



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DE 20 AOÛT 1955 – SIKDA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de :

Master

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique

Développement d'une peinture époxy à base de polymère pour la protection anticorrosion des équipements industriels

Réalisé par : - A. HALLOUCHE

- L. BOUAFFAR

Soutenu le 21/06/2026, devant le jury suivant :

N°	Nom et Prénom	Grade	Établissement d'affiliation	Qualité
1	F. Krid	Professeur	Université de 20 Août 1955- Skikda	Encadrant
2	E. Boussaha	Professeur	Université de 20 Août 1955- Skikda	Président
3	H. Rahal	MCA	Université de 20 Août 1955- Skikda	Examineur

Année Universitaire **2025- 2026**

Remerciements

Avant tout, nous rendons grâce à **Allah**, le Tout-Puissant, qui nous a accordé la santé, la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener ce travail à son accomplissement.

Il nous est particulièrement agréable d'exprimer notre profonde gratitude à l'ensemble du corps professoral et administratif de l'**Université 20 Août 1955 de Skikda**, et plus particulièrement au **Département de Génie des Procédés** de la Faculté de Technologie, pour la qualité des enseignements dispensés, leur disponibilité et les efforts considérables déployés afin de nous assurer une formation scientifique et technique solide, enrichissante et en adéquation avec les exigences du monde professionnel.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre encadreur, **Madame KRID Feriel**, pour avoir accepté de diriger ce travail. Nous lui sommes profondément reconnaissants pour sa disponibilité, ses conseils judicieux, sa rigueur scientifique, sa patience ainsi que pour la confiance qu'elle nous a accordée tout au long de cette étude.

Son accompagnement a constitué une source précieuse d'encouragement et de motivation.

Nous exprimons également notre profonde reconnaissance à notre co-encadreur, **Monsieur BOUSAHA El-Hadi**, pour son soutien, ses orientations pertinentes et l'intérêt constant qu'il a porté à notre travail. Ses remarques constructives et son expertise ont largement contribué à l'amélioration de cette étude.

Nous tenons à remercier chaleureusement **Monsieur DJILANI Karim**, ingénieur au laboratoire où nous avons effectué notre stage, pour son accueil, sa disponibilité et sa générosité dans le partage de ses connaissances. Ses conseils avisés et son accompagnement nous ont permis d'acquérir une expérience aussi enrichissante sur le plan scientifique que professionnel.

Nos sincères remerciements s'adressent également à **Madame HALLOUCHE Ilhem**, ingénieure à la Raffinerie de Skikda, pour sa disponibilité, son aide précieuse et ses conseils pertinents. Son expérience et ses orientations nous ont été d'une grande utilité dans la réalisation de ce travail.

Nous adressons aussi notre profonde gratitude à **Monsieur DEROUCHE Saad**, Chef du Département Inspection à la Raffinerie de Skikda, pour son accueil chaleureux, sa bienveillance et l'intérêt qu'il a porté à notre étude. Nous le remercions vivement pour les précieuses informations et orientations qu'il nous a fournies, lesquelles ont grandement contribué à enrichir ce mémoire.

Nous exprimons enfin notre gratitude à l'ensemble du personnel du laboratoire et de la Raffinerie de Skikda, ainsi qu'à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail et nous ont soutenus tout au long de notre parcours universitaire.

Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance et de nos plus sincères remerciements.

Un grand merci

Dédicace



Je remercie avant tout **Allah**, qui m'a guidée, soutenue et accordé la force de surmonter les difficultés pour accomplir ce travail. Aujourd'hui, avec une immense émotion, je dédie ce mémoire à ceux qui occupent une place irremplaçable dans mon cœur.

À la mémoire de ma très chère maman, Farida,

Aucune dédicace ne pourra exprimer la profondeur de mon amour ni l'immensité du vide que ton départ a laissé dans ma vie. J'aurais tant aimé que tu sois à mes côtés aujourd'hui pour partager ce moment, voir mes yeux briller de joie et entendre mon cœur te dire : « *Maman, j'ai réussi.* »

Tu n'es plus là pour me prendre dans tes bras, mais tu es présente dans chacun de mes pas, dans chacune de mes réussites et dans chaque rêve que je réalise. Ton amour inconditionnel, ta tendresse infinie, tes sacrifices silencieux et tes prières ont été ma plus grande force. C'est grâce à toi que j'ai appris à me relever après chaque chute, à croire en moi et à avancer malgré les épreuves.

Ce mémoire est le fruit de ton amour autant que de mon travail. Je te dédie cette réussite avec les larmes aux yeux et l'amour éternel d'une fille qui ne cessera jamais de t'aimer.

Que Dieu t'accorde Sa miséricorde infinie et t'accueille dans Son vaste paradis

À mon très cher père, Abd El-Madjid,

Tu as été mon pilier, mon refuge et mon exemple de courage. Derrière chacune de mes réussites se cachent tes sacrifices, tes encouragements et ton amour discret mais immense. Tu m'as appris que la persévérance est la clé du succès et que les difficultés ne sont que des étapes vers de plus grands accomplissements. Merci d'avoir toujours cru en moi, même dans les moments où je doutais de moi-même. J'espère que ce travail sera une source de fierté pour toi, comme tu as toujours été une source de fierté pour moi.

À ma sœur adorée, Ilhem, Une sœur est un trésor que la vie nous offre.

Merci pour ton affection, ton soutien, ta patience et tous ces moments où tu as su trouver les mots justes pour me redonner le sourire. Que notre complicité et notre amour fraternel demeurent éternels.

À mes chers frères, Amer et Rami,

Vous avez toujours été présents à mes côtés. Merci pour votre soutien, vos encouragements, votre confiance et tous ces instants de bonheur partagés. Votre amour fraternel a été une force précieuse tout au long de mon parcours.

À Naïma, Nabila et Chourouk, les belles femmes de notre famille,

Votre douceur, votre bienveillance et votre présence apportent chaleur et harmonie à notre foyer. Merci pour votre affection, votre soutien et tous les moments de joie partagés. Que Dieu vous accorde une vie remplie de bonheur, de santé, d'amour et de sérénité, et qu'il vous comble de Ses bénédictions.

Et à mon petit Yazan,

Mon petit rayon de soleil, ton sourire innocent illumine nos cœurs et apporte une joie immense à toute la famille. Je te souhaite un avenir radieux, rempli de réussite, de bonheur et de merveilleux souvenirs.

À mes chères amies : Sana, Lina, Nour, Dalel, Madjeda, Hana, Amina et Douaa,

Vous avez été bien plus que des amies. Vous avez été mes confidentes, mes compagnes de route, mes éclats de rire dans les moments de fatigue et mes épaules dans les moments de doute. Merci pour votre présence sincère, vos encouragements et tous ces souvenirs inoubliables que nous avons créés ensemble. Je souhaite que notre amitié traverse le temps et que chacune d'entre vous réalise ses plus beaux rêves.

À toute ma famille et à tous mes collègues de la promotion 2026, j'adresse cette dédicace avec toute mon affection, ma gratitude infinie et l'émotion d'un cœur rempli d'amour.



Dédicace



Louange à Dieu, dont la grâce permet l'accomplissement des bonnes œuvres, Lui qui m'a accordé la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail, et qui a fait succéder le succès à l'effort et la récompense à la patience.

Je dédie le fruit de mon travail à ceux qui ont été la lumière de mon chemin, mon soutien dans les moments difficiles et la raison, après Dieu, de chacune de mes réussites.

À celle à qui Dieu a accordé la plus noble des places, à celle qui a veillé sur mon bonheur au prix de son repos, qui s'est sacrifiée pour me voir réussir, à celle dont aucun mot ne saurait exprimer l'immensité de l'amour et du dévouement...

Ma très chère mère, AÏCHA

Tu es la plus belle histoire de ma vie, la source de mon courage et la lumière qui éclaire chacun de mes pas. Que Dieu te protège, te comble de bonheur et me permette d'être toujours une source de fierté pour toi.

À l'homme qui m'a appris que la volonté permet de surmonter tous les obstacles, que le travail et la persévérance sont les clés de la réussite, à celui qui a porté mes préoccupations avant les siennes et qui n'a jamais cessé de croire en moi...

Mon très cher père, DAIF

Aucun succès ne pourra jamais égaler les sacrifices que tu as consentis pour moi. Tu es ma force, mon modèle et ma plus grande fierté. Que Dieu te garde et te protège.

À mon cher frère Zakaria, à son épouse Hind, ainsi qu'à leur adorable fille Dania, dont la présence remplit nos vies de joie, de tendresse et de bonheur.

À mon cher frère Nadir, pour ses précieux conseils, son soutien constant, sa générosité et sa présence à chaque étape de mon parcours.

À ma sœur bien-aimée, INSAF NOUR EL HOUDA

À celle qui partage mes joies, mes rêves et mes espoirs, merci pour ton affection, ton soutien et ta présence inestimable.

À mon fiancé, Khalil

Merci d'avoir été présent tout au long de ce parcours, de m'avoir soutenue dans les moments de doute, encouragée dans les moments difficiles et accompagnée avec amour et confiance vers la réalisation de mes objectifs.

À tous les membres de ma famille, proches et éloignés, qui m'ont entourée de leur affection, de leurs encouragements et de leurs prières.

À mes chères amies et collègues, **Amira, Amani, Delel et Nour**,

Merci pour votre amitié sincère, votre soutien et tous les précieux souvenirs que nous avons partagés ensemble.

Enfin, à toutes les personnes qui m'ont apporté, de près ou de loin, leur aide, leur soutien, leurs encouragements ou simplement une parole bienveillante.

Ce mémoire n'est pas seulement le résultat d'un travail académique ; il est le témoignage d'années d'efforts, de patience, de sacrifices et d'espoir. Je le dédie à tous ceux qui ont contribué à faire de ce rêve une réalité.

À vous tous, j'offre avec amour, gratitude et reconnaissance le fruit de mon travail, ma fierté et l'accomplissement d'un rêve devenu réalité.



BOUAFAR Lina

Dédicace



Je remercie dieu de m'avoir accordé la force, la patience, et la volonté d'accomplir ce travail, ma gratitude est infinie pour ses innombrables bienfaits et pour avoir guidé mes pas sur le chemin du savoir.

Mon père

Je suis profondément reconnaissante pour tous les sacrifices, les efforts et l'amour inconditionnel que vous m'avez offert tout au long de ma vie. Je ne suis rien sans votre présence, votre soutien et vos prières qui ont toujours été pour moi une véritable barrière protectrice face aux défis de la vie. Votre amour et votre confiance m'ont donné la force d'avancer, même dans les moments les plus difficiles. Mon plus grand espoir est de vous rendre fiers de la personne que je suis devenue aujourd'hui. Aucun mot ne pourra jamais exprimer pleinement l'amour, le respect et la gratitude immenses que je ressens envers vous. Vous êtes ma plus grande bénédiction.

Ma mère

Mon cœur mon paradis et mon âme, tu es la raison de mes sourires et la force qui m'a portée dans les moments où je n'avais plus de force. Sans toi, je ne serais rien, et grâce à ton amour infini et tes prières, j'ai pu arriver ici. Je t'aime d'un amour qui ne s'explique pas avec des mots. Ma reine, ma guerrière silencieuse, source de force et de lumière, qui m'a toujours soutenue dans les moments difficiles. Grâce à son amour, sa patience et ses sacrifices, elle a transformé les difficultés en espoir. Je prie Dieu de la protéger et de lui donner santé et longue vie.

A moi même

A travers chaque épreuve, chaque larme, chaque moment de doute et chaque obstacle, j'ai continué à avancer avec courage, même lorsque le chemin semblait impossible. Je suis reconnaissante envers moi-même pour ma patience, ma résilience et la force intérieure qui m'ont permis de ne jamais abandonner. Ce parcours m'a façonnée, m'a rendue plus forte et m'a appris que la persévérance peut transformer les rêves en réalité.

À mes frères et ma sœur

Votre affection et vos encouragements qui m'ont accompagnée tout au long de ce parcours. Merci pour votre soutien, vos conseils et les précieux moments partagés ensemble.

Merci à toute ma famille, tous ceux qui sont chers, proches de mon cœur et à tous ceux qui m'aiment et qui auraient voulu partager ma joie.

Vos encouragements, vos présences avec moi pendant les moments difficiles



Résumé

La corrosion des matériaux métalliques constitue un problème majeur dans de nombreux secteurs industriels en raison des pertes économiques et des risques techniques qu'elle engendre. Dans ce contexte, cette étude a porté sur l'évaluation de l'efficacité d'une peinture époxy dans la protection du fer blanc contre la corrosion. Des essais de corrosion ont été réalisés par la méthode gravimétrique dans différents milieux corrosifs : des solutions de H_2SO_4 , de HCl et de NaCl à différentes concentrations. Les résultats ont montré que la perte de masse et la vitesse de corrosion augmentent avec l'agressivité du milieu et le temps d'immersion. L'application de la peinture époxy a permis de réduire significativement la corrosion par rapport aux échantillons non protégés. L'efficacité de la protection s'est améliorée avec l'augmentation du nombre de couches appliquées, tandis que le système peinture + vernis a présenté les meilleures performances. Cette étude confirme ainsi l'intérêt des revêtements organiques pour améliorer la durabilité du fer blanc dans des environnements corrosifs.

Mots-clés : Fer blanc ; Corrosion ; Peinture époxy ; Protection anticorrosion ; Méthode gravimétrique ; Perte de masse ; Vitesse de corrosion.

Abstract

Corrosion of metallic materials is a major problem in many industrial sectors due to the economic losses and technical risks it causes. In this context, the present study focused on evaluating the effectiveness of an epoxy coating in protecting tinfoil (fer blanc) against corrosion. Corrosion tests were carried out using the gravimetric method in different corrosive media, namely H_2SO_4 , HCl , and NaCl solutions at various concentrations. The results showed that mass loss and corrosion rate increase with the aggressiveness of the medium and the immersion time. The application of the epoxy coating significantly reduced corrosion compared with unprotected samples. The protective efficiency improved with the increase in the number of coating layers, while the paint-and-varnish system exhibited the best performance. This study confirms the importance of organic coatings in improving the durability of tinfoil in corrosive environments.

Keywords: Tinplate; Corrosion; Epoxy coating; Corrosion protection; Gravimetric method; Mass loss; Corrosion rate.

ملخص

يُعد تآكل المواد المعدنية مشكلةً رئيسيةً في العديد من القطاعات الصناعية بسبب الخسائر الاقتصادية والمخاطر التقنية التي يسببها. وفي هذا السياق، هدفت هذه الدراسة إلى تقييم فعالية طلاء الإيبوكسي في حماية الحديد المطلي بالقصدير (الفلاد الأبيض) من التآكل. وقد أُجريت اختبارات التآكل باستعمال الطريقة الوزنية (الجرافي مترية) في أوساط تآكل مختلفة، تمثلت في محاليل حمض الكبريتيك (H_2SO_4) وحمض الهيدروكلوريك (HCl) وكلوريد الصوديوم ($NaCl$) بتركيزات مختلفة. وأظهرت النتائج أن فقدان الكتلة وسرعة التآكل يزدادان بزيادة شدة الوسط التآكلي ومدة الغمر. كما بينت الدراسة أن تطبيق طلاء الإيبوكسي يقلل بشكل ملحوظ من التآكل مقارنة بالعينات غير المحمية. وقد تحسنت فعالية الحماية بزيادة عدد طبقات الطلاء، في حين أظهر نظام الطلاء مع الورنيش أفضل أداء من حيث الحماية. وتؤكد هذه الدراسة أهمية الطلاءات العضوية في تحسين متانة الحديد المطلي بالقصدير وإطالة عمره في البيئات المسببة للتآكل.

الكلمات المفتاحية: الحديد المطلي بالقصدير؛ التآكل؛ طلاء الإيبوكسي؛ الحماية من التآكل؛ الطريقة الوزنية؛ فقدان الكتلة؛ سرعة التآكل.

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des symboles et abréviations

Table de matière

Introduction générale----- 01

Chapitre I : Généralité sur la corrosion et l'érosion

Introduction ----- 03

I.1. Généralités sur la corrosion----- 03

I.1.1. Définition ----- 03

I.1.2. Les différents types de la corrosion ----- 03

I.1.2.1. Corrosion électrochimique ----- 03

I.1.2.2. Corrosion chimique ----- 05

I.1.2.3. Corrosion biologique----- 06

I.1.3. Les principales formes de corrosion ----- 06

I.1.3.1. Corrosion uniforme ou généralisée----- 06

I.1.3.2. Corrosion localisée ----- 07

I.1.3.2.1. Corrosion galvanique ----- 07

I.1.3.2.2. Corrosion par piquûre ----- 09

I.1.3.2.3. Corrosion intergranulaire----- 09

I.1.3.2.4. Corrosion par crevasses (caverneuse) ----- 10

I.1.3.2.5. Corrosion sélective ----- 11

I.1.3.2.6. Corrosion sous contrainte ----- 11

I.1.3.2.7. Corrosion – érosion ----- 11

I.2. Généralités sur l'érosion ----- 12

I.2.1. Définition ----- 12

I.2.2. Problématiques liées à l'érosion ----- 13

I.2.3. Mécanismes de l'érosion----- 13

I.2.3.1. Érosion abrasive (coupe) ----- 14

I.2.3.2. Fatigue de surface ----- 14

I.2.3.3. Rupture fragile -----	14
I.2.3.4. Fusion -----	14
I.2.4. Types d'érosion -----	14
I.3. Les facteurs influençant la corrosion -----	15
I.3.1. Facteurs influençant la corrosion dans l'industrie pétrolière -----	15
I.3.2. Facteurs liés au mode d'emploi -----	16
I.3.3. Facteurs dépendant du temps -----	17
I.4. Les facteurs influençant l'érosion -----	17
I.5. Conséquences industrielles et économiques -----	17
I.5.1. La corrosion -----	17
I.5.2. L'érosion -----	18
I.6. Méthodes de protection contre la corrosion et l'érosion -----	19
I.6.1. La corrosion -----	19
I.6.2. L'érosion -----	21
Conclusion -----	22

Chapitre II : Généralités sur les peintures

Introduction -----	23
II.1. Définition de la peinture -----	23
II.2. Composition d'une peinture -----	24
II.2.1. Les liants -----	24
II.2.2. Les pigments -----	25
II.2.3. Les charges -----	27
II.2.4. Les solvants -----	27
II.2.5. Les additifs / adjuvants -----	28
II.3. Rôles et Domaines d'application des peintures -----	28
II.3.1. Rôles -----	28
II.3.2. Domaines d'application -----	29
II.3.2.1. Peintures pour bâtiments -----	29
II.3.2.2. Peintures pour carrosseries -----	30
II.3.2.3. Peintures marines -----	30
II.3.2.4. Vernis -----	30
II.3.2.5. Peinture anticorrosion -----	31
II.3.2.5.1. Introduction -----	31

II.3.2.5.2. Définition -----	31
II.3.2.5.3. Systèmes de protection par les peintures-----	32
II.4. Classification des peintures -----	35
II.4.1. Peintures à l'eau-----	35
II.4.2. Peintures aux résines -----	35
II.4.3. Peintures en phase solvant -----	36
II.4.4. Peintures en phase aqueuse -----	36
II.4.5. Peintures naturelles -----	38
II.4.6. Peintures en poudre -----	39
II.5. Types des peintures selon le mode de formation du film-----	39
II.5.1. Séchage physique -----	39
II.5.2. Polymérisation par action chimique-----	40
II.5.3. Réactions chimiques diverses -----	40
II.6. Modes de fabrication des peintures -----	41
II.6.1. Contrôle des matières premières -----	41
II.6.2. Préparation et formulation des peintures -----	41
II.6.3. Action sur la consistance et propriétés finales -----	41
II.6.4. Processus de fabrication complet -----	42
Conclusion -----	43

Chapitre III : Procédure expérimentale

Introduction -----	44
III.1. Méthode d'étude de la corrosion-----	44
III.2. Matériels et réactifs -----	45
III.2.1. Matériels -----	45
III.2.2. Réactifs -----	45
III.3. Préparation des échantillons -----	45
III.4. Préparation des solutions-----	47
III.4.1. Solution de H_2SO_4 -----	48
III.4.2. Solution de HCl -----	49
III.4.3. Solution de $NaCl$ -----	50
III.5. Procédure expérimentale -----	51
III.5.1. Échantillons sans peinture -----	51
III.5.2. Échantillons avec une couche de peinture-----	57

III.5.3. Échantillons avec deux couches de peinture -----	59
III.5.4. Échantillons avec couche de peinture et vernis-----	61
III.6. Résultats et discussions-----	63
Conclusion -----	81
Conclusion Générale -----	82
Bibliographiques-----	84

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Série galvanique, obtenu dans l'eau de mer à 25°C [10-14]	08
Tableau II.1 : Les différents pigments minéraux	26
Tableau II.2 : Les différents types de charges et leurs formules chimiques	27
Tableau II.3 : Comparaison des propriétés des peintures en phase aqueuse en phase solvant	37
Tableau III.1 : Les dimensions des échantillons	47
Tableau III.2 : Présentation de concentration des solutions choisie	47
Tableau III.3 : Propriétés des solutions	47
Tableau III.4 : Les volumes nécessaires de chaque solution H ₂ SO ₄	49
Tableau III.5 : Les volumes nécessaires de chaque solution HCl	50
Tableau III.6 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc dans une solution de NaCl (3 %, 5 % et 7 %) sans peinture	63
Tableau III.7 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc dans une solution de H ₂ SO ₄ (1 %, 3 % et 5 %) sans peinture	65
Tableau III.8 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc dans une solution de HCl (3 %, 5 % et 7 %) sans peinture	67
Tableau III.9 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc revêtu d'une couche de peinture dans une solution de NaCl	69
Tableau III.10 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc revêtu d'une couche de peinture dans une solution de H ₂ SO ₄	71
Tableau III.11 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc revêtu de deux couches de peinture dans une solution de NaCl	73
Tableau III.12 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc revêtu de deux couches de peinture dans une solution de H ₂ SO ₄	75
Tableau III.13 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc protégé par peinture + vernis dans une solution de NaCl	77
Tableau III.14 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc protégé par peinture + vernis dans une solution de H ₂ SO ₄	79

