

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Tasdawit Akli Muḥend Ulḥağ - Tubirett -



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -

Département de Technologie Chimique Industrielle

Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme
de Licence professionnel en:
Génie de la Formulation

Thème :

*Conception et évaluation des systèmes de
peintures pour conteneurs au milieu
marin*

Réalisée par :

M^{elle}. KHITER Khaoula

M^{elle}. KABACI IKRAM

M^{elle}. MEDJDOUB WIAM

Encadré par :

M^{me} AICHOUR Amina

Maître de Conférences classe A (IT, Univ-Bouira)

Tuteur de l'entreprise :

M^r. DOUKARI Abedrazak

Chef d'unité de développement des formules de l'Akhdaria

Remerciements

Nous exprimons notre gratitude envers Dieu pour Sa guidance tout au long de notre parcours. Chaleureux remerciements à Madame AICHOUR Amina, notre promotrice, pour son soutien inestimable et ses conseils avisés.

De même, le groupe de laboratoire de l'entreprise Nationale Algérienne des Peintures ENAP, Unité de Lakhdaria, mérite nos remerciements pour leur collaboration précieuse.

Un merci spécial est adressé aux membres du jury pour leur contribution essentielle. Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers toutes les personnes qui ont soutenu ce projet de près ou de loin.

Dédicaces

J'aimerais dédier ce modeste travail :

*Avant tout, à **ma Mère**, qui a cru en mon talent, a éclairé mon chemin et a semé les graines du succès dans mon cœur. Merci pour ton amour tendre et affectueux, ton soutien moral constant, ta patience et ta persévérance en toutes circonstances. T'es l'incarnation de l'amour et du sacrifice.*

*À ma petite sœur **Bouchra** et à mes frères **Abdelrazek, Abdelhak et Abdelnour**, merci pour votre amitié sincère, pour avoir partagé les joies et les peines de ma vie, pour votre soutien et vos encouragements constants. Vous êtes l'incarnation de la camaraderie et de la fraternité véritables.*

*À mes amies **Khoula et Ikram**, merci d'être toujours là pour moi, de partager la mémoire avec moi, de me soutenir et de me réconforter en toutes circonstances. Vous êtes l'incarnation de l'amitié sincère et de la loyauté.*

Je remercie également tous ceux qui m'ont soutenu et accompagné tout au long de mon parcours d'études.

Je vous promets de faire de mon mieux pour être votre meilleur ambassadeur à chaque étape de mon futur voyage.

Wiam

Dédicaces

À mes chers parents,

Merci pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices et votre guidance qui ont façonné la personne que je suis aujourd'hui

À moi-même,

Ce travail est le fruit de mes aspirations profondes, de mon courage et de ma détermination à atteindre les sommets. Quechaque page témoigne de mon parcours et de mes victoires méritées.

À ma grand-mère bien-aimée

Que chaque jour soit doux et lumineux comme ton sourire

À mes chers frères Nabil, Yassine et Bilal et à leurs épouses,

Votre soutien indéfectible est un trésor que je chéris chaque jour. Cet hommage est dédié à notre lien fraternel et familial

À mes chères sœurs Akila Hayat et Kahina

Votre présence dans ma vie est un trésor précieux. Je vous souhaite tout le bonheur du monde, vous qui illuminez mon existence de votre soutien indéfectible et de votre amour inestimable

À mes chers neveux et nièces Yakoub, Sana Noursine, Islam, Nihad, Douaà, Achraf, Rinad, Mohammed Baraà et Hiba

Que la joie et le bonheur accompagnent chacun de vous dans la vie. Vous êtes ma plus grande source de bonheur et d'inspiration.

À mes chères amies Wiam et Khaoula

Ce projet est le fruit de notre collaboration et de notre amitié précieuse. Chaque page reflète nos idées, nos efforts et notre complicité. Merci d'avoir illuminé ce parcours avec votre présence et votre soutien. Que notre amitié continue de grandir et d'inspirer de beaux projets à venir.

À tous ceux qui occupent une place spéciale dans mon cœur,

Merci pour votre amour, votre soutien et votre présence précieuse dans ma vie. Chaque moment partagé ensemble est un trésor que je chéris profondément.

