuance de couleur déterminée.

La taille des particules joue également sur l'intensité de la couleur d'un pigment. En général, les particules plus petites procurent une intensité de couleur plus élevée.

- Résistance à la chaleur (Heat resistance)

En fonction de l'application de la peinture, il est important d'effectuer des tests pour évaluer comment la couleur des pigments réagit à différentes plages de température.

En général, les pigments pour peintures deviennent plus solubles à haute température, ce qui explique le risque d'ombres.

➤ Résistance à la lumière (Light fastness)

La lumière est un élément qui affecte le comportement des pigments dans un revêtement. Certains pigments inorganiques ne varient pas à l'exposition à la lumière, mais la plupart des pigments, et en particulier les pigments organiques, peuvent s'assombrir ou perdre complètement leurs couleurs.

➤ Opacité ou pouvoir couvrant (Hiding power)

Le pouvoir couvrant est la capacité d'un revêtement pigmenté à cacher la surface sur laquelle il a été appliqué. Il dépend de la capacité du feuil à absorber et à diffuser la lumière.

➤ Critères de choix des pigments

- Eviter les peintures dont les pigments sont issus de la pétrochimie, leur fabrication génère une pollution importante.
- Eviter les pigments à base de métaux lourds comme le plomb, le zinc... car ils sont toxiques.
- Privilégier les pigments d'origine minérale (ex. craie : pigment blanc, terre de sienne, oxyde de fer, ocres) ou végétale (bleu de pastel, valériane, thé, oignon, ...) Leurs gisements sont inépuisables ou renouvelables. [21,22]

• **Le choix de la charge éventuelle**

La charge permet d'améliorer les caractéristiques techniques de la peinture (viscosité, densité, film brillant, etc.)

➤ Critère de choix :

- Privilégier les charges d'origines naturelles : acide salicylique, kaolin, poudre de marbre, craie, talc, dolomie,... [21]

• **Choix du solvant**

➤ Mesure de la viscosité

Ces déterminations sont réalisées sur des solutions de polymère soit à extrait sec soit à viscosité constante. Dans le premier cas, le pouvoir solvant sera d'autant plus grand

que la viscosité de la solution de polymère a extrait sec constant et faible ; dans le second cas, il sera d'autant plus grand que la quantité du polymère mise en solution pour obtenir une viscosité déterminée est importante.

➤ Paramètres de solubilité

Il est possible de prévoir le pouvoir solvant des polymères en utilisant comme grandeur le paramètre de solubilité ( $\delta$ ). Ce paramètre défini par la racine carrée de l'énergie de vaporisation par unité de volume, est significatif des forces d'attraction qui assure la cohésion du liquide.

➤ Volatilité des solvants

Si le paramètre de solubilité permet de choisir les mélanges de solvants compatibles avec le liant, il faut néanmoins prendre en compte leur volatilité, c'est-à-dire leur aptitude à s'évaporer avant que le feuil de peinture ou de vernis ne soit totalement sec. Ainsi, les solvants utilisés dans les peintures seront différents selon l'époque de leur utilisation. En hiver, compte tenu des conditions climatiques (basse température/forte hygrométrie), il faudra retenir de préférence des solvants plus volatils que ceux utilisés en période estivale.

➤ Notion point d'éclair

Le point d'éclair est la température minimale à laquelle un produit placé dans un vase clos doit être chauffé pour que les vapeurs émises s'enflamment au contact d'une flamme, et cela dans des conditions opératoires normalisées (NF EN 456 ou ISO 3679). Dans la norme internationale, le point d'éclair est corrigé à la pression atmosphérique de 101.3 Kpa (1013 mbar).

Deux types de méthodes sont recommandées par les diverses législations relatives soit au classement des préparations telles que les peintures soit à leur transport :

- La méthode d'équilibre dans un appareil de type sétaflash (normes ISO 3679 ou NF EN 456).
- La méthode en coupe fermée agitée et montée progressive de la température (normes ISO 1523 ou Afnor T 30-056). [14]

- **Le choix des additifs**

Ils permettent de donner des caractéristiques complémentaires aux peintures (fongicides, Epaississants, dispersant, fixateurs, anti-UV, ignifuge, etc.) : stabilité, homogénéité, antigel, etc.

- Conseil

- Privilégier des peintures sans additifs.
- Exclure les peintures contenant plus de 1% d'additifs. [21]

### **I.2.7.Fabrication des peintures**

Avant le début de la production, chaque peinture possède une formule unique développée en laboratoire. Au cours de cette phase de développement, les aspects qualitatifs de la peinture sont testés de manière approfondie. Le laboratoire est également chargé d'inspecter les matières premières avant leur entrée dans le produit et de contrôler la qualité pendant le processus de production.

- **Pesée des matières premières**

La première étape consiste à prendre les poids exacts des ingrédients préalablement choisis après avoir testé les matériaux choisis au laboratoire. L'entrepôt central stocke toutes les matières premières sèches. Cela comprend des pigments et des diluants, ainsi que des liants. Au début du processus de production, les matières premières sèches sont pesées au gramme près et préparées pour le transport vers le département de prémélange qui stocke les liants liquides et les additifs. La quantité correcte est prélevée, après les matières premières sèches pesées sont ajoutées.

- **Dispersion**

Les pigments sont insolubles dans le liant. Les particules solides des pulvérulents doivent être dispersées dans le milieu liquide c'est-à-dire que les agglomérats doivent être brisés afin d'obtenir de plus fines particules. Cette dispersion s'effectue en deux étapes : d'abord par pré mélange avec un mélangeur, puis la finesse finale est déterminée avec un broyeur triple cylindres.

- Pré mélange : Cette étape consiste à mélanger tous les ingrédients ensemble afin d'obtenir un produit homogène.

- Broyage : Dans le broyeur à trois cylindres, les amas de pigments sont ensuite broyés jusqu'à la finesse souhaitée. Au cours de ce processus, les particules de pigment ne doivent pas être endommagées car cela pourrait entraîner un changement de couleur.

- **Ajustement et contrôle**

La peinture ainsi fabriquée doit répondre à certaines caractéristiques définies par le formulateur. L'objectif de cette étape est de tester les caractéristiques du produit obtenu (viscosité, densité ...) et de procéder, si nécessaire, à certains ajustements avant la filtration puis le conditionnement.

- Contrôle de finesse : La distance entre les rouleaux détermine la finesse de la mouture. Ce processus est répété cinq fois au maximum. Plus la mouture est fine, plus le pouvoir colorant de la peinture est élevé.
- Contrôle des couleurs : La nouvelle couleur est maintenant comparée à la couleur standard. Les deux sont appliqués en couche épaisse et en couche fine afin que le ton de masse et la nuance de la couleur soient visibles. Il ne doit pas y avoir de différence entre la nouvelle couleur et la couleur standard.
- Contrôle de stabilité : Afin de garantir que seuls des produits de qualité sont vendus, chaque lot est laissé au repos pendant un certain temps afin d'en vérifier la stabilité. Après cette période, un autre contrôle en laboratoire est effectué et, après approbation, la peinture est versée dans des conteneurs.

- **Filtration**

Selon l'utilisation du produit le type de filtration est choisi, le rôle de cette étape est d'éliminer les impuretés.

- **Conditionnement**

Après avoir confirmé que la peinture est adaptée à son utilisation, elle passe à l'étape de conditionnement où elle sera mise en pots puis stockée dans des conditions appropriées. [23,24,25]

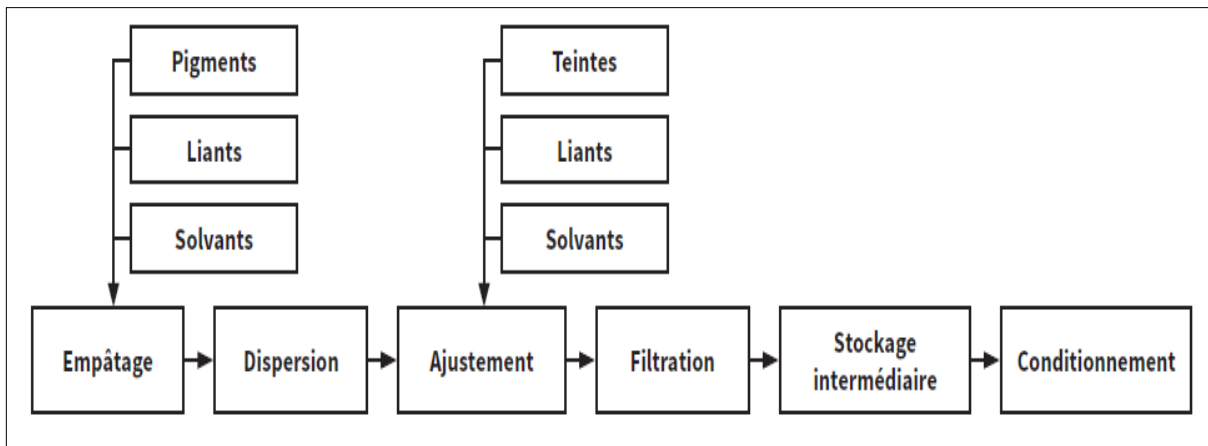


Figure I.5 : Procédé de fabrication de la peinture [19].

### I.2.8. Domaines d'application des peintures

Les fonctions essentielles des peintures et des vernis sont la protection et la décoration du support. Le rôle protecteur est souvent primordial, que ce soit la protection contre la corrosion des structures et objets métalliques, la protection contre les intempéries des matériaux de construction, la protection des bois contre la dégradation photochimique et biologique. La peinture est appliquée presque dans tous les domaines et les secteurs :

- **Peinture de protection**
  - **Protection contre la corrosion** : la peinture anti-rouille est un système de peinture liquide qui contient un additif anti-rouille, pour protéger les structures en acier de la corrosion. Elle est parfaite pour les tuyaux métalliques, le portail, les grilles de défense ou autre support métallique.
  - **Protection des produits industriels** : ces peintures sont largement utilisées dans l'automobile, l'aéronautique, l'électroménager, l'ameublement... Elles protègent les surfaces contre les agressions mécaniques, chimiques, biologiques, les rayonnements... durant toute leur vie
  - **Protection des infrastructures techniques** : par des revêtements spécifiques qui garantissent leur robustesse et longévité : les réservoirs, les conteneurs et les pipelines, ... [3,26]

- **Peinture décorative**
  - **Peinture murale** : est très souvent de la peinture acrylique, ou peinture en phase aqueuse. Sans odeurs, bon pouvoir couvrant et nettoyage à l'eau, sont ses principales caractéristiques. Elles peuvent être bicouche ou monocouche.
  - **Peinture à effets** : Ces peintures ont deux avantages : couvrantes et épaisses. Les peintures à effets masquent les défauts des murs abîmés et inégaux, cela évite un gros travail de lissage et en plus elles décorent. On retrouve les peintures sablées, les enduits à cirer, les effets béton, les tadelakt, mais aussi les effets nacrés pailletés ou métallisés. [26,28]
- **Peintures spécialisées**
  - **Peinture anti feu** : limite la propagation de la flamme en cas d'incendie.
  - **Peinture marine antisalissure** : évite le développement d'organismes sur la coque des bâtiments.
  - **Peinture de signalisation** : attire l'attention sur des objets ou des zones importantes sur le plan de la sécurité.
  - **Revêtement antidérapant** : évite les accidents et assure la sécurité dans le milieu de travail.
  - **Peinture anti microbienne** : évite la prolifération d'organismes pathogènes sur les surfaces en milieu hospitalier ou dans les industries agro-alimentaires. [5,27]



Figure I.6 : peinture de protection [27].

### I.3. Les vernis

#### I.3.1. Définition du vernis

Un vernis peut se définir comme un matériau macromoléculaire, sa formulation non pigmentée, se caractérise par un liquide plus ou moins visqueux en fonction du choix du liant. Le vernis est une dissolution d'un corps solide dans un liquide. Ce dernier, il disparaît par évaporation ou se transforme lui-même totalement ou en partie en matière solide, laquelle constitue le produit formant le brillant recherché. D'une façon générale le vernis se compose d'une gomme, d'une résine ou d'une matière résineuse dissoute dans un liquide.

Il s'applique sur une surface dans un but esthétique pour un aspect mat, brillant ou satiné, et pour une raison protectrice contre les rayons ultraviolets, l'humidité, l'abrasion ou la poussière. De plus il s'adapte à l'intérieur comme à l'extérieur.

Il doit ainsi résister aux conditions météorologiques les plus difficiles comme une atmosphère urbaine, industrielle ou marine, les intempéries, l'humidité ... Il peut également recouvrir tout type de métaux ferreux ou non ferreux. [29,30]



Figure I.7 : Le vernis [48].

#### I.3.2. Historique des vernis

L'histoire des vernis remonte à des milliers d'années. Il y a 4 500 ans, les Égyptiens utilisaient des systèmes de vernis à base d'huile de lin et de résines végétales, et ils

avaient également synthétisé des pigments (le bleu égyptien, un verre broyé après sa formation dans un four).

Le plus ancien vernis existant est celui des caisses de momies en bois provenant d'Égypte. Il date probablement de deux mille cinq cents ans. La seule analyse chimique publiée à ce sujet a été réalisée par le professeur J. F. John, de Berlin, vers 1822. Il a constaté que ce vernis est insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool, et formait un précipité gommeux en diluant la solution alcoolique avec de l'eau. Il a conclu qu'il s'agissait d'un composé de résine avec de l'huile, mais peut-être c'est une solution de résine dans une huile essentielle, comme l'huile de cèdre, qui est à peu près la même que l'huile de térébenthine. [31,32,33]

Au VI<sup>ème</sup> siècle avant Jésus-Christ les grecs furent les premiers à avoir l'idée de recouvrir la peinture d'un vernis brillant pour la protéger de la poussière et des intempéries. Les liants de ces vernis étaient à base d'œuf ou de cires. Ils utilisaient également le vernis pour protéger le bois de leurs bateaux contre l'effet corrosif du sel marin (une sorte de calfeutrage). [1]

La seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle a vu l'apparition de la peinture à base d'huile ainsi que du vernis, ces deux derniers étant obtenus par cuisson d'huiles avec de la résine. La première moitié du XX<sup>e</sup> siècle est également connue comme l'ère des matières plastiques et des résines synthétiques, les résines thermodurcissables ont été synthétisées par polycondensation du phénol et du formol en plus de la synthèse des résines glycérophthaliques. Dans les années 1950, l'époxy était utilisé comme revêtement intérieur pour les boîtes de conserve. Afin de prolonger la durée de conservation des produits. L'industrie des vernis continue de se développer et ses domaines d'utilisation se diversifient on a par exemple le vernis béton qui a évolué au cours des années 1970 jusqu'aux années 2000 Cette période des 1970 au 1980 est marquée par la découverte des vernis à base de résine acrylique et polyuréthanes, réputés pour leur excellente résistance aux UV, à l'humidité et aux taches, ainsi que pour leur utilisation dans la décoration des surfaces en béton. Durant la période de 1990 à 2000, et conformément aux normes de protection de l'environnement, les

verniss en phase aqueuse étaient privilégiés par rapport aux verniss solvantés du à leur facilité d'application et de leur temps de séchage réduit. [1,34]

À partir de l'année 2010 jusqu'à aujourd'hui, cette période a vu la découverte de verniss spécialisés. Avec de nouvelles formulations intégrant des nanoparticules ou des additifs fonctionnels, ces derniers sont adaptés à des applications spécifiques offrant des propriétés et caractéristiques modernes telles que l'auto-nettoyage... [35]

### I.3.3. La composition du verniss

En général, un verniss est une combinaison d'une huile siccativ, d'une résine et d'un diluant ou d'un solvant, qui réagissent entre eux. Après application, les substances filmogènes des verniss durcissent après séchage et donne une finition durable. Chaque constituant joue un rôle important dans la formulation du verniss.

- **La résine**

La résine est un produit polymère qui représente l'essentiel du verniss en quantité de matière. Son rôle est de former un film protecteur solide transparent. Selon le type de résine choisi on peut déterminer les propriétés du verniss. Il existe des résines d'origine naturelle et synthétique. Parmi les résines naturelles utilisées pour le verniss, on trouve l'ambre, la gomme kauri, le dammar, le copal, la colophane (colophane ou résine de pin), la sandaraque, le baume, l'élémi, le mastic et la gomme laque, et pour les résines synthétiques on a l'acrylique, l'alkyl ou le polyuréthane. En fonction des résines choisies dans la formulation du verniss, de leur degré de réticulation, on aboutit aux propriétés effectivement recherchées. [36,37]



Figure I.8 : La résine de pin [44].

- **Le solvant**

Les solvants sont des substances liquides volatiles responsables de la dissolution des autres composants. Ils sont des constituants temporaires qui disparaissent par évaporation lors du séchage du vernis. Ils permettent d'ajuster la viscosité du vernis en fonction des moyens d'application. Les solvants peuvent être d'origine naturelle ou synthétique. Parmi les solvants naturels on a la térébenthine et l'alcool. Quant aux solvants synthétiques issus principalement de la distillation du pétrole on a : le white spirit. [37,40]

- **Les huiles siccatives**

Ce sont des huiles utilisées comme liants de peinture ou de vernis car elle se transforme de l'état liquide à l'état solide après le séchage. Ces huiles contiennent des niveaux élevés d'acides gras polyinsaturés. Le séchage est garanti par des réactions complexes d'oxydation entre la partie polyinsaturée de l'huile et l'oxygène de l'air. En termes de temps de séchage il est préférable de choisir des huiles siccatives bouillies ou partiellement polymérisé car ils ont un temps de séchage inférieur à 24 heures, contrairement aux huiles brutes ou non traités qui peuvent prendre des semaines pour sécher. Il existe une variété d'huiles siccatives, notamment : l'huile de lin, l'huile de tung et l'huile de noix. [38,39,40]



**Figure I.9** : L'huile de noix [39].

- **Les additifs**

Le rôle des additifs est de fournir des propriétés spécifiques complémentaires aux vernis, ils sont ajoutés en petites quantités aux vernis, ces derniers ne participent pas à la réticulation. Il existe plusieurs types d'additifs, on trouve :

- **Les Siccatifs** : sont des agents de séchage, utilisés pour accélérer le processus de séchage du vernis. On trouve différents types de siccatifs comme La litharge, le plomb, l'acétate et le cuivre blanc.
- **Les agents d'étalement** : stabilisent la viscosité du vernis et limitent sa coulure.
- **Les agents de protection** : notamment les absorbeurs UV ou les anti UV qui grâce à leur structure ont la capacité d'absorber les rayons électromagnétiques dont la longueur d'onde est située dans la zone du proche UV.
- **Les anti oxydants** : ils inhibent les réactions d'oxydations, et prolongent la durabilité du revêtement. [36,41,42]

### I.3.4. Les types de vernis

La classification des vernis est basée sur le type du solvant utilisé dans la formulation, les vernis sont généralement regroupés en deux familles : les vernis à base d'eau et les vernis à base de solvants. Les vernis à base d'eau sont réputés par leur excellente stabilisation finale, ils sont formulés en utilisant l'eau comme diluant. Les vernis à base de solvant sont caractérisés par leur résistance élevée aux dommages mécaniques, ils sont formulés à partir des solvants.

#### I.3.4.1. Les vernis à base d'eau

##### ➤ **Le vernis acrylique**

Les vernis acryliques sont des vernis fabriqués à partir des polymères acryliques, ils sont moins toxiques et ils se présentent sous forme de film transparent et flexibles après le séchage, ces vernis ont une bonne résistance à l'abrasion, aux produits chimiques, à l'eau et aux rayons UV. [38,40]

##### ➤ **Le vernis polyuréthane**

Ce sont des vernis formulés à partir du polyuréthane ils peuvent être mono-composant ou bi-composant, ils sont caractérisé par leur résistance aux changements de température, à l'humidité et aux dommages mécaniques. En plus, après le séchage ils forment des revêtements durables. [38,43]

➤ **Le vernis polyuréthane-acrylique**

Ce type de vernis est une combinaison de deux types de polymères, l'acrylique et le polyuréthane. Les propriétés de ce vernis sont déterminées en fonction des proportions des deux composants, les vernis contenant plus de polyuréthane sont plus durs. Des durcisseurs peuvent être ajoutés pour améliorer la résistance mécanique et la résistance à l'abrasion. [43]

### I.3.4.2. Les vernis à base de solvant

➤ **Le vernis polyuréthane à base de solvant**

Les vernis polyuréthane à base de solvants peuvent être mono-composants ou bi-composants. Le séchage et le durcissement des vernis mono-composants sont garantis par l'humidité dans l'air, par contre, le séchage des vernis bi-composants se fait en deux étapes, la première consiste à l'évaporation du solvant et la deuxième étape consiste en un séchage chimique qui garantit le durcissement du vernis. Ces vernis sont caractérisés par leur flexibilité, résistance à l'humidité. En plus, ils offrent plusieurs finitions du satiné au brillant, mais ils ont une toxicité élevée. [43]

➤ **Le vernis à l'alcool**

Appelés aussi vernis spirit ils sont fabriquées à partir des résines naturelles ou synthétiques dissoutes dans l'alcool. La fonction de l'alcool étant de faciliter l'opération mécanique d'étalement de la résine en un film mince d'épaisseur presque uniforme. Ils sont des vernis très Siccatifs, et forment des revêtements durs avec un effet de brillance. Ces vernis sont généralement transparents mais ils peuvent être pigmentés par l'ajout d'un pigment. Ils présentent l'inconvénient de leur faible résistance aux conditions atmosphériques. Les vernis à l'alcool ne s'appliquent pas pour les grands travaux de peinture, qui exigent des vernis beaucoup plus solides. Ils sont principalement utilisés dans la finition des meubles en bois, dans les industries diverses où l'on emploie le cuir, les papiers, et certains objets de métal. [29,32]

➤ **Le vernis à l'huile**

Les vernis gras sont ceux que l'on prépare avec une huile dite grasse, sont des solutions à base de solvants organiques, obtenues par combinaison d'huiles végétales comme l'huile de lin ou d'autres huiles siccatives, et de résines. Ils sèchent par

évaporation du solvant et oxydation de l'huile. Ces vernis sont les moins siccatifs de tous les types ; mais en revanche ce sont les plus solides et les plus durables. Ils sont vraiment propres pour les grands travaux de peinture, dans tous les ouvrages et en particulier ceux qui sont destinés à un usage entraînant l'usure, pour engrenages et de frottement, des changements de température, des effets de l'humidité atmosphérique. [29,32]

➤ **Le vernis à la térébenthine**

Ces vernis utilisent la térébenthine comme solvant dans lequel se dissolvent des résines molles telles que la gomme dammar, le mastic et des résines de type colophane. Ces vernis ont une couleur claire et sèchent rapidement. Cependant, ils ne sont pas aussi résistants et durables que les vernis à l'huile. [38,40]

➤ **Les laques de nitrocellulose**

Les laques de nitrocellulose ou les vernis nitrocellulosiques sont fabriqués à partir de la résine de nitrocellulose qui est obtenue à partir du coton et traitée avec de l'acide sulfurique ou nitrique, l'ajout d'autres composants est nécessaires pour la formulation de ces vernis, comme les résines polyester et alkyde qui offrent la dureté et la brillance au vernis, les additifs plastifiants sont utilisés pour augmenter la résistance à la température et à la lumière. [43]

### **I.3.5. Les propriétés physiques et mécaniques des vernis**

• **L'épaisseur du film**

L'épaisseur du film de vernis est une grandeur caractéristique importante qui peut être mesurée via des méthodes traditionnelles ; par pesée ou électriquement, comme elle peut être mesurée avec un appareil de mesure ultrasonique. La mesure est effectuée à trois reprises. [44]

• **L'adhérence**

L'adhérence du vernis est un paramètre important à vérifier. Selon la norme NF EN ISO 2409 elle est vérifiée par un test d'arrachement du ruban adhésif. Cette mesure est basée sur un kit de test d'adhérence (TQC). Un motif de vingt-cinq carrés identiques est créé à l'aide d'un peigne muni d'une lame, le ruban adhésif est ensuite appliqué

puis arraché à un angle de 180°. La zone divisée préalablement est évaluée visuellement. [44]

- **Souplesse**

Tester la souplesse du vernis c'est à dire tester l'ensemble (métal- vernis). Ce test est réalisée par l'application d'une déformation connue tout en apprécions la dégradation éventuelle du revêtement. [44]

- **Porosité**

La porosité du vernis est mesurée avec un proximètre électrique, la mesure est effectuée en mesurant l'intensité du courant, à tension continue constante, passant entre une électrode et le métal verni mis au contact d'un électrolyte. L'électrolyte peut être par exemple une solution de chlorure de sodium à 1 %. [44]

- **La couleur**

Le test de couleur est réalisé avec un spectrocromimètre, selon la norme ISO 2409. Les mesures sont réalisées à trois reprises. [44]

- **La brillance**

La mesure de la brillance du vernis est exprimée en UB (unité de brillance) et elle est mesurée avec un brillancemètre selon la norme NF EN ISO 281. [44]

- **Temps de séchage**

Le temps de séchage d'un vernis est la durée nécessaire pour que le vernis sèche totalement et laisse une surface sèche et dure. Plus il est court, plus le vernis est siccatif, ce qui est préférable pour une utilisation rapide et efficace. [45]

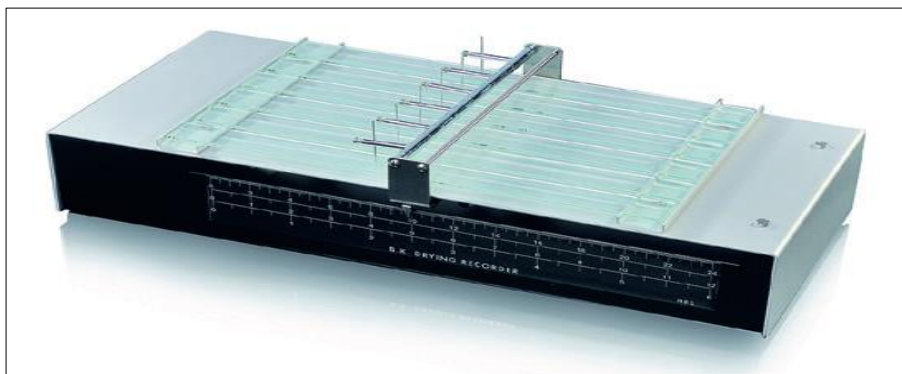


Figure I.10 : Enregistreur de temps de séchage [2].