Liste des figures

Figure I.1 : La corrosion aqueuse	05
Figure I.2 : Corrosion chimique : corrosion sèche	05
Figure I.3 : Corrosion microbienne	06
Figure I.4 : Corrosion générale (rouille) d'une pièce en acier	07
Figure I.5 : Corrosion galvanique	08
Figure I.6 : Amorçage (a) et propagation (b) d'une piqûre	09
Figure I.7 : Corrosion intergranulaire	10
Figure I.8 : Corrosion caverneuse (par crevasses)	10
Figure I.9 : Corrosion sous contrainte (CSC)	11
Figure I.10 : Types d'érosion par écoulement	12
Figure I.11 : Mécanismes d'érosion par des particules et actions de séparation du matériau	13
Figure II.1 : Définition de la peinture	23
Figure II.2 : Composition d'une peinture	24
Figure II.3 : Liant peinture	24
Figure II.4 : peinture pour Bâtiments	29
Figure II.5 : vernis	30
Figure II.6 : Phénomène de corrosion de Fer	32
Figure II.7 : Systèmes de protection par les peintures	32
Figure II.8 : Différentes étapes de la fabrication d'une peinture	42
Figure III.1 : Dispositif expérimentale de la technique de la masse perdue	45
Figure III.2 : Polissage des échantillons d'acier blanc	45
Figure III.3 : la balance électrique	46
Figure III.4 : Pied à coulisse numérique	46
Figure III.5 : Les trois solutions	48
Figure III.6 : Les trois solutions H_2SO_4	49
Figure III.7 : Les trois solutions HCl	50
Figure III.8 : Solution $NaCl$ préparer	51
Figure III.9 : Immersion des échantillons sans peinture dans la solution de H_2SO_4	51
Figure III.10 : L'échantillon après 5h dans la solution de H_2SO_4	52
Figure III.11 : Immersion des échantillons sans peinture dans la solution de $NaCl$	53
Figure III.12 : L'échantillon après 5h dans la solution de $NaCl$	54
Figure III.13 : Immersion des échantillons sans peinture dans la solution de HCl	55
Figure III.14 : L'échantillon après 5h dans la solution de HCl	56
Figure III.15 : Peinture époxy noir et vernis qui utilisée	56
Figure III.16 : Immersion des échantillons avec couche de peinture dans la solution de H_2SO_4	57

Figure III.17 : L'échantillon après 5h dans la solution de H_2SO_4	57
Figure III.18 : Immersion des échantillons avec couche de peinture dans la solution de NaCl	58
Figure III.19 : L'échantillon après 5h dans la solution de NaCl	58
Figure III.20 : Immersion des échantillons avec deux couches de peinture dans la solution de H_2SO_4	59
Figure III.21 : L'échantillon après 5h dans la solution de H_2SO_4	59
Figure III.22 : Immersion des échantillons avec deux couches de peinture dans la solution de NaCl	60
Figure III.23 : L'échantillon après 5h dans la solution de NaCl	60
Figure III.24 : Immersion des échantillons avec couche de peinture et vernis dans la solution de H_2SO_4	61
Figure III.25 : L'échantillon après 5h dans la solution de H_2SO_4	61
Figure III.26 : Immersion des échantillons avec couche de peinture et vernis dans la solution de NaCl	62
Figure III.27 : L'échantillon après 5h dans la solution de NaCl	62
Figure III.28 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution NaCl à différentes concentrations pour fer blanc sans peinture	64
Figure III.29 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution NaCl à différentes concentrations pour fer blanc sans peinture	64
Figure III.30 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution H_2SO_4 à différentes concentrations pour fer blanc sans peinture	66
Figure III.31 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution H_2SO_4 à différentes concentrations pour fer blanc sans peinture	66
Figure III.32 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution HCl à différentes concentrations pour fer blanc sans peinture	68
Figure III.33 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution HCl à différentes concentrations pour fer blanc sans peinture	68
Figure III.34 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution NaCl à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture	70
Figure III.35 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution NaCl à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture	70
Figure III.36 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution H_2SO_4 à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture	72

Figure III.37 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution H_2SO_4 à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture	72
Figure III.38 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution $NaCl$ à différentes concentrations pour fer blanc avec deux couches de peinture	74
Figure III.39 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution $NaCl$ à différentes concentrations pour fer blanc avec deux couches de peinture	74
Figure III.40 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution H_2SO_4 à différentes concentrations pour fer blanc avec deux couches de peinture	76
Figure III.41 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution H_2SO_4 à différentes concentrations pour fer blanc avec deux couches de peinture	76
Figure III.42 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution $NaCl$ à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture et vernis	78
Figure III.43 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution $NaCl$ à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture et vernis	78
Figure III.44 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution H_2SO_4 à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture et vernis	80
Figure III.45 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution H_2SO_4 à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture et vernis	80

Liste des Symboles et Abréviations

Symboles	Signification	Unité
Δm	Perte de masse	g
m_0	Masse initiale de l'échantillon	g
m_t	Masse finale de l'échantillon	g
V_c	Vitesse de corrosion	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$
S	Surface exposée de l'échantillon	cm^2
t	Temps d'immersion	h
C	Concentration de la solution	%
V	Volume	ml
%	Pourcentage	—
g	Gramme	—
cm^2	Centimètre carré	—
Abréviation		Signification
H_2SO_4		Acide sulfurique
HCl		Acide chlorhydrique
NaCl		Chlorure de sodium
Fe		Fer
Sn		Étain
O_2		Dioxygène
H_2O		Eau
H^+		Ion hydrogène
Cl^-		Ion chlorure
SO_4^{2-}		Ion sulfate
pH		Potentiel hydrogène
COV		Composés Organiques Volatils

Introduction Générale

Introduction Générale

Le terme corrosion provient du latin corroder, qui signifie ronger, attaquer. La corrosion, au sens large, peut s'exprimer comme la détérioration d'un matériau par le milieu dans lequel il se trouve. Elle résulte d'interactions physico-chimiques entre le matériau métallique et son environnement, entraînant des modifications des propriétés du métal souvent accompagnées d'une dégradation fonctionnelle de ce dernier (altération de ses propriétés mécaniques, électriques, optiques, esthétiques, etc.). Observé depuis toujours, ce phénomène n'est étudié scientifiquement que depuis 1830 [1].

De nos jours, les matériaux métalliques occupent une place primordiale dans de nombreux domaines industriels, notamment ceux du bâtiment, du transport, de l'aéronautique et de l'énergie. Le fer blanc, en particulier, est très utilisé pour ses qualités mécaniques, sa légèreté, sa maniabilité et son faible coût de production. Toutefois, comme beaucoup d'autres métaux, il reste très vulnérable à la corrosion, un phénomène naturel de dégradation des matériaux sous l'effet de leur environnement. Afin de limiter les effets de la corrosion, différentes méthodes de protection sont utilisées, notamment la protection cathodique, les inhibiteurs de corrosion, les traitements de surface et les revêtements organiques. Parmi ces solutions, les peintures anticorrosion occupent une place importante car elles forment une barrière protectrice entre le métal et le milieu extérieur, réduisant ainsi l'action des agents corrosifs [2].

Les peintures sont des systèmes formulés constitués de plusieurs composants tels que les liants, les pigments, les charges et les additifs. Le choix de ces constituants joue un rôle essentiel dans la qualité du revêtement et dans ses performances de protection contre les agressions extérieures. Au-delà de leur rôle décoratif, les peintures peuvent assurer des fonctions techniques importantes, notamment la protection des structures métalliques contre la corrosion [3].

Le présent travail a pour objectif d'étudier **l'efficacité d'un revêtement de peinture anticorrosion** appliqué sur le fer blanc, en comparant son comportement face à la corrosion avec celui d'un échantillon non peint, dans deux types de milieux agressifs : des solutions d'acide sulfurique (H_2SO_4) à différentes concentrations, et une solution de chlorure de sodium (NaCl) [4].

Cette étude repose sur **la méthode gravimétrique**, fondée sur la mesure de la perte de masse des échantillons immergés pendant différentes durées. L'analyse comparative des vitesses de corrosion permet d'évaluer l'impact du revêtement et de la concentration des milieux corrosifs sur la durabilité du fer blanc [5].

Nous avons structuré ce mémoire en deux parties complémentaires :

La première partie (théorique) comprend deux chapitres :

Chapitre I : est consacré aux bases scientifiques de la corrosion, ses mécanismes, ses formes et les différentes techniques de protection ;

Chapitre II : présente les généralités sur les peintures, leur composition, leur fabrication et leurs domaines d'application ;

La deuxième partie (une partie expérimentale)

Comporte un chapitre qui présente détaille les aspects expérimentaux de notre étude, les produits utilisés, la méthode de test, les conditions opératoires ainsi l'interprétation des résultats expérimentaux, accompagnée de discussions permettant de tirer des conclusions sur l'efficacité réelle du système de peinture étudié.

Notre travail est clôturé par une conclusion générale qui résume les apports de cette recherche et propose des pistes d'amélioration ou d'approfondissement pour des travaux futurs.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LA CORROSION ET L'ÉROSION



Introduction

Dans les sites industriels, les matériaux sont sans cesse soumis à des environnements parfois difficiles, ce qui cause diverses formes de dégradation qui peuvent nuire à leur intégrité et à leur durée de vie. Ces dégradations, qu'elles soient chimiques, mécaniques ou physiques, doivent être comprises pour garantir la fiabilité et la sécurité des équipements. Ce chapitre donne un aperçu des principaux mécanismes de dégradation rencontrés dans l'industrie, notamment la corrosion et l'érosion.

I.1. Généralité sur la corrosion**I.1.1. Définition**

La corrosion métallique se produit quand un métal perd de la matière en raison de son exposition à des éléments agressifs, comme l'oxygène, l'humidité (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le dioxyde de soufre (SO₂), le sulfure d'hydrogène (H₂S) ou le brouillard salin présents dans l'air, ou encore à des gaz chauds (O₂, CO) ou des solutions acides ou basiques, y compris les sels fondus. Quand un métal est corrodé, il réagit et produit un composé plus stable comme un oxyde, un sulfure ou un carbonate.

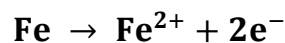
La norme ISO8044 : définit la corrosion comme une interaction physico-chimique entre un métal et son environnement, ce qui change les propriétés du métal et peut dégrader sa fonction, l'environnement ou le système technique dans lequel il se trouve [1].

I.1.2. Les différents types de la corrosion

La corrosion peut se développer suivant différents processus qui caractérisent chaque type de corrosion.

I.1.2.1. Corrosion électrochimique

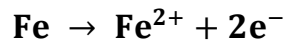
La corrosion se définit comme la dégradation des matériaux due à des réactions chimiques ou électrochimiques avec leur environnement. Dans le cas du fer, la réaction électrochimique de base est :



Quand un métal est plongé dans l'eau, des ions métalliques passent dans la solution, ce qui modifie la zone de contact entre le métal et l'eau. Il se forme alors des produits de corrosion et des gaz se dégagent. L'hétérogénéité du matériau, le pH, la composition de la solution et la température peuvent accélérer ce phénomène.

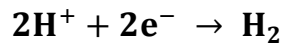
En milieu aqueux, la corrosion se déroule par une réaction d'oxydoréduction :

* **Zone anodique :**

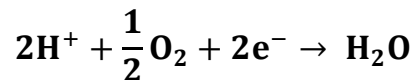


Cette réaction est rapide, mais la vitesse globale de la corrosion est souvent limitée par la réaction cathodique, qui est plus lente.

* **Zone cathodique :**



Cette réaction est lente en milieu neutre ou basique, mais elle s'accélère en milieu acide. De plus, la présence d'oxygène dissous peut accélérer la réaction par dépolarisation :

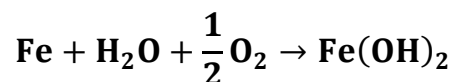


Dans ce cas, l'oxygène dissous réagit avec l'hydrogène absorbé à la surface du fer. En tenant compte de la dissociation de l'eau, on obtient la réaction globale suivante :

- Réaction de dissociation de l'eau :

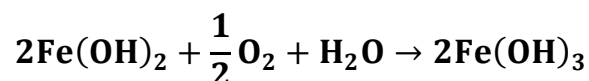


- Réaction globale :



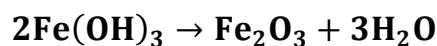
Hydroxyde ferreux

L'hydroxyde ferreux forme une barrière à l'interface métal-solution et est de couleur blanche. Ensuite, ce film d'oxyde ou d'hydroxyde s'oxyde au contact de l'oxygène dissous, formant de l'oxyde ferrique hydraté ou de l'hydroxyde ferrique :



Hydroxyde ferrique

T°C



L'oxyde Fe_2O_3 , de couleur orange-brun (rouille), est une forme stable du fer, dont une forme hydratée constitue la rouille.

Les films de rouille sont donc composés de trois couches d'oxyde de fer avec un nombre d'oxydation croissant [2].

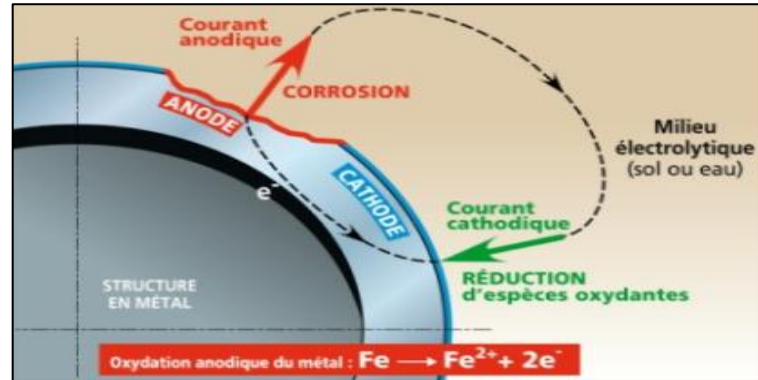


Figure I.1 : la corrosion aqueuse [2].

I.1.2.2. Corrosion chimique

La corrosion résulte d'une interaction hétérogène entre un métal et une phase, qu'elle soit gazeuse ou liquide. Dans le cas d'un réactif gazeux, on parle de « corrosion sèche » ou d'oxydation. Si le réactif est liquide, la corrosion s'accompagne de la formation d'un produit de corrosion à la surface métallique.

Ce type de corrosion se caractérise par l'absence de courant électrique et reste relativement rare, ne représentant que 3 % des cas de corrosion [3].



Figure I.2 : corrosion chimique : corrosion sèche [3].

I.1.2.3. Corrosion biologique

La bio corrosion des métaux se réfère aux altérations des caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques d'un matériau dues à l'action de microorganismes tels que les bactéries, les champignons et les algues.

Actuellement, la méthode principale pour contrer cette forme de corrosion est biologique, impliquant l'injection de produits bactéricides (biocides) dans les environnements corrosifs [4].



Figure I.3 : corrosion microbienne [4].

I.1.3. Les principales formes de corrosion

La corrosion du métal se manifeste de diverses manières, influencées par sa composition et l'environnement. Selon la forme et le lieu de l'attaque, on distingue deux grandes catégories : la corrosion généralisée et la corrosion localisée. Les sous-types de cette dernière découlent souvent des irrégularités dans la structure du métal [5].

I.1.3.1. Corrosion uniforme ou généralisée

La corrosion uniforme se produit quand l'ensemble de la surface d'un métal est attaqué de façon égale par une solution. Cela entraîne une dissolution régulière de la surface métallique exposée à l'agent corrosif. Ce type de corrosion est courant dans les environnements acides ou basiques [6].



Figure I.4 : Corrosion générale (rouille) d'une pièce en acier [6].

I.1.3.2. Corrosion localisée

Ce phénomène se produit quand un matériau est exposé à un environnement qui réagit de manière sélective avec lui.

Cette sélectivité peut venir de diverses sources, comme les propriétés du matériau lui-même (alliage hétérogène, inclusions, défauts de protection de surface, assemblage bimétallique) ou les caractéristiques de l'environnement (variations locales de composition, de pH ou de température).

Cette corrosion se produit en certains points de la surface. Les chercheurs l'ont divisée en plusieurs catégories [7] :

I.1.3.2.1. Corrosion galvanique

Quand deux métaux distincts sont placés dans l'eau, un des métaux se dissout (c'est le métal actif). L'autre métal, lui, permet une réaction chimique avec le gaz environnant, mais ne se corrode pas (c'est le métal noble). Cela crée une sorte de pile électrique, où le métal noble est la cathode et le métal actif est l'anode. On peut créer une liste, appelée série galvanique, qui classe les métaux selon leur tendance à se corroder dans une solution donnée.

Le tableau I.1 montre comment certains métaux et alliages se classent selon leur potentiel de dissolution dans l'eau de mer, du moins actif au plus actif [8].

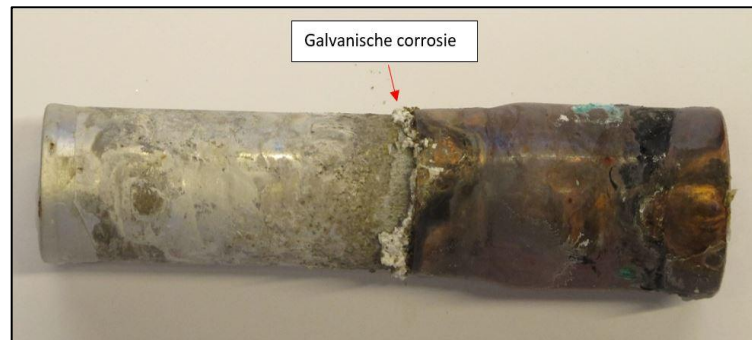


Figure I.5 : Corrosion galvanique [8].

Tableau I.1 : Série galvanique, obtenu dans l'eau de mer à 25°C [10-14] [8].

E_{corr}	Matériau protégé (cathodique ou plus noble)
	Platine
	Or
	Graphite
	Hastelloy C
	Acier inoxydable
	Titane
	Argent
	Inconel base 600
	Nickel
	Alliage de cuivre
	Etain
	Bronze
	Laiton
	Cuivre
	Plomb
	Fer
	Acier bas carbone
	Alliages d'aluminium série 2000
	Cadmium
	Aluminium série 1000
	Alliage d'aluminium série 5000, 3000, 6000
	Acier galvanisé
	zinc
	Magnésium et alliages de magnésium
	Matériau corrodé (anodique au moins nobles)

I.1.3.2.2. Corrosion par piquê

La corrosion par piquê survient lorsque des métaux, tels que l'aluminium, ses alliages et les aciers inoxydables, protégés par une fine couche d'oxyde, sont exposés à un environnement aqueux neutre contenant des halogénures, en particulier le chlorure Cl^- . La corrosion est minime, créant de petites cavités d'environ quelques dizaines de micromètres de diamètre à l'intérieur du matériau, via une petite ouverture.

Le processus de corrosion par piquê se déroule en deux phases (figure I.6) : l'amorçage, qui se produit lorsque la passivité est localement rompue, et la croissance ou propagation de la piquê [9].

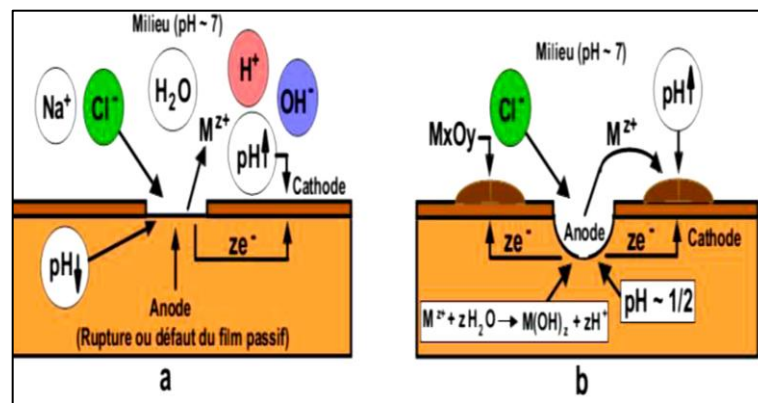


Figure I.6 : Amorçage (a) et propagation (b) d'une piquê [9].

I.1.3.2.3. Corrosion intergranulaire

Il s'agit d'une corrosion localisée qui affecte les joints de grains et qui fragilise la structure du matériau. Cette attaque sélective des joints de grains est souvent due à des précipitations de phases lors d'un traitement thermique.

Ce type de corrosion est particulièrement risqué car, même si la quantité de métal corrodée est faible, les propriétés mécaniques du métal sont dégradées par les fissures qui en résultent. Un exemple typique est celui des aciers inoxydables austénitiques sensibilisés par la précipitation de carbures de chrome aux joints de grains lors d'un chauffage [10].



Figure I.7 : Corrosion inter granulaire [10].

I.1.3.2.4. Corrosion par crevasses (caverneuse)

La corrosion caverneuse se produit en raison d'une différence d'accès à l'oxygène entre deux zones d'une structure, ce qui crée une pile électrochimique. On observe cette attaque sélective du métal dans les fissures et les endroits où l'oxygène a du mal à atteindre (Figure I.8) [11].

Le processus de développement de la corrosion caverneuse n'est pas très différent de celui de la corrosion par piqûres. Pourtant, la vitesse et la forme de l'attaque sont différentes. Elle s'étend en largeur à la surface de l'interstice ou sous le dépôt, contrairement aux piqûres qui s'étendent en profondeur. La corrosion caverneuse peut être dangereuse, surtout dans l'eau de mer [12].



Figure I.8 : Corrosion Caverneuse [11].

I.1.3.2.5. Corrosion sélective

Il s'agit d'une forme de corrosion particulièrement insidieuse. La pièce affectée peut sembler intacte, alors que sa solidité est fortement compromise. Ce phénomène se produit par la dissolution ciblée d'un composant d'un alliage, laissant les autres éléments intacts. Le métal devient alors poreux et perd de sa capacité de résistance [13].

I.1.3.2.6. Corrosion sous contrainte

La corrosion sous contrainte (CSC) se manifeste par une fissuration du métal due à l'interaction d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique. En d'autres termes, elle est le résultat combiné d'une contrainte mécanique (résiduelle ou appliquée) et d'un environnement agressif pour le matériau, alors que chacun de ces facteurs, pris séparément, ne suffirait pas à endommager la structure. Cette forme de corrosion, particulièrement insidieuse et dangereuse pour les installations, se caractérise par des fissures inter ou trans granulaires dont la propagation est globalement perpendiculaire à la contrainte la plus élevée [14].

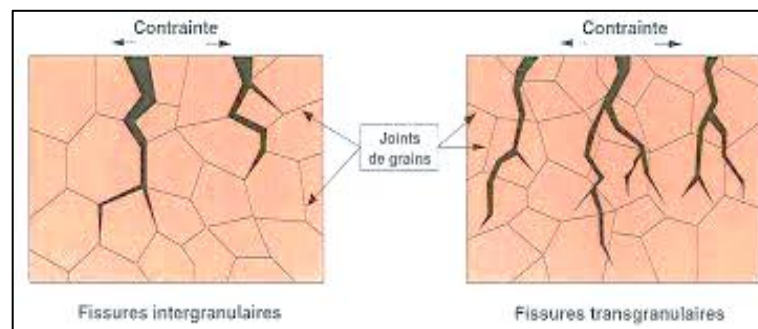


Figure I.9 : Corrosion sous contrainte (CSC) [14].

I.1.3.2.6. Corrosion – érosion

L'érosion-corrosion se manifeste dans un fluide en mouvement. La vitesse du fluide est un facteur lié à cette forme de corrosion, causant un amincissement local du métal. Cet amincissement prend la forme de rayures ou d'ondulations, toujours orientées dans la

même direction. Puisque ce type de corrosion est lié à l'hydrodynamique du fluide, on le retrouve dans les systèmes de chauffage [15].

Une question importante se pose alors : si la dégradation d'un matériau est due à une réaction chimique et à l'action mécanique d'un fluide, faut-il toujours parler de corrosion, ou ce phénomène relève-t-il plutôt de l'érosion ?