Ikram

Dédicaces

Je dédie ce travail

*À mes **grands-parents** les deux êtres extraordinaires qui ont éclairé ma vie de leur amour et de leur sagesse, je vous remercie du fond du cœur pour votre soutien inébranlable. Grand-mère, tu as été pour moi comme une seconde mère, me guidant à travers toutes les épreuves et me forgeant en une personne forte. Je vous aime et vous apprécie infiniment.*

*À ma **seconde grand-mère**, pour les moments précieux et les leçons de vie. Vous êtes à jamais gravée dans mon cœur.*

*À **ma mère** bien-aimée, qui a sacrifié tant pour moi. Merci pour ton amour profond et ton soutien infini. Je te suis toujours reconnaissante.*

*À **mon père** formidable, symbole de force et de sagesse. Merci pour ton amour inconditionnel et ton soutien indéfectible.*

*À mes tantes **Anissa, Fatima et Zoulikha**, mes étoiles d'espoir. Merci pour votre soutien et vos conseils.*

*Aux filles de ma tante, **Soundes et Israa**, je vous souhaite un avenir radieux.*

*À mes frères **Anas, Abdelraouf et Rabah**, mes amis pour la vie. Je vous envoie tout mon amour et mes prières.*

*À ma tante **Malika**, pour sa tendresse et générosité infinies.*

*À mes oncles **Mohamed, Soufian, Rezki, et Said**, pour leur amour et soutien constants.*

*À mes oncles **Ridha et Aziz**, pour les souvenirs merveilleux et leur soutien fidèle.*

*À mes amies **Wiam et Ikram**, pour les moments de bonheur et leur véritable amitié. Je vous souhaite bonheur et succès continus.*

A ma famille, mon roc et source d'inspiration tout au long de mes études et de ma vie.

Khaoula

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Liste d'abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale..... 1

Chapitre I : partie théorique

I.1. Présentation de l'entreprise.....	3
I.1.1. Entreprise Nationale Algérienne des Peintures.....	3
I.1.2. Historique.....	4
I.1.3. Décret de création	4
I.1.4. Unité de production des peintures au niveau de l'Akhdaria	4
I.1.4.1. Peinture pour bâtiment	4
I.1.4.2. Peinture pour carrosserie	4
I.1.4.3. Vernis pour bois	5
I.1.4.4. Peintures anti corrosion	5
I.1.5. Localisation d'Unité de Lakhdaria.....	5
I.1.6. L'organigramme de l'ENAP	5
I.2. Généralités.....	7
I.2.1. Introduction.....	7
I.2.2. Généralités sur les peintures	7
I.2.2.1. Définition d'une peinture.....	7
I.2.2.2. Composition des peintures.....	7
I.2.2.3. Types des peintures.....	8
• Peinture à l'huile	8
• Peinture à l'eau.....	9
I.2.2.4. Processus de la fabrication d'une peinture	10
• Laboratoire	10
• L'empattage (mouillage)	10
• Broyage	11
• Dilution	11

• Mise à la teinte	11
• Filtration	12
• Conditionnement	12
I.2.3. Généralités sur les peintures anticorrosion et la corrosion	12
I.2.3.1. Peinture anticorrosion.....	12
• Composition de la peinture anticorrosion.....	13
I.2.3.2. Corrosion des métaux.....	13
• Types de la corrosion.....	14
• Origine de la corrosion	14
• Mécanisme de la corrosion.....	14
I.2.4. Généralités sur le milieu marin et les conteneurs.....	15
I.2.4.1. Définition du milieu marin	15
I.2.4.2. Caractéristiques du milieu marin.....	16
• Salinité.....	16
• Acidité	16
• Courants marins	16
• Organismes marins.....	16
• Chaleur	16