- **Aspect et Uniformité du feuil**

Pour des raisons esthétiques et de protection, l'application du vernis doit être une surface régulière et homogène. Ce qui nécessite de l'appliquer par passes croisées. Une fois le vernis sec, Le film doit être lisse et de brillance uniforme, et présente une bonne adhérence au support, qu'il soit appliqué en couche mince ou épaisse, à la brosse, à la taloche, au rouleau ou au pistolet. [42,46]

- **Transparence**

Cet aspect est essentiel dans la consistance des vernis. La mise en valeur des bois, marbres ou décors dépend de la régularité de cette transparence. [42,46]

- **Dureté**

La dureté est demandée aux feuil des vernis destinés aux bancs et tables, aux rayonnages, aux rampes. La fine pellicule de vernis qui se forme après séchage sur la surface doit être résistante, dure et durable. La résistance à l'abrasion peut être obtenue Par le choix d'une résine de type époxy ou polyuréthane qui sèche est durcie complètement. [42,46]

- **Résistance aux intempéries**

C'est une caractéristique essentielle des vernis, La couleur naturelle du vernis ne doit pas s'estomper lorsque la surface vernie est exposée aux intempéries, le film ne doit pas présenter des fissures après séchage, et il doit résister au changement de température, l'humidité, et le rayonnement ultraviolet. [42,46]

- **Résistance aux produits chimiques**

- **Résistance à une solution de soude (ISO 2814-4)**

Ce teste consiste à tester la résistance a une solution de soude a 5% en appliquant la solution goutte à goutte toutes les 1 à 2 secondes, pendant 10 minutes, à l'aide d'une burette. [45]

- **Résistance à l'acétone (adaptation ISO 2814-4)**

Ce test consiste à évaluer la résistance à l'acétone, en appliquant une goutte d'acétone sur le film de vernis et la laisser 10 secondes puis la retirer à l'aide d'un papier

absorbant. L'évaluation est faite visuellement et le résultat est noté de 0 à 5, la note 0 signifie que le film de vernis n'est pas attaqué par le solvant. [45]

### **I.3.6.Fabrication des vernis**

Faire un vernis, c'est obtenir un fluide transparent, en divisant les molécules résineuses dans un liquide approprié, de sorte qu'après l'évaporation de ce solvant, ces molécules puissent reprendre leur couleur, éclat, solidité, etc., formant à la surface des corps sur lesquels on les applique une couche transparente.

La fabrication d'un vernis implique le mélange de divers ingrédients tels que des résines, des diluants et des huiles siccatives, et des additifs choisis selon les propriétés spécifiques du vernis que l'on souhaite obtenir.

- **Choix des matières premières**

Le type de vernis fabriqué dépend de la sélection des matières premières avec des proportions précises, comme :

- **Les résines** : on peut choisir des résines naturelles ou synthétiques qui déterminent la transparence et la dureté du vernis.
- **Les solvants** : ils déterminent le temps de séchage et la résistance des vernis.

- **Préparation de la résine**

Les résines ne sont pas toujours solubles directement dans le solvant ; on est obligé alors de les fondre à feu nu, dans une bassine pour obtenir un état liquide. Cette opération de fusion est très sensible ; si on n'ajuste pas la chaleur nécessaire, et qu'on la dépasse, on peut altérer la matière et entraîner une coloration plus ou moins foncée.

- **Dissolution des résines**

On mélange les résines à l'état liquide avec le dissolvant, ce procédé est le plus délicat, car il conduit aux plus graves échecs dans ce travail, soit la détérioration des résines ou celle des vernis.

- **Homogénéisation**

Une fois que la résine est dissoute dans le solvant, on ajoute les autres composants, les huiles siccatives et les diluants et les additifs selon les besoins, on les mélange dans un mélangeur pour assurer l'homogénéisation des composants.

- **Cuisson**

Cette étape est nécessaire dans certains types de vernis, elle est réalisée dans un réacteur équipé inerte de systèmes d'agitation et de chauffage, elle dure de 4 à 16 heures à des températures comprises entre 93 et 340°C.

- **Filtration**

Le mélange obtenu est filtré pour éliminer les impuretés et les boues.

- **Évaluation des propriétés**

Les vernis doivent subir un essai avant d'être livrés au commerce, et les essais les plus simples et faciles, consistent à vérifier que le vernis reste transparent après évaporation, ne se gerce ni ne se fendille.

Sur une plaque de tôle ou de bois bien sec, on étend le plus également possible une couche de vernis. On laisse la plaque dans un local bien à l'abri de la poussière, à une température moyenne, en évitant le froid ou une trop grande chaleur, jusqu'à ce que le vernis soit bien sec, afin de vérifier la transparence, la résistance et l'adhérence. On place alors la plaque à l'air, sur un mur exposé au soleil, en plein midi. Cette épreuve est importante pour évaluer la qualité des vernis, car ceux qui ne sont pas de qualité irréprochable ne tardent pas à se fendiller, à se cloquer le plus tôt possible.

- **Conditionnement et emballage**

Après l'évaluation des propriétés, Le liquide visqueux obtenu est versé dans les boites, ensuite il est conditionné dans la machine de fermeture des couvercles et les étiqueteuses indiquant les propriétés du vernis. [29,45,47]

### **I.3.7. Domaines d'application des vernis**

Les vernis sont appliqués dans plusieurs domaines, et sur différentes surfaces. La décoration ou la protection des objets sont les domaines les plus connus. En général, les utilisations des vernis dépendent de leur composition et leurs caractéristiques.

- **Vernis de décoration**

Ce type de vernis sert à embellir et améliorer l'esthétique des pièces vernies. Le vernis met en valeur la beauté des boiseries comme il peut s'appliquer aussi sur le béton et les pièces métalliques pour les fournir un joli aspect décoratif. On les utilise :

- Pour les retouches. Ils sont utilisés comme vernis de retouche pour éliminer les zones mates dues à l'absorption, et faciliter l'adhérence de la peinture fraîche sur les couches sèches.
- Comme vernis final : appliqué en couche de finition en remplissant deux fonctions essentielles : l'une est technique et l'autre esthétique. [29,33,48]

- **Vernis de protection**

Les vernis de protection sont utilisés pour protéger les matériaux contre différents dommages dues au temps ou au milieu environnant. Les vernis protecteurs servent aussi à protéger les surfaces imprimées. Ils sont utilisés pour plusieurs raisons :

- Protection contre les UV et les dégâts des eaux qui peuvent entraîner la décoloration, la déformation... Ces vernis sont conçus pour résister aux effets néfastes des UV et de l'eau.
- Protection contre la corrosion, et le tartre et restaurer les tubes d'équipements d'échange thermique, il consiste à appliquer un revêtement polymère sur la surface interne des tubes.
- Protection des matériaux de construction tels que le bois, le métal et le béton, contre l'usure. Cette protection permet de prévenir les dommages causés par les rayures, les bosses et autres usures qui peuvent survenir au fil du temps. [29,33,48]

- **Vernis spécifiques**

Ces vernis confèrent des propriétés supplémentaires et distinctives aux matériaux sur lesquels ils sont appliqués, on a par exemple, un vernis isolant pour contrôler le degré d'absorption et la couleur du support, aussi les vernis intumescents qui ont pour but de protéger les surfaces contre les incendies par la formation d'une couche isolante qui retarde la propagation du feu. [49]

## **I.4. Les méthodes d'application des peintures et des vernis**

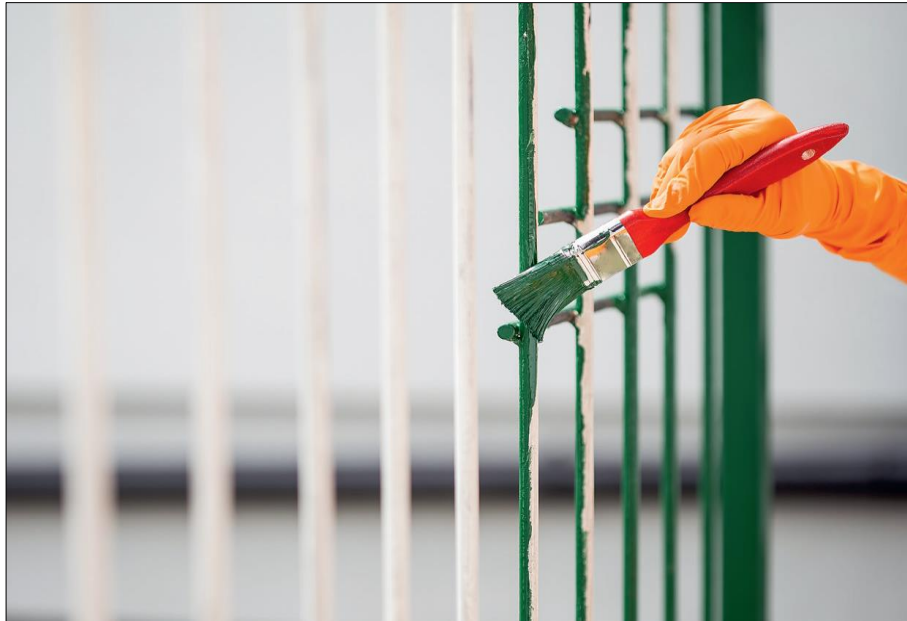
Les moyens d'application ont une incidence sur la mise en œuvre selon les règles de l'art et sur les résultats obtenus. Les peintures peuvent être appliquées par différents moyens, par pulvérisation ou manuellement. Il est important de se reporter à la fiche technique du fabricant pour connaître lesquels sont appropriés par rapport au type de peinture et quelles sont les précautions nécessaires à une bonne application (dilution, pression, type de buses, ...). [52]

### **I.4.1. Application manuelle**

À l'aide des pinceaux ou des rouleaux. Le principe de cette méthode est d'effectuer des passages réguliers et lisses dans un sens et parallèle au côté le plus long de la surface à couvrir. Elle dépend de la consistance de la peinture, la peinture doit avoir la viscosité qui convient pour pouvoir bien couvrir la surface à peindre, une peinture fluide va entraîner une mauvaise couverture de la surface, et une peinture épaisse va entraîner des difficultés lors de l'application, sans une consistance appropriée de la peinture les traces du pinceau persisteront probablement une fois l'application est terminée.

Les peintures peuvent être appliqués aussi à l'aide de : Couteaux ; lames à enduire ; taloches ; spatules et platoirs : Les produits épais ne peuvent pas être appliqués à la brosse. On utilise alors une lame métallique, généralement en acier, souple et fine. Pour les produits plus épais, on emploie les taloches et platoirs. Les spatules crantées ou non, servent à appliquer les colles et les produits épais pour sols.

Les méthodes d'application manuelles confèrent aux zones difficiles d'accès et aussi pour recouvrir les pièces réparées, cette méthode n'offre pas des finitions parfaites et pour cette raison elle n'est pas utilisée pour les finitions décoratives. [50,51,53,17]



**Figure I.11** : Application au pinceau de la peinture [2].

#### **I.4.2. Le trempage**

Cette technique consiste en l'immersion complète des pièces dans un réservoir puis de les suspendre jusqu'à ce qu'elles sèchent, il existe deux types de trempage : l'enduction lente par trempage ce type consiste à immerger le support à peindre dans un bain contenant le revêtement maintenu à haute viscosité ensuite de l'extraire du bain à une vitesse lent et régulée. Cette technique fournit un film uniforme d'une grande épaisseur et sans fissures ou accumulation.

Le deuxième type de trempage L'enduction standard par trempage consiste à plonger le support à peindre dans un bain contenant le revêtement mais a une viscosité plus faible par rapport à l'autre type de trempage et d'enlever le support du bain immédiatement et d'éliminer l'excès de peinture avant le séchage. La technique de trempage a l'avantage de recouvrir les pièces complètement mais la finition n'est pas de haute qualité à cause de la méthode de séchage. [50,51]

#### **I.4.3. Application mécanique (par pulvérisation)**

Les pistolets à peinture pulvérisent la peinture sous forme de fines particules, ce qui permet une application rapide et uniforme sur de grandes surfaces. Ils sont couramment utilisés pour peindre des meubles, des portes, des clôtures et des surfaces extérieures. L'application au pistolet est la méthode la plus utilisée et englobe divers équipements alternatifs et autres méthodes. [53]



Figure I.12 : Application du vernis par pulvérisation [48].

- **Pistolets pneumatiques conventionnels (basse pression)**

C'est le procédé le plus utilisé dans l'industrie. Il est bon marché, d'une mise en œuvre simple et adapté à toutes les pièces de toutes dimensions. C'est l'application peinture du carrossier automobile. La finition est excellente mais le rendement faible (30 à 50%). La pulvérisation est obtenue par projection de la peinture à travers un orifice, la buse, grâce à un flux d'air comprimé. L'alimentation du pistolet peut se faire : soit par gravité avec un godet fixé au-dessus du pistolet, ou par aspiration en utilisant un godet fixé sous le pistolet, ou par pression, le pistolet est alors alimenté grâce à une pompe ou un pot sous pression. [52,54]

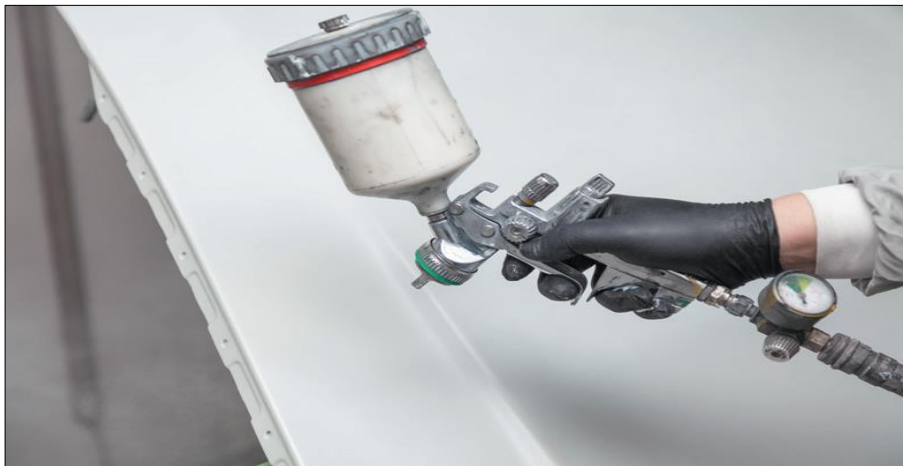


Figure I.13 : Pistolets pneumatiques conventionnels [52].

- **Les pistolets à peinture haut volume basse pression (HVLP)**

HVLP (High Volume Low Pressure = Haut Volume Basse Pression) est un procédé provenant de la pulvérisation conventionnelle haute pression. L'objectif est d'augmenter le taux de transfert (environ à 65%) en réduisant le brouillard de

pulvérisation. Le pistolet est alimenté en produit de la même manière que le pistolet classique. La pression d'air à la sortie du pistolet s'élève à 0,7 bar au maximum, ce qui permet d'atteindre un taux de transmission sensiblement supérieur à 80%. Très faible brouillard de pulvérisation et bon résultat de finition. Un volume d'air plus élevé est nécessaire pour la pulvérisation. [54,55]

- **Pistolet airless**

Comme son nom l'indique il s'agit d'un procédé sans air. C'est le procédé qui est utilisé sur les chantiers de peinture (pont, stades, structures pétrolières...) en atelier et en automatique. Ce pistolet ne requiert pas d'air, l'énergie de pulvérisation est alimentée par une pompe haute pression (entre 80 et 480 bars). Cette méthode est généralement utilisée pour l'application rapide d'un revêtement sur une grande surface et / ou d'une couche épaisse avec un nombre réduit de passes. [52]



**Figure I.14 :** Pistolets airless [52].

- **Pistolets Airmix**

L'application Air Assisté, également connu par la marque AIRMIX. La pulvérisation est obtenue par le passage de la peinture à moyenne pression, de 35 à 120 bars, à travers un orifice et par l'adjonction d'air comprimé à la sortie de cet orifice pour améliorer la forme et la qualité de l'atomisation. Cette méthode est intermédiaire entre le pistolet pneumatique et l'airless tout en étant plus proche du premier. Le taux de transfert est très supérieur à ce que l'on obtient en pulvérisation pneumatique conventionnelle (jusqu'à 80%). Ce mode d'application utilisé par exemple en aéronautique pour la mise en peinture des fuselages d'avion. [52,54]

## I.5. Les méthodes de séchage et de durcissement

Le séchage des peintures s'effectue par voie physique, c'est la voie la plus simple qui consiste à l'évaporation du solvant à température ambiante ou à température élevée. La peinture peut sécher aussi par voie chimique. Pour de nombreuses peintures, le film de peinture déposé subit une réaction chimique, en plus de l'évaporation des solvants, pour durcir complètement.

### I.5.1. Le séchage par voie physique

C'est la forme la plus simple qui s'accomplit entièrement par l'évaporation des solvants. L'évaporation du solvant ou de l'eau peut s'effectuer sans intervention à température ambiante ou bien à température élevée. Le séchage physique procède en deux étapes. D'abord l'eau commence à s'évaporer, rapprochant les particules du liant polymérisé (gouttelettes de résine). Lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres, elles coagulent ensemble (état de coalescence) en incorporant les pigments et les charges pour donner un film continu homogène et irréversible.

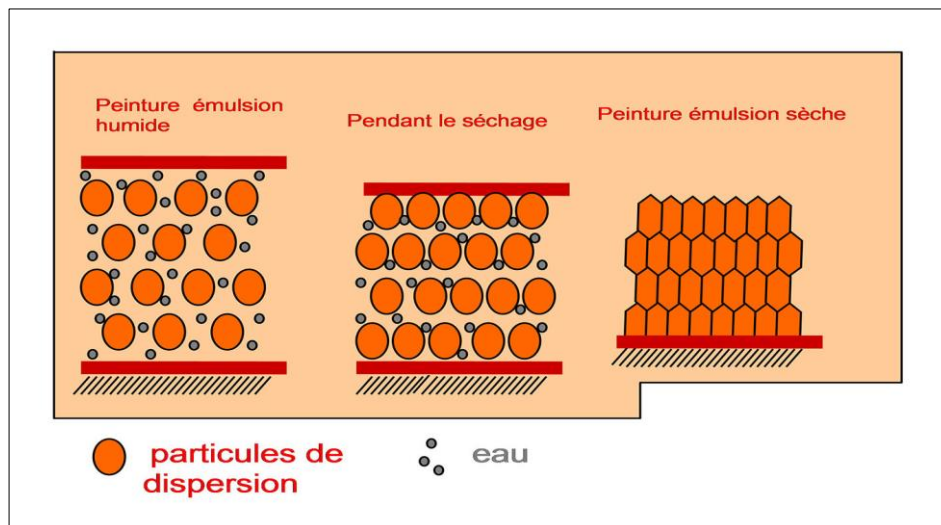


Figure I.15 : Processus de séchage physique des peintures [1].

### I.5.2. Le séchage par voie chimique

Le séchage de la peinture par voie chimique nécessite l'intervention des réactions chimiques comme la polymérisation et l'oxydation pour que le film de peinture soit sec. Ce type de séchage est destiné aux peintures bi-composantes en phase solvant.

- **Par oxydation**

Les peintures à l'huile qui retrouvent une certaine faveur, sèchent par oxydation du fait de leur teneur en acides gras non saturés qui réagissent naturellement avec l'oxygène

de l'air pour former des chaînes réticulées. Cette réaction est accélérée en présence des sels métalliques, dénommés siccatifs. Le film qui en résulte devient insoluble et résistant aux intempéries. Ce type de séchage se retrouve dans les peintures à base de résine d'alkyde.

- **Par polycondensation**

S'observe principalement lors du séchage des vernis durcissant à l'acide. Formulés avec des mélanges de résines aminformaldéhydes et des alkydes courtes en huile, ils sont catalysés par l'addition d'acide qui provoque leur durcissement en libérant de l'eau et du formaldéhyde à température ambiante. Ces vernis sont surtout utilisés pour le mobilier en bois et sont très résistants chimiquement et physiquement.

- **Par polymérisation**

Les résines non saturées s'associent en macromolécules résultant en couches de peinture à réticulation ramifiée, sèches et dures. La réticulation est amorcée par l'addition d'un catalyseur qui déclenche la réaction pour former des polyesters.

- **Par silification**

Cette forme ne se produit qu'avec les peintures au silicate. Le silicate de potassium réagit chimiquement avec les fonds minéraux auxquels il se lie par une lente transformation en fixant en même temps la pigmentation. La liaison chimique avec le fond minéral assure une excellente adhérence. Ce type de séchage résulte en un traitement non filmogène, remarquable par sa perméabilité à la vapeur d'eau, mais absorbant fortement l'eau de pluie, qui sera ultérieurement évaporée. [1,56]

## **I.6. Conclusion**

Le secteur des peintures et vernis a connu une évolution considérable, mais la formule de base de ces deux produits est restée inchangée. Les caractéristiques des composants et les différents types d'additifs ont été optimisés, conférant aux peintures et vernis des caractéristiques spécifiques et modernes. Cette évolution a également affecté les méthodes d'application de la peinture et du vernis ainsi que les techniques de séchage. Cette évolution a conduit à une multiplicité des domaines d'utilisation ainsi qu'à une facilité d'application aussi bien de la peinture que du vernis.

**Références bibliographiques**

- [1] : Carine LEFEVRE, Chimie et peintures artistiques ou fonctionnelles, Belgique, 2016
- [2] : Programme des Nations Unies pour l'environnement, Projet n° 9771 du Fonds pour l'environnement mondial : Meilleures pratiques mondiales concernant les nouvelles questions de politique générale préoccupantes au regard de l'Approche stratégique de la gestion internationale des produits chimiques, Directives techniques sur la reformulation des peintures au plomb, 2022, pages : 10,16.
- [3] : REVÊTEMENTS DE PROTECTION PAR PEINTURE, FICHE INFO TECHNIQUE N°004\_2023
- [4] : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/peintures/> consulté le : 05/02/2025 à : 21:20
- [5] : Dr. Aïda Rebaïa NADJI, polycopie de cours, PEINTURES ET VERNIS, UNIVERSITE 8 Mai 1945 GUELMA, 2014, pages : 11, 12,21, 22 ,24 ,25 ,29.
- [6] : <https://www.metaltop.fr/> Consulté le : 19/03/ 2025 à 23 : 31
- [7] : La chimie crée sa couleur... sur la palette du peintre, Bernard VALEUR, page : 1
- [8] : <https://www.cmesmat.fr/actualites-conseils/les-differents-types-de-peinture-utilises-en-peinture-industrielle> Consulté le : 08/02/ 2025 à 22 : 46
- [9] : Astuces décoration d'intérieur, Types de peinture, 12 décembre 2008
- [10] : <https://www.cpi-peinture.fr/les-differents-types-de-peintures-industrielles/> Consulté le : 08/02/ 2025 à 22 : 52
- [11] : La CPV et les propriétés du film de peinture Par Moufdi GHARBI, 2017, page : 2
- [12] : HAMZA Walid, Recherche de formule d'empattage –broyage des peintures permettant Une utilisation optimum des équipements et un meilleur rendement de la

Fabrication par la méthode de DANIEL, thèse de mémoire, UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA, 2017, page : 26.

[13] : <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26571902/temperature-de-transition-vitreuse> Consulté le : 12/02/2025 à 15 : 04

[14] : <https://fr.slideshare.net/slideshow/633523588-formulation-des-peintures-cours-2-pptx-pdf/270442934#2> Consulté le : 12/02/2025 à 17 : 53

[15] : <https://www.tainstruments.com/rheology-of-paints-and-coatings/?lang=fr>  
Consulté le : 11/02/2025 à 16 :02

[16] : <https://www.bernardoecenarro.com/fr/besa-lab/peinture-industrielle-types-caracteristiques/#:~:text=Propri%C3%A9t%C3%A9s%20de%20la%20peinture%20liquide,-Parmi%20les%20principales&text=Stabilit%C3%A9%3A%20la%20peinture%20doit%20avoir,indique%20la%20consistance%20du%20produit> Consulté le 13.02.2025 à 21 : 30

[17] : Lot Peinture – Dino VISSAULT & Yannick SCHERER, Université paris-Est.