I.2. Généralité sur l'érosion

I.2.1. Définition

L'érosion est un processus physique où un solide se détériore progressivement par abrasion. Dans les canalisations, elle se produit lorsque la paroi s'affaiblit sous la pression constante du flux. La profondeur de l'érosion a tendance à augmenter de façon linéaire avec le volume du flux local. Dans l'industrie pétrolière et gazière, le pétrole et le gaz extraits contiennent souvent des particules solides, comme du sable. Ces particules sont une source de problèmes affectant le flux, dont l'érosion, qui endommage les pipelines, les raccords (coudes, cales, etc.) et d'autres équipements. L'érosion est principalement due à l'impact de ces particules en suspension dans un flux (liquide, gaz ou multiphasique) sur une surface solide.

En résumé, l'érosion est l'enlèvement graduel de matière par déformation répétée et coupure [16].

Ce phénomène peut aussi être causé par des facteurs externes, en particulier dans les usines situées dans des zones désertiques, où le sable transporté par le vent accélère l'usure des surfaces et endommage les équipements.

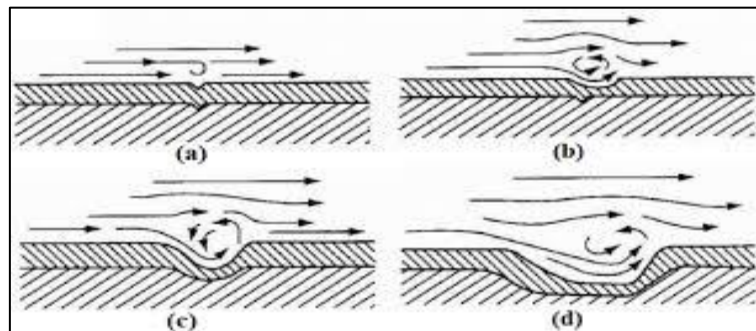


Figure I.10 : Types d'érosion par écoulement [16].

I.2.2. Problématiques liées à l'érosion

L'érosion des matériaux par des particules solides est un phénomène complexe. Quand une particule frappe la surface d'un matériau, son énergie cinétique se transforme en déformation. Ces déformations peuvent causer le détachement d'une partie de la couche superficielle, laissant une marque avec une rugosité liée à l'impact. La répétition de ces chocs, dus à l'écoulement des particules, dégrade le matériau.

L'usure érosive vient d'une combinaison de mécanismes d'usure, très influencés par les particules, l'angle et la vitesse d'impact, ainsi que leur taille [16].

I.2.3. Mécanismes de l'érosion

Les phénomènes mécaniques, chimiques et thermiques sont responsables du détachement de matière sous forme de débris d'érosion, bien que les mécanismes d'action diffèrent.

En général, on distingue quatre mécanismes principaux d'érosion causée par l'impact de particules solides : la coupe, la fatigue, la rupture fragile et la fusion.

La coupe peut être subdivisée en découpage par pénétration de la particule ou en déformation plastique menant à la rupture. La figure I.11 illustre l'organisation hiérarchique de ces processus.

Stachowiak et Batchelor (1993) ont proposé diverses formes d'érosion dues à l'impact de particules solides, comme l'érosion abrasive, la fatigue de surface, la rupture fragile, la déformation ductile, la fusion de surface, l'érosion macroscopique et l'érosion atomique [17].

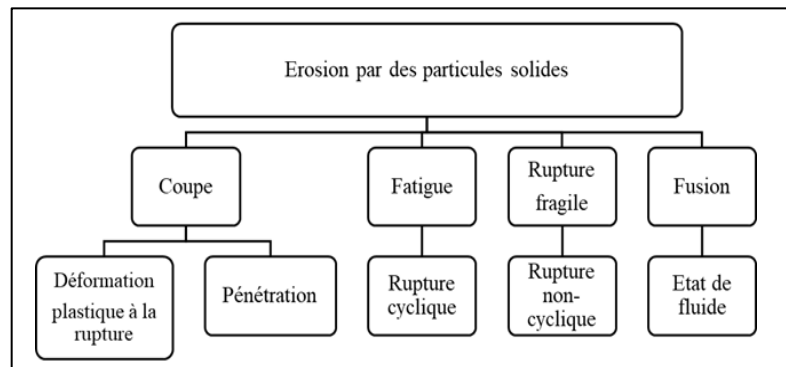


Figure I.11 : Mécanismes d'érosion par des particules et les Actions de séparation du matériau [17].

I.2.3.1. Érosion abrasive (coupe)

L'érosion abrasive se manifeste quand des particules frappent une surface avec un angle faible. Le sable abrasif roule ou glisse sur la surface, causant une usure par frottement ou découpe. L'abrasion se traduit par des rayures ou l'extraction de matière par les arêtes vives des particules, laissant de petites marques [18].

I.2.3.2. Fatigue de surface

Cette forme d'érosion s'apparente à l'usure par fatigue observée sur les surfaces en contact roulant. Quand des particules atteignent la surface avec un angle d'impact marqué, mais à faible vitesse, il n'y a pas de déformation plastique immédiate. Néanmoins, les chocs répétés fragilisent la surface, ce qui entraîne la formation de fissures. Après un certain nombre d'impacts, de petits morceaux de matière finissent par se détacher [18].

I.2.3.3. Rupture fragile

Lorsque des particules entrent en collision avec une surface fragile sous un grand angle d'impact et à vitesse moyenne, l'érosion se produit par rupture fragile. Si les particules possèdent des arêtes vives, la fragmentation fragile se traduit par l'arrachement de fragments de matière [18].

I.2.3.4. Fusion

L'érosion par fusion se manifeste lorsque les particules heurtent la surface à des vitesses très élevées, provoquant une augmentation locale importante de la température. L'énergie cinétique des particules est convertie en chaleur, pouvant entraîner la fusion superficielle du matériau. La matière fondue est ensuite déplacée ou éliminée sous l'effet des impacts successifs, ce qui conduit à une perte de matière [16].

I.2.4. Types d'érosion

Les principaux types d'érosion peuvent être classés selon la nature du milieu et des particules en mouvement :

- **Érosion par particules solides** : causée par l'impact de particules comme le sable sur les surfaces métalliques.
- **Érosion par cavitation** : liée à la formation et l'implosion de bulles dans un fluide.
- **Érosion par jet** : due à l'impact de jets de fluide à grande vitesse.
- **Érosion-corrosion** : combinaison d'une action mécanique et d'une réaction chimique.

Ces phénomènes dépendent de plusieurs paramètres tels que la vitesse du fluide, l'angle d'impact et la nature des particules [19].

I.3. Les facteurs influençant la corrosion

I.3.1. Facteurs influençant la corrosion dans l'industrie pétrolière

La corrosion de l'acier dans le sol est un phénomène électrochimique qui dépend de deux éléments principaux :

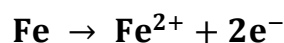
1. L'agressivité du sol dans lequel la canalisation est installée.
2. L'existence de phénomènes d'électrolyse liés à la nature du produit transporté.

Dans les puits et conduites en acier, les problèmes les plus critiques proviennent de substances chimiques qui acidifient l'eau contenue dans le pétrole ou le gaz naturel. Les principaux facteurs qui rendent l'eau agressive sont les suivants :

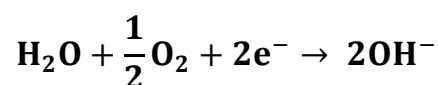
a. L'oxygène :

La teneur en oxygène joue un rôle essentiel dans la corrosion des aciers. La complexité du phénomène est fortement influencée par l'environnement dans lequel le métal se trouve. La corrosion électrochimique en présence d'oxygène se déroule selon les réactions :

- Réaction anodique :



- Réaction cathodique :



L'oxygène pénètre dans les canalisations notamment lors des arrêts, vidanges ou par l'action des pompes.

b. La salinité :

L'eau présente dans les gisements pétroliers est très salée (3 à 4 fois plus que l'eau de mer). Les sels peuvent provoquer des dommages importants aux installations. Pour limiter ces effets, le pétrole subit dès l'extraction une opération de dessalage, qui élimine la majeure partie des sels, mais pas totalement.

c. Les micro-organismes :

La corrosion bactérienne ou bio corrosion, définie pour la première fois en France par Chantereau en 1980, correspond à l'altération accélérée des matériaux par l'action directe ou indirecte de bactéries via leur métabolisme. Elle se manifeste par la formation d'un biofilm à la surface du métal, composé de bactéries, champignons, algues ou protozoaires.

d. L'acidité :

Les acides présents dans le pétrole augmentent l'agressivité du milieu envers le métal. Parmi les acides les plus courants dans le pétrole et ses dérivés :

- Acide chlorhydrique,
- Acide sulfurique,
- Acides naphténiques.

e. Paramètres physico-chimiques :

Certains paramètres physico-chimiques influencent fortement la corrosion :

PH : La susceptibilité des matériaux à la corrosion dépend du pH de l'électrolyte. Une forte concentration en protons augmente l'agressivité du milieu et modifie l'équilibre des réactions chimiques et électrochimiques.

Température : La vitesse des réactions chimiques et électrochimiques augmente avec la température. En pratique industrielle, la vitesse de corrosion est souvent doublée lorsque la température augmente de 10 à 20 °C.

I.3.2. Facteurs liés au mode d'emploi

La corrosion est également influencée par des facteurs liés à l'utilisation des pièces :

- L'état de surface des matériaux,
- La forme et la géométrie des pièces.

I.3.3. Facteurs dépendant du temps

Enfin, la corrosion évolue avec le temps, notamment en raison de la dégradation des revêtements protecteurs ou d'autres mesures de protection appliquées aux surfaces métalliques [20].

I.4. Les facteurs influençant l'érosion

L'érosion est influencée par plusieurs facteurs principaux :

- La vitesse du fluide : plus elle est élevée, plus l'érosion est importante,
- L'angle d'impact : détermine le mécanisme (coupe ou fatigue),
- La taille et la dureté des particules,
- Les Propriétés mécaniques du matériau,
- La température et les conditions de service.

Ces paramètres contrôlent la cinétique d'érosion ainsi que la nature des dommages observés sur les surfaces [21].

I.5. Conséquences industrielles et économiques**I.5.1. La corrosion**

La corrosion constitue un problème majeur à l'échelle mondiale. On estime que 5 tonnes d'acier disparaissent chaque seconde, sous forme d'une fine couche sur tous les objets, appareils et structures en acier. Ce phénomène représente non seulement un enjeu économique important, mais aussi un risque pour la sécurité et l'environnement.

La corrosion peut provoquer des dommages irréversibles à l'environnement et même mettre des vies humaines en danger. Elle peut contaminer les milieux, affecter les équipements et les infrastructures en service, et engendrer de graves dégradations, telles que :

- La réduction de l'épaisseur générale des matériaux,
- L'apparition de piqûres et de fissures,
- La corrosion sous contrainte, notamment dans les zones soudées ou à proximité.

Ces effets peuvent entraîner :

- Un risque d'accident : rupture de pièces structurales ou de réservoirs sous pression,
- Un risque environnemental et sanitaire : libération de produits toxiques en cas de fuite, ainsi que la toxicité des oxydes métalliques formés ou des moyens utilisés pour lutter contre la corrosion,
- Un gaspillage important des ressources naturelles,
- Des nuisances et accidents potentiellement mortels.

On estime que près de 30 % des pertes liées à la corrosion pourraient être évitées grâce à un contrôle et une prévention plus efficace.

Les pertes engendrées par la corrosion se répartissent en deux catégories :

1) Pertes directes :

- Coût de remplacement des équipements,
- Dépenses liées à l'entretien et au contrôle,
- Surcoût lié à l'usage de matériaux plus résistants.

2) Pertes indirectes

- Arrêts de production,
- Perte d'énergie,
- Nécessité d'une surépaisseur des matériaux pour compenser la corrosion [22].

I.5.2. L'érosion

L'érosion constitue un problème industriel majeur, notamment dans les secteurs pétroliers et gazier. Elle provoque une dégradation progressive des équipements tels que les canalisations, les vannes et les coudes.

Les principales conséquences sont :

- Diminution de l'épaisseur des parois,
- Apparition de zones fragilisées,
- Risques de fuite et de rupture.

Ces dégradations engendrent des coûts élevés liés à la maintenance, aux arrêts de production et au remplacement des équipements [23].

I.6. Méthodes de protection contre la corrosion et l'érosion

I.6.1. La corrosion

Étant donné la complexité des mécanismes de corrosion, il existe plusieurs méthodes de protection, mais le choix de la solution la plus adaptée reste délicat. La majorité des mesures de protection se regroupent autour de cinq axes principaux :

1. Prévention par choix du matériau
2. Conception de l'équipement (forme et épaisseur adaptées)
3. Protection passive
 - Revêtements non métalliques : bitume, houille de brai, goudron, peinture, matières plastiques,
 - Revêtements métalliques : revêtements anodiques ou cathodiques.
4. Protection active
 - Protection anodique (courant anodique),
 - Protection cathodique (courant imposé ou anode sacrificielle).
5. Inhibiteurs de corrosion

Inhibiteurs d'adsorption, anodiques, cathodiques, mixtes ou oxydants.

1. Prévention par choix du matériau

Le choix du matériau doit tenir compte des conditions de fonctionnement et de l'agressivité du milieu. Aucun métal ou alliage n'est totalement insensible à la corrosion ; certains matériaux résistent uniquement dans des environnements spécifiques. La résistance à la corrosion dépend donc du système métal-milieu et non du métal seul, et constitue un critère parmi d'autres dans le choix des matériaux.

2. Conception de l'équipement

➤ Épaisseur des parois

L'épaisseur des appareils doit répondre aux contraintes mécaniques et intégrer une surépaisseur pour compenser la corrosion, selon les cahiers de spécifications des bureaux d'études, en fonction du fluide, du matériau et de la température.

➤ Règles générales de conception

Pour limiter la corrosion, il convient d'éviter les hétérogénéités et de respecter certaines pratiques :

- Assurer un drainage efficace et le séchage des récipients,
- Faciliter le nettoyage,
- Prévoir le remplacement aisé des parties les plus vulnérables,
- Éviter le contact électrique entre métaux différents,
- Limiter les entrées d'air, sauf pour certains matériaux résistants comme les aciers inoxydables ou le titane.

3. Protection passive (revêtements)

Les revêtements forment une barrière physique entre le métal et le milieu agressif. Leur efficacité dépend de leur nature et de leur intégrité.

➤ Revêtements métalliques

Ils peuvent être appliqués par :

- Électrolyse : Zn, Ni, Cr, Cu, Cd,
- Immersion : Zn, Al,
- Diffusion : chromisation, shérardisation (Zn),
- Projection : Zn, Al,
- Placage : tôles plaquées calaminées.

➤ Revêtements non métalliques

Principalement peintures et matières plastiques. Ils doivent être : imperméables, adhérents, chimiquement stables, élastiques et résistants à l'usure. Exemples : peintures, vernis, émaux, verre, plastique, caoutchouc, phosphatation et anodisation.

4. Protection active

➤ Protection anodique

Elle consiste à élever le potentiel métal-milieu pour atteindre la zone de passivation, en utilisant un potentiostat pour maintenir le métal dans cette zone.

➤ Protection cathodique

Elle abaisse le potentiel électrochimique du métal pour le placer dans une zone d'immunité, empêchant toute oxydation. Elle s'applique uniquement dans un milieu électrolytique continu (eau, sol, béton humide). Deux méthodes sont utilisées :

- Courant imposé : via un générateur externe et une anode auxiliaire,
- Anode sacrificielle : un métal plus actif que le métal protégé crée une pile galvanique.

5. Inhibiteurs de corrosion

Les inhibiteurs sont des composés chimiques qui, ajoutés en faible quantité, réduisent la vitesse de corrosion ou neutralisent l'agressivité du milieu sans en changer la nature. Ils forment une barrière protectrice à la surface du métal et peuvent modifier la vitesse ou la nature des réactions électrochimiques.

Types d'inhibiteurs :

- Inhibiteurs d'adsorption : se fixent sur le métal pour former un film protecteur (ex : monoamines, polyamines),
- Inhibiteurs anodiques : l'anion réagit avec les cations issus de l'oxydation pour former un composé insoluble, limitant la corrosion (ex : phosphate de sodium pour le fer),
- Inhibiteurs oxydants : élèvent le potentiel de corrosion pour maintenir la passivation (ex : chromates, nitrites, sels ferriques),
- Inhibiteurs cathodiques : le cation forme un hydroxyde insoluble sur les cathodes locales (ex : chlorure de magnésium),
- Inhibiteurs mixtes : agissent simultanément sur les anodes et cathodes (ex : hydrogénocarbonate de calcium) [24].

I.6.2. L'érosion

La protection contre l'érosion repose sur plusieurs approches :

- Réduction de la vitesse du fluide,
- Utilisation de matériaux résistants à l'usure,
- Application de revêtements protecteurs,
- Modification de la conception des équipements,
- Élimination ou réduction des particules solides.

Ces méthodes permettent de limiter les effets de l'érosion et d'augmenter la durée de vie des installations industrielles [25].

Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les notions essentielles relatives à la corrosion et à l'érosion des matériaux, en mettant en évidence leurs mécanismes, leurs facteurs d'influence et leurs conséquences industrielles. La corrosion, de nature chimique ou électrochimique, et l'érosion, de nature mécanique, peuvent agir séparément ou conjointement sous forme de corrosion-érosion, entraînant une dégradation accélérée des équipements. La compréhension de ces phénomènes et des méthodes de protection associées constitue une base indispensable pour l'étude et la maîtrise de la durabilité des installations industrielles.

CHAPITRE II

GÉNÉRALITÉS SUR LA PEINTURE



Introduction

Les peintures protègent les surfaces métalliques contre la corrosion, l'usure et les agressions extérieures.

Les peintures donnent un aspect esthétique aux pièces et améliorent la durabilité des matériaux.

Le but de ce chapitre est d'expliquer les bases des peintures. Ce chapitre décrit la composition des peintures, la classification des peintures, les domaines d'application et les procédés de fabrication des peintures. Ainsi, le lecteur comprend le rôle des peintures dans la protection anticorrosion.

II.1. Définition de la peinture

La peinture, appelée « Paint » en anglais, est un liquide que le peintre applique en fines couches sur différents supports. Lorsque le solvant s'évapore, la peinture laisse un film adhérent et résistant. Ce film de peinture peut être opaque, blanc ou coloré.

La peinture sert à protéger et à décorer. En extérieur, la peinture protège le support contre la corrosion et les agressions du milieu. En intérieur, la peinture sert surtout à l'esthétique.

Selon sa composition, le film obtenu peut être brillant, semi-brillant, satiné ou mat. Une peinture qui contient une forte proportion d'huile donne généralement un aspect brillant. Lorsque la proportion d'huile est inférieure à vingt pour cent, l'aspect devient plutôt semi-brillant ou satiné. La peinture à l'eau donne généralement un aspect mat [1].

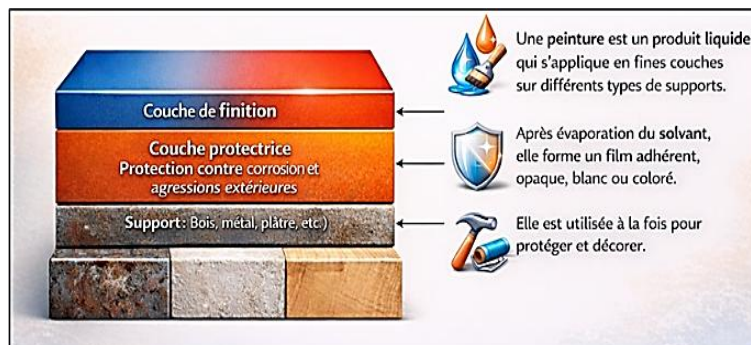


Figure II.1 : Définition de la peinture.

II.2. Composition d'une peinture

Une peinture est un mélange de plusieurs matières premières soigneusement dosées. Ses principaux constituants sont les liants, les pigments, les solvants, les charges et les additifs. Chaque composant joue un rôle précis dans les propriétés finales du produit.



Figure II.2 : Composition d'une peinture [2].

II.2.1. Les liants

Les liants sont des substances macromoléculaires d'origine naturelle ou synthétique. Ils peuvent être solides ou liquides et sont généralement solubles dans des solvants organiques. Leur rôle principal est de former un film continu après séchage et d'assurer la cohésion entre les différents constituants de la peinture.



Figure II.3 : Liant peinture [2].

1. Rôle du liant

Le liant influence plusieurs caractéristiques de la peinture, notamment :

- La brillance,
- L'adhérence au support,
- La dureté superficielle,
- La résistance aux agressions extérieures,
- La souplesse,
- La durabilité du film,
- La vitesse de séchage.

2. Types de liants

Il existe plusieurs types de liants utilisés en peinture, parmi lesquels :

- Les résines alkydes : obtenues par réaction de polycondensation entre un alcool et un acide, souvent modifiées par des huiles,
- Les liants naturels : huiles siccatives comme l'huile de lin ou de soja, formant un film par oxydation,
- Les polyuréthanes : issus de la réaction entre des iso cyanates et des composés hydroxylés,
- Les dérivés cellulosiques : obtenus par modification chimique de la cellulose,
- Les résines acryliques : dispersions de polymères dans l'eau,
- Les résines époxydes : utilisées pour leurs excellentes propriétés mécaniques et anticorrosives [2].

II.2.2. Les pigments

Les pigments sont des poudres solides insolubles qui donnent à la peinture sa couleur et son opacité. Ils jouent également un rôle protecteur en renforçant certaines propriétés physiques et chimiques du film.

1. Rôle des pigments

Les pigments permettent :

- De colorer le film,
- D'assurer le pouvoir couvrant,
- D'améliorer la résistance à la lumière et à la chaleur,
- De renforcer la protection du support.

2. Classification des pigments

On distingue :

- Les pigments minéraux (dioxyde de titane, oxyde de zinc, oxyde de chrome...),
- Les pigments organiques (phtalocyanines, dérivés azoïques, quinacridones...),
- Les pigments métalliques (poussière de zinc, aluminium) [3].

Tableau II.1 : Les différents pigments minéraux [3].

Nom	Formule
BLANC	
Oxyde de titane	TiO ₂
Oxyde de zinc	ZnO
BLEU	
Bleu de cobalt	(CoO) _m (Al ₂ O ₃) _n
Bleu outremer	Silicate de Al et polysulfure du Na
VERT	
Oxyde de Chrome	Cr ₂ O ₃
Oxyde de Chrome hydraté	Cr ₂ O _{3,n} H ₂ O
Vert de Chrome	Jaune de Chrome + ferrocyanure ferrique
JAUNE	
Oxyde de Fer	Fe ₂ O ₃
Chromate de Plomb	PbCrO ₄
Jaune de Zinc	4ZnO, 4CrO ₃ , K ₂ O, 3H ₂ O
ORANGE	
Orange de Chrome	xPb CrO ₄ , yPbO
ROUGE	
Rouge de Cadmium	Cd S, Cd Se
Oxyde de Fer	Fe ₂ O ₃
BRUN	
Oxyde ferrique et ferreux	Fe ₂ O ₃ , FeO
NOIR	
Oxyde de Fer	Fe ₃ O ₄

II.2.3. Les charge

Les charges sont des substances minérales en poudre ajoutées principalement pour réduire le coût de la peinture. Elles peuvent aussi modifier certaines propriétés mécaniques ou physiques comme la perméabilité, la résistance ou la souplesse.