Chapitre II : partie expérimentale

II.1. Introduction	17
II.2. Préparation des peintures	17
II.3. Contrôle de qualité des peintures préparées	22
II.3.1. Finesse.....	22
II.3.2. Viscosité.....	22
II.3.3. Densité	23
II.3.4. Séchage humide et sec	23
II.3.5. Epaisseur du film humide	23
II.3.6. Epaisseur du film sec	24
II.3.7. Adhérence	24
II.3.8. Stabilité	25
II.4. Conception des systèmes de peintures anticorrosives	25
II.4.1. Préparation de la surface	26
II.4.2. Application des systèmes des peintures	27
II.4.2.1. Couche 1	27

II.4.2.2. Couche 2	27
II.4.2.3. Couche 3	28
II.4.3. Préparation des systèmes pour le test Bouillard Salin	29
II.5. Evaluation des systèmes des peintures.....	29

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Introduction	31
III.2. Résultats de contrôle de la qualité des peintures préparées	31
III.2.1. Peinture Galzinepox Gris.....	32
III.2.2. Peinture Micoat Epoxy Gris	33
III.2.3. Peinture Epoxal Brun Rouge	34
III.2.4. Peinture Epoxamine.....	34
III.2.5. Peinture Polyrane.....	35
III.2.6. Peinture Acrymarine.....	36
III.3. Résultats de la conception et d'évaluation des systèmes de peintures pour conteneurs en milieu marin	37
III.3.1. Résultats d'épaisseur des peintures des systèmes.....	37
III.3.1.1. Système 1 (Intérieur de conteneur ordinaire)	37
III.3.1.2. Système 2 Intérieur de conteneur alimentaire	38
III.3.1.3. Système 3 (Extérieur de conteneur ordinaire)	39
III.3.1.4. Système 4 (Extérieur de conteneur ordinaire)	40
III.3.2. Résultat de test du Brouillard salin	40
Conclusion générale	42
Références bibliographiques.....	43

Liste des Figures

Figure I.1. Points de vente de l'ENAP.	4
Figure I.2. Location de l'unité de l'Akhdaria.	5
Figure I.3. Organigramme de l'ENAP.	7
Figure I.4. Peintures.	7
Figure I.5. Mélangeur.	11
Figure I.6. Broyeur.	11
Figure I.7. Conditionnement.	12
Figure I.8. Corrosion des métaux.	14
Figure I.9. Milieu marin.	16
Figure II.1. Peinture Galzin Epox Gris.	20
Figure II.2. Préparation de la peinture Miocoat Epoxy Gris (broyeur).	21
Figure II.3. Matières premières pour la préparation de la peinture Acrymarine.	22
Figure II.4. Jauge de finesse North.	22
Figure II.5. Viscosimètre Brookfield.	23
Figure II.6. Pycnomètre.	23
Figure II.7. Une jauge d'épaisseur manuelle.	24
Figure II.8. Une jauge d'épaisseur électronique.	25
Figure II.9. Un outil pointu.	25
Figure II.10. Application de Phosphale.	27
Figure II.11. Application de Galzinepox Gris EA+EB sur une face de la plaque métalliqu ..	28
Figure II.12. Application de deuxième couche dans le système 2 (à gauche) et système 1 (à droite).	29
Figure II.13. Application de la troisième couche pour les quatre systèmes (1 à 4 de gauche vers droite).	29
Figure II.14. Préparation des plaques.	30
Figure II.15. Brouillard salin.	31