[18] : Daniel JAQUIER et Ivan BORONAT, Les normes en peinture, Thecno GR.

[19] : LA REVUE DE L'ANTICO **LES RECETTES** DE LA « PEINTURE »,  
Juillet 2016

[20] : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/elaboration-des-formulations-42335210/formulation-des-peintures-j2270/>  
consulté le : 24/02/2025 à 13 : 53

[21] : Les étiquettes sans prise de tête – Les Peintures, article écoconso, édition 2010.

[22] : <https://www.quimidroga.com/fr/2021/12/09/comment-bien-choisir-les-pigments-pour-peinture/#:~:text=Les%20pigments%20pour%20peintures%20sont,depuis%20la%20nuit%20des%20temps> Consulté le 21/02/2025 à 17 :23

[23] : <https://www.royaltalens.com/fr/pages/processus-de-fabrication-de-la-peinture>

Consulté le : 22/03/2025 à 20 : 18

[24] : <https://mauvilac.com/actualites/processus-de-fabrication-des-peintures-mauvilac-on-vous-devoile-tout/> consulté le 06/03/2025 à 22 :23

[25] : G, GHANEM, Processus de fabrication de la peinture Production et contrôle de qualité, rapport de soutenance, université Akli Mohand Oulhadj –Bouira ,2021/2022, pages : 12, 13.

[26] : <https://www.cmesmat.fr/actualites-conseils/les-differentes-methodes-d-application-de-la-peinture-industrielle> Consulté le 23/02/2025 à 22 :05

[27] : <https://www.climatecoating.com/fr/domaines-dapplication/protection-des-monuments/> Consulté le 24/02/2025 à 21 :16

[28] : <https://www.manomano.fr/conseil/quelles-sont-les-differentes-peintures-6853>  
Consulté le 25.02.2025 à 14 :46

[29] : Romain, A, Nouveau manuel complet du fabricant de vernis de toute espèce, Nouvelle édition revue et augmentée, Encyclopédie-Roret, L. Mulo, Libraire-Éditeur, 1908.

[30] : <https://www.codeve.fr/content/312-definition-verniss-bois> Consulté le 09.03.2025 à 13 : 34

[31] : Journal of The Violin Society of America : Proceedings of the Twenty-Seventh Annual Convention. Vol. 10, No. 2, Washington DC, 1999. P 58.

[32] : Sabin ALVAH H. The Industrial and Artistic Technology of Paint and Varnish, 2<sup>nd</sup> ed, New York : John Wiley & Sons, Inc., 1917. P 7

[33] : García LOPEZ, A., & Armiñana TORMO, J. J. (n.d.). Procedimientos y técnicas pictóricas : thematic Unit N° 8 – Vanishes. P 3.

[34] : <https://epoxy-europe.eu/lang/fr/applications-2/emballage-alimentaire/> Consulté le : 09/03/2025 à 00 :39

[35] : [https://www.mariusarenti.com/ma-s-inside/levolution-du-verniss-beton-comment-ce-revetement-est-devenu-indispensable/?srsltid=AfmBOoquE\\_nds9ims0jU88zf-XHsSXb-V4\\_UPgB2I1eoSA\\_uqz1K9mqP](https://www.mariusarenti.com/ma-s-inside/levolution-du-verniss-beton-comment-ce-revetement-est-devenu-indispensable/?srsltid=AfmBOoquE_nds9ims0jU88zf-XHsSXb-V4_UPgB2I1eoSA_uqz1K9mqP) Consulté le : 10/03/2025 à 23 :48

[36] : PATRICIA BERTRAND-LAMBOTTE, Sur les mécanismes de rayure des vernis de finition automobile, Thèse de doctorat, Spécialité : mécanique, L'école centrale de Lyon, Année 2001, pages : 11,15

[37] : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/genie-industriel-th6/emballage-des-produits-alimentaires-et-autres-conditionnements-specifiques-42132210/revetements-interieurs-pour-emballages-metalliques-f1310/mise-en-uvre-des-verniss-f1310niv10003.html> Consulté le 18/03/2025 à 12 :19

[38] : <https://wecivilengineers.wordpress.com/2018/02/16/varnish-properties-its-components/> Consulté le : 12/03/2025 à 22 : 08

[39] : <https://www.kamapigment.com/produits-kama/huiles-siccatives> Consulté le : 22/03/2025 à 20 : 00

[40] : <https://testbook.com/civil-engineering/varnishes-definition-and-types> Consulté le : 15/03/2025 à 17 : 33

[41] : Dr Ali, Manolia A, Advanced Building Materials, Université al-Mustansiriyah

[42] : Dr Dhal, Ganesh C, Basic Constituents and Types of Paints and Varnishes, from SCRIBD <https://www.scribd.com/document/787901319/Basic-constituents-and-types-of-Paints-and-Varnishes>. Consulté le 13.03.2025 à 22:32

[43] : <https://www.products.pcc.eu/fr/k/peintures-et-verniss/> Consulté le : 25/02/2025 à 12 :00

[44] : Manon FRANCÈS, ÉTUDE DE LA MISE AU POINT D'UN VERNIS INDUSTRIEL À BASE DE COLOPHANE ET D'HUILE VÉGÉTALE, Thèse de doctorat, Spécialité : Polymères, L'UNIVERSITÉ DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR, 2019, pages : 64,65.

- [45] : J. MUKURARINDA and J. F. R. NISENGWE, Production and characterisation of varnish from polystyrene for the protection of banana leaves, Kigali Institute of Science and Technology, Kigali, Rwanda, 2011.
- [46] : Vissault, D., and Scherer, Y, Lot Peinture, Université Paris-Est.
- [47] : <https://www.chemicalprocessplants.com/turnkey-projects/paint-industry/varnish-production-plant/> Consulté le : 22/03/2025 à 20 : 00
- [48] : <https://housing.com/news/varnish/> Consulté le : 18/03/2025 à 20 : 34
- [49] : <https://www.lasure-prod.com/conseils/vernis-intumescent-pour-une-protection-ignifuge-des-bois-n21> Consulté le : 18/03/2025 à 20 : 46
- [50] : <https://www.spraysystems.com/the-different-types-of-paint-application-methods/> Consulté le 19/03/2025 à 20 :47
- [51] : Guide d'application et d'utilisation des peintures et revêtements de surface organiques et inorganiques, Edition 1, page : 4  
[https://indestructible.co.uk/wpcontent/uploads/2022/02/Guide\\_dapplication1.pdf](https://indestructible.co.uk/wpcontent/uploads/2022/02/Guide_dapplication1.pdf)  
Consulté le 07/02/2025 à 23 : 44
- [52] : MÉTHODES D'APPLICATION DE PEINTURE ANTICORROSION, FICHE INFO TECHNIQUE N°020\_2023.
- [53] : <https://sousa-peinture.ch/peinture/les-methodes-d-application-de-peinture/>  
Consulté le 22/03/2025 à 21 : 26
- [54] : Pascal THOBIE, Guide pratique pulvérisation de peinture, 24 septembre 2019.
- [55] : application mécanisée des peintures, 2013.
- [56] : MAURICE NERI, séchage des peintures, MAI 2008.

*Chapitre II*  
*Corrosion et méthodes de protection*

## II.1.Introduction

La corrosion est un phénomène qui touche tous les secteurs : l'industrie alimentaire, les raffineries..., ce phénomène engendre une dégradation des métaux qui résulte de l'agressivité du milieu ; des propriétés des métaux et d'autres facteurs. Les dommages causés par ce phénomène représente une véritable perte économique, ce qui nécessite la recherche des solutions efficaces afin de limiter ou de supprimer les conséquences de la corrosion.

## II.2.Origine de la corrosion

L'histoire de la corrosion accompagne celle de la métallurgie. Les premiers matériaux métalliques utilisés étaient les métaux nobles retrouvés dans la nature à l'état natif (or, argent, cuivre), puis des alliages facilement réalisables (bronze).

En 1830, c'est le point de départ de l'étude scientifique de la corrosion, constitué par le physicien de La Rive, un professeur à l'Université de Genève. Il signalait que plus le zinc était pur, plus sa résistance à l'action corrosive des solutions aqueuses d'acide sulfurique était élevée. Donc, en poussant la pureté des métaux à un degré très élevé. La théorie de la protection du fer par le zinc a été confirmée par Robert Mallette en 1840. Il a produit un alliage de zinc qui a été utilisé comme anode sacrificielle et qui a assuré une protection locale contre la corrosion galvanique. Les lois de l'électrochimie ont été énoncées par Michael Faraday.

En 1900, Nernst et Osvald ont énoncé leurs publications sur les potentiels d'électrode : "Passage d'un métal en solution. Lorsque l'on plonge un métal dans un électrolyte un certain nombre d'atomes métalliques passent dans la solution sous forme d'ions chargés positivement, et le métal prend une charge négative. Nernst suppose que ces ions possèdent une pression analogue à une pression osmotique".

En 1925, G.Delbart a montré l'influence des traitements thermiques sur la corrosion des aciers et des fontes. Vers 1930 U R. Evans découvrit que non seulement la présence des impuretés dans le métal cause la corrosion mais aussi l'aération différentielle. La marine canadienne en 1950 utilisait des peintures anti salissures résistantes à la corrosion afin de protéger les navires et réduire les coûts de maintenance.

Au cours des années 1950 et 1960, c'est l'apparition des diagrammes potentiel-pH, les diagrammes de Pourbaix. Cette époque a été accompagnée d'une forte augmentation de la littérature sur la corrosion, et de conférences traitant tous les aspects de la corrosion, Ainsi le développement de nouvelles techniques pour l'étude des réactions de corrosion et des produits de corrosion, une tendance qui s'est considérablement accélérée au cours des années 1970 et s'est poursuivie jusqu'à nos jours. [1, 2, 3, 4]

### II.3. Définition de la corrosion

En terme d'étymologie le mot « corrosion » prévient du mot latin « corroder », qui signifie ronger, attaquer et de façon très générale, C'est, en fait, le phénomène par lequel les métaux tendent à se revenir dans un état d'énergie plus faible c'est-à-dire thermodynamiquement plus stable. Les métaux traités se trouvent dans un état d'énergie plus élevé, c'est la raison pour laquelle ces métaux ont tendance à revenir à leur état d'énergie initial sous des formes plus stables telles que les oxydes, des sulfates, des carbonates ..., cela après interaction avec milieu corrosif ( eau, humidité, sels...). Au niveau international la corrosion a été définie selon la norme (ISO 8044 :2015) comme suit : une interaction physicochimique entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans les propriétés du métal et pouvant conduire à une dégradation significative de la fonction du métal, du milieu environnant ou du système technique dont ils font partie. [5, 6, 7, 8]

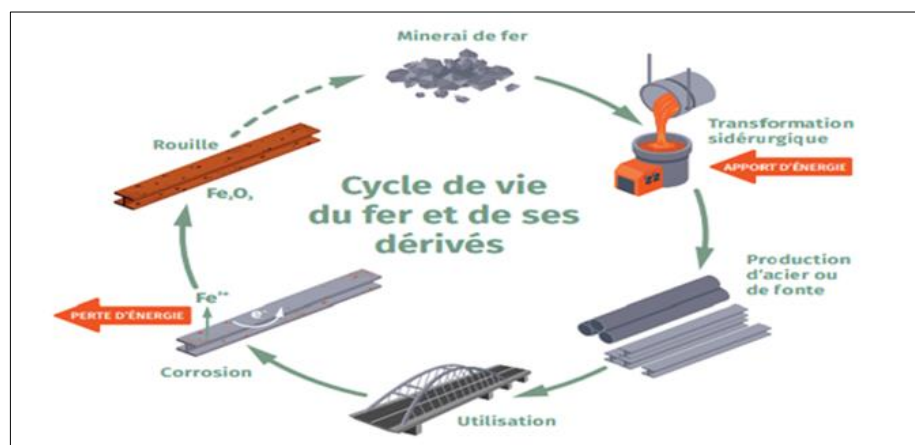


Figure II.1 : Cycle de vie de fer et de ses dérivés [40].

## II.4. Classification de la corrosion

La corrosion se produit via des réactions chimiques hétérogènes qui se produisent en phase liquide ou gazeuse. En général on peut résumer les différentes classes de la corrosion comme ci-dessous : [9, 10]

### II.4.1. La corrosion sèche

En absence d'électrolyte, le métal et les gaz interagissent en atmosphère sèche. Il s'agit d'une réaction chimique hétérogène directe entre une phase solide (le métal) et son environnement, qui implique une attaque chimique directe quand le métal est exposé à un gaz sec tels que :  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $SO_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ , les halogènes, l'humidité et les vapeurs d'acides inorganiques sur le métal.

Le cas le plus classique de la corrosion sèche est celui de l'oxydation par l'oxygène. On trouve la corrosion sèche dans tous les appareils qui fonctionnent à haute température, comme les chaudières, les fours de raffineries, les turbines à gaz.

L'augmentation des températures dans les appareils améliore souvent les rendements. Par contre, cette augmentation favorise l'interaction de différents alliages (fer, chrome, nickel et aluminium...) avec le milieu gazeux. Conduisant à des effets négatifs et même catastrophiques : la diminution du transfert de chaleur dans les installations, la présence de fissures entraînant la détérioration de l'équipement, etc... [11, 12, 13, 14]



**Figure II.2** : Corrosion sèche par les gaz acides due à la combustion du charbon [5].

### II.4.2. La corrosion humide

La corrosion humide ou aqueuse s'effectue dans un électrolyte, lorsque le métal ou l'alliage soit en contact avec un milieu aqueux, tels que : eau de mer, solution acides, atmosphère humide, le sol, le béton..., ce type de corrosion est dû à la présence d'hétérogénéités dans le métal ou la solution. Ce qui entraîne la formation de micropiles constituées de microanodes et microcathodes.

L'existence de cette hétérogénéité entraîne la formation d'une pile, alors un courant électrique circule entre anodes et cathodes, de ce fait la zone constituant l'anode (borne négative) de cette pile est corrodée. Les hétérogénéités dans le métal peuvent être des inclusions, des impuretés précipitées. La majeure cause des problèmes de corrosion est la corrosion électrochimique en raison de la présence d'eau en contact avec les métaux.

Ceci est également le cas pour la plupart des milieux liquides dans l'industrie, les pipelines, les réservoirs de stockage, et les structures métalliques exposées à l'humidité. Elle peut entraîner des défaillances mécaniques graves et des pertes économiques importantes. [15, 16, 13, 14]

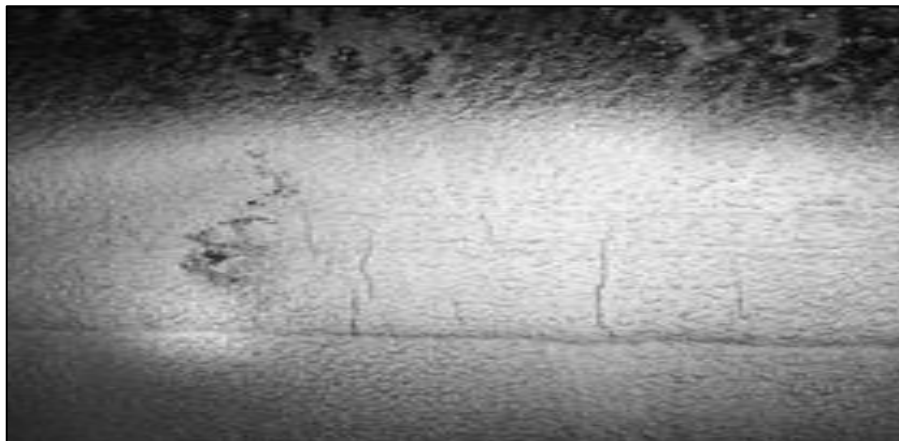


Figure II.3 : Corrosion par la soude sur une unité Merox d'épuration du LPG [41].

## II.5. Différents modes de corrosion

### II.5.1. La corrosion chimique

La corrosion chimique se déroule en absence d'électrolyte, le métal réagit avec une phase gazeuse ou liquide, dans le premier cas la corrosion est dite sèche. Ce type de

corrosion entraîne généralement la formation d'un film d'oxyde plus ou moins protecteur sur la surface du métal dans le cas où le film n'est pas protecteur et étanche le processus de corrosion va se poursuivre du a la pénétration de l'oxydant. La corrosion suivant le mode chimique se déroule dans le domaine atomique avec le milieu ambiant. [17, 18]

### II.5.2.La corrosion électrochimique

La corrosion électrochimique est due généralement à la présence d'hétérogénéités dans le métal ou dans le milieu. Ce phénomène se produit par la formation d'une pile électrochimique ou s'effectue des transferts électroniques entre le métal et la solution électrolytique à son contact. Les électrons cédés lors de l'oxydation du métal seront captés lors de la réaction de réduction de l'agent oxydant, le mode électrochimique de corrosion peut être schématisé comme suit : [18]

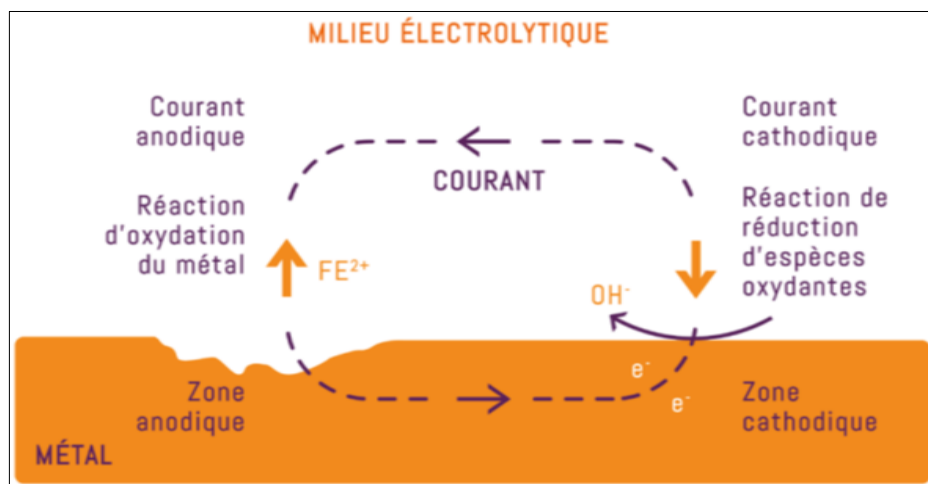


Figure II.4 : La corrosion électrochimique [19].

### II.5.3.La corrosion biologique

La corrosion biologique ou bactérienne, se produit sous l'influence des micro-organismes, quand le métal est en contact avec un milieu biologiquement actif. Ces micro-organismes dus à leur métabolisme entraînent la corrosion du métal en modifiant la physicochimie à l'interface métal – environnement (pH, concentration en oxygène, ...). [19]

### II.5.4. La corrosion associée à des effets mécaniques

Non seulement le milieu environnant du métal ou sa composition peut entraîner la corrosion, les différentes contraintes mécaniques appliquées sur les pièces métalliques peuvent aussi entraîner la dégradation du métal. [19, 20, 21, 22, 4]

- **Corrosion sous contrainte (C.S.C)**

C'est une fissuration du métal qui résulte de l'action commune d'une sollicitation mécanique (force de traction) et d'une réaction électrochimique. En absence de la contrainte, le phénomène ne se produit pas. La C.S.C se manifeste sous la forme de fissures qui peuvent être intergranulaires, ou transgranulaires.

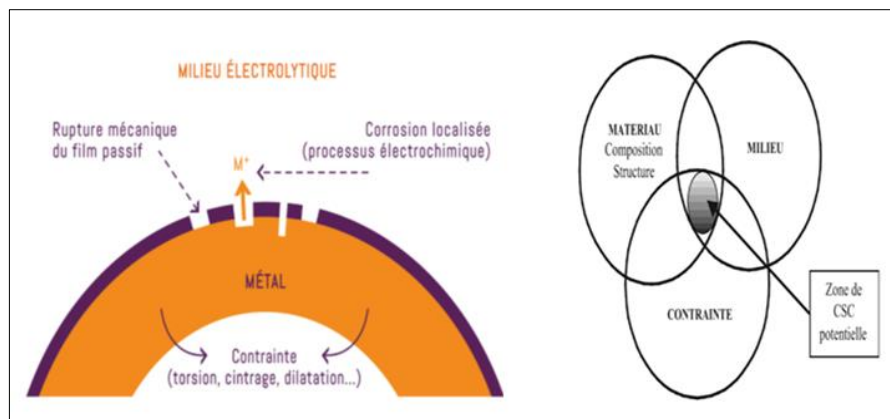


Figure II.5 : Corrosion sous contrainte [19,42].

- **Corrosion par érosion**

Elle est due à l'exposition du métal à un écoulement rapide associé (l'érosion physique) à la réaction électrochimique (la corrosion chimique) avec le milieu, entraînant un enlèvement mécanique de la matière, sous l'effet de l'impact de particules, de gouttelettes, ou sous l'action d'un écoulement turbulent au voisinage d'un défaut de surface, et conduit à un amincissement local qui revêt souvent l'aspect d'une piqûre allongée. Ce phénomène est favorisé par l'élimination continue des produits de corrosion sous l'effet de l'érosion du fluide en mouvement. Dans le cas des particules solides en suspension comme le sable, on appelle cette dégradation : corrosion – abrasion.

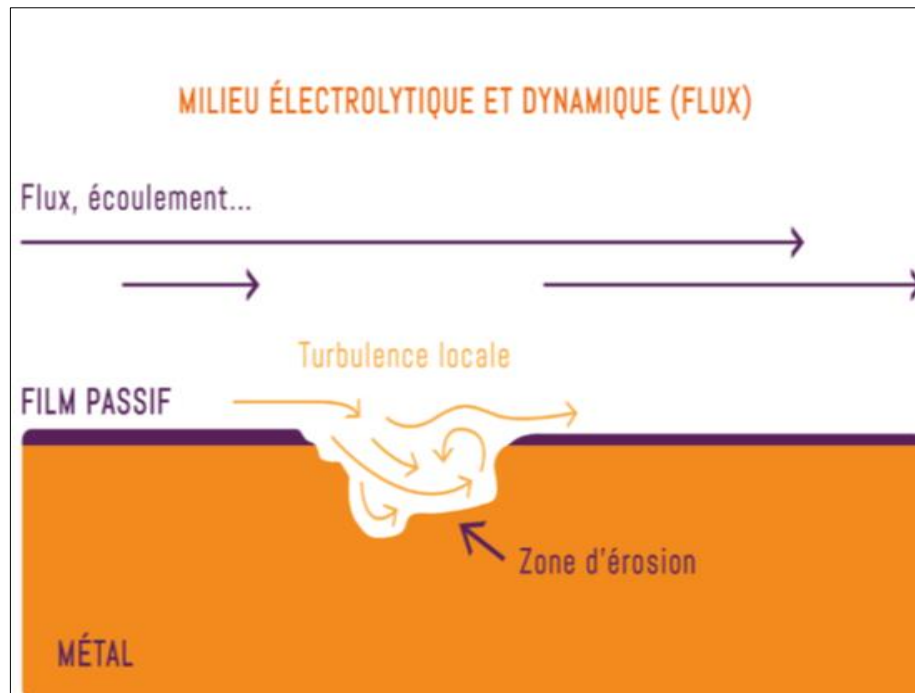


Figure II.6 : Corrosion-érosion [19].

- **Corrosion par frottement**

La corrosion par frottement est due au contact de deux surfaces métalliques en mouvement relatif l'une par rapport à l'autre, suite à la conjugaison de la corrosion et d'un faible glissement réciproque des deux surfaces. Le film protecteur est alors endommagé ou éliminé, ce qui favorise la corrosion. Dans le cas où les pièces métalliques sont en mouvement continu et dans un milieu corrosif on utilise le terme « tribocorrosion ».

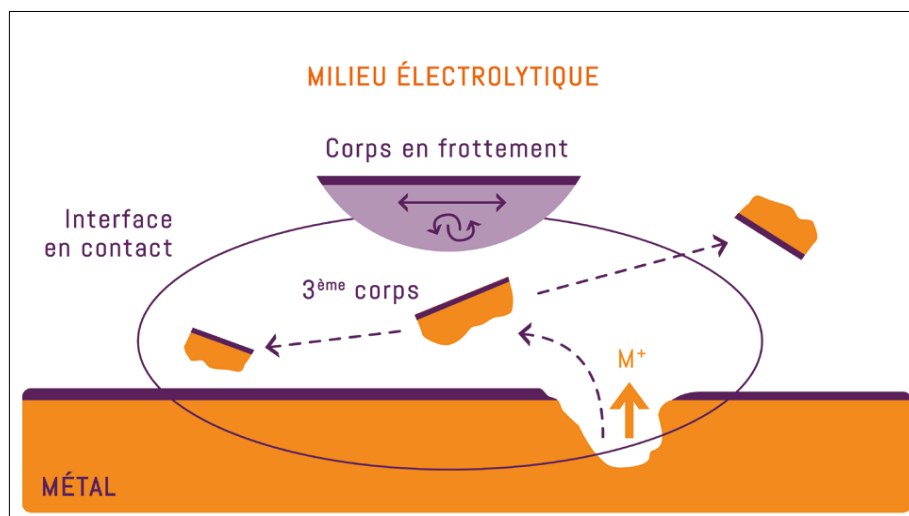


Figure II.7 : Corrosion par frottement [19].