Elles sont classées en :

- Carbonate,
- Sulfate,
- Silicates,
- Silice [4].

Tableau II.2 : Les différents types de charges et leurs formules chimiques [4].

Type de composés	Nom	Formule
Sulfates	Barytine	BaSO ₄ naturel
	Blanc fixe	BaSO ₄ blanc fixe
Carbonates	Carbonates de calcium	CaCO ₃
	Dolomite	(CaCO ₃ , MgCO ₃)
Oxydes	Silices	SiO ₂
Silicates	Talc	(3MgO, 4SiO ₂ , H ₂ O)
	Mica	(K ₂ O, 3Al ₂ O ₃ , 6SiO ₂ , 2 H ₂ O)
	Silicate de Calcium	(CaO, SiO ₂)

II.2.4. Les solvants

Les solvants sont des liquides organiques volatils utilisés pour dissoudre le liant et ajuster la viscosité de la peinture afin de faciliter son application. Après l'application, ils s'évaporent et laissent place au film solide [5].

Parmi les solvants les plus utilisés, on trouve :

- Les hydrocarbures aromatiques (xylène, toluène),
- Les solvants pétroliers (white spirit, kérosène),

- Les alcools (éthanol, méthanol),
- Les cétones (acétone, MEK, MIBK),
- Les esters,
- Les éthers [6].

II.2.5. Les additifs / adjuvants

Les additifs sont ajoutés en faible quantité afin d'améliorer certaines propriétés spécifiques lors de la fabrication, du stockage ou de l'application.

Parmi les additifs les plus courants :

- Agents de mouillage,
- Agents dispersants,
- Agents antimousses,
- Agents anti sédimentation,
- Catalyseurs de séchage,
- Agents anti peaux [4].

II.3. Rôles et Domaines d'application des peintures

II.3.1. Rôles

La peinture est composée d'éléments divers qui remplissent principalement deux rôles : assurer la protection des surfaces (bois, plastiques, matériaux, maçonneries...) et leur apporter une décoration (couleur, brillance, texture...), en fonction des exigences.

- 1. Rôle de protection :** Que Ce soit la sauvegarde contre la corrosion des éléments et objets métalliques, la sauvegarde contre les conditions climatiques des matériaux de construction ou encore la sauvegarde des bois contre les détériorations photochimiques ou biologiques.
- 2. Rôle de décoration :** Il est aussi essentiel pour améliorer l'attrait de l'environnement, des espaces de travail et des objets. Il est fréquent que les formules de peinture qui garantissent la protection ne possèdent qu'un impact décoratif limité, d'où le recours à des systèmes de peinture en plusieurs couches ayant des fonctions diverses mais complémentaires. Dans ce contexte, on identifie les couches primaires ou d'impression qui entrent directement en

contact avec le support, les couches intermédiaires, et finalement la couche décorative.

Le choix d'un système de peinture approprié reste une tâche délicate qui nécessite de considérer plusieurs facteurs, tels que le type de surfaces à peindre, leur préparation, l'environnement dans lequel l'objet peint sera installé, les contraintes mécaniques et les méthodes d'application disponibles, les substances chimiques auxquelles il sera exposé, etc [7].

II.3.2. Domaines d'application

II.3.2.1. Peintures pour bâtiments

On utilise ce genre de peinture à l'intérieur des édifices et on fait souvent appel aux peintures brillantes, satinées et mates. On l'utilise également en extérieur, où le sujet est généralement en béton et où les surfaces nécessitent un dépoussiérage [8].



Figure II.4 : peinture pour Bâtiments [8].

II.3.2.2. Peintures pour carrosseries

Les peintures pour carrosserie sont conçues pour protéger et embellir les véhicules légers et lourds, on peut distinguer deux domaines bien définis :

- Réparation et retouche de carrosserie pour véhicules déjà peints,
- Carrosserie en cours de réalisation [8].

II.3.2.3. Peintures marines

Il s'agit de peintures spécifiquement conçues et élaborées pour protéger les surfaces qui sont en contact avec l'eau ou placées près de la mer [8].

II.3.2.4. Vernis

Matière résineuse appliquée sur un support par couches minces, formant une solution translucide dans un solvant, utilisée pour la décoration ou la protection.

Le liant est habituellement une substance plus ou moins translucide qui présente l'aspect d'une résine. Dissous uniquement dans un solvant, il produit un vernis : mélange de liant et de solvant donne du vernis.

La complexité de la classification des vernis est due aux multiples changements qui se produisent dans leur composition et leur préparation. Par exemple, le vernis à l'alcool est une résine dissoute dans un solvant volatil dépourvu d'huile siccative ; quant au vernis à l'asphalte, il s'agit d'une solution d'asphalte qui génère un revêtement noir opaque. Mis en œuvre en fine couche, le vernis se durcit de son séchage [8].

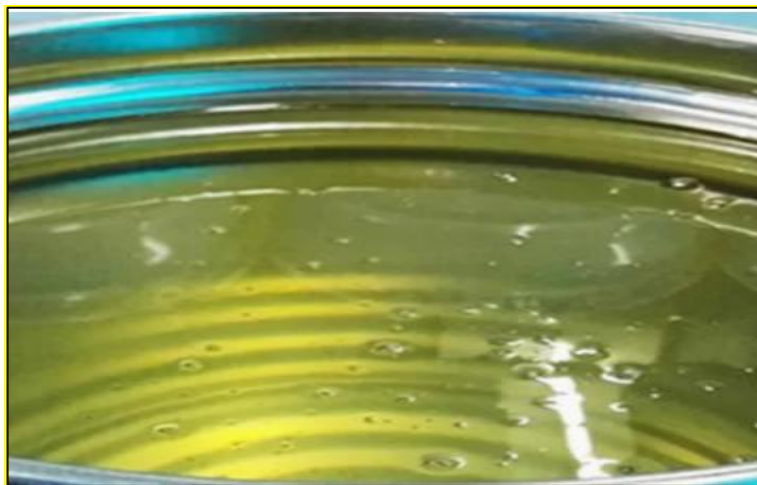


Figure II.5 : vernis [8].

II.3.2.5. Peinture anticorrosion

II.3.2.5.1. Introduction

Les qualités anticorrosives d'un système de peinture servent à sauvegarder efficacement un métal ferreux des attaques journalières. Ces propriétés s'appliquent également à tous les produits dont les caractéristiques originales visent à offrir la protection optimale contre la rouille.

On parle donc d'anticorrosion pour désigner toutes les méthodes de protection contre la rouille. Ce terme peut être utilisé en référence aux primaires, apprêts, impressions, sous-couches, peintures ou systèmes anticorrosion [2].

II.3.2.5.2. Définition

Généralement, une protection contre la corrosion fournie par un système de peinture implique l'application de plusieurs couches de peinture compatibles, produisant un film isolant et adhésif sur le substrat métallique.

Donc, les deux caractéristiques essentielles qu'on attend d'un système de peinture anticorrosion sont l'effet barrière (protection passive) et l'adhérence. Il est courant de renforcer l'effet protecteur en incorporant des inhibiteurs de corrosion ou de la poudre de zinc dans le primaire. On se réfère alors à ces derniers comme « primaires riches en zinc » (PRZ), où le zinc offre une protection sacrificielle à l'acier. Dans ces deux scénarios, on observe une protection active intervenant à l'interface primaire/métal, ce qui renforce la pérennité de l'adhésion du système. L'amélioration des effets de protection garantit l'efficacité et la longévité du système de peinture, cependant, il est important de souligner que ces deux caractéristiques sont principalement dépendantes des phénomènes qui se produisent à l'interface primaire/métal [9].

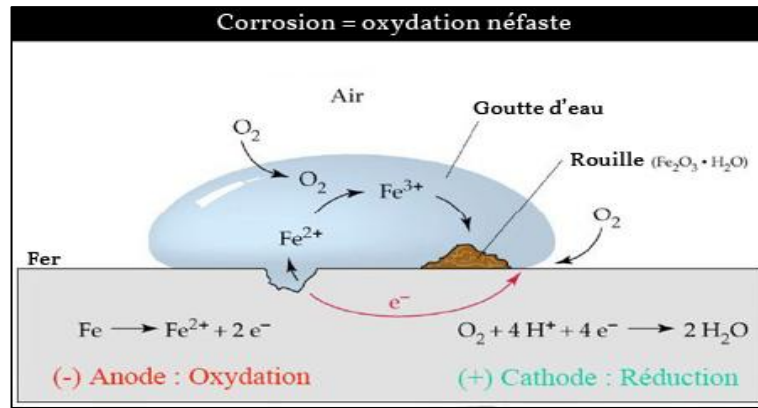


Figure II.6 : Phénomène de corrosion de Fer [9].

II.3.2.5.3. Systèmes de protection par les peintures

Par convention, les systèmes de protection par les peintures se composent d'un primaire, d'une ou de plusieurs couches intermédiaires et d'une couche de finition.

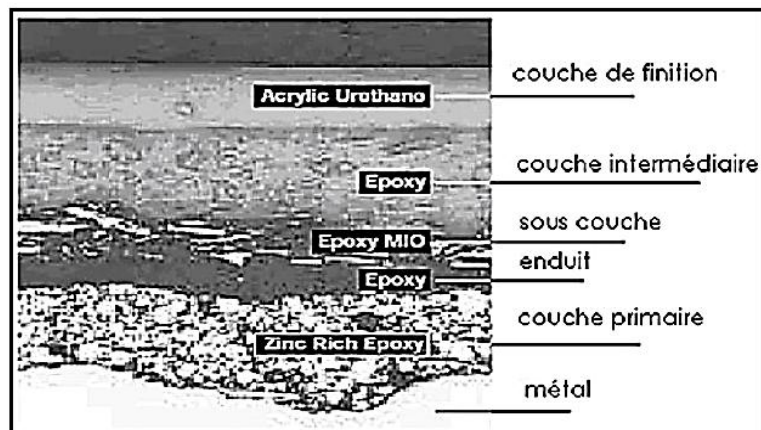


Figure II.7 : Systèmes de protection par les peintures [10].

A. Le primaire anticorrosion

La couche primaire occupe une place essentielle dans l'ensemble des systèmes de peinture anti-corrosion, car elle garantit l'accrochage entre ce système et le substrat métallique. Il existe trois types de primaires anticorrosion sont :

1. Revêtements en phase aqueuse

L'augmentation significative de la production de peintures à base d'eau au fil des décennies est principalement due à la réglementation visant à restreindre l'utilisation des

composés organiques volatils (C.O.V.), tout en réduisant la toxicité des additifs. Dans les peintures à base d'eau, les solvants organiques sont substitués par l'eau.

Cependant, une certaine quantité de solvants organiques subsiste, généralement sous forme d'alcools et de dérivés des éthers de glycol. Ces peintures présentent un risque majeur en raison de l'éther de glycol, dont la toxicité hématologique à long terme et l'impact potentiel sur la fertilité sont notables, bien que leur toxicité neurologique soit considérablement moindre. Cependant, bien que les peintures à base d'eau renferment certains composants nuisibles (à l'instar de toutes les peintures), elles sont à privilégier par rapport aux peintures à base de solvant, car elles sont plus respectueuses de l'environnement et plus saines. Cette catégorie de revêtements comprend diverses sortes de liants. De ce fait, les latex de peintures acryliques à base d'eau sont utilisés dans divers secteurs tels que le secteur automobile ou l'emballage alimentaire [9]. Ces systèmes sont aussi fréquemment employés comme couches de protection contre la corrosion [11]. De la même façon, l'utilisation des résines alkydes et des dispersions de polyuréthanes est en forte croissance.

Pour finir, l'utilisation des émulsions de résines époxy durcies par des agents de durcissement à base d'amine ne cesse de croître dans les secteurs de l'anticorrosion et des vernis de finition [12].

2. Revêtements à base de solvants organiques

L'usage de formulations contenant des solvants organiques reste encore très répandu. Effectivement, elles offrent des bénéfices techniques et économiques en comparaison aux systèmes aqueux, bien que ces derniers continuent à progresser constamment. Dans cette catégorie de peintures, on observe la présence des liants équivalents à ceux en phase aqueuse. Les résines acryliques, obtenues par copolymérisation entre les acides acrylique et méthacrylique, sont connues pour leur remarquable résistance à l'hydrolyse lorsqu'elles sont exposées à l'extérieur.

Les résines alkydes, souvent employées dans le secteur de la peinture [13], sont le résultat de la réaction entre des polyols tels que la glycérine, des diacides comme l'acide ortho-phthalique et/ou divers acides gras, dont l'acide linoléique ou ricinique. De plus, la structure du liant comprend des groupes hydroxyles en excès et des groupes

carboxyliques résiduels. La portion en polyester assure un séchage physique et la résistance aux éléments, alors que la portion huileuse confère de la flexibilité au film et offre surtout la possibilité d'une réticulation par oxydation.

Un autre groupe notable est constitué par les polyuréthanes, qui proviennent de la réaction entre un iso-cyanate et une substance contenant un hydrogène actif, comme les polyesters, les résines alkydes, époxy ou acryliques, ainsi que des amines [14]. Ces peintures sont généralement proposées en tant que système à deux éléments. Les performances dépendront du type d'iso-cyanate et des Co-réactifs employés, tout comme des divers additifs intégrés. Grâce à leur robustesse face aux conditions climatiques variées, ainsi qu'à leur solidité chimique et mécanique, elles sont couramment employées dans les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique.

Pour finir, le dernier groupe majeur concerne les revêtements à deux composants qui combinent des résines époxy et des agents durcisseurs à base d'amine. Ce genre de revêtement offre une excellente résistance chimique et thermique ainsi que des propriétés d'adhérence exceptionnelles sur la majorité des substrats.

3. Systèmes hydrides

Dans des environnements hautement hostiles, l'emploi de systèmes hybrides est vivement conseillé. Ces produits intègrent des revêtements à forte teneur en matière solide, des revêtements à base d'eau et des revêtements à base de solvant. Notamment, dans ces dispositifs, le primaire antirouille est fréquemment de type époxy-amine solvantées [11].

B. Couche d'isolation

Il s'agit d'un revêtement conçu pour protéger une peinture de la surface en dessous afin d'éviter toute interaction chimique ou physique [10].

C. Couches intermédiaires

Il s'agit de couches situées entre la couche de base et la couche de finition. Les couches intermédiaires sont utilisées pour obtenir l'épaisseur finale du film du système. En règle générale, plus l'épaisseur du revêtement est importante, plus sa longévité s'accroît. Cela peut nécessiter l'usage de plusieurs strates intermédiaires. Ces dernières sont spécifiquement élaborées pour renforcer la protection globale et, lorsqu'elles sont

pigmentées, leur capacité à laisser passer l'oxygène et l'eau est réduite. Il est important de souligner que ces couches doivent maintenir leur compatibilité avec les couches de finition [10].

D. Couche de finition

C'est le dernier revêtement d'un système de peinture qui garantit notamment des caractéristiques comme la couleur et l'éclat. Le revêtement offre l'apparence souhaitée tout en garantissant la robustesse nécessaire du système. Selon les conditions d'exposition, elle doit aussi offrir la première ligne de défense contre le climat et la lumière solaire, la condensation, les environnements fortement pollués par les industries, l'abrasion et autres [10].

II.4. Classification des peintures

II.4.1. Peintures à l'eau

Les peintures à base d'eau reposent sur des liants solubles dans l'eau, des systèmes colloïdaux ou des dispersions aqueuses de polymères, accompagnés de quantités variables de Co-solvants selon les formulations spécifiques [3].

Elles présentent moins de risques pour l'environnement et la santé car le solvant principal est l'eau [15].

II.4.2. Peintures aux résines

Les peintures à base de résines sont composées de résines synthétiques diluées dans l'eau ou un solvant adapté, bien qu'elles demeurent insolubles dans l'huile. Leur application est facilitée par le nettoyage aisé des outils à l'eau. Le temps de séchage est court et le film formé ne présente pas de marques liées à l'emploi du pinceau ou du rouleau. Ce revêtement est à la fois lavable et durable, offrant une résistance notable aux conditions climatiques ainsi qu'à l'exposition solaire [16].

Les peintures à base de résines se déclinent en plusieurs catégories, chacune présentant des caractéristiques spécifiques.

- **Les peintures glycérophthaliques** : formulées avec des résines alkydes modifiées, se distinguent par leur imperméabilité et leur bonne résistance aux agents acides.

- **Les peintures vinyliques** : diluées à l'eau, sèchent rapidement et présentent une faible toxicité, bien qu'elles montrent une sensibilité au gel. Les peintures à base de caoutchouc chloré offrent une résistance chimique notable, mais leur application reste complexe et potentiellement nocive en raison de la présence de solvants.
- **Les peintures polyuréthanes** : bien que plus coûteuses, démontrent une grande résistance aux lavages intensifs, ce qui explique leur usage privilégié dans certains secteurs industriels.
- **Les peintures époxydes** : caractérisées par une consistance épaisse et une solidité accrue, présentent une résistance chimique marquée, justifiant leur utilisation dans des contextes industriels spécifiques tels que les revêtements de sols ou les cuves étanches.

II.4.3. Peintures en phase solvant

Les peintures à base de solvant sont des mélanges polymériques qui, une fois durcis, forment sur le support une couche filmogène continue, adhérente et résistante aux solvants courants. On définit le durcissement ou séchage comme le Processus physico-chimique qui facilite la transition de l'état liquide vers l'état solide. L'état solide est caractérisé par l'établissement de liaisons chimiques qui donnent lieu à un réseau tridimensionnel de macromolécules [17].

II.4.4. Peintures en phase aqueuse

Les peintures considérées sont formulées à partir de liants hydrodiluables et/ou hydrosolubles, dont les caractéristiques principales sont décrites ci-après :

1. **Les liants hydrosolubles** : sont constitués de macromolécules de type alkydes ou acryliques en solution, présentant un aspect limpide, avec une masse moléculaire située entre 1 000 et 5 000 Da et un diamètre inférieur à 0,001 μm . Ces liants sont généralement dissous dans un mélange de solvants composé de glycol et d'eau. La proportion pondérale entre l'éther de glycol et l'eau dépend à la fois de la nature chimique du polymère et de la solubilité de l'éther de glycol dans l'eau.

2. Les liants hydrodiluable : englobent deux catégories principales :

- **Les dispersions colloïdales** : caractérisées par un aspect translucide, correspondent à des suspensions de particules polymériques en milieu aqueux. Ces particules présentent une masse moléculaire comprise entre 50 000 et 200 000 Da et un diamètre variant entre 0,001 μm et 0,1 μm .
- **Les dispersions émulsions** : de nature opaque, résultent de la dispersion de liquides non miscibles, l'eau constituant la phase continue, tandis que la phase discontinue est formée par les particules polymériques. Ces particules ont généralement un diamètre de l'ordre de 0,1 μm et une masse moléculaire comprise entre 200 000 et 1 000 000 Da [18].

Tableau II.3 : Comparaison des propriétés des peintures en phase aqueuse en phase solvant [18].

PROPRIETES NATURE	PEINTURE EN PHASE AQUEUSE			PEINTURE EN PHASE SOLVANTS
	HYDRODILUABLES		HYDROSOLUBLES	
	EMULSIONS	DISPERSIONS COLLOÏDALES		
PROPRIETES PHYSIQUES DU LIANT				
Aspect	Opaque blanc	Moléculaire	Limpide	
Diamètres des particules	0.1 à 10 μm	0.01 à 0.1 μm	< 0.001 μm	
Masse moléculaire (g/mol)	10 ⁵ à 10 ⁶	2×10 ⁴ à 2×10 ⁵	5×10 ³ à 5×10 ⁴	
Viscosité	Indépendante de la masse moléculaire	Partiellement dépendante de la masse moléculaire	Directement dépendante de la masse moléculaire	
FORMULATION				
Contrôle de la viscosité	Nécessité d'épaississant	Epaississement par tiers solvants	Viscosité fonction de la masse moléculaire	
Dispersion des pigments	Difficile	Bonne	Excellente	
Extrait sec pondéral	Elevé	Moyen	Moyen à faible	
Formulation	Complexe	Intermédiaire	Aisée	
APPLICATION				
Difficultés d'application (*)	Nombreuses	Moyennement importante	Peu importante	
Formation du film (**)	Coalescence	Coalescence et séchage physique	Séchage physique	

(*) Critères : méthode d'application, propriétés rhéologiques (tendu du film), mouillage du support.

(**) Une réaction chimique peut également se produire au cours de la formation du film (cas des peintures four, notamment).

II.4.5. Peintures naturelles

L'expression « peinture naturelle » est très vague et peut avoir différentes significations selon les individus.

En effet, par exemple l'adjectif « naturel » ne désigne pas forcément quelque chose de sain pour l'homme (ex : amiante, plomb...), a contrario, même si les environnements, elles nécessiteront quand même une transformation en vue d'obtenir Le produit final [19].

1. Les peintures naturelles classiques

Chaque matière première provient le plus possible de ressources naturelles renouvelables.

Les liants sont à base d'huiles végétales (lin, ricin, romarin, lavande, ...), de cires d'abeilles, de résines naturelles (pin), de caséine, de craie, Les solvants naturels (essence de térébenthine balsamique, écorces d'agrumes, ...) peuvent aussi entraîner des troubles dermatologiques. Aucun solvant n'est complètement inoffensif. Les pigments sont de nature végétale (valériane, thé, oignon...) ou minérale (terre de Sienne, oxydes de fer, ...) Les additifs chimiques et les charges sont absents dans les peintures naturelles, elles sont moins fragiles que les peintures synthétiques. Les peintures naturelles imprègnent en profondeur le support et sèchent donc plus lentement. Elles ne sont pas lavables mais laissent passer l'humidité.

2. Les peintures à la chaux

Les peintures à la chaux ont traversé l'histoire car elles étaient déjà utilisées pendant l'Antiquité.

Il s'agit de mélanges simples combinant chaux, pigments et adjuvants. La chaux joue le rôle du liant, l'eau est utilisée comme agent de dissolution, les pigments, principalement des terres, ne peuvent être que des minéraux et les adjuvants servent à retenir l'eau ou à fixer les pigments.

Ces peintures étant très alcalines, il faut protéger le corps lors de l'application en portant des gants, des lunettes et des vêtements avec des manches. Les contrevenants s'exposent à des brûlures chimiques cutanée ou oculaire. C'est l'inconvénient des peintures minérales comme la chaux. En revanche, les émissions de composés organiques volatils (C.O.V.) sont pratiquement nulles pendant et après la mise en œuvre [15].