Liste des Tableaux

Tableau I.1. Conception et évaluation des systèmes de peintures pour conteneurs en milieu marin..	6
Tableau II.1. Formule de la peinture Galzinepox Gris	17
Tableau II.2. Formule de peinture de Miocoat Epoxy Gris.	18
Tableau II.3. Formule de la peinture Epoxamine.	18
Tableau II.4. Formule de la peinture Epoxal Brun Rouge.....	18
Tableau II.5. Formule de la peinture Polyrane.	19
Tableau II.6. Formule de la peinture Acrymarine.	19
Tableau II.7. La conception de quatre systèmes de peintures choisis pour les conteneurs maritimes	26
Tableau III.1. Résultats de contrôle de qualité de la peinture Galzinepox Gris.	32
Tableau III.2. Contrôle de qualité de la peinture Micoat Epoxy gris.	33
Tableau III.3. Contrôle de qualité de la peinture Epoxal Brun Rouge.....	34
Tableau III.4. Contrôle de qualité de la peinture Epoxamine.....	34
Tableau III.5. Contrôle de qualité de la peinture Polyrane.	36
Tableau III.6. Contrôle de qualité de la peinture Acrymarine.....	36
Tableau III.7. Tableau d'épaisseurs des deux faces de premier système (<i>Intérieur Ordinaire</i>).	37
Tableau III.8. Tableau d'épaisseurs des deux faces de deuxième système (Intérieur alimentaire).	38
Tableau III.9. Tableau d'épaisseurs des deux faces de troisième système (Extérieur ordinaire).	39
Tableau III.10. Tableau d'épaisseurs des deux faces de quatrième système	40
Tableau III.11. Classification de la durabilité dans les zones côtières et maritimes à salinité élevée en fonction de la résistance au Brouillard salin neutre selon la norme.	41

Introduction

Introduction

Le domaine des peintures, des vernis et des résines joue un rôle essentiel dans l'économie nationale. Il est crucial pour le progrès économique et social de notre pays.

L'Entreprise Nationale Algérienne des Peintures (ENAP) est un leader dans l'industrie des peintures, produisant une large gamme de produits innovants. Ses produits comprennent des peintures spécialisées pour les bâtiments, carrosserie et des revêtements durables pour les navires et les bateaux de mer. Grâce à cette diversité et à son excellence dans la production, l'ENAP occupe une place importante dans l'industrie de la fabrication de peintures et il est l'une des principales entreprises dans ce domaine.

Le transport maritime constitue un pilier vital du commerce mondial, assurant le déplacement efficace de marchandises à travers les océans et les mers. Cette forme de transport offre une capacité incomparable pour transporter de grandes quantités de marchandises sur de longues distances, ce qui en fait un élément clé de la chaîne d'approvisionnement mondiale. Les conteneurs maritimes sont des structures essentielles dans le domaine du transport international de marchandises, ils sont fabriqués généralement en acier, ces conteneurs sont robustes et conçus pour résister aux rigueurs du transport maritime.

Cependant, l'un des défis majeurs auxquels les conteneurs maritimes sont confrontés est le risque de la corrosion due à l'exposition à l'eau salée et à l'humidité constante pendant les voyages en mer. La corrosion peut affaiblir la structure métallique du conteneur au fil du temps, compromettant sa durabilité et sa sécurité.

Dans le cadre de la préparation du projet de fin d'études, nous avons passé un stage pratique au niveau de l'unité de Lakhdaria de l'entreprise ENAP, pour la conception et évaluation des systèmes de peintures pour les conteneurs au milieu marin, l'objectif de l'étude consiste à appliquer des couches des peintures résistantes à la corrosion sur des parties spécifiques des matériaux utilisés dans la fabrication des conteneurs maritimes.

Cette approche vise à protéger ces composants métalliques contre l'oxydation et à assurer leur résistance à long terme.

L'objectif principal de notre projet de fin d'études est de développer des méthodes innovantes pour prolonger la durée de vie des matériaux utilisés dans la construction des conteneurs, en réduisant les effets de la corrosion et en améliorant leur durabilité face aux conditions environnementales maritimes sévères.

Notre projet de fin d'études se compose de deux parties : Théorique et Pratique. La

partie théorique est constituée de deux chapitres, le premier chapitre se focalise sur la présentation de l'entreprise où nous avons effectuées notre stage, dans le deuxième chapitre, nous avons présenté des généralités sur les peintures, la corrosion et les peintures anticorrosion, ainsi que sur le milieu marin et le transport maritime.

La partie pratique se constitue de deux chapitres, Dans un premier chapitre, nous avons présentés tous les matériels et les méthodes utilisées dans la réalisation de notre sujet d'étude. Un deuxième chapitre de Résultats et discussions, où nous avons présentées les résultats obtenus ainsi que les tests de contrôle de qualité, nous avons données des interprétations aux résultats trouvés. Nous avons terminées notre projet de fin d'étude par une conclusion générale.