- **Corrosion par fatigue**

Elle combine à la fois l'attaque par le milieu corrosif et l'effet des contraintes mécaniques cycliques, ce qui conduit à une rupture du matériau par fissuration. Elle provient de la formation de fissures transgranulaires et ramifiées qui prennent souvent naissance à partir de piqûres.

- **Corrosion – cavitation**

C'est un phénomène qui se produit par la formation de bulles remplies de vapeur ou de gaz au sein d'un liquide en écoulement turbulent. Ces bulles s'implosent produisant une onde de choc, qui entraîne une fatigue locale du métal et une attaque localisée.

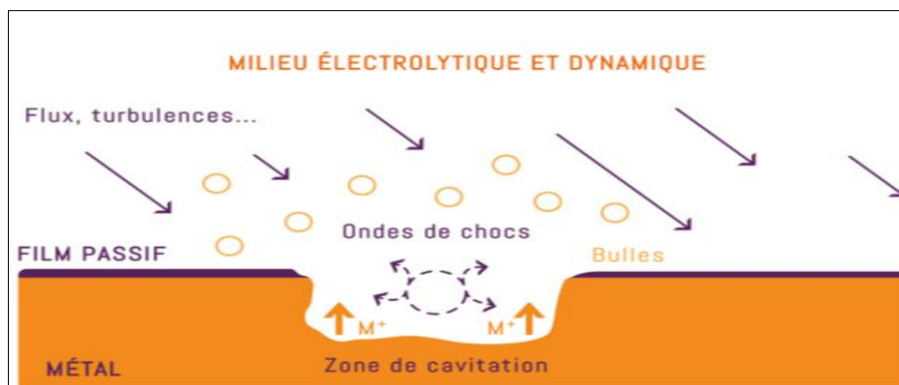


Figure II.8 : Corrosion – cavitation [19].

## II.6. Morphologie de la corrosion

La corrosion peut se produire sur plusieurs formes, l'aspect de la structure attaquée peut être uniforme ou localisé.

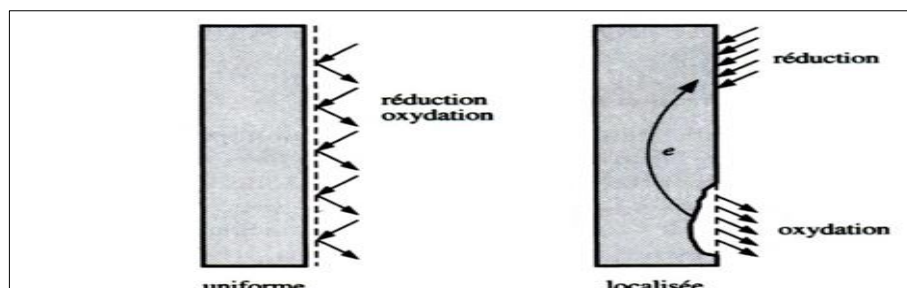


Figure II.9 : Morphologie de la corrosion [12].

### II.6.1. La corrosion uniforme ou généralisée

C'est le phénomène de corrosion le plus rencontré dans la pratique, et le moins dangereux, car le métal est attaqué sur toute la surface, entraînant une diminution d'épaisseur (exprimée en perte d'épaisseur par unité de temps ou en perte de masse par unité de surface et par unité de temps). Les causes peuvent être chimiques, électrochimiques ou encore mécaniques. Exemple : Oxydation ; dissolution active dans l'acide ; passivité anodique ; polissage ; corrosion atmosphérique.

Si la surface du métal est rugueuse, l'attaque corrosive sera très importante. À l'échelle macroscopique, la surface entière du métal est simultanément cathode et anode. La corrosion uniforme peut être évitée par l'utilisation d'un revêtement ou par l'addition d'inhibiteur de corrosion ou encore par l'application de la protection cathodique. [19, 12, 21]

### II.6.2. La corrosion localisée

Ce type de corrosion est complexe et difficile à prévoir, et le plus dangereux car l'attaque se fait dans certains endroits de la surface métallique, par exemple perforation d'une conduite ou d'un récipient. Elle diffère de la corrosion uniforme par la distinction claire des endroits anodiques et cathodiques.

En pratique la corrosion localisée provient d'une hétérogénéité du matériau ou de l'environnement, et souvent elle pose beaucoup de problèmes : par exemple, dans la structure métallurgique (joints de grains) ou un traitement thermique (soudure); des discontinuités de surfaces comme la rupture locale de la couche d'oxyde ou du revêtement organique ; ou encore la présence de dépôts de corrosion ou de poussières. La corrosion localisée peut se produire sous différentes formes. [17, 12, 4]

- **La corrosion galvanique**

Il s'agit de l'attaque préférentielle de la phase la moins noble dans un alliage ou dans un assemblage de deux métaux placés dans le même environnement, dont l'un est plus noble que l'autre, ce qui crée une pile électrochimique. En cas de couplage, plus les métaux sont éloignés sur l'échelle galvanique, plus la pile formée dispose d'énergie pour provoquer les transformations. [19, 12, 22]

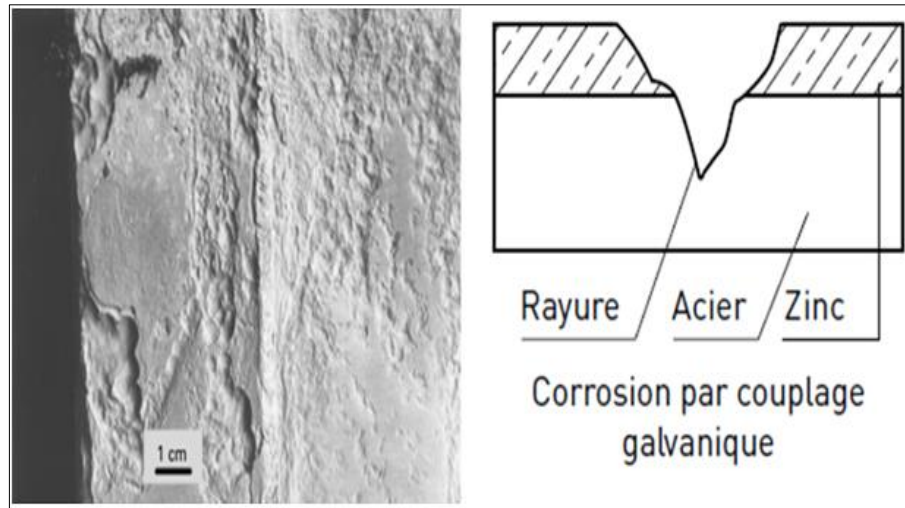


Figure II.10 : Corrosion galvanique [24, 43].

- **La corrosion par piqûres**

Ce type de corrosion entraîne l'apparition de piqûres sur la surface du métal. Elle est associée à une rupture locale du film passif qui se produit souvent en présence de chlorures, ou à une passivation incomplète et dans le cas d'une quantité insuffisante d'inhibiteur de corrosion, dans ce type de corrosion l'attaque se limite à des zones de très petit diamètre et le reste de la surface reste indemne elle se développe de façon insidieuse et s'auto propagent en profondeur.

Bien que la quantité du métal corrodé soit faible, ce type de corrosion est très dangereux car il se produit en profondeur et peut conduire à la perforation des tôles même épaisses. [19, 5, 21]

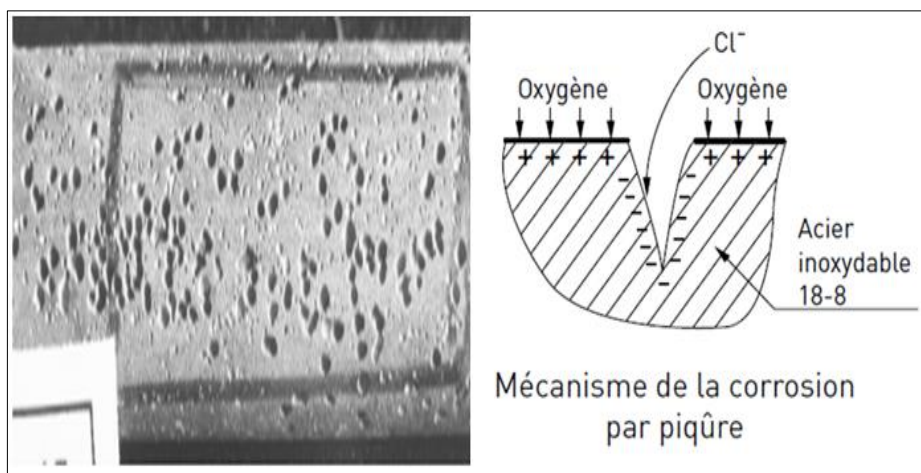


Figure II.11 : Corrosion par piqûres [24, 43].

- **La corrosion caverneuse**

La corrosion caverneuse est due à la présence d'ouvertures étroites ou bien des zones confinées avec un faible volume d'eau et d'une vitesse d'écoulement presque nulle, elle peut apparaître aussi lorsqu'une pièce métallique est au contact d'un électrolyte dont le renouvellement n'est pas assuré (interstices entre matériaux de même nature, dépôts divers, sous matériau isolants, etc...). Elle entraîne une modification des conditions chimiques comme la différence d'accessibilité de l'oxygène au niveau de la zone confinées qui va créer ainsi une pile de corrosion, soit par appauvrissement en oxygène causant la corrosion par aération différentielle ou par acidification de la solution à l'intérieur de la crevasse. La morphologie de l'attaque s'étend en largeur à la surface de l'interstice ou sous le dépôt. [19, 20, 21]

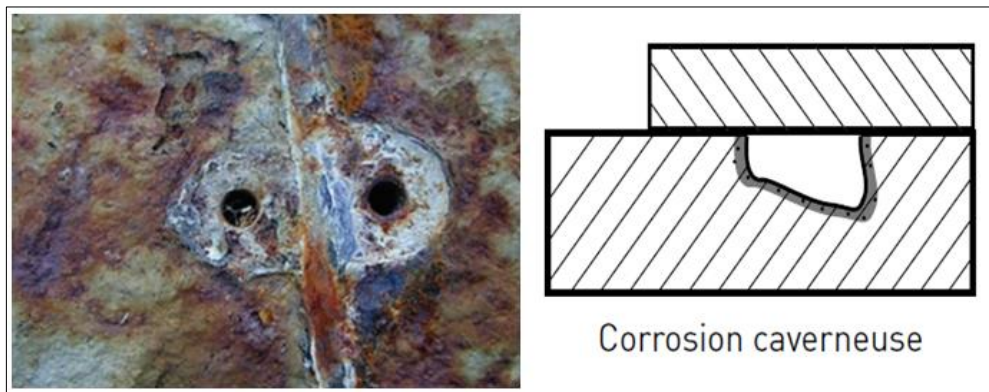


Figure II.12 : Corrosion caverneuse [24, 5].

- **La corrosion intergranulaire**

C'est une attaque sélective qui se produit au niveau des joints de grains ou à leur voisinage, elle est due à la présence des impuretés dans les joints, elle se traduit par la décohésion des grains de la structure métallique causant ainsi une désagrégation de l'alliage et une perte des propriétés mécaniques. L'attaque du métal s'effectue en profondeur, le long des joints de grains, ce qui conduit à une microfissure, alors la surface ne présente aucune altération. Elle est plus fréquente dans les aciers inoxydables. [19, 23, 22]

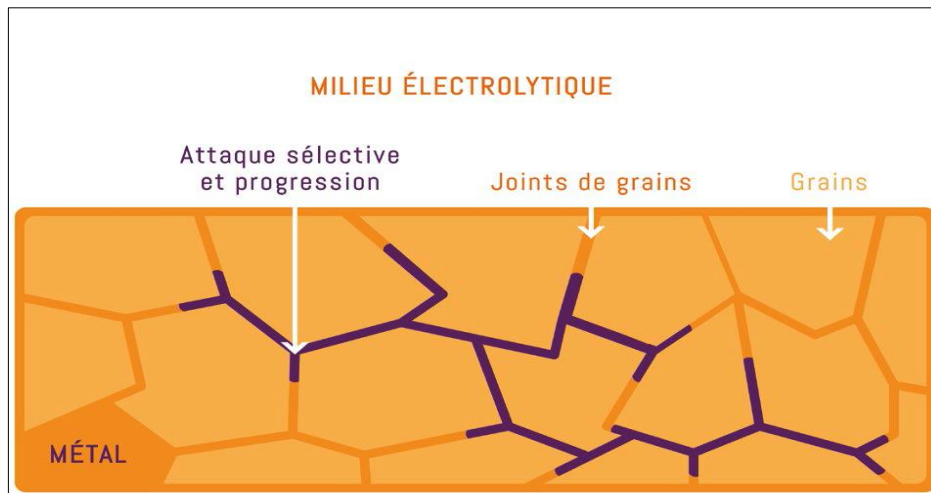


Figure II.13 : Corrosion intergranulaire [19].

- **La corrosion sélective**

La corrosion sélective se traduit par l'attaque préférentielle de l'un des éléments constitutif d'un alliage. L'oxydation de l'un des composants de l'alliage entraîne une perte totale de la résistance mécanique et la formation d'une structure poreuse, elle est souvent accompagnée d'un léger changement de couleur. [19, 20]

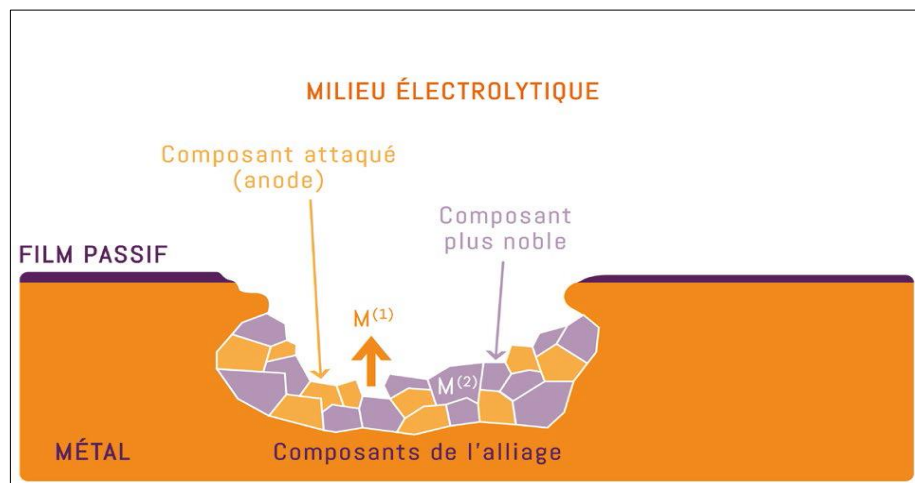


Figure II.14 : Corrosion sélective [19].

## II.7.Facteurs de corrosion

La corrosion dépend d'un très grand nombre de facteurs qui peuvent être classés en trois grandes catégories. [24, 13]

### II.7.1. Facteurs liés au métal

- **Structure métallurgique** : Une structure fine est plus résistante, tandis que les hétérogénéités issues de l'érouissage favorisent la corrosion.
- **Pureté et inclusions** : Un métal pur est généralement plus résistant qu'un métal contenant des impuretés ou des gaz dissous. Ces inclusions peuvent former des couples galvaniques internes.
- **État de surface** : Les défauts tels que les rayures, les dépôts, ou les pores peuvent provoquer une corrosion localisée.
- **Soudures et tensions internes** : Les zones soudées ou soumises à des contraintes internes sont souvent plus vulnérables à la corrosion.

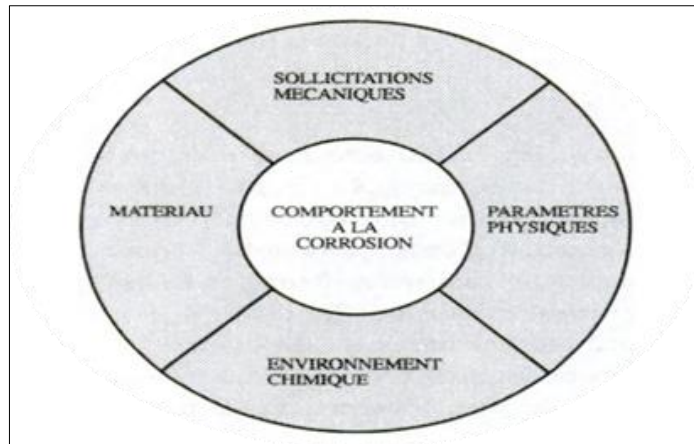
### II.7.2. Facteurs liés au milieu

- **Oxygène dissous** : Il joue un double rôle : agent dépolarisant et oxydant secondaire (ex :  $\text{Fe}^{2+}$  vers  $\text{Fe}^{3+}$ ).
- **Température** : Elle augmente la vitesse des réactions électrochimiques, mais réduit la solubilité des gaz, ce qui peut limiter la corrosion.
- **PH** : L'agressivité augmente lorsque le pH s'éloigne de la neutralité, surtout vers l'acide.
- **Salinité et composition chimique** : Les sels augmentent la conductivité. Certains, comme les chlorures, sont particulièrement agressifs.
- **Micro-organismes** : Ils peuvent former des biofilms et provoquer des corrosions par aération différentielle.
- **Mouvement et viscosité** : Le mouvement des fluides accélère la corrosion, notamment par érosion, tandis qu'un fluide plus visqueux tend à la réduire en limitant le renouvellement des agents corrosifs.
- **Type de milieu** : L'air (corrosion atmosphérique), l'eau (douce, de mer, de pluie), et le sol (acide, humide, perméable) ont chacun leurs spécificités corrosives.

### II.7.3. Facteurs liés aux conditions d'emploi

- **Orientation et mouvement de la pièce** : L'écoulement du liquide ou le mouvement de la pièce peuvent créer des zones d'aération différentielle.

- **Différence de potentiel** : La présence de pièces métalliques voisines peut entraîner des couples galvaniques, surtout si les métaux sont différents (ex : acier/cuivre).



**Figure II.15** : Système de corrosion [12].

### II.8. Impact économique de la corrosion

La corrosion est d'une importance primordiale, elle entraîne des pertes économiques très importantes. On estime par exemple que chaque année, un quart de la production d'acier est détruit par la corrosion. Cela équivaut à environ 150 millions de tonnes/an, soit 5 tonnes/seconde. Ces pertes pourraient être plus élevées en l'absence d'une protection anticorrosion. Cela a d'énormes répercussions sur l'économie mondiale, On distingue des pertes directes et indirectes de la corrosion :

- L'arrêt de production pour le remplacement ou la maintenance des équipements et perte d'efficacité.
- Coût des pièces à remplacer, de l'entretien et du contrôle.
- Perte de produit en cas d'une fuite d'un réservoir ou une canalisation.
- Contamination du produit par les produits de corrosion solubles.
- Surdimensionnement des pièces qui entraîne des surcoûts de fabrication des structures.
- Coût de protection contre la corrosion (revêtements, traitements de surfaces, protection cathodique, matériaux plus nobles...). [2, 14, 4]

## II.9. Protection contre la corrosion

La corrosion étant le résultat de l'action entre deux partenaires, le métal et la solution. Il sera impossible de lutter contre ce phénomène, en agissant sur l'un ou l'autre des deux partenaires. Donc La prévention de la corrosion doit être envisagée dès la phase de conception d'une installation. [18]

### II.9.1. Mesures préventives

- **Prévention par un choix judicieux des matériaux**

Certains métaux et alliages offrent une excellente résistance à la corrosion dans des milieux et des conditions appropriés. Le choix judicieux des matériaux est une solution préventive qui dépend de plusieurs facteurs :

- Domaine d'utilisation.
- Nature et niveau des sollicitations mécaniques et thermiques.
- Traitements sélectionnés.
- Prix et disponibilité des matériaux. [18, 14]

- **Prévention par une forme adaptée des pièces**

Le risque de corrosion peut être diminué en ajustant les formes des pièces selon les conditions d'utilisation. Pour éviter la corrosion en zone humide, on a recourt à choisir une géométrie qui garantit un vidange complet des récipients.

Un contact électrique et électrolytique entre deux matériaux différents peut entraîner une corrosion galvanique du métal le moins noble due à la formation d'une pile galvanique. Ce phénomène peut être atténué en isolant les deux métaux par un polymère par exemple.

Une variation brutale de section peut créer des zones de turbulence ou de changements brusques de direction ce qui va entraîner une corrosion – érosion ou corrosion – cavitation. La conception appropriée des canalisations véhiculant des fluides à des vitesses élevées va diminuer le risque d'attaque par la corrosion.

La corrosion sous contrainte est due généralement à la concentration des contraintes dans certaines zones, donc, il est préférable d'adopter une forme ou une géométrie qui

permet de supprimer ou de diminuer les zones de concentration des contraintes. [25, 26]

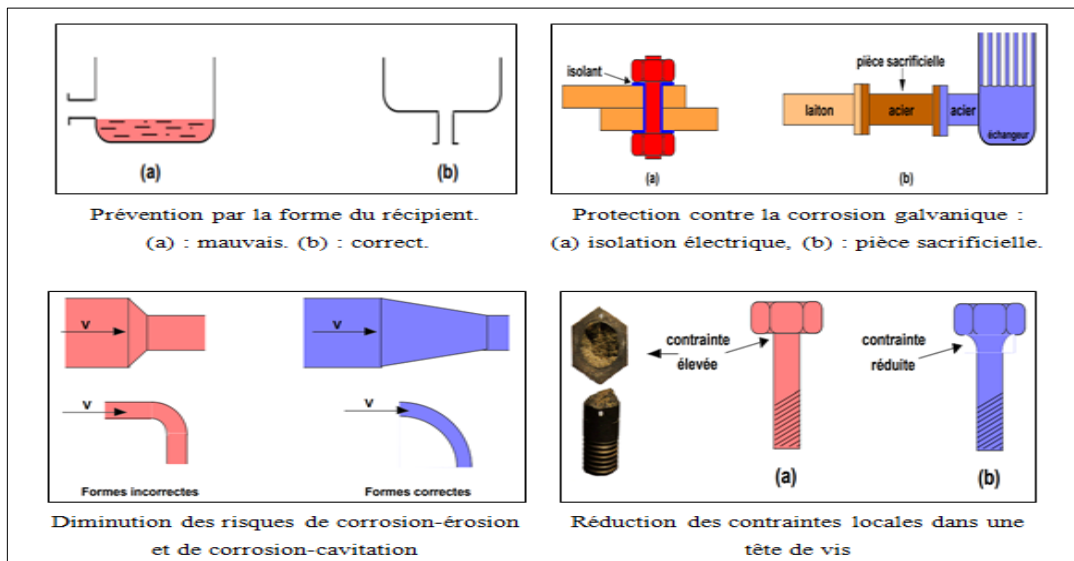


Figure II.16 : Prévention de la corrosion par une forme adaptée des pièces [25].

- **Emploi des inhibiteurs**

Un inhibiteur de corrosion est une substance chimique ajoutée en petite quantité au milieu pour ralentir la corrosion d'un matériau métallique à protéger. Leur domaine d'utilisation recouvre les milieux acides, la vapeur, et les eaux de refroidissement. Un inhibiteur de corrosion doit vérifier un certain nombre de propriétés fondamentales :

- Abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physicochimiques de ce dernier ;
- Être stable en présence d'autres constituants ;

Ils peuvent être classés selon leur mode d'action en quatre groupes :

- Les inhibiteurs cathodiques,
- Les inhibiteurs anodiques,
- Les inhibiteurs induisant une précipitation,
- Les inhibiteurs organiques. [25, 18]

### II.9.2.Méthodes de prévention contre la corrosion

Pour ralentir la vitesse de dissolution des subjectiles et prolonger la durée de vie, on recourt aux diverses méthodes de protection.

En fonction de l'agressivité de l'environnement et des conditions d'utilisation, des mesures doivent néanmoins parfois être prises afin de limiter ou d'empêcher la dégradation. Il existe divers moyens de préventions focalisées sur le matériau ou le milieu. [27]

- **Protection par revêtements**

Un revêtement est une barrière physique entre le milieu agressif et le métal à protéger. Leur efficacité dépend de leur propre comportement vis-à-vis du milieu agressif. Il doit être continu, adhérent et inerte par rapport à l'environnement, et il doit avoir une certaine résistance mécanique. La durabilité du revêtement doit être supérieure à celle du métal de base. On distingue :

- **Revêtement métallique**

Utilisé pour protéger l'acier contre la corrosion atmosphérique, Il existe deux types :

- Revêtements cathodiques : Le métal à protéger est moins noble que le revêtement, par exemple un revêtement de nickel.
- Revêtements anodiques : Le substrat est plus noble que le revêtement, comme un revêtement de zinc.

- **Revêtement inorganiques non métalliques**

Il existe deux types :

- Les couches de conversion : obtenues par une réaction du métal avec un milieu choisi.
- Les couches étrangères au substrat : revêtement à base des émaux, des ciments, et les céramiques réfractaires.