II.4.6. Peintures en poudre

Pour comparer ces différents types de peinture, il convient d'examiner plusieurs aspects : les spécificités techniques liées aux installations, le coût énergétique associé aux solvants et à la formation du film, la quantité de produit requise pour obtenir un film homogène, le coût des additifs utilisés dans la composition, ainsi que l'impact environnemental, notamment en ce qui concerne la présence de Co-solvants résiduels. Les peintures à haut extrait sec n'ont pas conduit à des progrès technologiques significatifs et sont donc quelque peu délaissées au profit des deux autres catégories. Les peintures à base d'eau présentent un avantage certain, car elles peuvent être appliquées avec les équipements existants conçus pour les peintures solvantées. De plus, elles nécessitent une faible quantité de produit pour former un film homogène, aux propriétés optiques, chimiques et physiques comparables à celles des peintures solvantées. Cependant, leur formulation contient encore une part notable de Co-solvants, et elles requièrent des additifs spécifiques, parfois coûteux, pour assurer la stabilisation des charges et des pigments [3].

II.5. Types des peintures selon le mode de formation du film

II.5.1. Séchage physique

Est un processus où il n'y a pas de réaction chimique. On le retrouve surtout dans les peintures qui utilisent des liants très lourds, comme les nitrates et esters de cellulose, les polyacrylates, les polyesters thermoplastiques ou les copolymères de styrène.

Avec ces polymères, le film de peinture se forme simplement grâce à l'évaporation du solvant (qu'il soit organique ou à base d'eau), qui laisse le polymère sur la surface.

Ces liants donnent au revêtement une bonne souplesse et une stabilité durable grâce à leur poids moléculaire élevé. Pour que le film soit dur et résistant aux rayures, la

température de transition vitreuse du polymère doit rester au-dessus de la température ambiante [20].

II.5.2. Polymérisation par action chimique

1. Oxydation

Après l'évaporation des solvants, l'oxygène de l'air pénètre dans le film et réagit lentement avec les parties chimiques oxydables du liant. Cela provoque une polymérisation progressive, qui fait durcir le film.

2. Action de la chaleur

La polymérisation commence seulement lorsqu'une certaine température minimale est atteinte. Si cette température n'est pas suffisante, la réaction reste incomplète et le film n'a pas les propriétés attendues, pouvant présenter des faiblesses importantes.

Les peintures concernées par ce type de polymérisation sont :

- Les peintures Glycéro-aminoplastes,
- Les peintures époxy-phénoliques,
- Les systèmes acryliques [21].

II.5.3. Réactions chimiques diverses

Beaucoup de peintures chimiques sont à deux composants, que l'on mélange juste avant l'application. Après mélange, leur stabilité est limitée : de quelques heures à quelques jours selon le type de peinture.

On trouve notamment :

- Les peintures polyuréthanes,
- Les peintures aminoplastes avec catalyse acide,
- Les peintures polyesters,
- Les peintures époxy-polyamines [22].

II.6. Modes de fabrication des peintures

II.6.1. Contrôle des matières premières

La première étape au cours de la fabrication de la peinture consiste à contrôler les matières premières afin d'en vérifier la conformité. Il est ainsi essentiel d'évaluer certaines propriétés, telles que la viscosité, la densité, l'extrait sec, parmi d'autres, c'est-à-dire de prendre en compte les caractéristiques spécifiques de chaque matière première. Les résultats obtenus sont ensuite comparés aux données figurant sur la fiche technique correspondante [16].

II.6.2. Préparation et formulation des peintures

1. **L'empattage** : consiste à disperser les pigments et les charges dans une partie du liant, en présence d'un agent mouillant dispersant, pour avoir une pâte d'empattage homogène.
2. **Le broyage** : correspond à une opération mécanique de dispersion des matériaux pulvérulents (généralement des pigments et des charges) dans un liant ou un autre milieu adapté. Il convient de préciser que le broyage ne vise pas ici à fragmenter les particules en tailles plus fines, mais plutôt à assurer leur dispersion. Cette étape peut aboutir à la formation de pâtes, de produits broyés ou, dans certains cas, directement de peintures.
3. **La dilution** : dans cette phase, on ajoute le reste du liant et certains additifs tel qu'agent d'étalement ; résines de réticulation.
4. **La filtration** : Après broyage et dilution, la peinture subit une opération de filtration destinée à éliminer les impuretés présentes.
5. **Le conditionnement** : qui est la dernière étape du processus de fabrication qui consiste à remplir le produit final (peinture) dans les boîtes [23].

II.6.3. Action sur la consistance et propriétés finales

Les diverses interventions visant à améliorer la consistance de la peinture reposent sur plusieurs principes :

- **La fluidification** : qui peut être obtenue simplement par l'ajout de solvants. Toutefois, il est parfois possible de réduire rapidement et de manière significative

la viscosité en incorporant une faible quantité d'un composé très polaire, tel que certains acides.

- **L'épaississement** : la fonction principale est d'augmenter la viscosité des peintures tout en empêchant la sédimentation des pigments et des charges.
- **L'action conservatrice** : certains additifs sont introduits afin de protéger le support, comme les agents anticorrosion destinés à limiter la corrosion du fer dans les peintures à base aqueuse, par exemple le benzoate de sodium.
- **L'utilisation de fongicides** : est essentielle dans tous les liants aqueux pour prévenir la dégradation des peintures lors de leur stockage dans les récipients [17].

II.6.4. Processus de fabrication complet

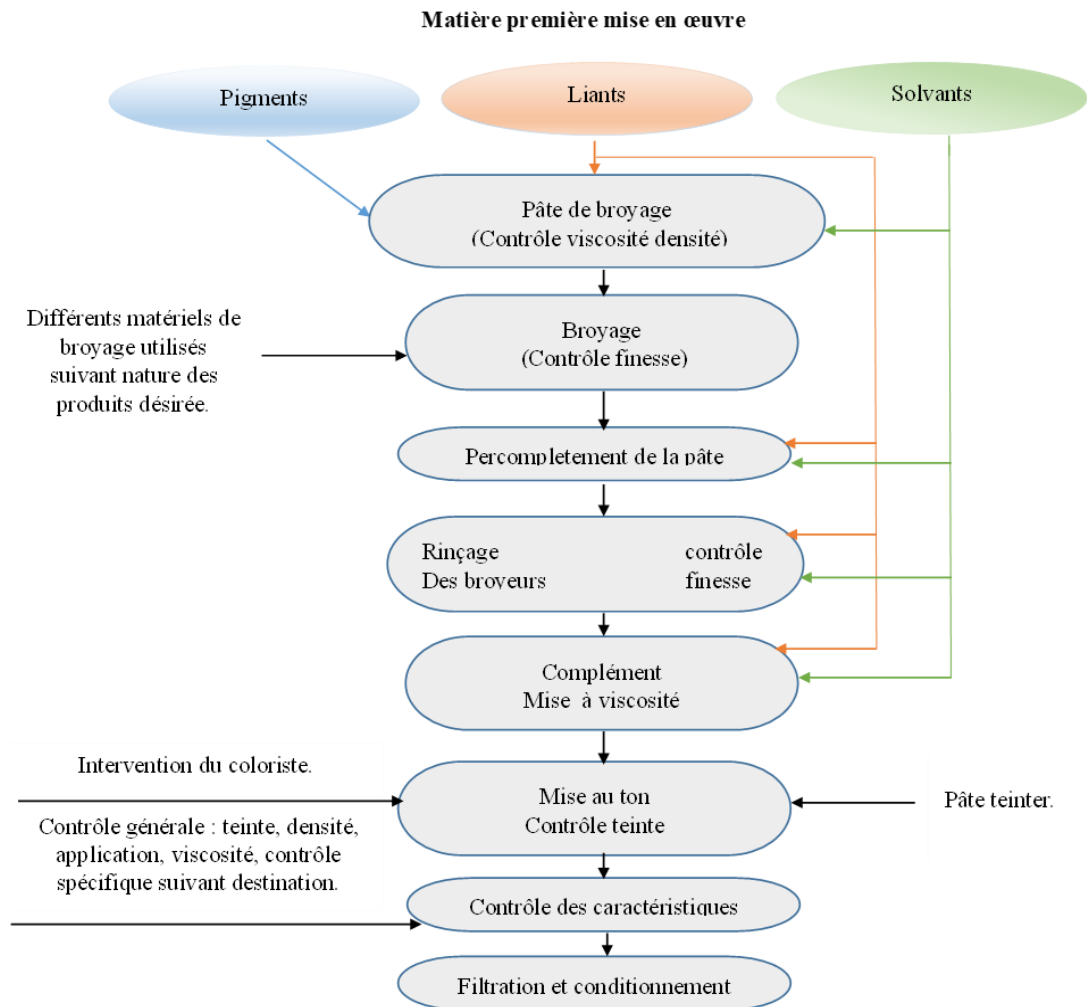


Figure II.8 : Différentes étapes de la fabrication d'une peinture [3].

Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis de présenter les notions générales relatives aux peintures, en mettant en évidence leur importance dans la protection et la durabilité des matériaux. L'étude des différents constituants a montré que chaque élément joue un rôle précis dans les performances finales de la peinture. Par ailleurs, les différents types de peintures ainsi que leurs domaines d'application ont été abordés, en insistant notamment sur les peintures anticorrosion et leur rôle essentiel dans la protection des surfaces métalliques. Enfin, les étapes de préparation et le processus de fabrication ont permis de mieux comprendre la complexité de l'élaboration des peintures. Ainsi, l'ensemble de ces éléments constitue une base nécessaire pour la suite de ce travail

CHAPITRE III

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE



Introduction

Le stage de mise en situation professionnelle a été effectué au niveau de laboratoire (hall de technologie). Ce chapitre présent l'étude expérimentale réalisée pour évaluer l'efficacité d'une peinture époxy à base de polymère dans la protection de fer blanc contre la corrosion et l'érosion dans différents milieux corrosifs.

III.1. Méthode d'étude la corrosion

- **Méthode gravimétrique**

Cette méthode est relativement simple et ne nécessite pas un appareillage complexe. Cependant, elle ne permet pas d'étudier les mécanismes mis en jeu lors du phénomène de corrosion. Elle consiste à exposer des échantillons de surface (S) dans un milieu corrosif maintenu à température constante pendant une durée (t), puis à mesurer la différence de masse (Δm) des échantillons avant (m_0) et après (m_t) chaque essai.

La perte de masse est déterminée par la relation suivante :

$$\Delta m = m_0 - m_t$$

La vitesse de corrosion est donnée par :

$$V_{\text{corrosion}} = \frac{\Delta m}{S \times t}$$

Avec :

$V_{\text{corrosion}}$: vitesse de corrosion exprimée en (g/cm².h),

Δm : perte de masse exprimée en (g),

m_0 : masse initiale de l'échantillon avant l'essai (g),

m_t : masse finale de l'échantillon après l'essai (g),

S : surface exposée de l'échantillon (cm²),

t : temps d'immersion (h).

La vitesse de corrosion est déterminée après immersion des échantillons dans les différentes solutions corrosives, respectivement sans peinture, avec couche peinture, avec deux couche peintures et avec couche peinture + vernis [1].

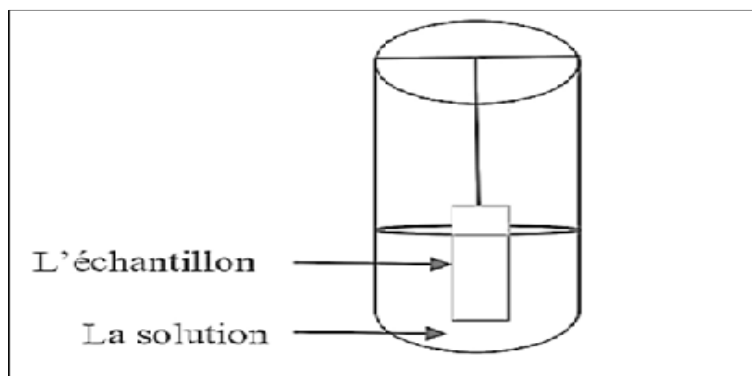


Figure III.1 : Dispositif expérimentale de la technique de la masse perdue [2].

III.2. Matériels et Réactifs

III.2.1. Matériels

Balance électrique, bécher, papier abrasif, fiole jaugée (100 ml), poire, spatule, pissette, pinceau, pipette (5 ml) et (10 ml), entonnoir, pied à coulisse.

III.2.2. Réactifs

NaCl, H_2SO_4 , HCl, l'eau distillée, peinture époxy noir, vernis.

III.3. Préparation des échantillons

Les échantillons, initialement bruts, ont été soumis à un polissage afin d'obtenir une surface lisse et homogène. Ensuite, ils ont été lavés, séchés, puis pesés avant immersion dans un milieu corrosif.



Figure III.2 : Polissage des échantillons de fer blanc.

Mesurer et enregistrer avec précision la masse initiale (m_0) de chaque échantillon individuellement, à l'aide d'une balance électrique de précision.



Figure III.3 : la balance électrique.

Relever, pour chaque échantillon, les trois dimensions caractéristiques : la longueur, la largeur et l'épaisseur, en utilisant un pied à coulisse. Ces mesures permettront le calcul de la surface exposée (S) nécessaire à l'expression du taux de corrosion.



Figure III.4 : Pied à coulisse numérique.

Tableau III.1 : Les dimensions des échantillons.

Les échantillons	Longueur	Largeur	L'épaisseur	la surface
1	23.47	19.34	5.05	13.402006
2	25.05	18.78	4.82	13.633992
3	22.26	15.01	5.09	10.476538
4	22.32	18.38	4.9	12.193432
5	24.19	19.8	4.53	13.564734
6	24.63	20.86	5.98	15.71624

III.4. Préparation des solutions

En utilisant dans notre étude trois solutions agressive avec des différentes concentrations qui monter dans un tableau suivant :

Tableau III.2 : Présentation de concentration des solutions choisie.

Solutions	Concentration		
NaCl (4, 5, 6)	3%	5%	7%
H ₂ SO ₄ (1, 2, 3)	1%	3%	5%
HCl (1, 2, 3)	3%	5%	7%

Tableau III.3 : Propriétés des solutions.

	Acide sulfurique	Chlorure de sodium	Acide chlorhydrique
La formule chimique	H ₂ SO ₄	NaCl	HCl
Pourcentage massique (%)	95	//	37
La masse volumique ρ (g/ml)	1.84	//	1.18
La masse molaire M (g/mol)	98.08	58.44	36.46

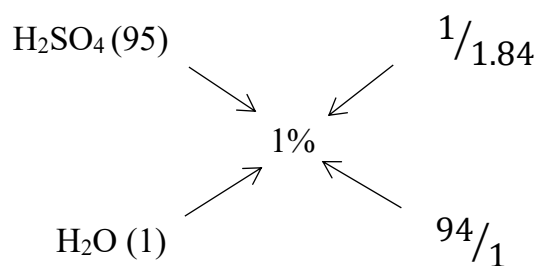


Figure III.5 : Les trois solutions.

III.4.1. Pour l'Acide sulfurique (H_2SO_4)

La solution aqueuse de l'acide sulfurique doit être préparée à partir des paramètres du flacon de H_2SO_4 concentré qui indiquent (une densité $d=1.84$; masse molaire $M=98.08$; une pureté $\rho=95\%$), pour préparer une solution de 1% de concentration.

Selon les relations suivantes nous avons déterminés le volume qu'il faut prendre pour faire une solution de 1% de concentration :



$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = V(\text{soluté}) + V(\text{solvant})$$

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 94 + 0.54 = 94.54 \text{ ml}$$

$$\left. \begin{array}{l} 0.54 \longrightarrow 94.54 \text{ ml} \\ X \longrightarrow 1000 \text{ ml} \end{array} \right\} X = 5.71 \text{ ml}$$

Avec la même méthode on trouve :

Tableau III.4 : Les volumes nécessaires de chaque solution H_2SO_4 .

Solution	Concentration (%)	Volume (ml)
H_2SO_4	1	5.71
	3	17.40
	5	29.23

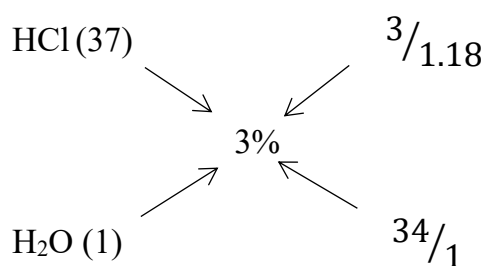


Figure III.6 : Les trois solutions H_2SO_4 .

III.4.2. Pour l'Acide chlorhydrique (HCl)

La solution aqueuse de l'acide chlorhydrique doit être préparée à partir des paramètres du flacon de HCl concentré qui indiquent (une densité $d = 1.18$; masse molaire $M = 36.46$; une pureté $\rho = 37\%$). Pour préparer une solution de 3% de concentration.

Selon les relations suivantes nous avons déterminés le volume qu'il faut prendre pour faire une solution de 3% de concentration :



$$V(\text{HCl}) = V(\text{soluté}) + V(\text{solvant})$$

$$V(\text{HCl}) = 34 + 2.54 = 36.54 \text{ ml}$$

$$\left. \begin{array}{l} 2.54 \longrightarrow 36.54 \text{ ml} \\ X \longrightarrow 100 \text{ ml} \end{array} \right\} X = 6.95 \text{ ml}$$

Avec la même méthode on trouve :

Tableau III.5 : Les volumes nécessaires de chaque solution HCl.

Solution	Concentrations (%)	Volume (ml)
HCl	3	6.95
	5	11.67
	7	16.50

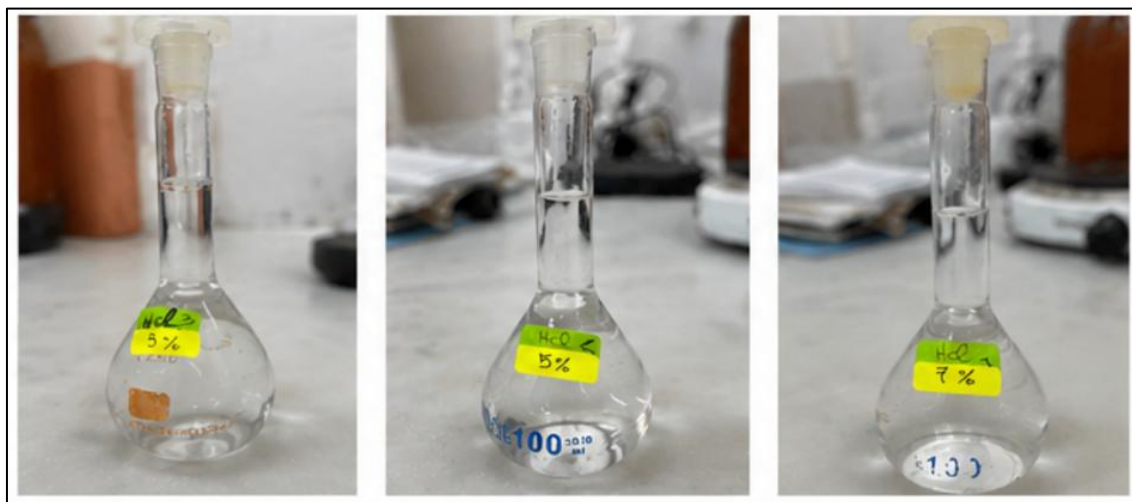


Figure III.7 : Les trois solutions HCl.

III.4.3. Pour Chlorure de sodium (NaCl)

La préparation du chlorure de sodium est différente des solutions précédentes en raison de sa nature poudre. On peut préparer les concentrations par la dissolution de la masse dans l'eau.

A titre d'exemple 3% de NaCl :

- Utilisez une balance électrique pour mesurer 3g de NaCl,

- Pressez la quantité pesée dans la fiole jaugée en utilisant un entonnoir, puis ajoutez de l'eau distillée en agitant,
- Une fois que la couleur blanche a disparu, nous pour suivons avec l'eau distillée jusqu'à ce que la jauge soit très élevée.



Figure III.8 : Solution NaCl préparer.

III.5. Protocole Expérimental

III.5.1. Sans peinture

A. Étude de la corrosion par immersion dans H_2SO_4 à différentes concentrations

a. Immersion des échantillons

Trois échantillons sont immergés dans des solutions d'acide sulfurique (H_2SO_4) de concentrations croissantes, conformément au tableau III.4.



Figure III.9 : Immersion des échantillons sans peinture dans la solution de H_2SO_4 .

b. Conditions de traitement

Les échantillons sont soumis aux conditions expérimentales suivantes :

- Maintenir la solution à température contrôlée pendant 1 heure.
- Poursuivre l'immersion pour une durée totale allant jusqu'à 5 heures, avec des prélèvements à intervalles réguliers.

c. Rinçage et séchage

À l'issue de chaque prélèvement, procéder aux opérations suivantes :

- Rincer soigneusement chaque échantillon à l'eau distillée afin d'éliminer tout résidu acide résiduel.
- Sécher délicatement la surface à l'aide d'un papier absorbant, en évitant tout frottement susceptible d'altérer la surface.

d. Pesée finale et collecte des résultats

Procéder à une nouvelle pesée (m_t) de chaque échantillon après chaque durée d'immersion définie. L'ensemble des résultats est relevé et consigné à intervalles réguliers jusqu'à $t = 5$ heures, afin de suivre l'évolution de la perte de masse $\Delta m = m_0 - m_t$ en fonction du temps.



Figure III.10 : L'échantillon après 5h dans la solution de H_2SO_4 .

B. Étude de la corrosion par immersion dans NaCl à différentes concentrations

- Effectuer un polissage soigneux de l'ensemble des échantillons à l'aide de papier abrasif, afin d'assurer un état de surface homogène et reproductible pour tous les spécimens.
- Mesurer et enregistrer avec précision la masse initiale (m_0) de chaque échantillon individuellement, à l'aide d'une balance électrique de précision.

a. Immersion des échantillons

Trois échantillons sont immergés dans des solutions chlorure de sodium (NaCl) de concentrations croissantes.