Chapitre I :

Partie théorique

I.1. Présentation de l'entreprise

I.1.1. Entreprise Nationale Algérienne des Peintures

L'Entreprise Nationale Algérienne des Peintures (ENAP), est une entreprise publique économique qui a pour métier de base la production des revêtements organiques (peintures, vernis, résines, émulsions siccatifs et colles). L'ENAP est composée de six (06) unités de production et deux (02) unités commerciales implantées sur le territoire national :

- Deux (02) unités de production à la wilaya d'Alger (Oued-Smar et Cheraga).
- Une (01) unité de production à la wilaya de Bouira (Lakhdaria).
- Une (01) unité de production à la wilaya d'Oran (Oran).
- Une (01) unité de production à la wilaya de Mascara (Sig).
- Une (01) unité de production à la wilaya de Souk -Ahras (Souk-Ahras).
- Une (01) unité commerciale à la wilaya de Sétif (Sétif).

Afin de développer et de consolider ses activités dans les produits de peinture, L'ENAP a son actif une capitale expérience de plus de 30 années ainsi qu'une capacité de production annuelle de 150000 tonnes en produits peintures et vernis et 50000 tonnes de semi-finis (résines, émulsions et siccatifs). L'ENAP a une expérience d'environ 40 ans ainsi qu'une capacité de production qui dépasse 170.000 tonnes en peintures et vernis et de 50.000 tonnes en produits semi finis. Elle a un réseau de distribution composé de 17 points de ventes et 6 laboratoires de contrôle qualité plus un laboratoire central, recherche et développement.



Figure I.1. Points de vente de l'ENAP.

I.1.2. Historique

L'Entreprise Nationale des Peintures (ENAP), à été créé dans le cadre de la continuité du processus de développement du secteur des peintures et après adoption du schéma de restructuration de la SNIC par le gouvernement, il a été créé en application de la note circulaire ministérielle N° 33/CAB du 23 décembre 1981 une entreprise regroupant les unités de production peintures et dérivés.

I.1.3. Décret de création

- Décret 82/417 du 4 Décembre 1982 de l'ENAP Opérationnelle depuis le 1er janvier 1983.
- Décret 82/422 du 4 décembre 1982, relatif au transfert à l'ENAP des structures, biens, activité et personnel détenus et gérés par la SNIC au titre de ses activités dans le domaine des peintures.
- Passage de l'entreprise à l'autonomie en mars 1990 pour devenir une EPE dénommée ENAP Spa.

I.1.4. Unité de production des peintures au niveau de l'Akhdaria

L'unité l'Akhdaria répond à toutes les besoins de marché national par ces différents produits qui sont destinées aux divers secteurs d'applications. L'ENAP produit des peintures qui sont destinée aux secteurs bâtiments et les peintures industrielles, des colles, peintures anticorrosion, carrosseries, boiseries, marin et les émulsions, les siccatifs, les résines, les diluants qui sont utilisée comme matières premières pour la fabrication des peintures.

I.1.4.1. Peinture pour bâtiment

On distingue deux types de peinture qui sont destinées aux travaux bâtiment intérieure et extérieure.

L'ENAP dispose plusieurs types de produit qui s'adaptent à tous les travaux bâtiment qui répond à toutes exigences par exemple :

- Blanroc super : Peinture vinylique de haute qualité s'applique en faible film.
- Enduit préparé : s'applique en faible épaisseur pour égalisation des surfaces.

I.1.4.2. Peinture pour carrosserie

Les peintures carrosserie doivent être présentés des propriétés mécaniques, c'est-à-dire la résistance contre les chocs, et anti corrosives, sans négliger l'aspect décoratif par Exemple : Appret Glycar air et Glycar air.

I.1.4.3. Vernis pour bois

La protection et la décoration de bois est nécessaire pour les constructions boiseries, pour cela, l'ENAP dispose une gamme de peintures et vernis pour ce secteur à titre d'exemple : Vernis Cellulosiques pour la finition.

I.1.4.4. Peintures anti corrosion

Le problème de dégradation des métaux par le milieu environnant c'est-à-dire la corrosion qui a des dommages énormes si on ne protège pas le métal. Donc l'ENAP répond aux exigences de milieu d'application par divers produit.