- **Revêtement organiques**

Les revêtements organiques forment une barrière plus au moins imperméable entre le métal et le milieu électrolytique. Comme : les peintures et vernis, bitumes et revêtements polymériques. [25, 28, 2]

- **Protection Electrochimique**

La protection électrochimique est réalisée en appliquant des principes électrochimiques aux composants métalliques immergés dans des électrolytes ou enfouies dans le sol. Elle s'effectue par le contrôle des réactions d'oxydation et de réduction. Le principe de la protection électrochimique consiste à imposer au métal à protéger une valeur de potentiel pour laquelle la vitesse de corrosion prend des valeurs très faibles.

- **La protection cathodique**

La protection cathodique consiste à imposer au métal un potentiel suffisamment bas pour rendre le métal entièrement cathodique et pour que la vitesse de corrosion devient négligeable, en pratique cette méthode sert surtout de protéger les structures lourdes en aciers. Deux méthodes utilisées en pratique :

- La protection par anode sacrificielle.
- La protection par courant imposé.

- **La protection anodique**

Elle s'applique aux métaux passivables uniquement, dont le potentiel de corrosion se situe dans le domaine actif. Une polarisation anodique permet de déplacer le potentiel dans le domaine passif. Le maintien d'une protection anodique ne nécessite qu'une faible densité de courant. [25, 28,18]

## **II.10. Les peintures dans la lutte contre la corrosion**

La peinture anticorrosive est une solution efficace pour lutter contre la corrosion en isolant le métal du milieu extérieur. C'est comme une barrière imperméable contre les agents oxydants (ex : oxygène), l'électrolyte (l'eau), et d'autres agents agressifs/corrosifs (pollution, sels, produits chimiques).

La peinture offre de nombreux avantages, notamment un coût relativement faible, une application simple et rapide sur des structures simples et complexes, une esthétique soignée, ainsi qu'une protection anticorrosion des métaux nettement renforcée par la présence de pigments anticorrosifs. [29]

### II.10.1 Formulation des peintures anticorrosives

Parmi les composants essentiels qui confèrent aux peintures leurs propriétés anticorrosives, les pigments jouent un rôle central. Ils sont capables de contrôler la corrosion des substrats métalliques en ralentissant sa vitesse. Ils sont également appelés « inhibiteurs » de corrosion. Ces composants de revêtement sont généralement incorporés à la formulation du revêtement sous forme de métal finement broyé ou d'oxyde métallique en poudre. Parmi ces pigments, on trouve les plus couramment utilisés :

- **Zinc métallique** : protection cathodique.
- **Phosphate de fer ou de zinc** : inhibiteur de corrosion.
- **Oxyde de fer micacé** : effet barrière renforcé et résistance mécanique.

La résistance à la corrosion peut être améliorée aussi par l'ajout des charges à la formulation. Le talc feuilleté (silicate de magnésium hydraté) est une charge hydrophobe, qui limite la pénétration de l'eau et d'autres agents corrosifs dans le feuillet, et réduit le cloquage et le décollement du feuillet de peinture. [6, 29, 30, 31]

### II.10.2. Fabrication des peintures

Le processus de fabrication des peintures se fait en plusieurs étapes, la majorité des peintures anticorrosives, telles que les époxy, polyuréthane ou primaires riches en zinc, sont formulées en systèmes bi-composants (base + durcisseur) permettant un séchage rapide à température ambiante.

- La première étape consiste à sélectionner et peser les matières premières (les résines, les pigments, les matières de charges...). Chaque composant doit être réhomogénéisé individuellement, avant d'incorporer le durcisseur dans la base, les poudres de pigments subissent une dispersion et un mouillage au moyen d'additifs mouillants et dispersants, elle consiste en une séparation mécanique des agglomérats, cette étape est appelée aussi pré-broyage.
- Ensuite, on a l'étape de broyage qui sert à la séparation et à la stabilisation de la dispersion des pigments. En absence d'additifs les particules de pigments s'agglomèrent et forment des floculats non contrôlés. Les additifs se fixent entre les particules de pigment pour empêcher l'agglomération.

- Après le broyage et le contrôle de finesse le mélange passe à la phase de dilution par une solution préparée à l'avance qui contient d'autres composants liquides (liants, solvants, additifs). Il est nécessaire ensuite de mélanger à nouveau l'ensemble jusqu'à obtention d'un mélange totalement homogène. Le malaxage doit se faire à vitesse réduite, afin d'éviter d'introduire de l'air dans le produit, par un moyen mécanique (malaxeur).
- Il est essentiel de consulter la fiche technique du fournisseur pour vérifier s'il existe des conditions particulières de mélange spécifiques aux peintures anticorrosives. Par exemple, certains produits nécessitent un temps d'attente après mélange, appelé "temps de murissement", avant application.
- Enfin, le produit obtenu est filtré, et conditionné dans des boîtes pour être commercialisé. [6, 29]

### II.10.3.Préparation de surface

La préparation du subjectile est une étape essentielle à la réussite et à la longévité d'un système de protection par peinture. Son objectif est d'atteindre : La propreté de surface optimale et La rugosité adaptée à l'adhérence du primaire. Avant d'appliquer le système de peinture, il est nécessaire d'éliminer tous les polluants, sinon on s'expose à des risques de décollements (huiles et graisses), et de cloquage (sels). Le degré de propreté d'une surface métallique est en fonction de l'élimination totale des contaminants comme :

- Ceux propres à l'acier : La calamine (couche d'oxyde se formant sur les aciers neufs lors de la fabrication), La rouille.
- Autres polluants : Huiles et graisses, Anciens fonds de peinture, Sels, Poussières, Eau.



**Figure II.17 :** Préparation de surface [44].

- **Décapage par projection d'abrasif**

C'est la méthode la plus courante pour les grandes surfaces. Elle consiste à projeter des particules abrasives à grande vitesse vers la surface à traiter. Permettant de nettoyer rapidement et efficacement la surface.

- **Décapage à l'eau sous pression**

De l'eau sous pression est utilisée pour décoller les polluants de la surface de l'acier. Son efficacité est en fonction de la vitesse de l'eau (pression) et son débit. [29,31]



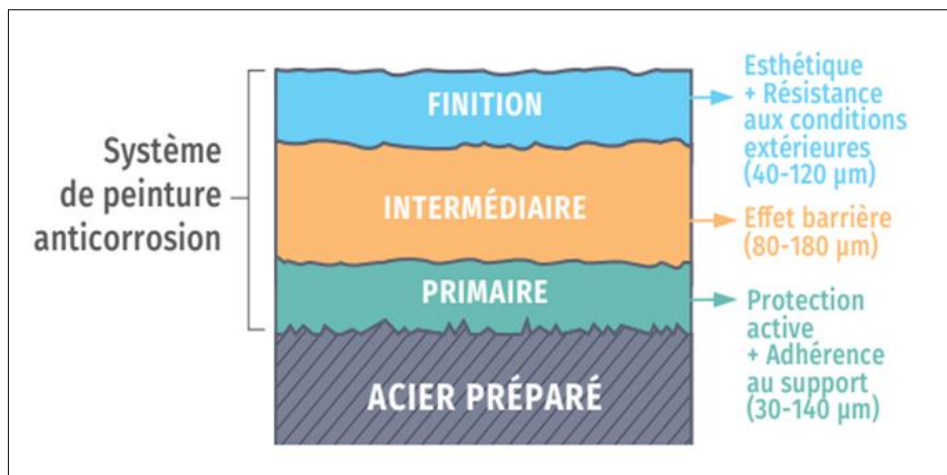
**Figure II.18 :** Décapage à l'eau sous pression UHP [29].

#### **II.10.4. Système de protection par les peintures**

Un système de peinture se définit par ses couches de peinture à appliquer, leur épaisseur, leur nombre et l'ordre d'application. Pour qu'une peinture anticorrosion soit efficace elle doit former un film durable même dans les ambiances agressives.

Les peintures anticorrosion sont généralement appliquées comme un système de trois couches : un primaire, un intermédiaire et une finition.

- **Une couche primaire (apprêt)** : Elle est adhérente au métal et elle contient les pigments retardateurs d'oxydation des métaux. On distingue les peintures primaires réactives PPR qui favorisent l'accrochage des couches ultérieures et les peintures primaires d'atelier qui sont plus épaisses et qui ont un rôle protecteur.
- **Les couches intermédiaires** : elles servent à augmenter l'étanchéité et diminuer les irrégularités en plus elles renforcent la protection
- **La couche de finition** : elle sert à garantir une bonne étanchéité et surtout de mettre en valeur les ouvrages en les apportant une touche d'esthétique.



**Figure II.19** : Système de peinture anticorrosion [30].

Le choix du système dépend de plusieurs facteurs :

- Type de métal à recouvrir (ou subjectile)
- Préparation de surface possible et envisagée
- Le degré de la corrosivité du milieu
- Propriétés spécifiques recherchées : La résistance mécanique, chimique et thermique requise
- Conditions de service de l'ouvrage
- Garantie anticorrosion attendue

Donnant des exemples sur les différents systèmes de peinture, Les appareils électroménagers peuvent être traités en deux couches : un apprêt et une couche de

finition colorée, tandis que Les revêtements de carrosserie automobile comportent généralement quatre couches : un apprêt électrodéposé, un apprêt-surfaçant, une couche de couleur et une couche de finition, et Les revêtements en poudre sont souvent utilisés en monocouche. [25, 30]

### II.11. Qualités et essais des vernis, vernissage des boîtes

Le film du revêtement protecteur doit posséder à la fois une dureté suffisante, et une certaine souplesse, essentielle lors des opérations d'estampage des fonds et couvercles et du sertissage. Il doit être aussi imperméable que possible car il recouvre la tôle. Et il doit adhérer fortement au subjectile. [32]

Tableau II.1 : Principaux types de vernis [35].

Famille de vernis	Caractéristiques principales	Utilisation préférentielle
Époxyphénoliques	Equilibre souplesse/résistance	Corps et fonds 3 pièces Embouts moyens
Époxy aminoplaste	inertie	Boîtes 2 pièces boissons
Époxyanhydride	Equilibre souplesse/résistance Compatibilité au pigment TiO <sub>2</sub>	Blanc intérieur Boîtes 3 pièces
Polyester	Souplesse	Intérieur embouti Couvercle à ouverture facile
Organosol	souplesse	Embouti profond Couvercle à ouverture facile

#### II.11.1. Qualités des vernis

- L'adhérence

Le vernis doit adhérer fortement au support métallique. Il doit suivre les déformations du métal lors de la fabrication d'une boîte de conserve ou un accessoire de la boîte (comme les couvercles), sans se décoller ni s'écailler. Le test d'adhérence est réalisé par l'essai de quadrillage ou d'arrachement.

- **Inertie chimique**

Pour atteindre l'inertie chimique, le vernis doit être convenablement cuit, assurant une réticulation complète. C'est-à-dire la disparition des groupements réactifs susceptibles de réagir avec les ions du produit emboîté.

- **L'absence de porosité**

La porosité est un défaut à éviter. Les pores ou les fissures peuvent affecter la qualité protectrice du film. Une couche du vernis plus épaisse, permet de réduire la porosité.

[32]

### II.11.2.Principaux essais de contrôle

Un certain nombre d'essais ou de tests sont nécessaires pour évaluer exactement l'état du vernis. Et parmi eux :

- **Essai d'adhérence**

L'essai de quadrillage s'effectue en rayant le vernis jusqu'au métal au moyen du peigne de quadrillage. On réalise deux séries de rayures orthogonales et équidistantes de 1 mm on va avoir une surface quadrillée. Ensuite, on applique le ruban adhésif en poussant avec le doigt pour évacuer l'air emprisonné. Puis on décolle le ruban adhésif rapidement et on évalue visuellement l'adhérence. Pour un vernis bien adhérent au métal aucun carré ne va se décoller et on ne va pas avoir un écaillage du revêtement. Cet essai peut être plus sévère ont effectuant un pliage ou un emboutissage. Un vernis adhérent ne va pas s'écailler au niveau des zones déformées.

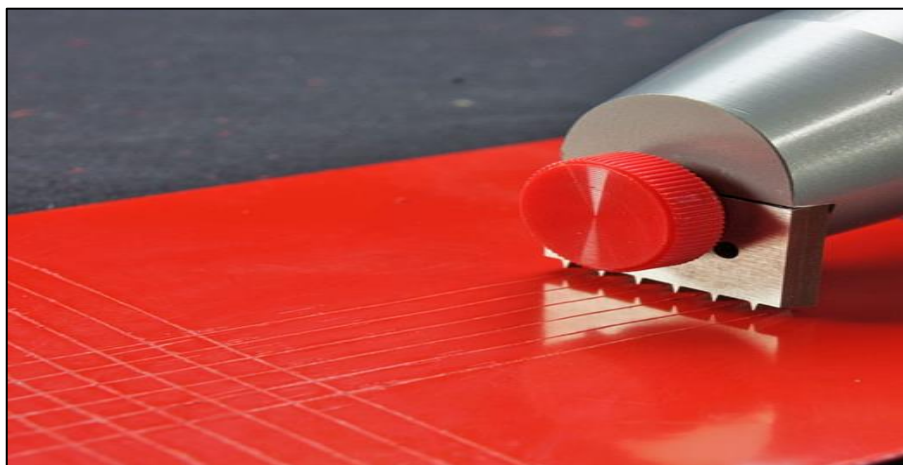


Figure II.20 : L'essai de quadrillage [45].

- **Essai de souplesse**

La souplesse ne peut pas être appréciée indépendamment de l'adhérence et réciproquement. Elle peut se mesurer de deux façons :

- Pliage sur mandrin, et on observe si le vernis se fissure,
- Essai d'emboutissage type Erichsen : on mesure la profondeur de l'empreinte pour laquelle le vernis se craquelle.

- **Essai de dureté**

Le principe de la mesure est de chercher à rayer le revêtement avec une mine de crayon de dureté connue. La rayabilité s'exprime alors par la dureté du crayon le plus tendre qui a entamé le vernis. [33, 34]

### **II.11.3.Mise en œuvre des vernis**

Le passage du vernis liquide au film dur et protecteur implique deux phases essentielles :

- L'application : cette étape consiste au dépôt du vernis sur le substrat (métal) ;
- La cuisson : c'est l'étape qui donne au vernis son aspect final sous forme d'un film protecteur et durable. [35]

#### **II.11.3.1.Les techniques d'application**

- **Le vernissage à plat**

Il s'applique généralement avant les opérations de formage des boîtes. Cette technique consiste à déposer le vernis sur le métal en feuilles ou en bandes. Le dépôt du vernis se fait au moyen d'un cylindre applicateur en caoutchouc. Le vernissage à plat peut s'effectuer de différentes manières :

- Par vernisseuse traditionnelle
- Par procédé à écran rotatif
- Par procédé ANILOX

Le vernissage à plat peut être appliqué feuille à feuille ou en bande. Le vernissage à plat feuilles à feuilles est appliqué sur des feuilles couramment de 0.6 à 0.8 m<sup>2</sup>. Il offre beaucoup de souplesse ce qui permet d'avoir des réserves non vernies qui facilitent

l'emplacement de la soudure lors de la fabrication de la boîte. Pour le vernissage en bandes, cette technique est adaptée aux grands tirages.

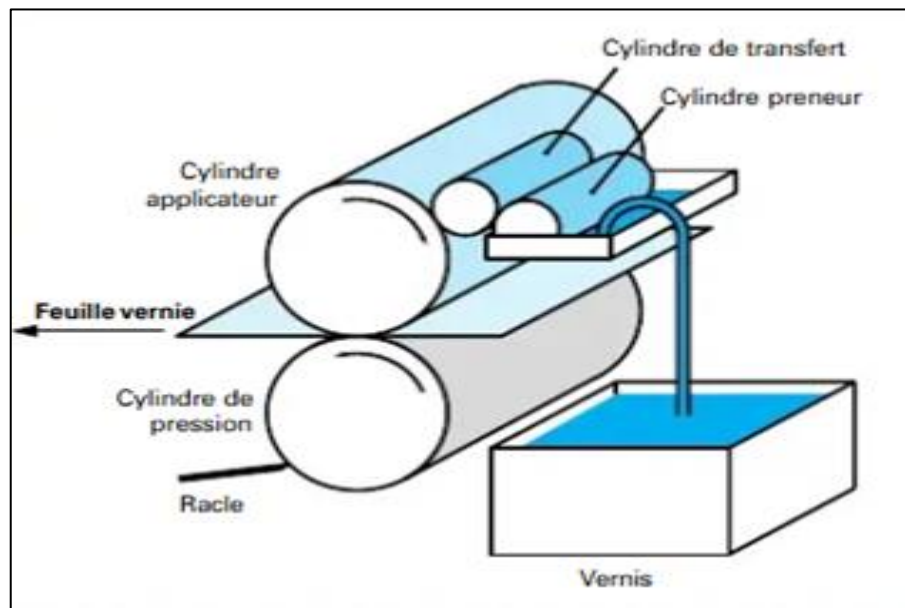


Figure II.21 : Vernissage feuille à feuille [35].

- **Application au pistolet ou pistolage**

La technique de vernissage par pistolage est appliquée pour les pièces déjà formées et les corps creux comme les boîtes embouties – étirées qui ne peuvent pas être vernis à plat due à leur procédé de fabrication. On peut l'appliquer aussi pour un revernissage des boîtes pour renforcer la protection ou bien pour le rechapissage et la réparation des soudures.

- **Les techniques spécifiques**

- **Le poudrage électrostatique**

Le poudrage électrostatique est appliqué pour la protection des soudures électriques, le matériau de revêtement thermoplastique se présente sous forme poudre à une faible granulométrie, transporté via un flux d'air. Le matériau thermoplastique est chargé électrostatiquement dans le pistolet et il va se déposer sur le métal à protéger.

- **Électrodéposition**

L'électrodéposition est appliquée pour la protection des couvercles à ouverture facile au niveau des incisions ou des réparations cette technique est réalisée par le

déplacement des particules de vernis dans un bain aqueux, sous l'effet d'une tension électrique. Ensuite, le vernis va se déposer sur les zones exposées ou bien conductrices de l'électricité du métal. [35]

**Tableau II.2 :** Techniques d'application des vernis [35].

Procédé	Mode d'application	Utilisation
Vernissage à plat	Feuille à feuille	Boîtes 2 et 3 pièces-Fonds
	En bande	Boîtes 2 pièces-Fonds
Vernissage au pistolet	Sur boîtes terminées	Boîtes 2 pièces
	Sur soudures	Rechampissage
Techniques spécifiques	Poudrage électrostatique	Rechampissage
	électrodéposition	Réparation

### II.11.3.2. La cuisson des vernis

Au cours de la cuisson des vernis le solvant et les composés volatils s'évaporent et les réactions de polymérisation se déroulent pour donner aux vernis ces caractéristiques finales. La cuisson s'effectue dans des fours à circulation d'air chaud assurant à la fois le transfert thermique et l'évacuation des solvants. [35]

**Tableau II.3 :** Cuisson des vernis [35].

Type de four	Température	Durée
Étuve à feuille	190 à 210 °C	6 à 10 min
Étuve pour bande	230 à 270 °C	15 à 25 s
Four-tapis pour boîtes	200 à 210 °C	2 à 3 min

### II.12. La corrosion des boîtes de conserve

Le fer blanc joue un rôle essentiel dans la fabrication des boîtes de conserve, qui est connu par la solidité, l'imperméabilité et la rigidité, il assure une protection efficace des aliments contre les risques chimiques et physiques, jusqu'à leur consommation, qui peuvent être conservés dans des boîtes métalliques pendant plus de 2 ans sans modification significative des propriétés organoleptiques.

Cependant, le fer blanc présente une sensibilité plus ou moins grande à la corrosion, une certaine dégradation microscopique (risque de contamination par les produits de corrosion), ou macroscopique (dégradation de l'emballage par perforation ou bombage).

La dissolution contrôlée de l'étain, qui compose le revêtement du fer blanc, contribue également à la préservation de la qualité des produits, permet de garder aux aliments comme les fruits clairs, et les produits à base de tomates, les caractéristiques de goût et couleur souhaités. Elle crée une atmosphère réductrice dans la boîte, empêchant ainsi des changements indésirables par oxydation des produits qui, sinon, présenteraient des taches brunes et des goûts inacceptables. Ce qui rendrait leur vente difficile et affectait l'activité du secteur des conserves et de ses fournisseurs. [36, 37]



Figure II.22 : Corrosion des boîtes de conserve [46].

### II.12.1 Forme de corrosion dans les boîtes de conserve

La corrosion peut se produire suivant différentes formes dans la boîte de conserve, les trois formes principales de la corrosion sont les suivantes :

- **La corrosion filiforme**

Elle est appelée aussi corrosion sous film, car elle se manifeste sous les couches minces d'étain par des petits filaments de différentes directions sur le fer blanc. C'est une forme de corrosion par fissuration qui peut causer la rupture de la boîte. [37]

- **La corrosion par piqûres**

Elle se produit dans des zones spécifiques de la boîte sous formes de petites piqûres ou trous, elle est due généralement à la présence d'ions de chlorures ou d'autres substances corrosives, et même à la présence des particules de saleté sur la surface du fer blanc. Elle peut causer la perforation de la boîte et la perte de produit. [37, 38]

- **La corrosion-érosion**

Elle se produit lentement, due à l'exposition du fer blanc à l'eau ou à l'air pendant une longue durée. Le processus commence par la formation de petites bulles d'air, puis l'érosion mécanique accélère la corrosion en enlevant la couche protectrice du métal. [37]

### II.12.2.Types de corrosion

La corrosion peut se produire dans la surface externe et interne de la boîte métallique, on distingue deux types de corrosion : [37]

- **La corrosion interne**

C'est une réaction électrochimique, elle dépend en grande partie sur le type et l'acidité des aliments, la présence des oxydants, la durée, la température de stockage, et la présence d'air dans l'espace libre de la boîte. Par conséquent, Ces facteurs peuvent causer des changements organoleptiques dans le produit, (perte de vide, gonflement et fuite), et dans certains cas des problèmes toxicologiques.

- **La corrosion externe**

C'est un phénomène complexe qui dépend d'une multitude de facteurs. Certains sont associés au métal, comme la surtension d'hydrogène et l'homogénéité de surface, et la formation de microcellules galvaniques dû au contact avec d'autres métaux. Elle dépend aussi des facteurs liés à l'environnement.

### II.12.3.Mécanismes de corrosion

La corrosion dans les boîtes de conserve peut se produire via plusieurs mécanismes : [36]

- **Le désétamage normal**

C'est une corrosion lente de la couche d'étain, ce dernier est généralement dû aux produits citriques et aux produits à base de fruits à noyau et la plupart des produits à basse teneur en acide.

- **Le désétamage rapide**

Le désétamage rapide résulte de l'utilisation du fer dont la masse de revêtement à l'étain est trop légère ou de l'utilisation des produits corrosifs ou à la présence des accélérateurs de corrosion. Les nitrates dans les produits ayant un pH inférieur à 6 et certains colorants azoïques, anthocyanes, phosphates et l'acide déhydroascorbique peuvent provoquer un désétamage rapide.

- **Le désétamage partiel et la corrosion par piqûres**

Ces deux mécanismes sont rares, l'étain est anodique à l'acier mais l'attaque est préférentielle dû aux anodes localisées qui se multiplient sur l'acier exposé. Ce phénomène résulte de l'utilisation du fer blanc de qualité inférieure ou de certains produits posant des problèmes comme les prunes ou le nectar de poires.

#### **II.12.4. Accélérateurs de corrosion**

Les accélérateurs de corrosion des aliments conservés sont des espèces chimiques capables d'accepter les électrons, ce qui augmente la vitesse de corrosion, et on trouve l'oxygène, les anthocyanes, les nitrates, les composés soufrés et les triméthylamines. La corrosivité des aliments varie selon leur composition, mais plusieurs facteurs chimiques influencent directement la corrosion, notamment : [39]

- **Acidité** : L'acidité ne suffit pas à indiquer le degré de corrosivité des emballages en fer blanc, car d'autres facteurs comme la nature des acides, la présence de dépolarisants et l'ajout de nitrates influencent fortement le comportement corrosif.
- **pH** : Comme l'acidité, Le pH n'est pas un indicateur fiable du degré de corrosion, car la nature des produits formés lors de la dissolution d'un métal, et l'effet protecteur ou accélérateur de l'étain dépendent de la plage de pH du système.

- **Les composés soufrés** : Les composés soufrés proviennent des résidus agricoles, des conservateurs ou des protéines soufrées des aliments, ils libèrent du sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ), ce qui altère le revêtement protecteur, et change les propriétés organoleptiques des aliments.
- **Pigments végétaux** : Les anthocyanes, pigments végétaux présents dans certains fruits, peuvent accélérer la corrosion en formant des complexes avec les ions métalliques comme l'étain. Ces réactions peuvent provoquer une coloration ou une décoloration. Comme Les framboises réagissent plus que les fraises à cause de la structure de leurs pigments.
- **Nitrates** : Les nitrates présents dans certains légumes et fruits peuvent causer une corrosion importante dans les conserves, surtout avec des produits acides comme la tomate. Les nitrates présents dans les engrais ou l'eau utilisée sont difficiles à contrôler.