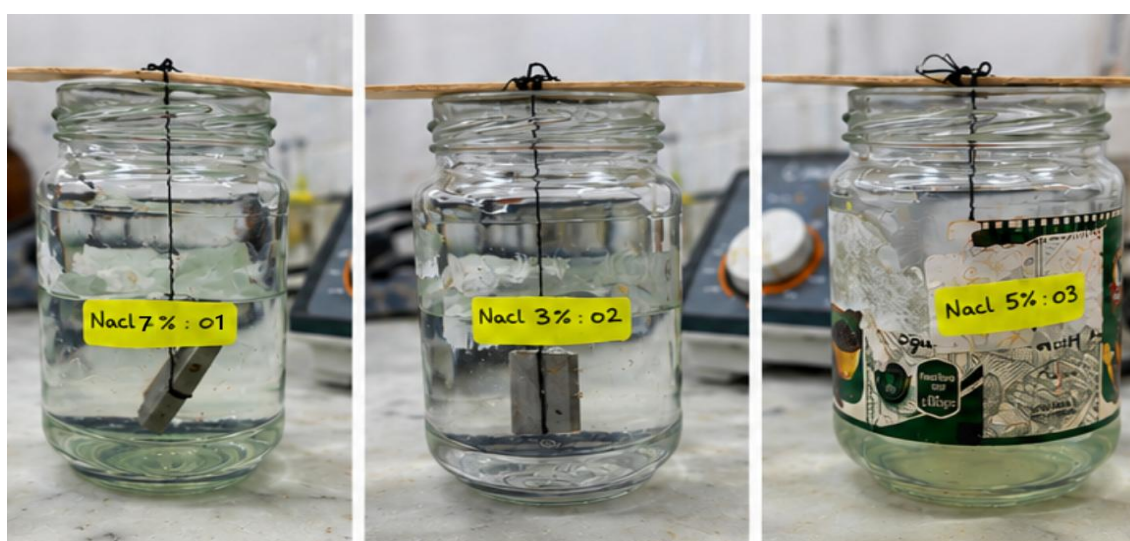


Figure III.11 : Immersion des échantillons sans peinture dans la solution de NaCl.

b. Conditions de traitement

Les échantillons sont soumis aux conditions expérimentales suivantes :

- Maintenir la solution à température contrôlée pendant 1 heure.
- Poursuivre l'immersion pour une durée totale allant jusqu'à 5 heures, avec des prélèvements à intervalles réguliers.

c. Rinçage et séchage

À l'issue de chaque prélèvement, procéder aux opérations suivantes :

- Rincer soigneusement chaque échantillon à l'eau distillée afin d'éliminer tout résidu acide résiduel.
- Sécher délicatement la surface à l'aide d'un papier absorbant, en évitant tout frottement susceptible d'altérer la surface.

d. Pesée finale et collecte des résultats

Procéder à une nouvelle pesée de chaque échantillon après chaque durée d'immersion définie. L'ensemble des résultats est relevé et consigné à intervalles réguliers jusqu'à $t = 5$ heures, afin de suivre l'évolution de la perte de masse en fonction du temps.



Figure III.12: L'échantillon après 5h dans la solution de NaCl.

C. Étude de la corrosion par immersion dans HCl à différentes concentrations

- Effectuer un polissage soigneux de l'ensemble des échantillons à l'aide de papier abrasif, afin d'assurer un état de surface homogène et reproductible pour tous les spécimens.
- Mesurer et enregistrer avec précision la masse initiale (m_0) de chaque échantillon individuellement, à l'aide d'une balance électrique de précision.

a. Immersion des échantillons

Trois échantillons sont immergés dans des solutions Acide chlorhydrique (HCl) de concentrations croissantes, conformément au tableau III.5.



Figure III.13 : Immersion des échantillons sans peinture dans la solution de HCl.

b. Conditions de traitement

Les échantillons sont soumis aux conditions expérimentales suivantes :

- Maintenir la solution à température contrôlée pendant 1 heure.
- Poursuivre l'immersion pour une durée totale allant jusqu'à 5 heures, avec des prélèvements à intervalles réguliers.

c. Rinçage et séchage

À l'issue de chaque prélèvement, procéder aux opérations suivantes :

- Rincer soigneusement chaque échantillon à l'eau distillée afin d'éliminer tout résidu acide résiduel.
- Sécher délicatement la surface à l'aide d'un papier absorbant, en évitant tout frottement susceptible d'altérer la surface.

d. Pesée finale et collecte des résultats

Procéder à une nouvelle pesée (m_t) de chaque échantillon après chaque durée d'immersion définie. L'ensemble des résultats est relevé et consigné à intervalles réguliers jusqu'à $t = 5$ heures, afin de suivre l'évolution de la perte de masse $\Delta m = m_0 - m_t$ en fonction du temps.



Figure III.14: L'échantillon après 5h dans la solution de HCl.

Les mêmes étapes expérimentales décrites précédemment ont été suivies pour les échantillons revêtus, avec application de différents systèmes de revêtement : une couche de peinture, deux couches de peinture, ainsi qu'une couche de peinture suivie d'une couche de vernis.



Figure III.15 : Peinture époxy noir et vernis qui utilisée.

III.5.2. Couche de peinture

A. Étude de la corrosion par immersion dans H_2SO_4 à différentes concentrations



Figure III.16 : Immersion des échantillons avec couche de peinture dans la solution de H_2SO_4 .



Figure III.17: L'échantillon après 5h dans la solution de H_2SO_4 .

B. Étude de la corrosion par immersion dans NaCl à différentes concentrations

Figure III.18 : Immersion des échantillons avec couche de peinture dans la solution de NaCl.



Figure III.19: L'échantillon après 5h dans la solution de NaCl.

III.5.3. Deux couches de peinture

A. Étude de la corrosion par immersion dans H_2SO_4 à différentes concentrations



Figure III.20 : Immersion des échantillons avec deux couches de peinture dans la solution de H_2SO_4 .



Figure III.21: L'échantillon après 5h dans la solution de H_2SO_4 .

B. Étude de la corrosion par immersion dans NaCl à différentes concentrations

Figure III.22 : Immersion des échantillons avec deux couches de peinture dans la solution de NaCl.



Figure III.23: L'échantillon après 5h dans la solution de NaCl.

III.5.4. Couche peinture et vernis

A. Étude de la corrosion par immersion dans H_2SO_4 à différentes concentrations

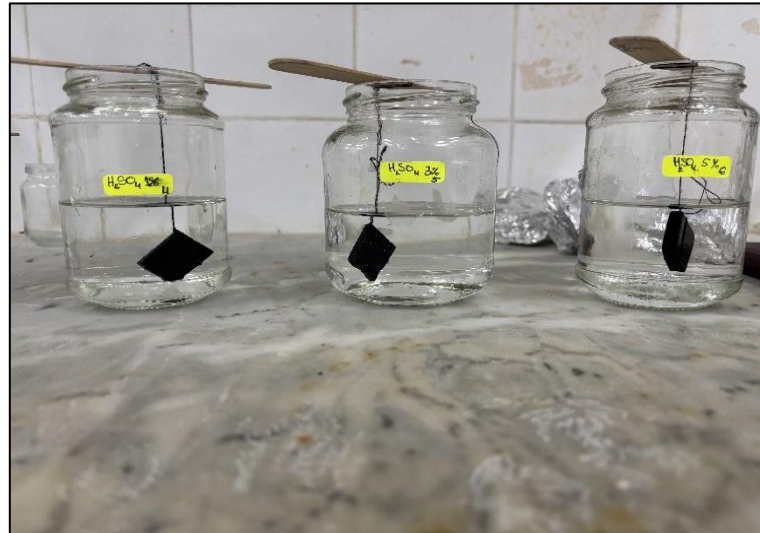


Figure III.24 : Immersion des échantillons avec couche de peinture et vernis dans la solution de H_2SO_4 .

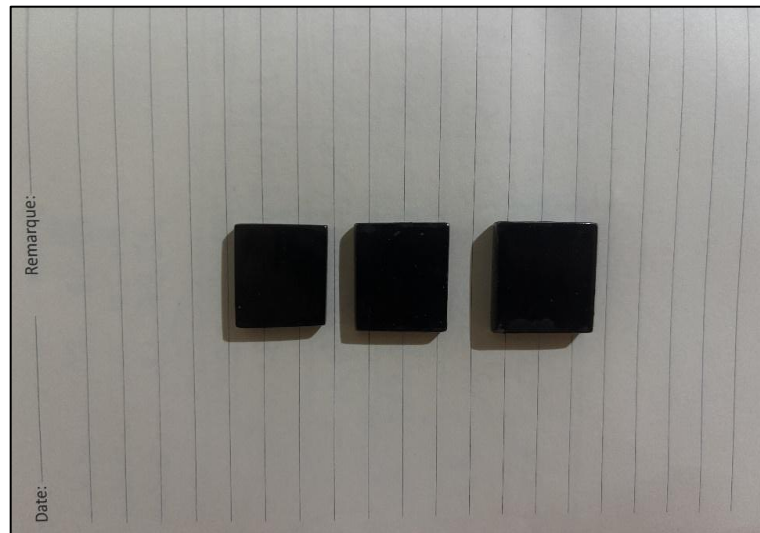


Figure III.25: L'échantillon après 5h dans la solution de H_2SO_4 .

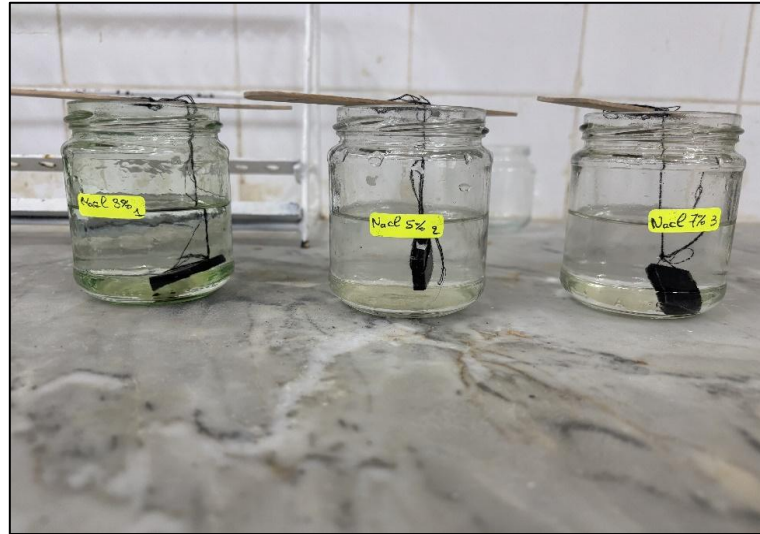
B. Étude de la corrosion par immersion dans NaCl à différentes concentrations

Figure III.26 : Immersion des échantillons avec couche de peinture et vernis dans la solution de NaCl.

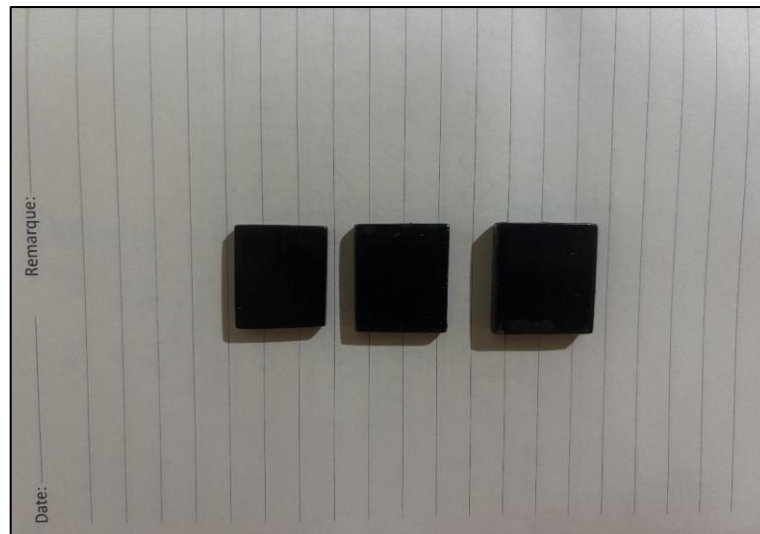


Figure III.27 : L'échantillon après 5h dans la solution de NaCl.

III.6. Résultats et Discussion

➤ Sans peinture

Tableau III.6 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc dans une solution de NaCl (3 %, 5 % et 7 %) sans peinture.

NaCl 3%					
t (h)	1	2	3	4	5
m ₀ (g)	15.8222				
m _t (g)	15.8221	15.8217	15.8215	15.8213	15.8211
Δm(g)	0.0001	0.0005	0.0007	0.0009	0.0011
S (cm ²)	13.4				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	0.74626866	1.8656716	1.7412935	1.6791045	1.641791
NaCl 5%					
t (h)	1	2	3	4	5
m ₀ (g)	15.1082				
m _t (g)	15.1082	15.1079	15.1076	15.1073	15.1072
Δm(g)	0	0.0003	0.0006	0.0009	0.001
S (cm ²)	13.63				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	0	1.1005136	1.4673514	1.6507704	1.4673514
NaCl 7%					
t (h)	1	2	3	4	5
m ₀ (g)	12.0247				
m _t (g)	12.0245	12.0241	12.024	12.0239	12.0239
Δm(g)	0.0002	0.0006	0.0007	0.0008	0.0008
S (cm ²)	10.47				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	1.91021965	2.8653295	2.2285896	1.9102197	1.5281757

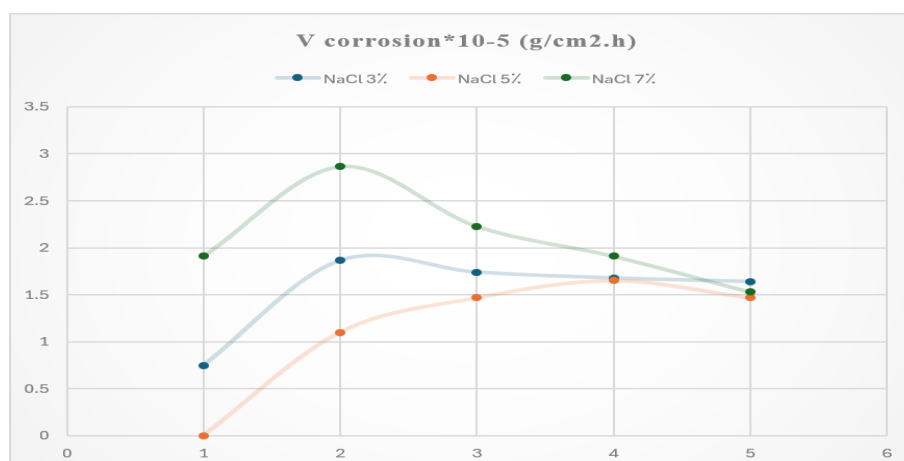


Figure III.28 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution NaCl à différentes concentrations pour fer blanc sans peinture.

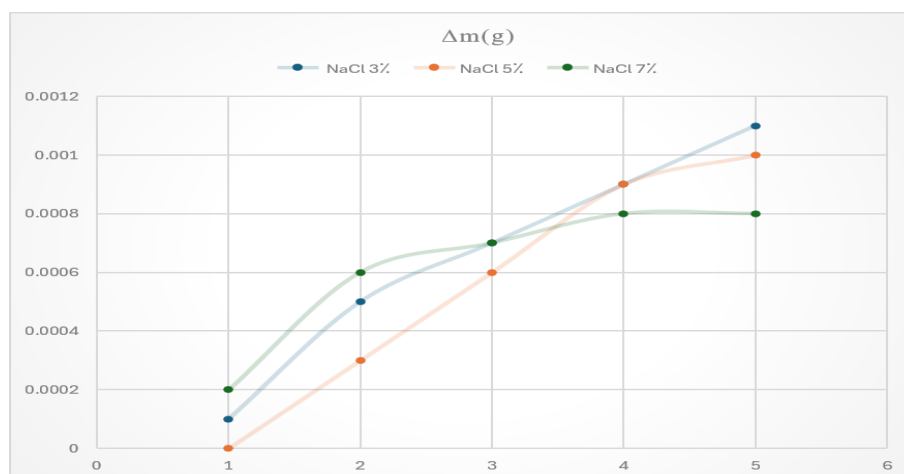


Figure III.29 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution NaCl à différentes concentrations pour fer blanc sans peinture.

Discussion :

Les courbes montrent que la perte de masse (Δm) augmente progressivement avec le temps d'immersion pour toutes les concentrations étudiées. La vitesse de corrosion reste élevée, ce qui traduit l'action agressive des ions chlorure sur le fer blanc non protégé.

Interprétation :

L'absence de revêtement expose directement la surface métallique au milieu corrosif.
L'augmentation de la concentration en NaCl favorise la dégradation du métal et accélère le phénomène de corrosion.

Tableau III.7 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc dans une solution de H_2SO_4 (1 %, 3 % et 5 %) sans peinture.

H_2SO_4 1%					
t (h)	1	2	3	4	5
$m_0(g)$	14.1923				
$m_t(g)$	14.1899	14.1866	14.1856	14.1824	14.1816
$\Delta m(g)$	0.0024	0.0057	0.0067	0.0099	0.0107
S (cm²)	12.19				
V corrosion *10⁻⁵ (g/cm².h)	19.6882690	23.37982	18.321028	20.303527	17.555373
H_2SO_4 3%					
t (h)	1	2	3	4	5
$m_0(g)$	15.2575				
$m_t(g)$	15.2560	15.2539	15.2514	15.2489	15.2477
$\Delta m(g)$	0.0015	0.0036	0.0061	0.0086	0.0098
S (cm²)	13.56				
V corrosion *10⁻⁵ (g/cm².h)	11.0619469	13.274336	14.995084	15.855457	14.454277
H_2SO_4 5%					
t (h)	1	2	3	4	5
$m_0(g)$	22.0944				
$m_t(g)$	22.0869	22.0717	22.0656	22.0592	22.0523
$\Delta m(g)$	0.0075	0.0227	0.0288	0.0352	0.0421
S (cm²)	15.71				
V corrosion *10⁻⁵ (g/cm².h)	47.74029281	72.246976	61.107575	56.015277	53.596435

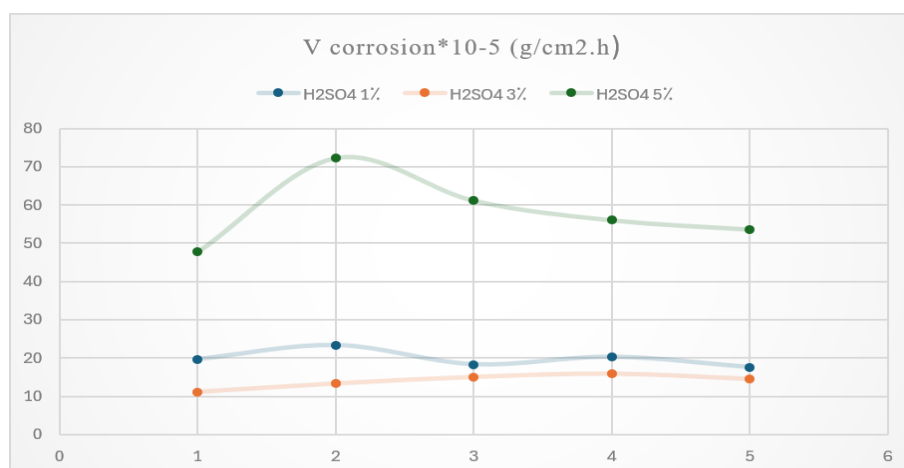


Figure III.30 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution H_2SO_4 à différentes concentrations pour fer blanc sans peinture.

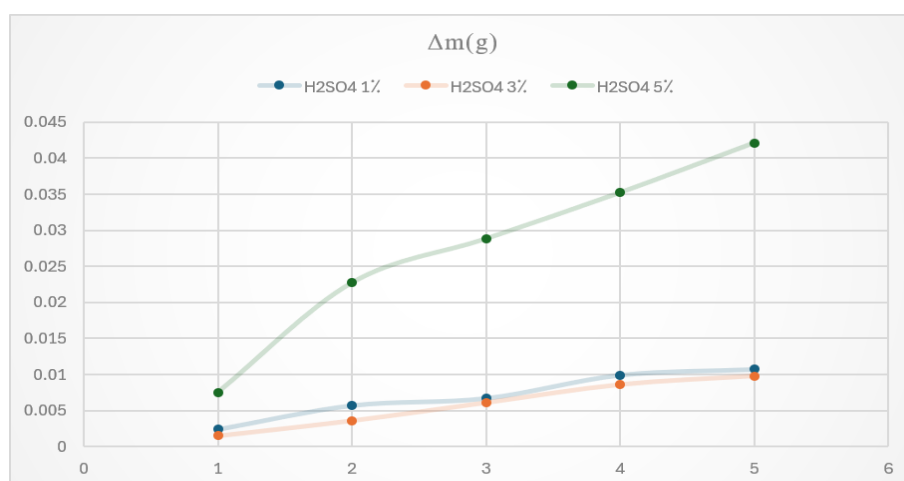


Figure III.31 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution H_2SO_4 à différentes concentrations pour fer blanc sans peinture.

Discussion :

Les courbes indiquent une augmentation importante de la perte de masse avec le temps. Les vitesses de corrosion observées sont plus élevées que dans le milieu salin, notamment aux fortes concentrations d'acide.

Interprétation :

L'acide sulfurique attaque directement la surface métallique et accélère sa dissolution. Plus la concentration augmente, plus le milieu devient agressif et la corrosion est importante.

Tableau III .8 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc dans une solution de HCl (3 %, 5 % et 7 %) sans peinture.

HCl 3%			
t (h)	1	2	3
m ₀ (g)	21.9894		
m _t (g)	21.9824	21.9753	21.9689
Δm(g)	0.007	0.0141	0.0205
S (cm ²)	15.71		
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	44.55760662	44.875875	43.496711
HCl 5%			
t (h)	1	2	3
m ₀ (g)	15.1676		
m _t (g)	15.1669	15.166	15.1659
Δm(g)	0.0007	0.0016	0.0017
S (cm ²)	13.56		
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	5.162241888	5.899705	4.1789577
HCl 7%			
t (h)	1	2	3
m ₀ (g)	14.0489		
m _t (g)	14.0481	14.0471	14.046
Δm(g)	0.0008	0.0018	0.0029
S (cm ²)	12.19		
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	6.562756358	7.3831009	7.9299973

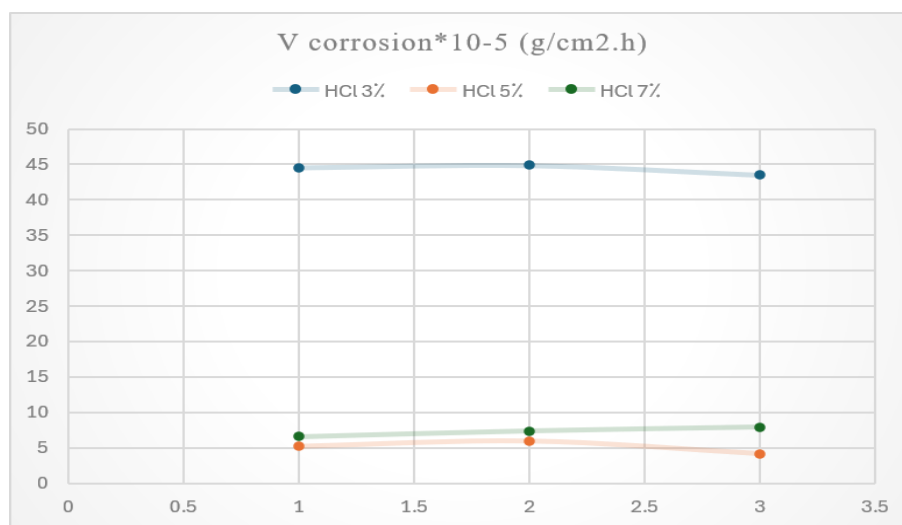


Figure III.32 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution HCl à différentes concentrations pour fer blanc sans peinture.