I.1.5. Localisation d'Unité de Lakhdaria

Unité de Lakhdaria est située à 70 Km à l'Est d'Alger, sur la route nationale N°5, elle s'étale sur une superficie de 8,18 hectares et emploie environs 340 travailleurs, répartis entre cadres, agents de maîtrise et agents d'exécution, elle est partagée en deux zones (sud et nord) qui à leurs tour sont devisées en plusieurs départements.

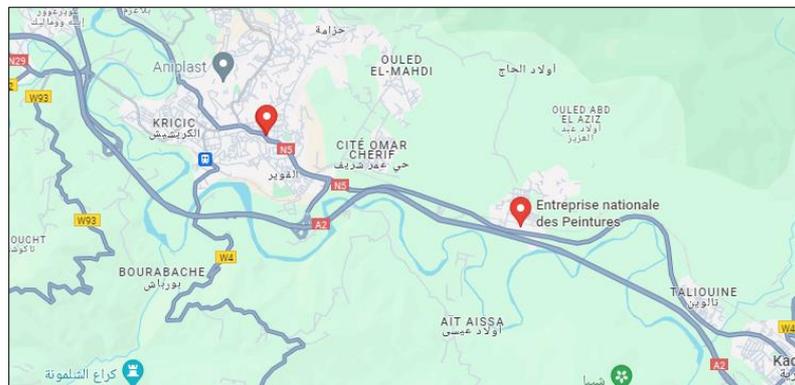


Figure I.2. Location de l'unité de l'Akhdaria.

I.1.6. Organigramme de l'ENAP

ENAP comporte des processus de réalisation et des processus de soutien.

- Les processus de réalisation comportent :

- Un département commercial qui inclut les services : d'achats, de ventes et de gestion des stocks et de frais.
- Un département de conception qui inclut les services : de développement, de contrôle de matière première, et de contrôle du produit fini.
- Un département de production qui inclut le service de production et de planning, les ateliers de : carrosserie, colle et SF, bâtiments.

- Les processus de soutien comportent :

- Un service Informatique
- Un service de sécurité
- Un service de planification
- un département de finance
- un département de maintenance