#### II.12.5. Température d'entreposage

L'entreposage des produits devrait être effectué dans des conditions strictement contrôlées. Surtout le paramètre de la température d'entreposage. L'augmentation de la température d'entreposage entraîne l'accélération des réactions de corrosion. Et pour cela le choix des endroits des zones de stockage et le contrôle des températures sont des facteurs clé pour éviter la corrosion des boîtes de conserve. [36]

#### II.13. Conclusion

Les méthodes de protection et de prévention contre la corrosion sont nombreuses, l'application des revêtements représente une solution pour lutter contre la corrosion. Ils ont l'effet d'une barrière qui sert à isoler le métal du milieu. Les boîtes de conserve sont également sensibles à la corrosion en raison de plusieurs facteurs liés à l'aliment en conserve, à la température d'entreposage..., la protection des emballages métalliques s'effectue généralement par l'application des revêtements ayant des caractéristiques spécifiques qui ont pour but de réduire les interactions (contenu – contenant).

**Références bibliographiques**

- [1] : Dr André HACHE, la corrosion des métaux, presses universitaires de France, 3<sup>e</sup> édition, 1977, Pages : 8, 9, 10.
- [2] : Philip A. SCHWEITZER, corrosion of linings and coatings, corrosion engineering handbook, CRC Press, 2<sup>e</sup> édition, 2007, page : 44.
- [3] : Robert P. FRANKENTHAL, A BRIEF HISTORY OF CORROSION SCIENCE AND ITS PLACE IN THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY, Basking Ridge, NJ 07920.
- [4] : Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var, Corrosion et protection, support de cours, Université du Sud Toulon-Var France, Réf. Aragon – 2005.
- [5] : Sylvain AUDISIO et Gérard BÉRANGER, anticorrosion et durabilité dans le bâtiment, le génie civil et les ouvrages industriels, presses polytechniques et universitaires romandes, 2010, page : 26.
- [6] : Programme des Nations Unies pour l'environnement, Projet n° 9771 du Fonds pour l'environnement mondial : Meilleures pratiques mondiales concernant les nouvelles questions de politique générale préoccupantes au regard de l'Approche stratégique de la gestion internationale des produits chimiques, Directives techniques sur la reformulation des peintures au plomb, 2022, page : 15.
- [7] : K.BOUHRIA, corrosion et protection des métaux, support de cours Destiné aux étudiants en 3eme année licence Métallurgie, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF, 2021/2022.
- [8] : G. DAUFIN et J. TALBOT, Etude de quelques problèmes de corrosion dans l'industrie laitière, Laboratoire de Recherches de Technologie Laitière I.N.R :A., Rennes, LE LAIT / JUILLET-AOUT 1971 / N° 507.
- [9] : Ratiba MEHIBEL, Etude de l'efficacité inhibitrice de quelques nouveaux inhibiteurs, dits non polluants, sur la corrosion de deux types d'alliages d'aluminium,

Mémoire en vue l'obtention du diplôme de magister en chimie appliquée, 2008, page : 14

[10] : BENSAADA. S, corrosion, article, université de Biskra, 2016, from <https://www.researchgate.net/publication/308995229> visité le 18.04.2025 à 15 :06

[11] : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-corrosion-vieillissement-tiaco/archive-1/corrosion-seche-des-metaux-m4220/> Consulté le : 18/04/2025 à 17 :38

[12] : Dieter LANDOLT, corrosion et chimie de surface des métaux, presses polytechniques et universitaires romandes, 2003, page : 4.

[13] : S.KHERRAF, Corrosion et protection des installations, support de cours destiné aux étudiants de Master 2 Génie pétrochimique, Université 20 Aout 1955- Skikda.

[14] : Z.KHIATI et L.MRAH, corrosion et protection des métaux, support de cours, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran -Mohamed BOUDIAF-Oran, 2022/2023.

[15] : HADDAD Fatima et SLIMANI Menat Allah Bochra, Les méthodes de protection contre la corrosion dans les sites industriels, MÉMOIRE Pour l'obtention du diplôme de Master, 2021, pages : 6,7

[16] : BENSOUDA Zakariae, Extraction, caractérisation et potentiel inhibiteur des huiles essentielles contre la corrosion d'aciers doux dans une solution chlorhydrique molaire, Thèse de doctorat, 2018, pages : 14, 15, 16.

[17] : BOULMERKA Rihane, Etude de la corrosion des instruments chirurgicaux dentaires lors de la stérilisation, Thèse de doctorat, page : 8.

[18] : DEGAMNA Marwa et BOUMELLIT Zeyneb, Développement d'un revêtement anti-corrosion à base de TMOS sur l'acier doux A9 et l'acier inoxydable C0400-08 via le procédé sol-gel, Mémoire du Projet de fin d'étude, 2019, page : 8.

[19] : Stéphane RANDU, Patrick NAYLOR et al, Protection des ouvrages métalliques, SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX

DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES), FAME 2, Décembre 2020, pages : 13.

[20] : Comité des techniciens, Circuits eau de mer traitements et matériaux, Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel, Édition TECHNIP, 1993, page : 209.

[21] : Mr. BOUGHABA WALID, Etude comparative du comportement à la corrosion de deux aciers HLE avec l'étude de l'influence de la température dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, mémoire de master, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR- ANNABA, 2018.

[22] : B. GROSGOGEAT, P. COLON, corrosion, support de cours, Université Médicale Virtuelle Francophone, 2009/2010.

[23] : Comité des techniciens, Corrosion et inhibition des puits et collectes, Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel, Édition TECHNIP, 1981, page : 209.

[24] : MAURIN FIXATION. Technique avancée – 7<sup>ème</sup> chapitre. Lutte contre la corrosion. [Document technique].

[25] : M. HÉLIE, Commissariat à l'énergie atomique, service de corrosion et du comportement des matériaux dans leur environnement, matériaux métalliques – phénomènes de corrosion, pages : 91.

[26] : Dr. Hakim BENSABRA, Cours de Corrosion et Protection des Métaux, destiné aux étudiants de 1<sup>ère</sup> année master en génie des matériaux, Université de JIJEL, 2016.

[27] : LACHACHI Sihem. ETUDE DE L'EFFICACITE INHIBITRICE DECORROSION DANS L'ACIDE SULFIRIQUE PAR LA POVIDONE IODEE. Mémoire Pour l'obtention du diplôme de : Master en Chimie. UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAID –TLEMCEM. 2020.

[28] : HADDAD Sihem, Les méthodes de protection contre la corrosion dans les sites industriels, MÉMOIRE Pour l'obtention du diplôme de Master en sécurité industrielle, Université Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, 2021.

- [29] : M. LE CLOAREC Christophe, Guide pour la formation du peintre anticorrosion, GEPI Groupement des Entrepreneurs de Peinture Industrielle, édition 2023.
- [30] : REVÊTEMENTS DE PROTECTION PAR PEINTURE, FICHE INFO TECHNIQUE N°004, Filière peinture anticorrosion, 2023.
- [31] : Lucien Veleva. 28 chapitres Protective Coatings and Inorganic Anti-Corrosion Pigments. By ASTM International. MNL17-EB/Jan. 2012.
- [32] : René LEFAUX, Pharmacien, Chimiste Principal Je la Jfarine, Licencié ès-Sciences, ingénieur Docteur, L'INDUSTRIE DU FER BLANC ET DES EMBALLAGES MÉTALLIQUES, livre, OFFICE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE, « DES PÊCHES MARITIMES », 59 AVENUE RAYMONJ ; POINCARÉ – PARIS, 1947, pp 32-48.
- [33] : ZOUAOUI Yamina, formation notions de base vernissage et impression sur les aciers pour emballages conserve et divers, GACU – EPE EMB POLE EST, 2023, page : 4.
- [34] : Documentation EPE EMB AZZABA, Utilisation des revêtements organiques dans la protection et la décoration de l'emballage métallique, pages : 30.
- [35] : Yves PELLETIER, Revêtements intérieurs pour emballages métalliques, article techniques de l'ingénieur, 10 juin 2000, pages : 6
- [36] : CODE D'USAGES POUR LA PRÉVENTION ET LA RÉDUCTION DE LA CONTAMINATION DES ALIMENTS EN CONSERVE PAR L'ÉTAIN INORGANIQUE, CAC/RCP 60-2005, 1ère édition 2005.
- [37] : HIMEUR Touhida et SERHANE Amel, Evaluation de l'effet anticorrosion de la propolis d'Algérie : Application pour la protection des boites de conserve alimentaires, mémoire de Master, Université Mohamed Seddik BEN YAHIA- Jijel, 2019.
- [38] : <https://mundolatas.com/fr/corrosion-dans-les-boites-de-conserve-de-poisson/>  
Consulté le : 09/05/2025 à 10 :24

- [39] : [https://epgp.inflibnet.ac.in/epgpdata/uploads/epgp\\_content/food\\_technology/food\\_packaging\\_technology/08.corrosion\\_of\\_metal\\_packaging\\_containers/et/2648\\_et\\_m8.pdf](https://epgp.inflibnet.ac.in/epgpdata/uploads/epgp_content/food_technology/food_packaging_technology/08.corrosion_of_metal_packaging_containers/et/2648_et_m8.pdf) Consulté le : 24/04/2025 à 13 :29
- [40] : COMPRENDRE LA CORROSION, FICHE INFO TECHNIQUE N°001, Filière peinture anticorrosion, 2023.
- [41] : ROPITAL François, Corrosion et dégradation des matériaux métalliques, ÉDITIONS TECHNIP, 2009, pages : 38.
- [42] : Bernard NORMAND, Prévention et lutte contre la corrosion, presses polytechniques et universitaires romandes, 2004, page : 41.
- [43] : Dr Damien FERON, Corrosion behaviour and protection of copper and aluminium alloys in seawater, European Federation of Corrosion Publications, NUMBER 50, CRC Press, 2007, pages :
- [44] : La revue de l'ANTICO, N°1, juillet 2016, page : 6.
- [45]: <https://labomat.eu/fr/faq-essais-mecaniques/683-test-d-adherence-par-quadrillage-quelle-solution-choisir.html> Consulté le 18/05/2025 à 22 :51
- [46] : <https://www.chowhound.com/1767025/is-it-safe-rust-canned-food/> Consulté le 20/05/2025 à 20 :57

*Chapitre III*  
*Partie expérimentale*

### **III.1.Introduction**

La corrosion est l'un des problèmes les plus dangereux rencontrés dans l'industrie, en particulier lorsque les métaux sont exposés à des environnements acides ou salins. L'étude du comportement à la corrosion dans ces conditions est cruciale pour garantir la durabilité des équipements et des structures. Dans cette étude, nous nous intéressons au comportement à la corrosion du fer blanc dans des solutions acides et salines à différentes concentrations.

### **III.2.L'objectif**

Étude de l'efficacité des méthodes de prévention de la corrosion, pour protéger l'acier en milieux industriels, à travers une démarche expérimentale qui consiste au suivi des résultats du décapage chimique par la méthode gravimétrique.

### **III.3.Méthodes et techniques**

#### **III.3.1.Méthodes**

##### **III.3.1.1.Méthode gravimétrique**

La méthode gravimétrique est la meilleure technique d'analyse au laboratoire pour l'étude de la corrosion, car elle ne nécessite pas un appareillage complexe. Elle est basée sur la mesure la perte de masse d'un échantillon de surface  $S$ , après son exposition a un milieu corrosif pendant des intervalles de temps bien déterminées, à température contrôlée. [1, 2]

##### **III.3.1.2.Méthode de décapage en place**

Le décapage est une opération qui sert à enlever la couche supérieure d'un matériau (couche de peinture, de vernis, de rouille, ...). Elle peut être appliquée sur plusieurs types de supports : bois, acier, métal, fonte,...

Parmi les multiples applications industrielles du décapage, on note :

- La mise à blanc des pièces métalliques
- La préparation des surfaces avant l'application des revêtements
- L'élimination de la rouille
- Le nettoyage des colles et des vernis

Le décapage peut être réalisé à l'aide de différentes techniques : mécanique, chimique, thermique. Parmi les techniques industrielles du décapage, on note :

- Le sablage, le grenailage.
- Le décapage thermique, le décapage cryogénique, le décapage au laser
- Le décapage chimique
- Le décapage chimique :

Le décapage chimique par immersion est un traitement qui consiste à nettoyer les surfaces en utilisant des produits chimiques. Il est réalisé en plongeant les objets à traiter dans une cuve contenant une solution décapante, la solution décapante peut être un acide à traiter avec précautions ou une solution écologique alcaline. Après le décapage on effectue un rinçage pour enlever les résidus.

Le choix de la technique du décapage dépend de plusieurs facteurs :

- Type de matériau à décaper, du revêtement à enlever
- La taille de la surface à traiter
- Temps et du budget disponibles
- Contraintes environnementales et de sécurité. [3, 4]

### III.3.2. Matériaux utilisés

**Tableau III.1 :** Matériaux et matériel utilisé.

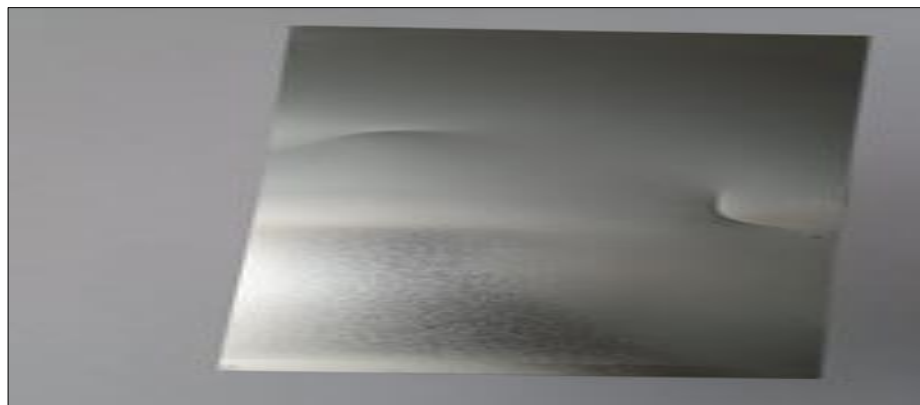
Matériaux utilisés	Matériel utilisé
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Échantillons fournis par l'entreprise « EPE EMB SPA USINE DE AZZABA »</li> <li>- Feuilles de fer blanc</li> <li>- Quatre types de peinture et vernis</li> <li>- Diluant</li> <li>• Produits chimiques</li> <li>- Chlorure de sodium NaCl</li> <li>- Acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré</li> <li>- Eau distillée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verrerie : Bécher, Fioles jaugées (100 ml, 500 ml), Verre de montre, Entonnoir, Pipette graduée.</li> <li>• Balance de précision</li> <li>• Pince, spatule, papier absorbant, étiquettes, pinceaux, cisaille, polystyrène</li> <li>• Blouse, masque respiratoire, lunettes de protection, gants</li> </ul>

### III.3.2.1. Préparation des échantillons

Les échantillons métalliques utilisés dans cette étude sont des feuilles de fer blanc de 0.17 mm d'épaisseur, fournies par l'entreprise d'accueil dans laquelle le stage pratique a été effectué, « EPE EMB SPA USINE DE AZZABA ». Nous avons découpé vingt-cinq échantillons de forme rectangulaire et de dimensions de 1cm sur 2 cm.

**Tableau III.2 :** Composition chimique de l'acier doux.

Fe	$776 \pm 9.8$	$80.6 \pm 0.17$
Mn	$142 \pm 2.0$	$14.7 \pm 0.11$
Si	$26.6 \pm 2.9$	$2.75 \pm 0.28$
Cu	$17.2 \pm 0.20$	$1.79 \pm 0.02$



**Figure III.1 :** Feuille de fer blanc.

### III.3.2.2. Produits à face vernie

Parmi les vingt-cinq échantillons découpés, on a choisi cinq (E1, E2, E3, E4, Et) qui présentent deux faces distinctes, une face nue exposée directement à l'environnement, et une face revêtue d'une couche mince du vernis d'accrochage (transparent).



**Figure III.2 :** Échantillons à face vernie.

### III.3.2.3. Produits vernis

Les vingt échantillons restants ont été divisés en quatre groupes en fonction de la similitude de leur masse. Chaque groupe contient cinq échantillons que nous avons peints avec l'un des quatre types de vernis.

- Vernis blanc :  $E_{VB2}$ ,  $E_{VB9}$ ,  $E_{VB10}$ ,  $E_{VB11}$ ,  $E_{VBA}$
- Couché blanc :  $E_{VC4}$ ,  $E_{VC5}$ ,  $E_{VC13}$ ,  $E_{VC14}$ ,  $E_{VC D}$
- Vernis transparent :  $E_{VT7}$ ,  $E_{VT8}$ ,  $E_{VT12}$ ,  $E_{VT15}$ ,  $E_{VTC}$
- Vernis or :  $E_{VO1}$ ,  $E_{VO3}$ ,  $E_{VO6}$ ,  $E_{VO16}$ ,  $E_{VOB}$

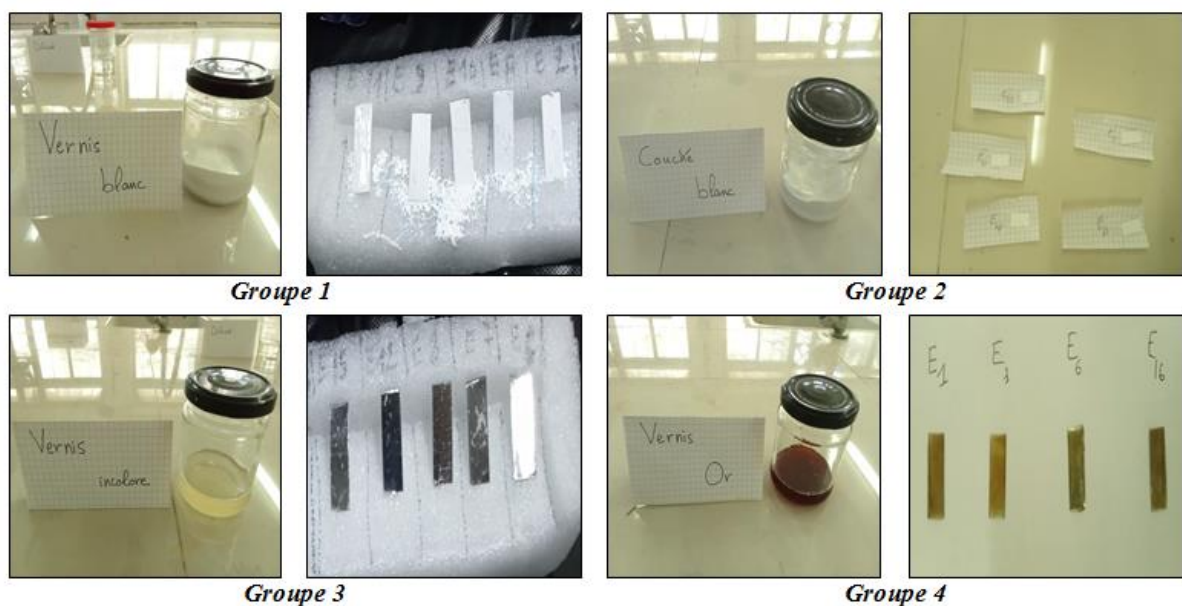


Figure III.3 : Échantillons vernis.

### III.4. Procédé expérimental

Ce procédé c'est déroulé au niveau du laboratoire 116 du hall technologique au sein de l'université du 20 Aout 1955 Skikda.

1. Préparation des échantillons et des solutions nécessaires :
  - Nous avons pris la feuille du fer blanc et nous l'avons découpée en 25 échantillons de 1 cm sur 2 cm, puis nous les avons pesés.
  - Nous avons préparé deux solutions : du chlorure de sodium et de l'acide sulfurique.
    - Solution de chlorure de sodium : Nous l'avons préparée à deux concentrations différentes, 3 % et 5 %, après avoir pesé deux masses de poudre de chlorure de

- sodium, 3 g et 5 g. Nous avons dissous chacune d'elles dans 100 ml d'eau distillée à l'aide de deux fioles jaugées de 100 ml.
- Solution d'acide sulfurique : Nous l'avons préparée à deux concentrations différentes : 3 % et 5 %. En utilisant la loi de dilution  $C_1.V_1 = C_2.V_2$  **(III.1)** Nous avons calculé les volumes nécessaires à prélever de la solution mère d'acide sulfurique (98 %). Nous avons prélevé 15,3 ml et nous les avons versés dans 500 ml d'eau distillée dans une fiole jaugée de 500 ml. Nous avons ensuite prélevé 25,5 ml et nous les avons versés dans 500 ml d'eau distillée dans une fiole jaugée de 500 ml.
    - Avant de préparer la solution d'acide sulfurique, nous avons utilisé des équipements de protection individuels (lunettes, gants, masques, blouses) et nous l'avons préparée sous haute.
2. Nous prenons le premier lot de cinq échantillons non revêtus et en immergeons quatre dans les solutions préparées précédemment (NaCl 3%, NaCl 5%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5%) pendant 1 heure, puis 3 heures, 5 heures, 7 heures et 9 heures. Nous pesons les échantillons à chaque fois après les avoir rincés à l'eau distillée et séchés.
  3. Nous prenons le deuxième lot de 20 échantillons et nous le divisons en quatre groupes :
    - Groupe 1 : Cinq échantillons sont revêtus en vernis blanc.
    - Groupe 2 : Cinq échantillons sont revêtus en couché blanc.
    - Groupe 3 : Cinq échantillons sont revêtus en vernis transparent.
    - Groupe 4 : Cinq échantillons sont revêtus en vernis or.
    - Le processus de peinture a été réalisé au pinceau et les échantillons ont été séchés naturellement sans étuve.
  4. Une fois les échantillons revêtus secs, nous les avons pesés puis immergés dans les solutions précédentes (NaCl 3%, NaCl 5%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5%) pendant neuf heures (1 heure, puis 3 heures, 5 heures, 7 heures et 9 heures), en les pesants à chaque fois après les avoir rincés à l'eau distillée et séchés.



Figure III.4 : Les pinceaux et les vernis utilisés.

### III.5. Préparation des solutions

- **Préparation des solutions de chlorure de sodium NaCl**

On prépare deux solutions aqueuses de chlorure de sodium NaCl à des concentrations de 3% et 5% en masse, afin de stimuler un milieu corrosif salin.

A l'aide d'une balance électronique, on pèse les masses nécessaires pour chaque concentration :

- Pour 100 ml de solution à 3%, on utilise 3g de NaCl.
- Pour 100 ml de solution à 5%, on utilise 5g de NaCl.

On transmet la quantité pesée dans une fiole jaugée de volume 100 ml.

On ajoute de l'eau distillée jusqu'à  $\frac{1}{4}$  de la fiole, et on agite afin de dissoudre la totalité du sel.

On complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, puis, On agite encore une fois pour homogénéiser la solution.



Figure III.5 : Préparation des solutions de chlorure de sodium.

- **Préparation des solutions de l'acide sulfurique  $H_2SO_4$**

On prépare deux solutions diluées d'acide sulfurique  $H_2SO_4$  concentré (98%) à des concentrations de 3% et 5% en volume, afin de simuler un milieu corrosif acide.

A l'aide d'une pipette graduée, et en respectant les règles de sécurité (gants, masque respiratoire, lunettes, hotte), on prélève les volumes suivants :

- 25,5 ml de  $H_2SO_4$ , pour préparer 500 ml de solution à 5%.
- 15,3 ml de  $H_2SO_4$ , pour préparer 500 ml de solution à 3%.

On ajoute lentement le volume prélevé dans une fiole contenant environ 300 ml d'eau distillée, pour éviter tout risque d'ébullition violente.

On agite le mélange pour favoriser la dilution, puis on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge pour atteindre le volume de 500 ml pour chaque solution.



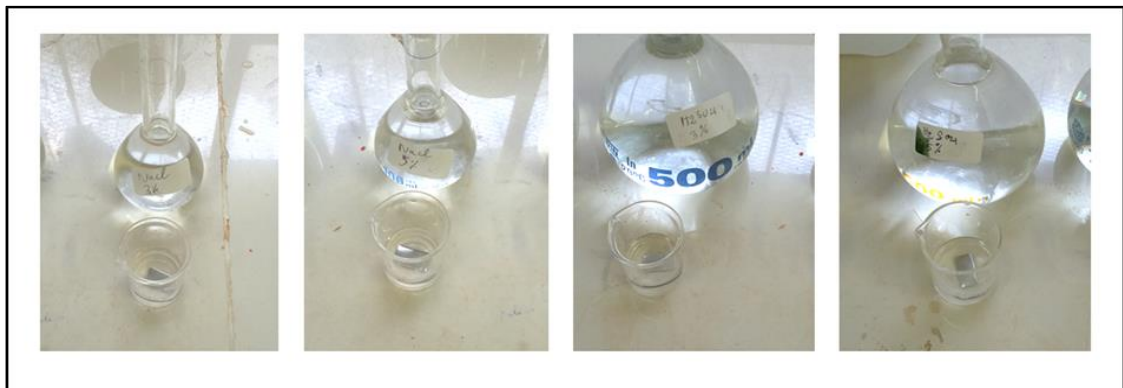
Figure III.6 : Solutions d'acide sulfurique.

### III.6. Protocole de décapage chimique

Pour étudier l'efficacité anticorrosion des revêtements appliqués sur les échantillons du fer blanc, nous les avons soumis à un décapage chimique pendant neuf heures et nous avons étudié leur variation de masse en fonction du temps d'immersion.