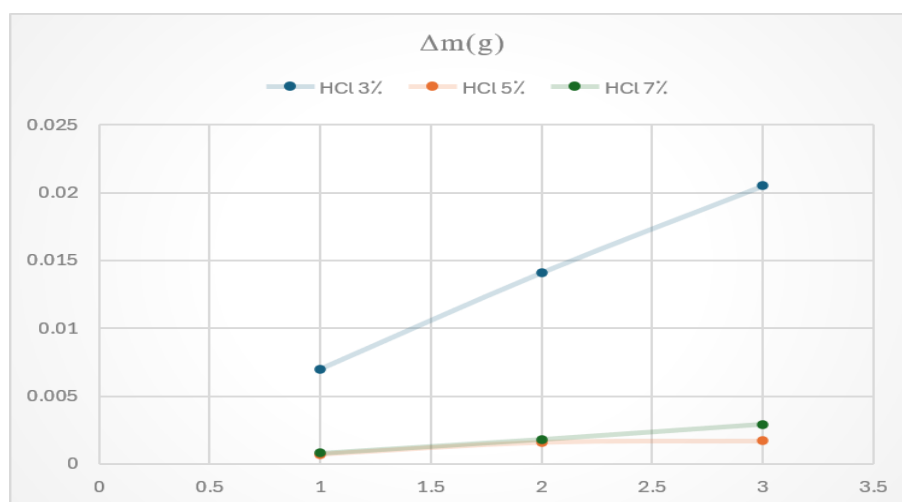


Figure III.33 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution HCl à différentes concentrations pour fer blanc sans peinture.

Discussion :

Les courbes montrent une augmentation continue de la perte de masse au cours du temps. Les vitesses de corrosion restent très élevées, ce qui traduit la forte agressivité du milieu chlorhydrique.

Interprétation :

La présence simultanée des ions H^+ et Cl^- favorise fortement la dissolution de fer

blanc. Le milieu HCl est donc l'un des plus corrosifs parmi les solutions étudiées.

Comparaison entre NaCl et HCl

La solution de HCl est plus corrosive que la solution de NaCl car elle favorise directement la dissolution du métal grâce à la présence des ions hydrogène (H^+). En revanche, dans NaCl, la corrosion est moins rapide et peut être partiellement ralentie par la formation de produits de corrosion à la surface du métal. Ainsi, HCl représente le milieu le plus agressif pour l'acier blanc parmi les deux solutions étudiées.

➤ Avec couche peinture

Tableau III.9 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc revêtu d'une couche de peinture dans une solution de NaCl.

NaCl 3%					
t (h)	1	2	3	4	5
$m_0(g)$	15.8145				
$m_t(g)$	15.8145	15.8135	15.8122	15.812	15.8118
$\Delta m(g)$	0	0.001	0.0023	0.0025	0.0027
S (cm ²)	13.4				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	0	3.7313433	5.721393	4.6641791	4.0298507
NaCl 5%					
t (h)	1	2	3	4	5
$m_0(g)$	15.0335				
$m_t(g)$	15.0333	15.032	15.0316	15.0312	15.0296
$\Delta m(g)$	0.0002	0.0015	0.0019	0.0023	0.0039
S (cm ²)	13.63				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	1.46735143	5.5025679	4.6466129	4.2186354	5.7226706
NaCl 7%					
t (h)	1	2	3	4	5
$m_0(g)$	12.0537				
$m_t(g)$	12.0534	12.0515	12.0514	12.0507	12.0506
$\Delta m(g)$	0.0003	0.0022	0.0023	0.003	0.0031
S (cm ²)	10.47				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	2.86532951	10.506208	7.3225088	7.1633238	5.921681

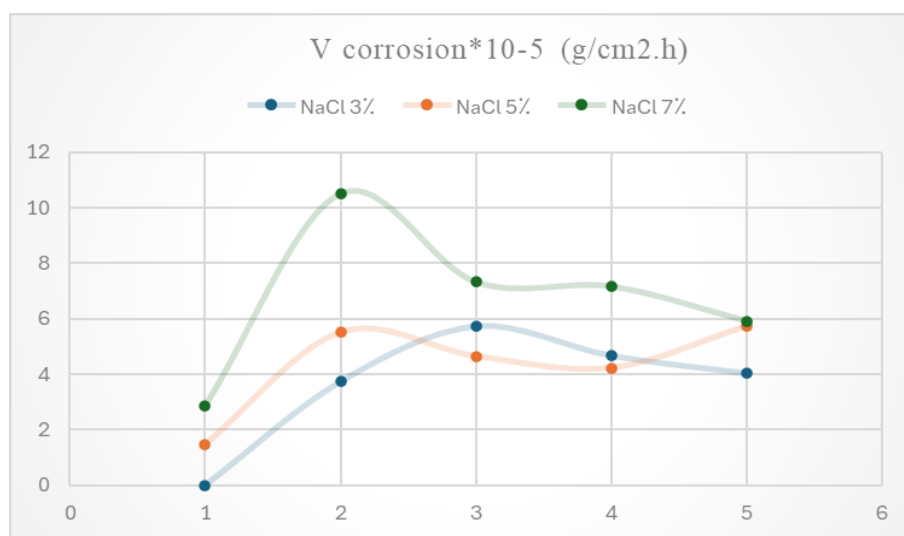


Figure III.34 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution NaCl à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture.

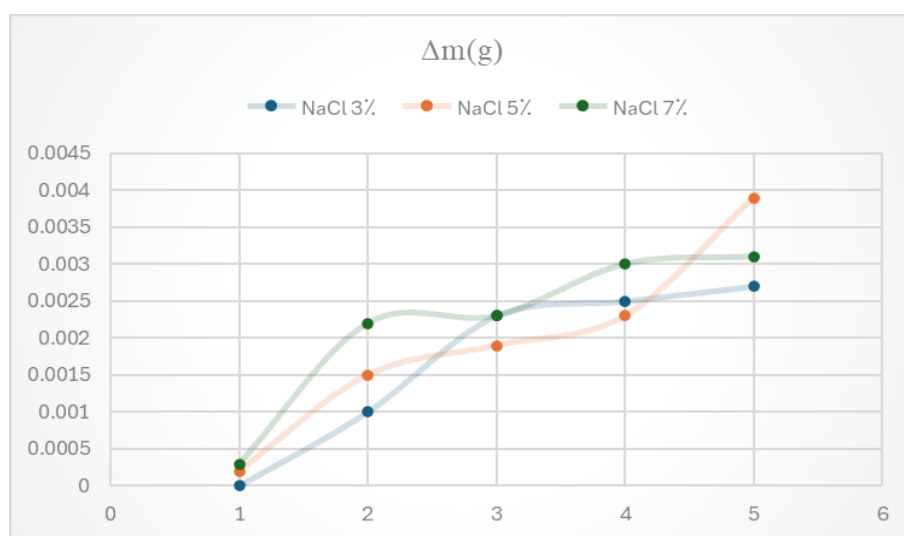


Figure III.35 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution NaCl à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture.

Discussion :

Les pertes de masse enregistrées sont nettement inférieures à celles observées sans protection. Les vitesses de corrosion restent faibles durant toute la période d'immersion.

Interprétation :

La peinture époxy forme une barrière protectrice qui limite la pénétration des ions chlorure vers la surface métallique et réduit ainsi la corrosion.

Tableau III.10 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc revêtu d'une couche de peinture dans une solution de H_2SO_4 .

H_2SO_4 1%					
t (h)	1	2	3	4	5
$m_0(g)$	14.0965				
$m_t(g)$	14.0958	14.0935	14.0902	14.0899	14.0897
$\Delta m(g)$	0.0007	0.003	0.0063	0.0066	0.0068
S (cm²)	12.19				
V corrosion *10⁻⁵ (g/cm².h)	5.74241181	12.305168	17.227235	13.535685	11.156686
H_2SO_4 3%					
t (h)	1	2	3	4	5
$m_0(g)$	15.1966				
$m_t(g)$	15.1955	15.19	15.1875	15.1848	15.1843
$\Delta m(g)$	0.0011	0.0066	0.0091	0.0118	0.0123
S (cm²)	13.56				
V corrosion *10⁻⁵ (g/cm².h)	8.1120944	24.336283	22.369715	21.755162	18.141593
H_2SO_4 5%					
t (h)	1	2	3	4	5
$m_0(g)$	21.9579				
$m_t(g)$	21.9567	21.9541	21.9522	21.951	21.9503
$\Delta m(g)$	0.0012	0.0038	0.0057	0.0069	0.0076
S (cm²)	15.71				
V corrosion *10⁻⁵ (g/cm².h)	7.63844685	12.094208	12.094208	10.980267	9.675366

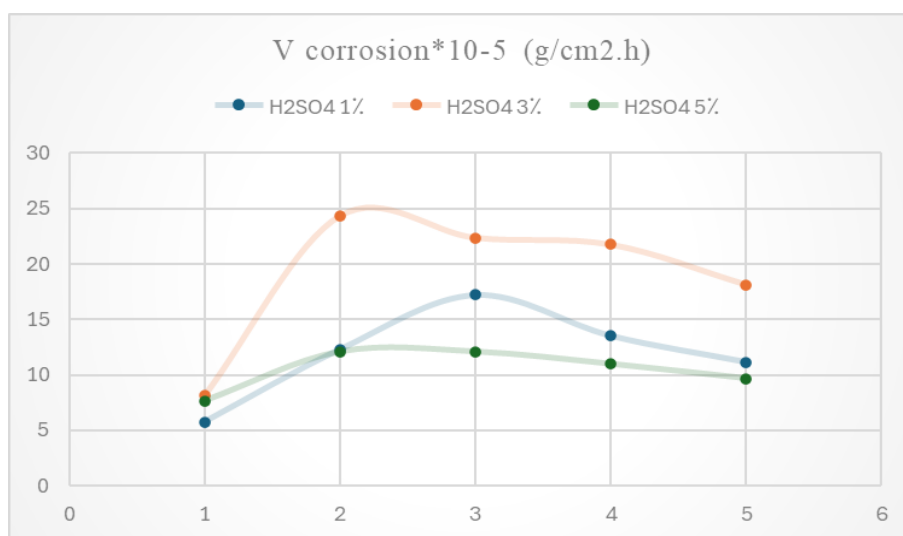


Figure III.36 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution H_2SO_4 à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture.

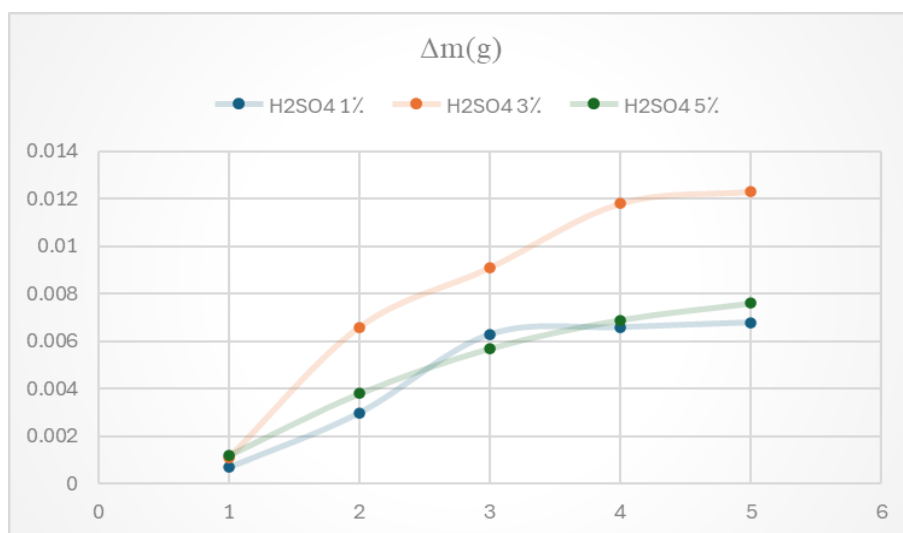


Figure III.37 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution H_2SO_4 à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture.

Discussion :

La perte de masse augmente légèrement avec le temps mais demeure faible par rapport aux échantillons non protégés. Les vitesses de corrosion restent modérées malgré l'agressivité du milieu acide.

Interprétation :

Le revêtement époxy améliore la résistance de fer blanc en limitant l'action corrosive de l'acide sulfurique.

➤ **Deux couches de peinture**

Tableau III.11 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc revêtu de deux couches de peinture dans une solution de NaCl.

NaCl 3%					
t (h)	1	2	3	4	5
m ₀ (g)	15.6513				
m _t (g)	15.6510	15.6505	15.6503	15.6502	15.6501
Δm(g)	0.0003	0.0008	0.001	0.0011	0.0012
S (cm ²)	13.4				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	2.23880597	2.9850746	2.4875622	2.0522388	1.7910448
NaCl 5%					
t (h)	1	2	3	4	5
m ₀ (g)	14.9374				
m _t (g)	14.9372	14.937	14.937	14.9369	14.9365
Δm(g)	0.0002	0.0004	0.0004	0.0005	0.0009
S (cm ²)	13.63				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	1.467351431	1.4673514	0.9782343	0.9170946	1.3206163
NaCl 7%					
t (h)	1	2	3	4	5
m ₀ (g)	11.8885				
m _t (g)	11.8885	11.8885	11.888	11.8879	11.8878
Δm(g)	0	0	0.0005	0.0006	0.0007
S (cm ²)	10.47				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	0	0	1.5918497	1.4326648	1.3371538

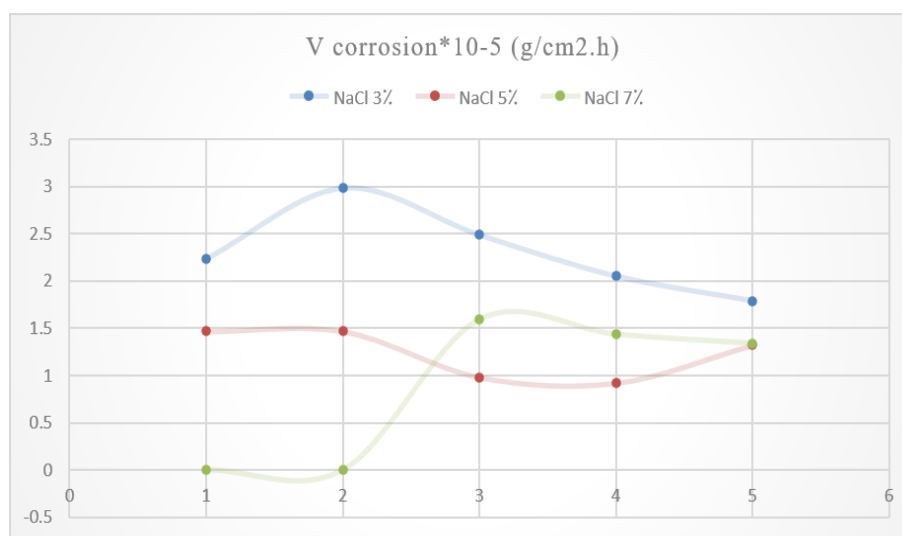


Figure III.38 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution NaCl à différentes concentrations pour fer blanc avec deux couches de peinture.

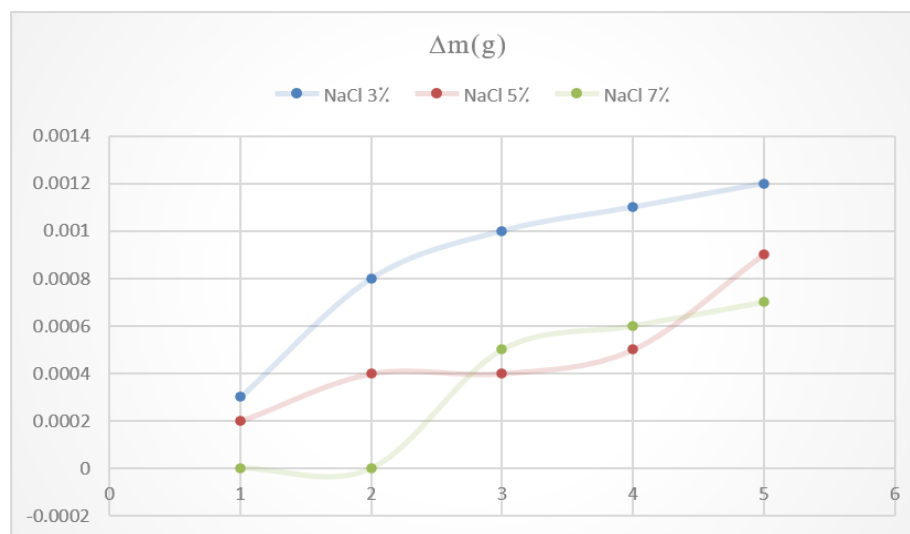


Figure III.39 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution NaCl à différentes concentrations pour fer blanc avec deux couches de peinture.

Discussion :

Les courbes présentent de très faibles pertes de masse et des vitesses de corrosion réduites. L'effet de la concentration du NaCl devient moins marqué grâce à la double protection.

Interprétation :

L'application de deux couches améliore l'étanchéité du revêtement et renforce son pouvoir protecteur contre les agents corrosifs.

Tableau III.12 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc revêtu de deux couches de peinture dans une solution de H_2SO_4 .

H_2SO_4 1%					
t (h)	1	2	3	4	5
$m_0(g)$	13.9375				
$m_t(g)$	13.9375	13.9373	13.9369	13.9368	13.9367
$\Delta m(g)$	0	0.0002	0.0006	0.0007	0.0008
S (cm²)	12.19				
V corrosion *10⁻⁵(g/cm².h)	0	0.8203445	1.6406891	1.435603	1.3125513
H_2SO_4 3%					
t (h)	1	2	3	4	5
$m_0(g)$	15.0831				
$m_t(g)$	15.083	15.083	15.083	15.0829	15.0828
$\Delta m(g)$	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0003
S (cm²)	13.56				
V corrosion *10⁻⁵(g/cm².h)	0.73746313	0.3687316	0.245821	0.3687316	0.4424779
H_2SO_4 5%					
t (h)	1	2	3	4	5
$m_0(g)$	21.9255				
$m_t(g)$	21.9246	21.9246	21.9245	21.9244	21.9243
$\Delta m(g)$	0.0009	0.0009	0.001	0.0011	0.0012
S (cm²)	15.71				
V corrosion *10⁻⁵(g/cm².h)	5.72883514	2.8644176	2.1217908	1.7504774	1.5276894

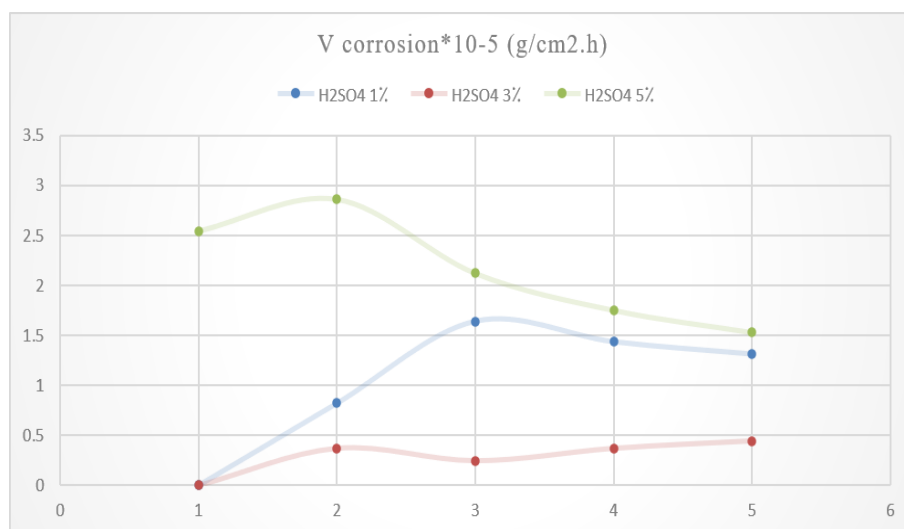


Figure III.40 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution H₂SO₄ à différentes concentrations pour fer blanc avec deux couches de peinture.

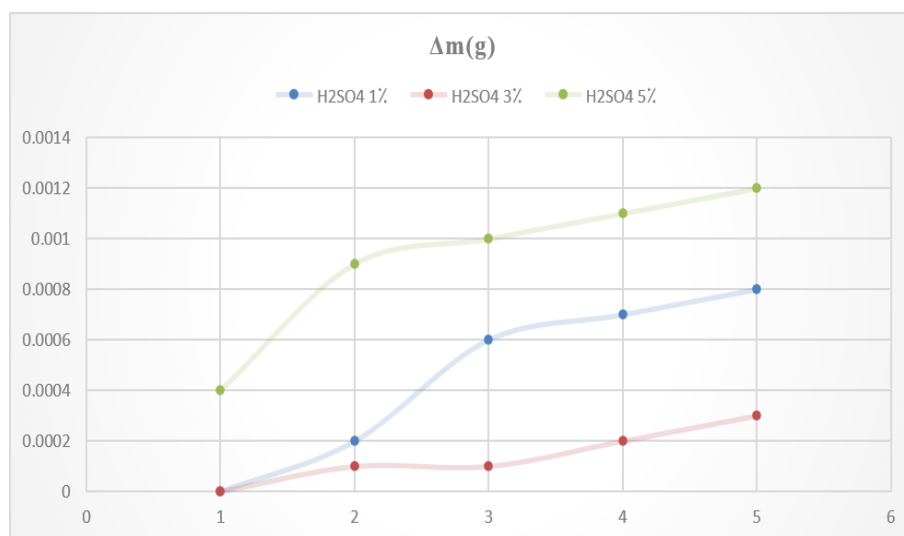


Figure III.41 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution H₂SO₄ à différentes concentrations pour fer blanc avec deux couches de peinture.

Discussion :

Les pertes de masse restent limitées pendant toute la durée de l'essai. Les vitesses de corrosion diminuent progressivement malgré l'augmentation de la concentration de l'acide.

Interprétation :

Les deux couches de peinture assurent une protection plus efficace en réduisant le contact entre le métal et le milieu corrosif.

➤ **Couche peinture + vernis**

Tableau III.13 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc protégé par peinture + vernis dans une solution de NaCl.