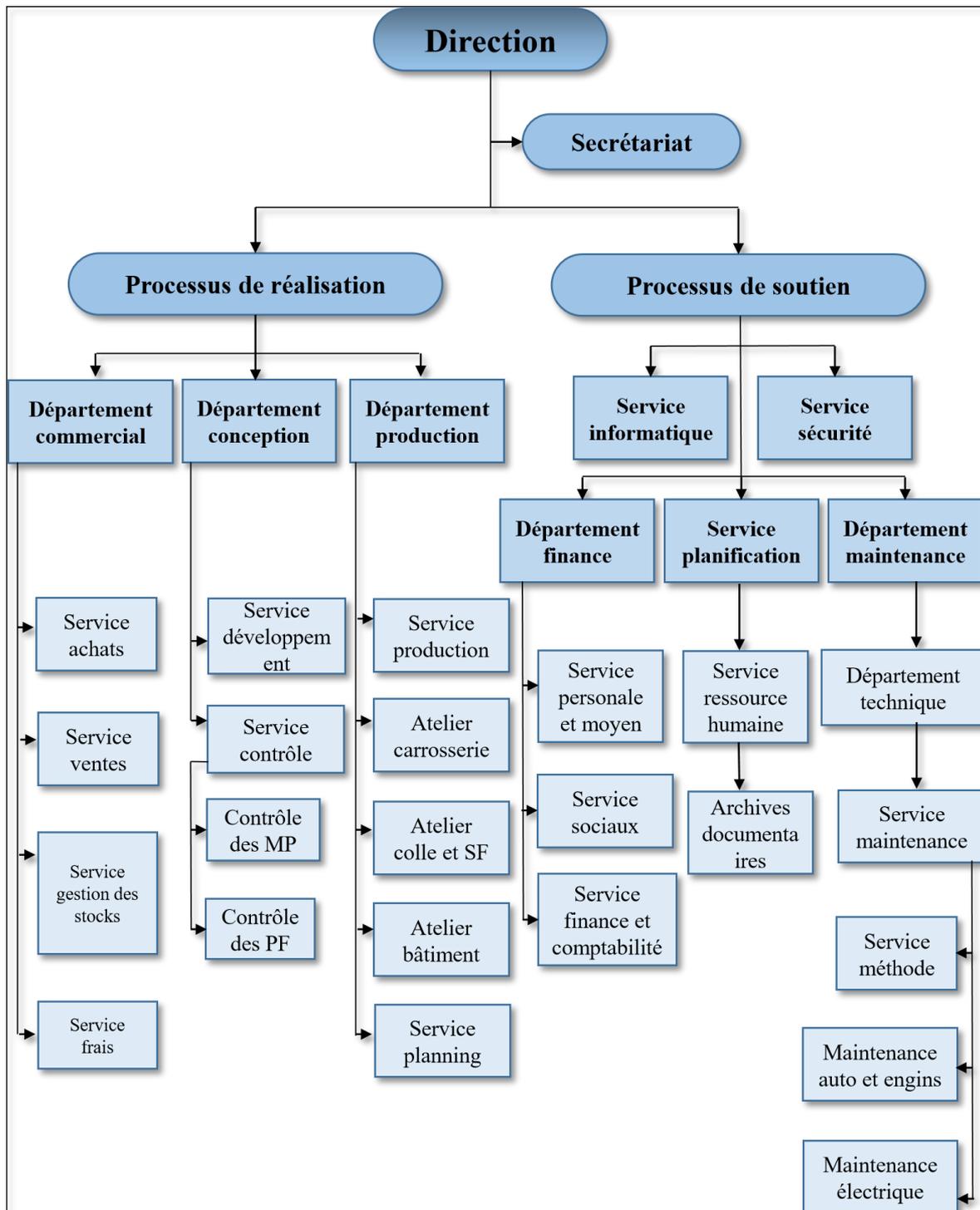


Figure I.3. Organigramme de l'ENAP.

I.2 Généralités

I.2.1. Introduction

Les peintures industrielles occupent une place primordiale dans de multiples domaines, tels que la construction, les industries automobiles et maritimes. Son objectif principal est de faire face à des conditions environnementales extrêmes, telles que l'exposition aux intempéries, à la corrosion ou à des températures élevées. Ces peintures possèdent aussi des caractéristiques particulières comme la résistance aux substances chimiques, la durabilité et la simplicité d'utilisation, ce qui les rend indispensables pour protéger et préserver les surfaces métalliques, du béton et d'autres matériaux utilisés dans différentes industries [1].

II.2.2. Généralités sur les peintures

II.2.2.1. Définition d'une peinture

Selon le Dictionnaire Technique des Peintures, la peinture est un produit liquide, pâteux ou en poudre contenant des pigments, destiné à être appliqué sur la surface pour former une couche opaque aux propriétés protectrices ou décoratives dans le but de protéger et d'améliorer la surface. L'apparence de diverses surfaces telles que les murs, les plafonds, les sols et les meubles [2].



Figure I.4. Peintures.

II.2.2.2. Composition des peintures

La peinture est constituée de plusieurs composants :

- **Liants** : Ce sont des composés chimiques non volatils constitués de grosses molécules appelées « polymères » qui se distinguent par leur capacité à former un réseau tridimensionnel de molécules, qui assure la cohésion des composants de la peinture entre eux. Ils sont considérés comme la « base structure » de la peinture, et parmi les types les plus importants:

les résines époxy et les résines acryliques et uréthanes.