#### ➤ Décapage chimique des échantillons non revêtus

- Quatre échantillons non revêtus ont été immergés dans les solutions (NaCl 3%, NaCl 5%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5%) pendant une heure.
- Les échantillons ont été extraits, lavés à l'eau distillée, soigneusement séchés avec du papier absorbant et pesés.
- Le même processus a été répété, en immergeant les échantillons toutes les deux heures jusqu'à ce que la durée totale atteigne neuf heures, soit 1 heure, 3 heures, 5 heures, 7 heures et 9 heures.



**Figure III.7 :** Décapage chimique par immersion des échantillons à face vernie (non revêtus).

#### ➤ Décapage chimique des échantillons revêtus

- Seize échantillons revêtus (chaque quatre échantillons revêtus de l'un des quatre types de peintures et vernis) ont été immergés dans les solutions (NaCl 3%, NaCl 5%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5%) pendant une heure.
- Les échantillons ont été extraits, lavés à l'eau distillée, soigneusement séchés avec du papier absorbant et pesés.
- Le même processus a été répété, les échantillons étant immergés toutes les deux heures jusqu'à un total de neuf heures : une heure, trois heures, cinq heures, sept heures et neuf heures.



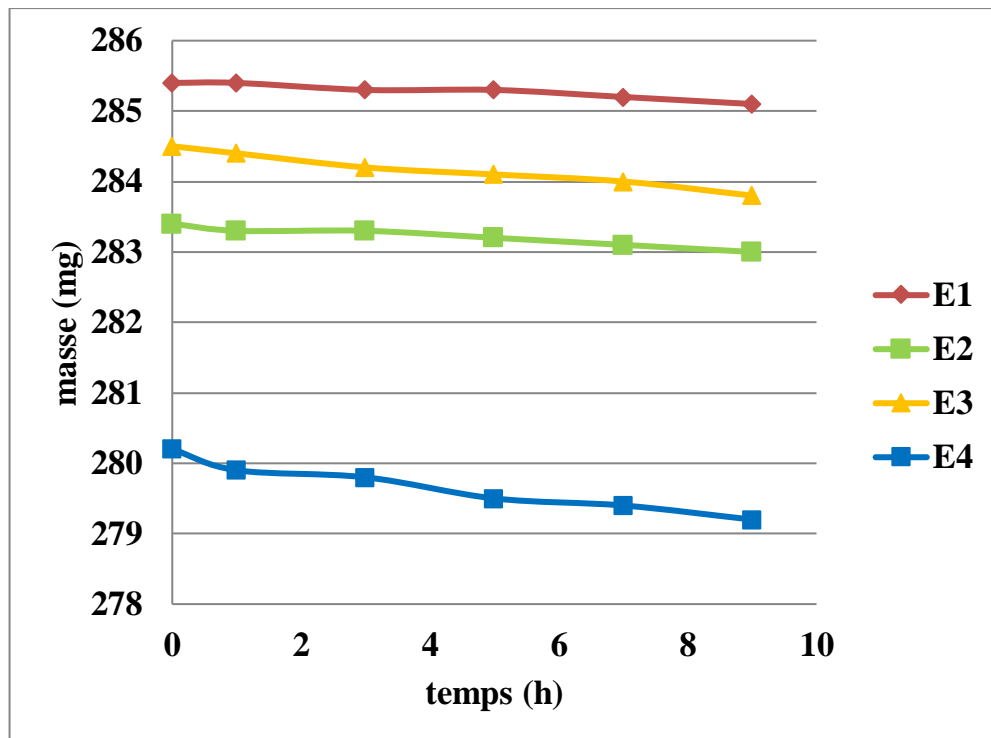
Figure III.8 : Décapage chimique par immersion des échantillons vernis.

### III.7. Résultats et interprétation

- Echantillons à face vernie

Tableau III.3 : Résultats de la perte de masse des échantillons à face vernis.

échantillon	solution		masse (mg)	temps (h)					
				0	1	3	5	7	9
E1	NaCl	3%	m1 (mg)	285,4	285,4	285,3	285,3	285,2	285,1
E2		5%	m2 (mg)	283,4	283,3	283,3	283,2	283,1	283
E3	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3%	m3 (mg)	284,5	284,4	284,2	284,1	284	283,8
E4		5%	m4 (mg)	280,2	279,9	279,8	279,5	279,4	279,2



**Figure III.9 :** Représentation graphique de la variation de la masse en fonction du temps des échantillons à face vernie.

#### ❖ Interprétation des résultats pour les échantillons à face vernies

La figure III.9 représente les résultats du décapage chimique des échantillons E1, E2, E3, E4 à face vernie (vernissage à chaud dans l'EMB). Les graphiques montrent comment la masse des échantillons immergés dans les solutions (NaCl 3%, NaCl 5%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5%) se dégrade au fil de temps sur une période de neuf heures. Voici l'interprétation des courbes des échantillons étudiées.

##### ➤ Echantillons E1 et E2

L'analyse des résultats gravimétriques montre une similitude des allures des courbes. Les graphiques illustrent une diminution progressive lente de la masse des échantillons E1 et E2 sous l'effet de l'immersion dans NaCl à 3 % et à 5 %. Cependant, la quantité de matière perdue après neuf heures d'immersion a été estimée à 0,3 mg pour E1 et à 0,4 mg pour E2, ceci indique que les réactions de corrosion du fer blanc se développent lentement et que la quantité de matière perdue est plus élevée dans les milieux les plus concentrés.

➤ Echantillons E3 et E4

L'analyse des résultats gravimétriques montre une similitude des allures des courbes. Les graphiques illustrent une diminution progressive et plus rapide de la masse des échantillons E3 et E4 sous l'effet de l'immersion dans l'acide sulfurique à 3 % et à 5 %. Cependant, la quantité de matière perdue après neuf heures d'immersion a été estimée à 0,7 mg pour E3 et à 1 mg pour E4, ceci indique que les réactions de corrosion du fer blanc se développent plus rapidement que dans les milieux salins et que la quantité de matière perdue est plus élevée dans les milieux les plus concentrés.

■ Selon les résultats obtenus, nous concluons que la face non revêtue du métal a réagi directement avec les milieux acides et salins. Cependant, on remarque que la perte de masse reste plus faible que celles observée pour les échantillons vernis au laboratoire selon la méthode classique. Cela nous permet de déduire que la performance des échantillons revêtus et séchés à chaud est meilleure par rapport à ceux séchés à température ambiante.

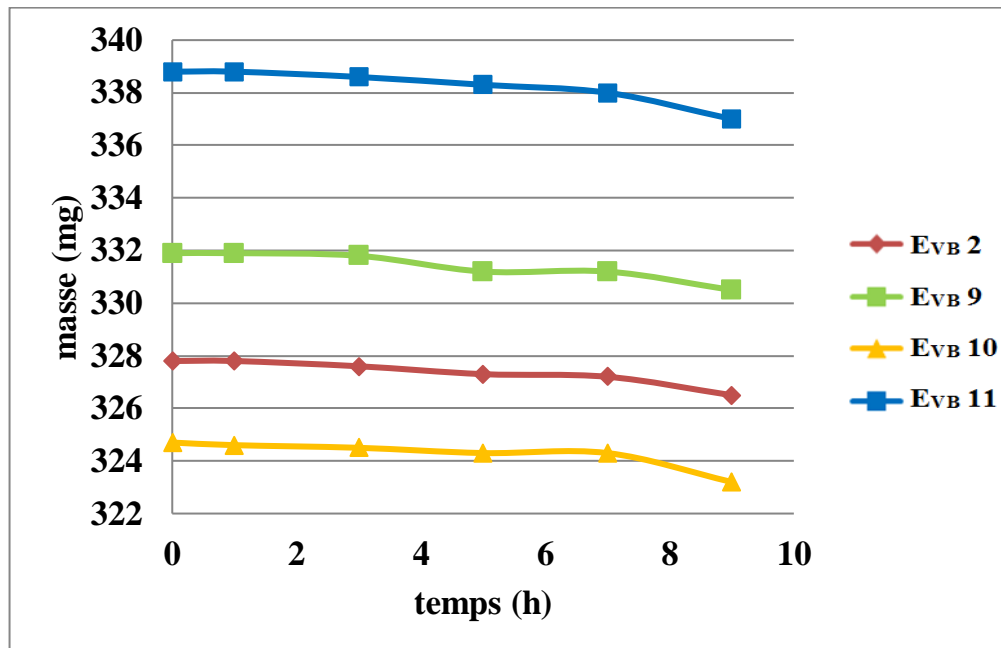
• **Echantillons revêtus en vernis blanc**

**Tableau III.4 :** Masse des échantillons revêtus en vernis blanc avant et après vernissage.

Échantillon	Masse avant vernissage (mg)	Masse après vernissage (mg)
<b>E<sub>VB 2</sub></b>	273.1	327.8
<b>E<sub>VB 9</sub></b>	273.5	331.9
<b>E<sub>VB 10</sub></b>	271.9	324.7
<b>E<sub>VB 11</sub></b>	274	338.8

**Tableau III.5 :** Résultats de la perte de masse des échantillons revêtus en vernis blanc.

échantillon	solution	masse (mg)	temps (h)						
			0	1	3	5	7	9	
<b>E<sub>VB 2</sub></b>	<b>NaCl</b>	<b>3%</b>	<b>m2 (mg)</b>	327,8	327,8	327,6	327,3	327,2	326,5
<b>E<sub>VB 9</sub></b>		<b>5%</b>	<b>m9 (mg)</b>	331,9	331,9	331,8	331,2	331,2	330,5
<b>E<sub>VB 10</sub></b>	<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	<b>3%</b>	<b>m10 (mg)</b>	324,7	324,6	324,5	324,3	324,3	324,2
<b>E<sub>VB 11</sub></b>		<b>5%</b>	<b>m11 (mg)</b>	338,8	338,8	338,6	338,3	338	337



**Figure III.10** : Représentation graphique de la variation de la masse en fonction du temps des échantillons revêtus en vernis blanc.

#### ❖ Interprétation des résultats pour les échantillons revêtus en vernis blanc

La figure III.10 représente les résultats du décapage chimique des échantillons  $E_{VB2}$ ,  $E_{VB9}$ ,  $E_{VB10}$ ,  $E_{VB11}$  revêtus en vernis blanc. Les graphiques montrent comment la masse des échantillons immergés dans les solutions ( $NaCl$  3%,  $NaCl$  5%,  $H_2SO_4$  3%,  $H_2SO_4$  5%) se dégrade au fil de temps sur une période de neuf heures. Voici l'interprétation des courbes des échantillons étudiées.

#### ➤ Les échantillons $E_{VB2}$ et $E_{VB9}$

L'analyse des résultats gravimétriques montre une similitude des allures des courbes pour les solutions de  $NaCl$  à 3% et 5%. L'allure des courbes montre une diminution de masse toutes les deux heures, expliquée par le développement continu de la corrosion due à une réaction chimique entre le vernis blanc et le chlorure de sodium, entraînant une perte de matière de 1.3 mg pour  $E_{VB2}$  et de 1.4 mg pour  $E_{VB9}$ . Ce qui ressort clairement de ces résultats est que le vernis blanc présente une bonne résistance à la corrosion dans les environnements salins où la dégradation se produit lentement et faiblement.

➤ **Les échantillons E<sub>VB10</sub> et E<sub>VB11</sub>**

Les courbes de perte de masse de E<sub>VB10</sub> et E<sub>VB11</sub> montrent que la diminution de la masse progresse rapidement dans les solutions d'acide sulfurique, ce qui est probablement dû à l'interaction du vernis blanc avec l'acide, provoquant une perte de poids de 1.5 mg pour E<sub>VB10</sub> et 1.8 mg pour E<sub>VB11</sub>. La corrosion est plus agressive pour le revêtement en milieu acide où la masse diminue rapidement par rapport aux milieux salins.

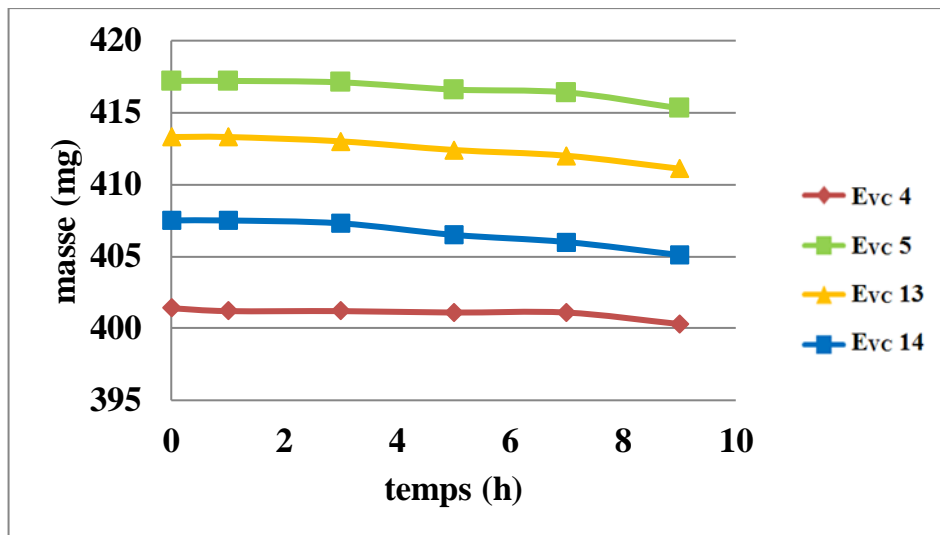
• **Echantillons revêtus en couché blanc**

**Tableau III.6 :** Masse des échantillons revêtus en couché blanc avant et après vernissage.

Échantillon	Masse avant vernissage (mg)	Masse après vernissage (mg)
E <sub>VC 4</sub>	281.2	401.4
E <sub>VC 5</sub>	291.3	417.2
E <sub>VC 13</sub>	288.2	413.3
E <sub>VC 14</sub>	287.3	407.5

**Tableau III.7 :** Résultats de la perte de masse des échantillons revêtus en couché blanc.

échantillon	solution		masse (mg)	temps (h)					
				0	1	3	5	7	9
E <sub>VC 4</sub>	NaCl	3%	m4 (mg)	401.4	401.2	401.2	401.1	401.1	400.3
E <sub>VC 5</sub>		5%	m5 (mg)	417.2	417.2	417.1	416.6	416.4	415.3
E <sub>VC 13</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3%	m13 (mg)	413.3	413.3	413	412.4	412	411.1
E <sub>VC 14</sub>		5%	m14 (mg)	407.5	407.5	407.3	406.5	406	405.1



**Figure III.11** : Représentation graphique de la variation de la masse en fonction du temps des échantillons revêtus en couche blanche.

#### ❖ Interprétation des résultats pour les échantillons revêtus en couche blanche

La figure III.11 représente les résultats du décapage chimique des échantillons Evc4, Evc5, Evc13, Evc14 revêtus en couche blanche. Les graphiques montrent comment la masse des échantillons immergés dans les solutions (NaCl 3%, NaCl 5%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5%) se dégrade au fil de temps sur une période de neuf heures. Voici l'interprétation des courbes des échantillons étudiées.

##### ➤ Les échantillons Evc4 et Evc5

L'analyse des résultats gravimétriques montre une similarité dans le comportement des échantillons Evc4 et Evc5 exposés aux solutions de NaCl à 3 % et 5 %. Les courbes indiquent une diminution progressive de la masse toutes les deux heures, traduisant une corrosion continue. Cette évolution est due à la réaction chimique entre les ions chlorure et le couche blanc, entraînant une perte de masse de 1.1 mg pour Evc4 et de 1.9 mg pour Evc5. Cette différence montre que l'augmentation de la concentration en NaCl intensifie le processus de corrosion. Ce qui ressort clairement que le couche blanc présente une certaine résistance face au NaCl, mais cette protection est progressivement compromise, surtout lorsque la concentration en sel augmente.

➤ **Les échantillons E<sub>VC13</sub> et E<sub>VC14</sub>**

Les courbes de perte de masse des échantillons E<sub>VC13</sub> et E<sub>VC14</sub> révèlent une progression rapide de la corrosion dans les milieux acides. Cette évolution est due à une attaque directe du revêtement par l'acide sulfurique, entraînant une perte de masse de 2.2 mg pour E<sub>VC13</sub> et de 2.4 mg pour E<sub>VC14</sub>. L'agressivité du milieu acide compromet rapidement l'efficacité du couché blanc, entraînant une dégradation significative. Ce qui ressort clairement que le couché blanc ne résiste pas efficacement aux environnements acides, même à faible concentration. La corrosion y est plus agressive, rapide et directe que dans les milieux salins.

D'après les résultats de perte de masse obtenus, Le couché blanc présente une certaine protection en milieu salin, avec une corrosion progressive influencée par la concentration en NaCl. Tandis que, il montre une très faible résistance aux environnements acides, particulièrement à haute concentration, ou l'acide sulfurique attaque rapidement la structure du revêtement.

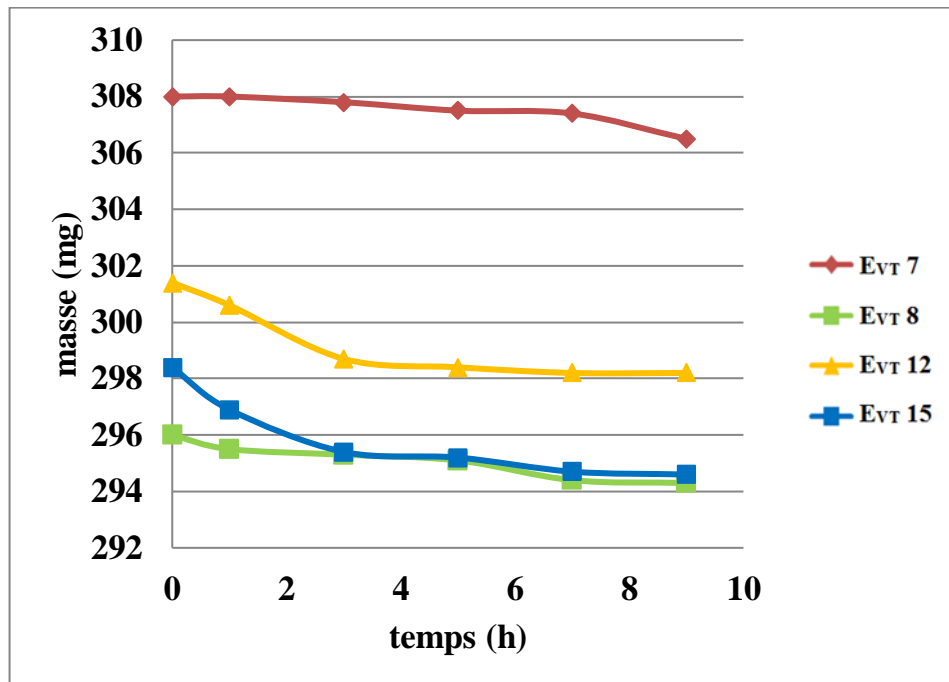
• **Echantillons revêtus en vernis transparent**

**Tableau III.8 :** Masse des échantillons revêtus en vernis transparent avant et après vernissage.

Échantillon	Masse avant vernissage (mg)	Masse après vernissage (mg)
E <sub>VT 7</sub>	269.4	308
E <sub>VT 8</sub>	270	296
E <sub>VT 12</sub>	271.8	301.4
E <sub>VT 15</sub>	269.2	298.4

**Tableau III.9 :** Résultats de la perte de masse des échantillons revêtus en vernis transparent.

échantillon	solution		masse (mg)	temps (h)					
				0	1	3	5	7	9
E <sub>VT 7</sub>	NaCl	3%	m7 (mg)	308	308	307.8	307.5	307.4	306.5
E <sub>VT 8</sub>		5%	m8 (mg)	296	295.5	295.3	295.1	294.4	294.3
E <sub>VT 12</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3%	m12 (mg)	301.4	300.6	298.7	298.4	298.2	298.2
E <sub>VT 15</sub>		5%	m15 (mg)	298.4	296.9	295.4	295.2	294.7	294.6



**Figure III.12 :** Représentation graphique de la variation de la masse en fonction du temps des échantillons revêtus en vernis transparent.

#### ❖ Interprétation des résultats pour les échantillons revêtus en vernis transparent

La figure III.12 représente les résultats du décapage chimique des échantillons  $E_{VT7}$ ,  $E_{VT8}$ ,  $E_{VT12}$ ,  $E_{VT15}$  revêtus en transparent. Les graphiques montrent comment la masse des échantillons immergés dans les solutions ( $NaCl$  3%,  $NaCl$  5%,  $H_2SO_4$  3%,  $H_2SO_4$  5%) se dégrade au fil de temps sur une période de neuf heures. Voici l'interprétation des courbes des échantillons étudiées.

##### ➤ Les échantillons $E_{VT7}$ et $E_{VT8}$

L'analyse des résultats gravimétriques montre une similitude des allures des courbes pour les solutions de  $NaCl$  à 3% et 5%. L'allure des courbes montre une diminution de masse toutes les deux heures, ce qui s'explique par le développement continu de la corrosion due à une réaction chimique entre le vernis transparent et le chlorure de sodium, entraînant une perte de matière de 1.5 mg pour  $E_{VT7}$  et de 1.7 mg pour  $E_{VT8}$ . Ce qui ressort clairement de ces résultats est que le vernis transparent présente une

bonne résistance à la corrosion dans les environnements salins où la dégradation se produit lentement et faiblement.

➤ **Les échantillons E<sub>VT12</sub> et E<sub>VT15</sub>**

Les courbes de perte de masse de E<sub>VT12</sub> et E<sub>VT15</sub> montrent que la diminution de la masse progresse rapidement dans les solutions d'acide sulfurique, ce qui est probablement dû à l'interaction du vernis blanc avec l'acide, provoquant une perte de poids de 3.2 mg pour E<sub>VT12</sub> et 3.8 mg pour E<sub>VT15</sub>. La corrosion est plus agressive pour le revêtement en milieu acide où la masse diminue rapidement par rapport aux milieux salins.

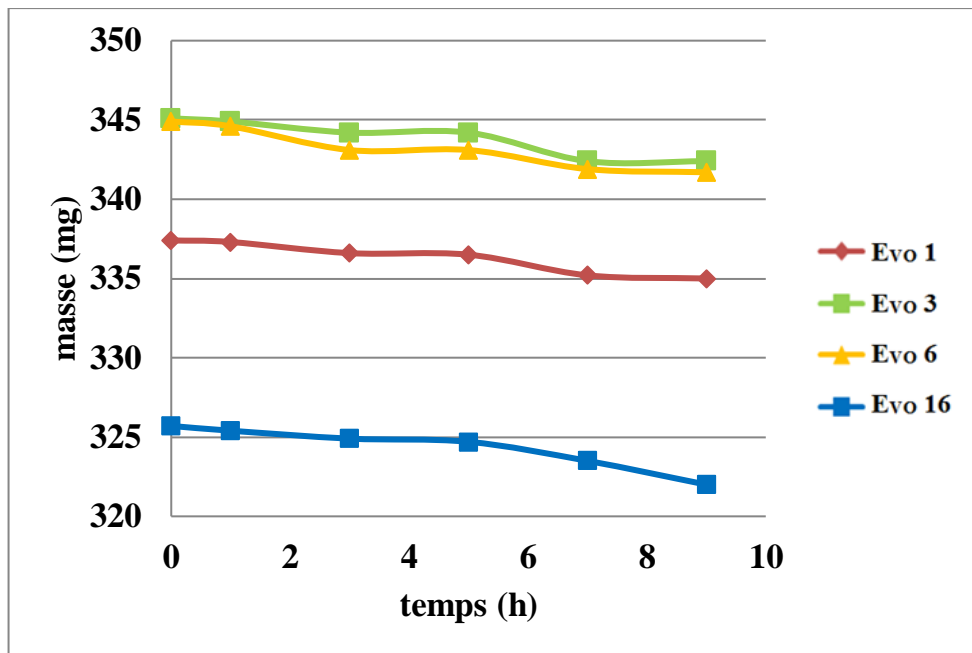
• **Echantillons revêtus en vernis or**

**Tableau III.10** : Masse des échantillons revêtus en vernis or avant et après vernissage.

Échantillon	Masse avant vernissage (mg)	Masse après vernissage (mg)
E <sub>VO 1</sub>	264.8	337.4
E <sub>VO 3</sub>	264	345.1
E <sub>VO 6</sub>	268.7	344.9
E <sub>VO 16</sub>	260.7	325.7

**Tableau III.11** : Résultats de la perte de masse des échantillons revêtus en vernis or.

échantillon	solution		masse (mg)	temps (h)					
				0	1	3	5	7	9
E <sub>VO 1</sub>	NaCl	3%	m1 (mg)	337.4	337.3	336.6	336.5	335.2	335
E <sub>VO 3</sub>		5%	m3 (mg)	345.1	344.9	344.2	344.2	342.4	342.4
E <sub>VO 6</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3%	m6 (mg)	344.9	344.6	343.1	343.1	341.9	341.7
E <sub>VO 16</sub>		5%	m16 (mg)	325.7	325.4	324.9	324.7	323.5	322



**Figure III.13** : Représentation graphique de la variation de la masse en fonction du temps des échantillons revêtus en vernis or.