NaCl 3%					
t (h)	1	2	3	4	5
m ₀ (g)	15.4598				
m _t (g)	15.4597	15.4595	15.4594	15.4591	15.4583
Δm(g)	0.0001	0.0003	0.0004	0.0007	0.0015
S (cm ²)	13.4				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	0.74626866	1.119403	0.9950249	1.3059701	2.238806
NaCl 5%					
t (h)	1	2	3	4	5
m ₀ (g)	14.7891				
m _t (g)	14.7886	14.788	14.7879	14.7878	14.7869
Δm(g)	0.0005	0.0011	0.0012	0.0013	0.0022
S (cm ²)	13.63				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	3.66837858	4.0352164	2.9347029	2.3844461	3.2281731
NaCl 7%					
t (h)	1	2	3	4	5
m ₀ (g)	11.791				
m _t (g)	11.7905	11.7895	11.7894	11.7892	11.7883
Δm(g)	0.0005	0.0015	0.0016	0.0018	0.0027
S (cm ²)	10.47				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	4.775549188	7.1633238	5.0939191	4.2979943	5.1575931

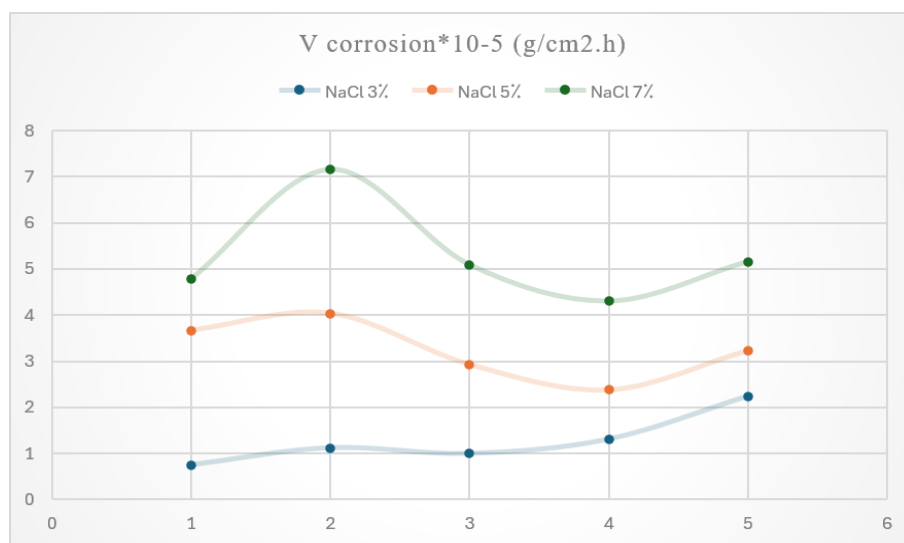


Figure III.42 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution NaCl à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture et vernis.

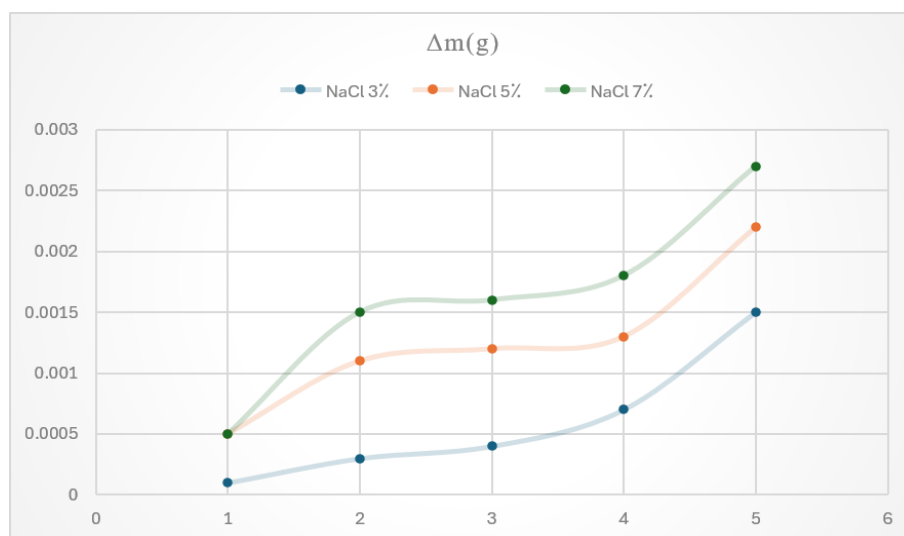


Figure III.43 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution NaCl à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture et vernis.

Discussion :

Les courbes montrent les plus faibles pertes de masse et les vitesses de corrosion les plus faibles parmi tous les systèmes de protection testés.

Interprétation :

L'association peinture + vernis constitue une double barrière qui limite fortement la diffusion des ions chlorure et améliore considérablement la résistance à la corrosion.

Tableau III.14 : Perte de masse et vitesse de corrosion de fer blanc protégé par peinture + vernis dans une solution de H₂SO₄.

H ₂ SO ₄ 1%					
t (h)	1	2	3	4	5
m ₀ (g)	13.8215				
m _t (g)	13.8215	13.8214	13.8213	13.8211	13.8204
Δm(g)	0	0.0001	0.0002	0.0004	0.0011
S (cm ²)	12.19				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	0	0.4101723	0.5468964	0.8203445	1.804758
H ₂ SO ₄ 3%					
t (h)	1	2	3	4	5
m ₀ (g)	14.9512				
m _t (g)	14.9511	14.951	14.9508	14.9507	14.9492
Δm(g)	0.0001	0.0002	0.0004	0.0005	0.002
S (cm ²)	13.56				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	0.73746313	0.7374631	0.9832842	0.9218289	2.949852 5
H ₂ SO ₄ 5%					
t (h)	1	2	3	4	5
m ₀ (g)	21.7854				
m _t (g)	21.785	21.7843	21.7843	21.7842	21.7825
Δm(g)	0.0004	0.0011	0.0011	0.0012	0.0029
S (cm ²)	15.71				
V corrosion *10 ⁻⁵ (g/cm ² .h)	2.54614895	3.5009548	2.3339699	1.9096117	3.691916

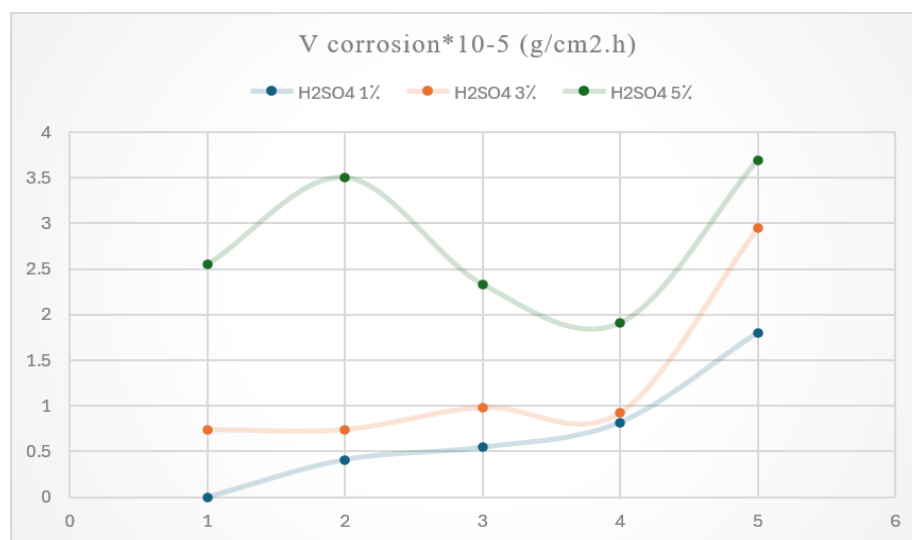


Figure III.44 : L'évolution de la vitesse de corrosion en fonction de temps d'immersion dans la solution H_2SO_4 à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture et vernis.

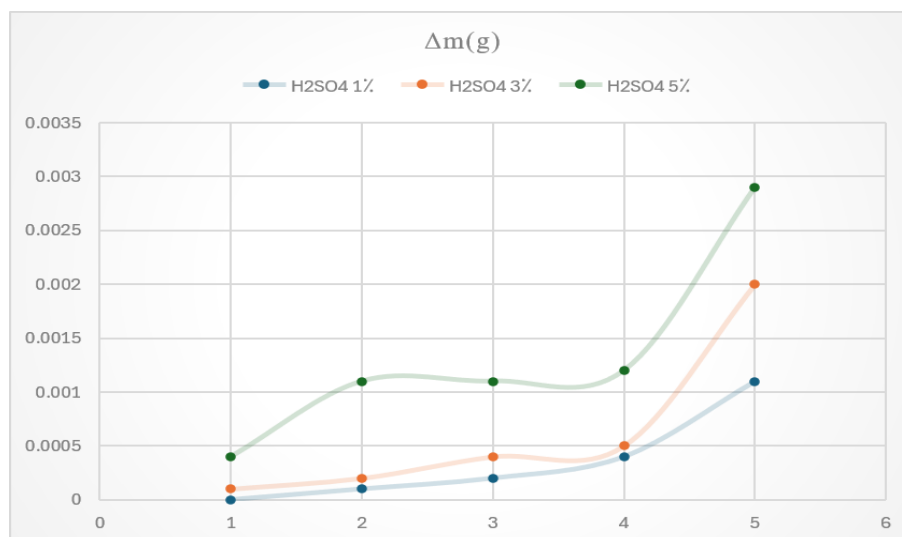


Figure III.45 : L'évolution de la perte de masse en fonction de temps d'immersion dans la solution H_2SO_4 à différentes concentrations pour fer blanc avec couche de peinture et vernis.

Discussion :

Les pertes de masse restent très faibles malgré la présence du milieu acide. Les vitesses

de corrosion sont nettement inférieures à celles observées avec une ou deux couches de peinture seulement.

Interprétation :

Le système peinture + vernis offre la meilleure protection contre la corrosion grâce à son effet barrière renforcé et à sa meilleure résistance chimique.

Conclusion

À partir des résultats obtenus, nous pouvons conclure que la peinture époxy assure une protection efficace de fer blanc contre la corrosion dans les différents milieux étudiés. Les essais ont montré que la présence du revêtement réduit considérablement la perte de masse et la vitesse de corrosion par rapport à l'échantillon non protégé. L'efficacité de la protection augmente avec le nombre de couches appliquées, tandis que le système **peinture + vernis** a présenté les meilleures performances. Par ailleurs, les résultats ont révélé que les milieux acides, notamment HCl et H₂SO₄, sont plus agressifs que le milieu salin NaCl. Ainsi, la peinture époxy constitue une solution efficace pour améliorer la durabilité de fer blanc dans des environnements corrosifs.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La corrosion des métaux pose un problème majeur dans de nombreux secteurs industriels, car elle entraîne des pertes économiques importantes et peut compromettre la sécurité et la durabilité des installations. Les structures métalliques sont soumises sans cesse à des environnements plus ou moins agressifs qui provoquent leur dégradation graduelle. Pour réduire ces effets néfastes, on a développé diverses méthodes de protection, et les revêtements organiques ont une place importante parmi elles, car ils sont efficaces, faciles à appliquer et relativement peu coûteux.

Dans le cadre du présent travail, nous avons étudié l'efficacité de la protection du fer blanc contre la corrosion par une peinture époxy. Cette étude s'est déroulée selon une approche expérimentale basée sur la méthode gravimétrique, qui consiste à suivre l'évolution de la perte de masse des échantillons après immersion dans différents milieux corrosifs. On a réalisé des essais sur des échantillons nus, peints, peints en double couche et enfin peints + vernis, afin de voir l'influence du revêtement sur le comportement du matériau face à la corrosion.

L'expérimentation a consisté à étudier le comportement du fer blanc dans divers milieux corrosifs, notamment les solutions d'acide sulfurique (H_2SO_4), d'acide chlorhydrique (HCl) et de chlorure de sodium (NaCl) à concentrations variées. Les résultats obtenus ont montré que la perte de masse et la vitesse de corrosion dépendent fortement de la nature du milieu corrosif, de sa concentration ainsi que du temps d'immersion. Les échantillons sans protection ont subi les plus grandes pertes de masse et les plus grandes vitesses de corrosion, ce qui montre bien la sensibilité du fer blanc à l'action des agents corrosifs.

L'analyse des résultats a aussi montré que le milieu corrosif avait une influence sur l'intensité de la corrosion. Les solutions acides se sont montrées plus agressives que la solution saline, provoquant une dégradation plus importante du matériau. L'augmentation de la concentration du milieu corrosif a généralement entraîné une augmentation de la perte de masse et de la vitesse de corrosion, traduisant une accélération des phénomènes de dégradation.

Par ailleurs, les résultats ont montré que l'application de la peinture époxy améliore nettement la résistance du fer blanc à la corrosion. Ce revêtement forme une barrière physique qui empêche le contact direct de la surface métallique avec les agents agressifs du milieu. Plus on applique de couches, plus cette protection est efficace. Les échantillons revêtus de deux couches de peinture ont eu de meilleures performances que ceux protégés par une seule couche. Le système peinture + vernis a donné les meilleurs résultats, en enregistrant les plus faibles pertes de masse et les plus faibles vitesses de corrosion dans la majorité des conditions expérimentales étudiées.

Les résultats obtenus au cours de cette étude confirment donc l'intérêt de l'utilisation des revêtements époxy pour la protection du fer blanc contre la corrosion. Ils mettent en évidence le rôle essentiel de la qualité du système de revêtement dans l'amélioration de la durabilité des matériaux métalliques exposés à des environnements agressifs. Ces résultats peuvent constituer une base utile pour le choix de systèmes de protection adaptés aux applications industrielles nécessitant une bonne résistance à la corrosion.

Enfin, il serait intéressant de compléter ce travail par des études portant sur d'autres types de revêtements anticorrosion, sur l'influence de conditions expérimentales plus sévères ou encore sur l'utilisation d'additifs et d'inhibiteurs permettant d'améliorer davantage les performances des systèmes de protection. De telles investigations contribueraient au développement de solutions plus performantes pour la préservation des matériaux métalliques et la réduction des coûts liés à la corrosion.

Bibliographie

Introduction Générale :

- ⁽¹⁾ M. BELTAS, A. ASSIA, « l'inhibition de la corrosion de fer blanc l'huile en milieu acide », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master en Chimie des Matériaux, Université Mohamed Seddik Ben Yahia – Jijel, 2022.
- ⁽²⁾ C. VARGEL, La corrosion et les matériaux métalliques, Dunod, 2004.
- ⁽³⁾ L. N. KOUNDZI, « substitution des matières premières dans la peinture », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Licence Génie des Industries Chimiques (GIC), École Supérieure de Génie Industriel et Biologique – Senegal, 2025.
- ⁽⁴⁾ M. KESSOUMI, F.Z. KENANE, « Développement et application d'une peinture époxydique monocouche anticorrosion à faible teneur en COV », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master, Université de Bouira, 2016.
- ⁽⁵⁾ D. LANDOLT, Corrosion et chimie de surface des métaux, PPUR, 1997.

Chapitre I :

- ⁽¹⁾ A. ZIOUANI, « Etude expérimentale et théorique d'inhibition de la corrosion de l'acier en milieu HCl 1M de quelques bases de schiffe synthétisées », Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat L.M.D en Chimie Analytique, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 2023.
- ⁽²⁾ K. ROUIBAH, « Contribution à l'étude du comportement électrochimique du couple galvanique acier au carbone/anodes de zinc dans l'eau de mer naturelle », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister, Université de Boumerdes, 2003.
- ⁽³⁾ L. DJOUHRI, K. TITOUAH, « Etude de l'efficacité d'inhibiteur de corrosion en présence des produits de traitements dans l'industrie pétrolière », Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie des Procédés option Génie Chimique, Université A. Mira – Bejaia, 2018.

- (4) B. LEFEVRE, « Corrosion des aciers revêtues de Zinc dans les zones confinées des carrosseries automobiles », Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat, Université de Pierre et Marie Curie - Paris, 2014.
- (5) D. LANDOLT, Corrosion et Chimie de Surface des Métaux, Traité des matériaux, vol.12, Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1993.
- (6) S. KHERRAF, « comportement électrochimique de l'acier A105 dans différents milieux. Influence de quelques inhibiteurs », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister, Université 20 Aout 1995 de Skikda, 2008.
- (7) N. ABEKHTI, A. BENDAHIR, « Corrosion dans les installations pétrolières de surface causes, effets et remèdes », Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Chimique, Université d'Adrar, 2019.
- (8) R. MEHIBEL, « Etude de l'efficacité inhibitrice de quelques nouveaux inhibiteurs, dits non polluants, sur la corrosion de deux types d'alliages d'aluminium », Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en Chimie Appliquée, Université 20 Aout 1995 de Skikda, 2008.
- (9) M. DEGHAMNA, Z. BOUMELLIT, « 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 de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie des Procédés des Matériaux, Université 08 Mai 1945 de Guelma, 2019.
- (10) Corrosion des métaux, ENSPM formation industrie – IFP training, France, 2005.
- (11) E. NOUICER, « Comportement électrochimique et propriétés mécaniques de l'alliage de Titane Ti6Al14V. Effet des traitements de surface », Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat, Université Constantine, 2009.
- (12) S.J. KETCHAM, I.S. SHAFFER. Exfoliation Corrosion of Aluminium Alloys. In : ASTM STP516. West Conshohocken : ASTM, 1972, pp.3-16.
- (13) A. OULABBAS, « nouvelles voies d'inhibition de la corrosion des aciers plus respectueuses de l'environnement », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister, Université de Souk-Ahras, 2013.

- (14) M. MANSOURI, « Etude de corrosion en utilisant les inhibiteurs », Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en Construction Mécanique, Université de Biskra, 2020.
- (15) O. DOB, « Formulation d'une solution aqueuse anti-corrosive pour le refroidissement des moteurs à combustion interne », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Chimie Appliquée, Université 20 Aout 1995 de Skikda, 2008.
- (16) D. MERZAK, A. MESBAH, « L'effet des particules polluantes sur l'érosion des tuyaux », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master en Électromécanique Industrielle, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, 2021.
- (17) G.W. STACHOWIAK, A.W. BATCHELOR. Engineering Tribology. Amsterdam : Elsevier, 1993.
- (18) A. ALHUSSEIN, « Transport et stockage des dérivés pétrolière problématique d'endommagement des pipes par érosion de sable et par hydrogène », Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences des Matériaux, Université Paul Verlaine de Metz France, 2010.
- (19) I. FINNE, I. Erosion of surfaces by solid particles. Wear, 3(2), 87–103, 1960.
- (20) B. KHARKHACHE, W. BOUKHATALAH, « Effet de la corrosion sur le transport et le stockage des hydrocarbures : Cas la station SP3 à M'Sila en Algérie », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Physique Energétique et Energies Renouvelables, Université Mohamed Boudiaf - M'Sila, 2019.
- (21) I.M. HUTCHINGS, Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. Butterworth-Heinemann, 1992.
- (22) F. BADAoui, « Généralités sur la corrosion », dans corrosion et protection, Boumerdes : Sonatrach, IAP, 2020, pp. 5-17.
- (23) F. BROWNLIE, T. HODGKIESS, A. PEARSON, A.M. GALLOWAY, Erosion-corrosion mechanisms of engineering steels in different NaCl concentrations. Journal of Bio- and Tribo-Corrosion, 7, 80, 2021.

(24) M. BEKHOUCHE, A. LOUAHEM, « Phénomène de corrosion dans les condenseurs », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Science et Génie des Matériaux, Ecole nationale Supérieure Des Mines Et Métallurgies ENSMM – Annaba, 2015.

(25) R. J. K. WOOD, Erosion–corrosion interactions and their effect on marine and offshore materials. Wear, 261(9), 1012–1023, 2006.

Chapitre II :

(1) M. BBAD, « Evaluation de la gestion des déchets des peintures dans l'entreprise nationale de peinture - unité de Lakhdharia ENAP-UPL », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master en Gestion des Déchets Solides, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2016.

(2) S. REZZOUG, « Formulation et Etude des Propriétés d'une Peinture Anti corrosion "Phase eau" », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de fin d'étude en Génie des Polymères, Université M'Hamed Bougara de Boumerdes, 2020.

(3) H. FERDENACHE, « étude de la micro encapsulation et caractérisation d'une peinture », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Génie des Matériaux, Université 08 Mai 1945 Guelma, 2010.

(4) P. GRANDOU, P. PASTOR. Les peintures et les vernis, les constituants : liants, solvants, plastifiants, pigments, colorants, charges, adjuvants. Ed. Hermann, Paris, France, 1966, pp 5. (Document interne de l'ENAP)

(5) JC. LAOUT, Formulation des peintures : Physico-chimie et matières pulvérulentes. Techniques de l'ingénieur. Génie des Procédés. 2005 (J2270).

(6) R. LEBRETON, Peintures en solvant : Composition, risques toxicologiques, mesures de prévention. INRS, 2005.

(7) E.N.A.P, Chimie Générale des Résines et Emulsion ; Manuel industriel, 2003.

(8) A. TORCH, L. BOUNEFLA, « valorisation des déchets sidérurgiques par application dans la fabrication des peintures anti-rouille », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de fin d'étude en Génie Chimique, Université 08 Mai 1945 Guelma, 2019.

- (9) K.D. WEISS. Paint and coatings: a mature industry in transition, Progress in Polymer Science, vol. 22, p. 203-245, 1997.
- (10) <http://corrosion-doctors.org/PaintCoatings/Introduction.htm>
- (11) M. ZUBIELEWICZ, W. GNOT. Mechanisms of non-toxic anticorrosive pigments in organic waterborne coatings, Progress in Organic Coatings, vol. 49, pp. 358-371, 2004.
- (12) E. ALMEIDA, D. SANTOS. Corrosion performance of waterborne coatings for structural steel, Progress in Organic Coatings, vol. 37, p. 131-140, 1999.
- (13) W. MORGANS. Outlines of Paints Technology, ed. Halsted Press, vol. 11, New York, 1991.
- (14) S. K. GRUNINGER. Manuel de technologie des peintures et vernis, Ed. Eurocol-Editions. 2000.
- (15) B. GHEZALI, « Elaboration et caractérisation d'une peinture d'accrochage », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de fin d'étude en Matériaux et Traitements des Surfaces, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2015.
- (16) M. YOUSSEF, I. ATHAMNIA, « Formulation d'une peinture antirouille », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de fin d'étude en Génie Chimique, Université 08 Mai 1945 Guelma, 2018.
- (17) C. HAMZAOU, « Synthèse d'une résine vinylique modifiée par un ester versatique VEOVA 10 », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de fin d'étude en Génie Chimique, Université 08 mai 1945 Guelma, 2012.
- (18) M. RAHIM, B. BOUCHAREB, H. KHACHINE, « formulation d'une peinture glylac 2000 super à base d'une émulsifiant », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de fin d'étude en Génie Chimique, Université 08 mai 1945 Guelma, 2007.
- (19) CD2E, Guide de choix des éco-matériaux : les peintures, septembre 2008.
- (20) M. HOUASSINE, « Minimisation de l'épaisseur de la couche de peinture utilisée pour les carcasses des réfrigérateurs (ENIEM) », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de fin d'étude en Construction Mécanique, Université Mouloud Mammeri -Tizi-Ouzou, 2014.

(21) H. CHORFA, « étude de la rhéologie des émulsions et de peinture », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de fin d'étude en Génie Chimique, Université 08 mai 1945 Guelma, 2015.

(22) F. SAILOUDI, « formulation des émulsions de peinture », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de fin d'étude, Université 08 Mai 1945 Guelma, 2012.

(23) A. BOUKRA, « Nouvelle formulation d'une peinture Hydrodiluable », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de fin d'étude en Matériaux et Traitement de la Surface, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2013.

Chapitre III :

(1) N. SAIGAA, Étude physicochimique de l'inhibition de la corrosion d'un acier au carbone en milieu acide sulfurique Université de Larbi Tébessi, Tébessa, Algérie, (2016).

(2) A. BAI, H. CHI-CHANG, Effects of electroplating variables on the composition and morphology of nickel_cobalt deposits plated through means of cyclic voltammetry, Electrochimica Acta 47 (2002) 3447_/3456.