#### ❖ Interprétation des résultats pour les échantillons revêtus en vernis or

La figure III.13 représente les résultats du décapage chimique des échantillons  $E_{VO1}$ ,  $E_{VO3}$ ,  $E_{VO6}$ ,  $E_{VO16}$  revêtus en vernis or. Les graphiques montrent comment la masse des échantillons immergés dans les solutions ( $NaCl$  3%,  $NaCl$  5%,  $H_2SO_4$  3%,  $H_2SO_4$  5%) se dégrade au fil de temps sur une période de neuf heures. Voici l'interprétation des courbes des échantillons étudiées.

##### ➤ Les échantillons $E_{VO1}$ et $E_{VO3}$

L'analyse des résultats gravimétriques montre une similarité dans l'allure des courbes des échantillons  $E_{VO1}$  et  $E_{VO3}$ , exposés respectivement aux solutions de  $NaCl$  à 3 % et 5 %. La perte de masse est progressive, avec une diminution observée toutes les deux heures. Ce comportement s'explique par le développement continu de la corrosion, résultant de la réaction chimique entre le vernis or et les ions chlorure de sodium. La perte de matière enregistrée atteint 2.4 mg pour  $E_{VO1}$  et 2.7 mg pour  $E_{VO3}$ . Ce qui ressort clairement que l'augmentation de la concentration en  $NaCl$  intensifie légèrement la corrosion. Ce qui ressort clairement que le vernis or montre une

protection limitée contre la corrosion en milieu salin, avec une dégradation progressive qui s'aggrave légèrement avec l'augmentation de la concentration.

➤ **Les échantillons E<sub>VO6</sub> et E<sub>VO16</sub>**

Les courbes de perte de masse des échantillons E<sub>VO6</sub> et E<sub>VO16</sub> révèlent une progression rapide et marquée de la corrosion dans les solutions d'acide sulfurique. Cette dégradation est probablement due à l'interaction chimique directe entre le vernis or et l'acide, qui compromet rapidement la structure du revêtement. La perte de masse atteint 3.2 mg pour E<sub>VO6</sub> (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3 %) et s'intensifie jusqu'à 3.7 mg pour E<sub>VO16</sub> (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 %).

Cela indique une sensibilité élevée du revêtement aux milieux fortement acides, où la corrosion devient plus agressive. Le vernis or ne résiste pas efficacement en milieu acide, surtout à forte concentration, où la corrosion devient sévère et rapide.

D'après les résultats de perte de masse obtenus, Le vernis or présente une protection modérée en milieu salin, avec une corrosion progressive influencée par la concentration en NaCl. Toutefois, il montre une très faible résistance aux environnements acides, particulièrement à haute concentration.

### **III.8.Conclusion**

Cette étude vise à comprendre le comportement à la corrosion du fer blanc revêtu et non revêtu dans des milieux salins et acides avec différentes concentrations en suivant la perte de masse des échantillons. Selon les résultats obtenus, nous visons à confirmer la possibilité de l'intégration du fer blanc dans l'industrie pétrolière et gazière et également à mettre en évidence l'efficacité des revêtements pour réduire et limiter les dommages causés par la corrosion.

**Références bibliographiques**

[1] : Mohamed KHALDOUNE, Hinda HAFID et al, GRAVIMETRIC AND ELECTROCHEMICAL INVESTIGATION OF THE IMPACT OF VARIOUS FACTORS ON XC48 CARBON STEEL CORROSION IN DIFFERENT ENVIRONMENTS, Revue Roumaine de Chimie, 2023.

[2] : HARIK Choab, effet inhibiteur de tensioactif anionique synthétisé à partir de gasoil algérien sur la corrosion de l'acier doux, mémoire de fin d'étude, Université de Blida 1, 2017.

[3] : <https://www.surfasfrance.com/decapage-industriel/>, Consulté le : 2/6/2025 à 23 :53

[4] : TC-brochure-paint-EN-FR.pdf, <https://www.thermoclean.com/fr/>, Consulté le : 2/6/2025 à 23 :45

## *Conclusion Générale*

## **Conclusion générale**

Plusieurs méthodes sont utilisées pour prévenir et retarder la corrosion en milieu industriel, notamment l'application de revêtements ou de vernis, considérés comme l'une des méthodes de protection les plus importantes.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'efficacité d'une méthode de protection de l'acier contre la corrosion en milieu industriel, par une approche expérimentale basée sur le suivi des résultats du décapage chimique d'échantillons du fer blanc en milieux acides et salins de différentes concentrations, en présence et en l'absence de revêtement, en suivant la perte de masse tout au long de la période d'immersion.

En s'appuyant sur les résultats de cette modeste étude expérimentale nous visons à mettre en évidence la résistance du fer blanc à la corrosion, ce qui permet de l'intégrer dans l'industrie pétrochimique au futur comme matériau de construction et comme une alternative économique, en le renforçant ainsi par l'application des peintures et des vernis pour garantir la longévité des équipements industriels.

En conclusion, nous souhaitons que cette étude contribue à l'adoption des mesures pour lutter contre la corrosion, qui constituent un investissement pour prévenir les pannes et accidents industriels coûteux. Elle permettra également de réduire certains risques, d'améliorer la sécurité, de fiabiliser les performances industrielles, de prolonger la durée de vie des équipements industriels et d'accroître la rentabilité des investissements.



*Annexes*

## Annexe A

**HOLAC**<sup>®</sup> COATINGS  
PRINTING-INKS  
SEALANTS  
ACCESSORIES



INFORMATION TECHNIQUE – VERNIS

Rev. 08 – 03.03.2014

# HOLAC<sup>®</sup> 702.5301 Laque intérieure de protection

### CARACTÉRISTIQUES

Couché beige pour intérieur de récipients industriels

### DONNÉES TECHNIQUES

Éléments chimiques:	Epoxy phénolique
Couleur:	Beige
Viscosité:	140 - 200 sec. FORD coupe 4 mm à 25 °C 75 – 87 sec Coupe ISO 6 à 25°C
Densité:	1120 - 1160 g/ml (20 °C)
Extrait sec:	51 - 55 % (30 min. à 200 °C)

### APPLICATION

Substrat:	Fer blanc
Application:	Vernisseuse (à rouleaux)
Charge sèche:	12 - 16 g/m <sup>2</sup>
Charge humide:	23 – 30 g/m <sup>2</sup>
Étuvage:	12 min. à 200 °C (10 min. PMT)
Stockage:	6 mois en fûts fermés dans un endroit frais à une température 25 °C. On peut s'attendre à une augmentation de la viscosité
Diluant:	HOLAC 720.0801 de 1 à 2 %

### AUTRE INFORMATION

- Le couché présente de parfaite caractéristiques d'adhérence, de flexibilité et de nature glissante
- En cas de double passage ne pas dépasser 20 g/m<sup>2</sup>. Cuire la première fois à 170 – 180 °C
- Poids spécifique sec = 1,37 donc 1 g/m<sup>2</sup> de matière sèche = 0,73 micron
- Pour le contact avec des produits agressifs, il est recommandé d'appliquer au moins 14 g/m<sup>2</sup> sec.
- Bien agiter avant application

The suggestions for use and application given herein represent the best information available to us and are believed to be reliable. Since the application of our products however is made under conditions beyond our control there is no warranty expressed or implied, with respect to these recommendations or products. Users of our materials are urged to conduct confirmatory tests in order to determine final suitability for their specific end use.

HOCHBACH GMBH P.O. Box 100130 70745 Leinfelden-Echterdingen Germany  
Phone +49 711 903 76 0 Fax +49 711 903 76 20 Email info@hochbach.de

## Annexe B

**HOLAC**<sup>®</sup> COATINGS  
PRINTING-INKS  
SEALANTS  
ACCESSORIES



INFORMATION TECHNIQUE

Rev. 07 – 03.02.2014

# HOLAC<sup>®</sup> 708.6601 Couché blanc

### CARACTÉRISTIQUES

Couché blanc très flexible pour l'extérieur des boîtes alimentaires 3 pièces, stérilisable

### DONNÉES TECHNIQUES

Éléments chimiques:	Polyester modifié
Couleur:	Blanche
Viscosité:	130 - 170 sec (Coupe FORD 4 mm à 25 °C) 70 - 91 sec. (Coupe ISO 6 à 25°C)
Densité:	1445 – 1485 g/l (20 °C)
Extrait sec:	65,5 – 67,5 % (30 min. à 185 °C)

### APPLICATION

Type de substrat:	Fer blanc, ECCS, aluminium
Application:	Vernisseuse
Pellicule sèche:	12 - 14 g/m <sup>2</sup>
Charge humide:	18 - 22 g/m <sup>2</sup>
Temps d'étuvage:	12 min. à 185 °C (10 min. PMT)
Durée de Stockage:	12 mois en fûts fermés dans un endroit frais à une température 25 °C
Diluant:	Généralement pas nécessaire, 1 – 2 % si indispensable, HOLAC 720.0801

### INFORMATION

- Apte à l'imprimerie avec des encres UV
- Ce produit présente de parfaites caractéristiques d'adhérence et de flexibilité
- En combinaison avec un vernis de surimpression adéquat, résiste jusqu'à 60 minutes de stérilisation à 129 °C dans l'eau

The suggestions for use and application given herein represent the best information available to us and are believed to be reliable. Since the application of our products however is made under conditions beyond our control there is no warranty expressed or implied, with respect to these recommendations or products. Users of our materials are urged to conduct confirmatory tests in order to determine final suitability for their specific end use.

HOCHBACH GMBH P.O. Box 100130 70745 Leinfelden-Echterdingen Germany  
Phone +49 711 903 76 0 Fax +49 711 903 76 20 Email info@hochbach.de



## **HOLAC**<sup>®</sup> 708.4801 Vernis incolore de surimpression

### **CARACTÉRISTIQUES**

Vernis incolore de surimpression pour l'extérieur des boîtes alimentaires 3 pièces, stérilisable

### **DONNÉES TECHNIQUES**

Éléments chimiques:	Polyester
Couleur:	Incolore
Viscosité:	70-90 sec. (Coupe FORD 4 mm à 25 °C)
Densité:	960 - 1000 g/l (20 °C)
Extrait sec:	46-50 % (30 min. à 190 °C)

### **APPLICATION**

Type de substrat:	Fer blanc, ECCS (TFS), aluminium
Application:	Vernisseuse
Charge sèche:	5 ± 1 g/m <sup>2</sup>
Charge humide:	11 ± 2 g/m <sup>2</sup>
Temps d'étuvage:	12 min. à 180 – 190 °C (10 min. PMT), voir rubrique information
Durée de stockage:	12 mois en fûts fermés dans un endroit frais à une température de 25°C
Diluant:	HOLAC 720.0801

### **INFORMATION**

The suggestions for use and application given herein represent the best information available to us and are believed to be reliable. Since the application of our products however is made under conditions beyond our control there is no warranty expressed or implied, with respect to these recommendations or products. Users of our materials are urged to conduct confirmatory tests in order to determine final suitability for their specific end use.

HOCHBACH GMBH P.O. Box 100130 70745 Leinfelden-Echterdingen Germany  
Phone +49 711 903 76 0 Fax +49 711 903 76 20 Email info@hochbach.de

## Annexe D



### FICHE TECHNIQUE

1/1

#### UNIVERSAL DILUANT 141.016

Cod.: 141.016

#### CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Nature:	Mélange d'hydrocarbures, Esters, Cétones et Alcools.
Apparence :	Incolore
Point d'éclair:	56°C ± 1
Poids spécifique:	0,906 ± 0,04 g/cm <sup>3</sup>
Résistivité :	Supérieur a 300 MΩ

#### UTILISATION

Universal diluant pour le nettoyage et les produits de dilution pour le secteur boîtes de conserves.

#### OBSERVATION

Universal diluant pour produits destinés à l'époxy, l'acrylique et le polyester  
Universal diluant évaporation moyenne élevée


**Expiration: 2 ans**

Cette information est le résultat de nos tests et de l'expérience dans l'utilisation industrielle de laboratoire. Le client doit veiller à ce que chaque produit répond aux spécifications requises par votre système. Être hors de nos conditions d'application de contrôle, nous ne pouvons garantir leur comportement.

Cette fiche technique remplace celles publiées précédemment.

Date d'émission: 04/16 Rev-2 SR

## Annexe E (partie 1)

	Direction Process - Bureau des méthodes		
	<b>FICHE TECHNIQUE : BOITE Ø65x34.5 85ml</b>		CODE N°: FTB65-34.5
	Réalisé Mansour Bouasla	Approuvé Abderrahim Houda	Version 00
			Date 30/10/2019
		01	31/12/2019

### Spécifications des matières

Corps de boîte	
Acier	Fer blanc
Épaisseur	0.16 mm
Dureté	TH 550
Vernis intérieur	Epoxy vernis blanc (Alimentaire)
Vernis extérieur	Lithographie & Vernis sur impression transparent (Acrilic ou Polyester)
Rechamplissage Int.	Resine polyester-modifié thermoplastique blanche (Alimentaire)
Rechamplissage Ext.	Vernis acrylique incolore

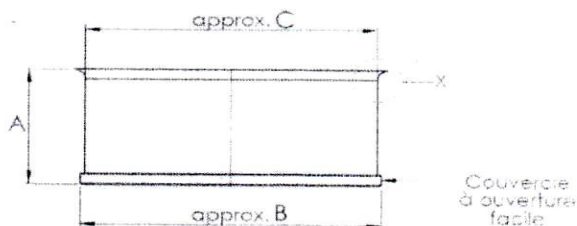
Ouverture facile:	
Acier	TFS / Fer blanc
Épaisseur	0.18 mm
Dureté	TH 460
Vernis intérieur	Epoxy phénolique & Organosol (Alimentaire)
Vernis extérieur	Epoxy phénolique
Joint	Type WBC Alimentaire
Apparat	Acier electrozingué

### Spécifications dimensionnelles

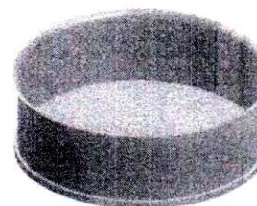
Hauteur boîte	A	34.5 ± 0.3 mm
Diamètre serti	B	67,10 mm
Diamètre intérieur	C	65.05 mm
Largeur bord	D	2.45 ± 0.2 mm
Volume nominal		85 ml

### Palettisation

Nombre de boîte par étage	360
Nombre d'étage par palette	32
Nombre de boîte par palette	11520
Dimensions de la palette (w x l x h)	1420 x 1120 x 1463
Poids de la palette (approx.)	250 Kg
Cerclage	Feuillard
Emballé	Film étirable
Palette & Cadre	Bois
Intercalaire	Carton ondulé



Détail X



**Note:** Dans le cadre de l'amélioration continue, MMB se réserve les droits de révision périodique des spécifications ci-dessus. Tandis que MMB offre le support technique et le conseil.

**Adresse:** Zone Industrielle El Kalitoussa n°16 BP A26 23900 Berrahal Annaba Algérie.

Tel: + 213 38 80 72 05

E-mail:

Fax: + 213 38 80 72 06


info@mmb-dz.com

Site web:

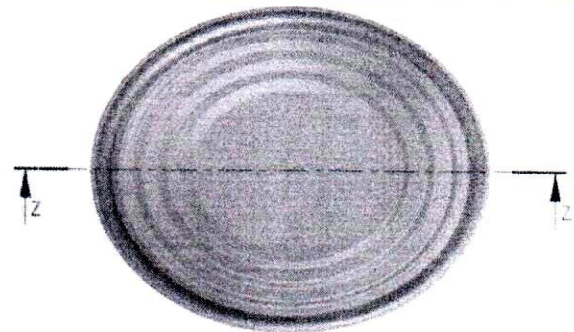
www.mmb-dz.com



## Annexe E (partie 2)

	Direction Process - Bureau des méthodes		CODE N°: FTF65-34	
	<b>FICHE TECHNIQUE : Fond Ø 65</b>		Version	Date
	Réalisé	Approuvé	00	16/10/2019
	Mansour Bouasla	Abderrahim Houda	01	29/12/2019

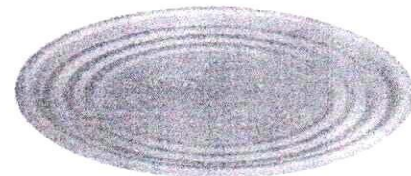
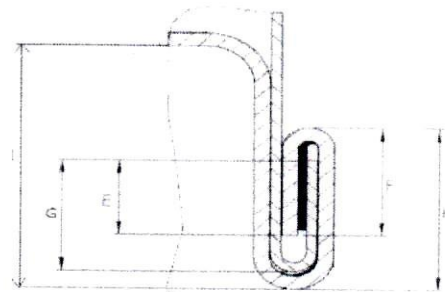
Spécifications des matières		
Acier	Fer blanc / TFS	
Épaisseur	0.17 mm	
Dureté	TH 435	
Vernis intérieur	Epoxy phénolique ou Epoxy vernis blanc (Alimentaire)	
Vernis extérieur	Epoxy phénolique	
Tout	Type WBC Alimentaire	
Spécifications dimensionnelles		
Diamètre extérieur	A	73.36 ± 0.25 mm
Diamètre intérieur	B	64.32 mm
Hauteur ourlet	C	1.90 ± 0.15 mm
Profondeur cuvette	D	3.05 ± 0.20 mm
Paramètres du sertissage		
<b>Critiques:</b>		
Croisure	E	Min 0.9mm
Ondulation	Max 30%	
Calage	70-95 %	
<b>Recommandés:</b>		
Trochet de Fond	F	1.85 ± 0.20mm
Trochet de corps	G	1.90 ± 0.20mm
Hauteur sert	H	2.75 ± 0.20mm
Profondeur de cuvette	I	3.15 ± 0.25mm
Palettisation		
Nombre de fond par étui	360	
Nombre d'étui par palette	224	
Nombre de fond par palette	80 640	
Dimensions de la palette (w x l x h)	1120 x 730 x 1510	
Poids de la palette (approx.)	798 kg	
Cerclage	Feuillard	
Emballage	Papier kraft & Film étirable	
Palette	Bois	



**Coupe z-z**



**Détail X**



Note: Dans le cadre de l'amélioration continue, MMB se réserve les droits de révision périodique des spécifications ci-dessus. Tandis que MMB offre le support technique et le conseil.

Adresse: Zone Industrielle El Kalitoussa n°16 BP A26 23009 Berrahal Annaba Algérie.

Tel: + 213 38 80 72 05

E-mail:

Site web:


Fax: + 213 38 80 72 06

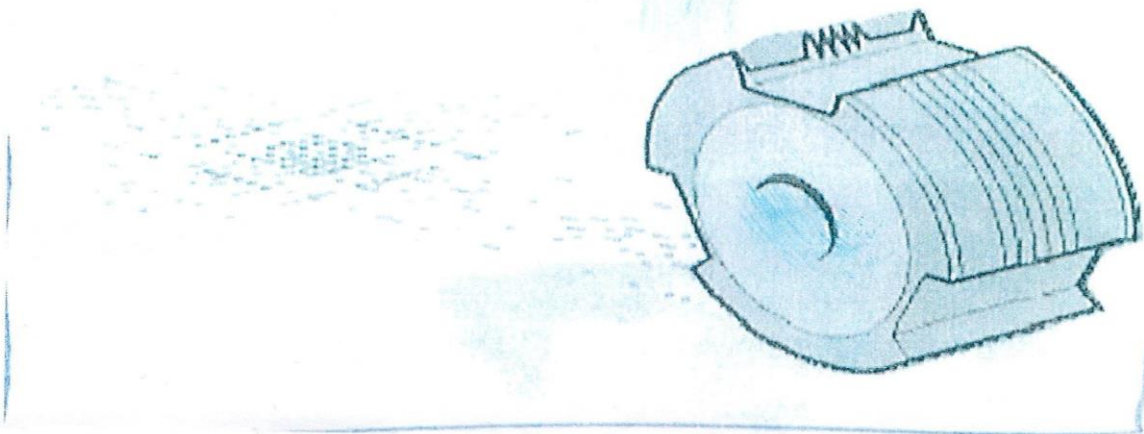
info@mmb-dz.com

www.mmb-dz.com

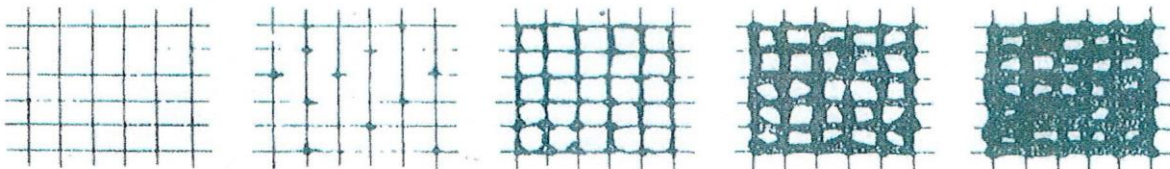


## Annexe F

	<h3 style="margin: 0;">Les classes d'adhérence vernis</h3>	Annexe de : DO2.PR7.01
		Date : 08/11/2020
		PAGE 01 /01




0                      1                      2                      3                      4




Classe	Signification de la classe	Décision	Apparence de vernis après stérilisation produit fini
0	Les coupes sont propres , ni signe de manque d'adhérence	Idéale – Bonne adhérence	Aucun défaut visuel
1	Zone de détachement moins de 05% peut être observée sur la surface de lumière pelée	Acceptable	Un léger changement de la surface, mais encore à ne pas rayer avec l'ongle
2	Détachement modéré de 15% de la surface quadrillée	<b>Tolérable</b>	Rayable avec difficulté avec ongle Reste tolérable
3	Détachement intense de 35%	<b>Mauvaise</b>	Vernis déchiré, fissuré Non utilisable
4	Détachement très intense total ou partiel	<b>Médiocre;</b>	INUTILISABLE ; vernis complètement effondré

**Annexe G (partie 1)**

	<b>Plan de contrôle au niveau de vernisseuse et offset</b>	DO1.PR6.02.01
		Date : 08/03/2021
		1/3

Echant. Contrôle	Paramètres contrôlés	Moyens de contrôle	Fréquence	Doc.de référence	Doc. D'enregistrement	Resp.
<b>Fer nu déballé</b>	-Etat de général du fardeau -Etiquette du fardeau	Visuel	Chaque fardeau	EN10202	ER.PR6.34.00	Contrôleur
	Contrôle dimensionnel	-Règle en acier		DO2.PR6.01.00 DO4.		Chefs sections
	Différencier entre face riche et pauvre d'étain	Visuel		DO3.PM2.05.00		Chefs de services
<b>Vernis et couchés</b>	Assurer l'agitation des vernis opaque et semi-transparent. (VBI/CB/VOR)	/	Pour chaque chultz, fut ou bidon.	CE1935/2004 EN10202	ER.PR6.44.01	Contrôleur
	Mesurer et ajuster la viscosité.	-Coupe consistométrique de viscosité -Chronomètre	Pour chaque bac à remplir	DO2.PR6.01.00 DO4. DO3.PM2.14.00		Chefs sections Chefs de services
<b>Fer imprimé SF/PF</b>	Contrôler la charge humide et sèche de feuill.	Détecteur de charge de revêtement organique	Au moins un test pour chaque fardeau imprimé	EN10202 DO2.PR6.01.00 DO3.PM2.05.00 DO3.PM2.14.00 CE1935/2004	ER.PR6.34.00	Contrôleur Chefs sections Chefs de services
	Contrôler l'adhérence sur support	-Ruban adhésif+ peigne de quadrillage				
	Test de performance mécanique	Testeuse de choc mécanique (marteau)				
	Test de porosité	-Solution de sulfate de cuivre Chiffon.				
	Polymérisation de laquage interne	-Acétone				
	Les réserves nues	-Solution de sulfate de cuivre				
	Superposition de la réserve (face int/ext)	-clou -Equerre.				

**Annexe G (partie 2)**

	<b>Plan de contrôle au niveau de vernisseuse et offset</b>	DO1.PR6.02.01
		Date : 08/03/2021
		2/3

Echant. Contrôlé	Paramètres contrôlés	Moyens de contrôle	Fréquence	Doc.de référence	Doc. D'enregistrement	Resp.
Solution de mouillage	- PH	-PH mètre	Au moins Chaque heure	DO2.PR6.01.00	ER.PR6.45.00	Contrôleur Chefs sections Chefs de services
	-conductivité	-Conductimètre				
	-température	-Thermomètre				
Blanchet	État de surface	Visuel		DO2.PR6.01.00 DO4.	/	
Plaques	État de surface	Visuel	Avant démarrage	DO2.PR6.01.00 DO4.	/	
Encres	Charge Densité	-Déecteur de charge de revêtement organique -Densitomètre.	Au moins un test pour chaque fardeau imprimé	DO4.	/	
Vérification de l'efficacité des fours	Température	-Thermomètre infra rouge	-Une fois par équipe -En cas de nécessité.	DO4.	/	
IMPRES-SION	Aspect, Superposition des couleurs, Trame, nuances, décalage d'impression	BAT ou maquette client. Agrandisseur (loupe portative) Contrôle visuel	Au moins un test pour chaque fardeau imprimé -En cas de nécessité	BAT	ER.PR6.34.00	
Gerbage des FDX imprimés	Respect de conditionnement	Contrôle visuel	Fin de tirage	DO2.PR6.01.00	/	

*ABW*

*map 6*