- **Pigments** : Ce sont des substances solides utilisées pour ajouter de la couleur aux peintures. Elles sont constituées de fines particules appelées «molécules pigmentaires». Ces particules absorbent et diffusent la lumière, donnant à la peinture sa couleur distinctive. Parmi les types les plus importants, on cite:
 - Pigments minéraux : Dioxyde de Titane, Oxyde de Fer Rouge...
 - Pigments organiques : Vert Phtalocyanine, Rouge Molybdène...
 - Pigments métalliques : Poussière de Zinc, pâte d'Aluminium.
- **Charges** : sont des substances en poudre, pratiquement insolubles dans les milieux de suspension, souvent blanchâtres ou faiblement colorées, dont l'indice de réfraction est généralement inférieur à 1,7, employées en raison de leurs propriétés chimiques et physiques par exemple, Carbonate de Calcium, Sulfate de Baryte
- **Solvants** : sont des liquides simples ou mixtes, volatils dans des conditions normales de séchage incorpore en cours de fabrication ou ajoutés au moment de l'emploi, pour obtenir les caractéristiques d'application requises sans entraîner des perturbations.
- **Additifs** : Il s'agit d'un groupe de produits chimiques ajoutés à la peinture pour améliorer ses propriétés et ses fonctions en général. Les types les plus importants des additifs sont :
 - *Anticorrosifs* : Ils sont utilisés pour éviter que la peinture ne soit pas endommagée par l'oxydation.
 - *Stabilisateurs de couleur* : utilisés pour maintenir la stabilité de la couleur de la peinture.
 - *Améliorateurs de fluidité* : utilisés pour améliorer la fluidité de la peinture.
 - *Stabilisateurs de la mousse* : utilisés pour empêcher la formation de la mousse dans la peinture.
 - *Antimousses* : utilisés pour enlever la mousse de la peinture.
 - *Renforceurs d'adhérence* : Ils sont utilisés pour améliorer la capacité de la peinture à adhérer à la surface.

II.2.2.3. Types des peintures

Il y a deux types principaux de peinture :

- **Peinture à l'huile**

Elle est diluée avec des solvants chimiques comme essence de Thérébentine, et elle est caractérisée par sa capacité de couverture efficace, mais elle est souvent toxique et plus coûteuse. Les types de peintures à l'huile :

- 1. Peinture Glycérophtalique ou Glycéro** : composée de résine Glycéro, elle est ainsi nommée en raison de cette résine et étant une peinture à l'huile, elle dépend d'un solvant chimique, elle est appliquée à l'intérieur et à l'extérieur de la pièce et il est nécessaire de ventiler la pièce car elle est toxique, elle se distingue par sa grande résistance.
- 2. Peinture Epoxy** : c'est l'une des peintures les plus résistantes, elle se compose d'un durcisseur et d'un liant polymère époxy appliquée sur les surfaces intérieures et extérieures telles que le carrelage, le bois et le béton, plastique, que ce soit au sol, sur les murs ou au plafond, et c'est une peinture toxique.
- 3. Peinture Polyuréthane** : c'est une peinture composée par une résine polyuréthane, un durcisseur et un solvant chimique. Cette peinture peut être utilisée à l'intérieur et à l'extérieur et elle est fréquemment utilisée sur les sols et les carrosseries en raison de sa résistance. Cette peinture existe aussi sous forme aqueuse, c'est-à-dire que le solvant a été substitué par l'eau, il est appliqué à l'intérieur car il est moins dommageable.

- **Peinture à l'eau**

Elle est diluée avec des solvants à base d'eau, et elle est moins nocive et moins coûteuse que la peinture à l'huile, mais sa capacité de couverture est faible. Les types de peintures à l'eau:

- 1. Peinture Acrylique** : C'est une peinture à base d'eau, choisie selon des normes pour être utilisée dans les chambres à coucher car elle est sans danger, facile à appliquer mais nécessite plusieurs couches.
- 2. Peinture Vinyle** : Le matériau de cette peinture est une résine vinyle et un mélange d'acétate. L'utilisation de la peinture vinylique diffère de celle des autres peintures. La sous-couche est fréquemment utilisée sur un mur poreux ou pour effectuer une peinture à effet, en la combinaison avec une peinture à l'huile, elle est employée pour créer des effets uniques. Dans cette situation, il sera nécessaire d'appliquer un vernis de protection murale après avoir séché afin d'éviter toute altération de la peinture. Elle est principalement utilisée sur le plâtre. Combinée à une autre peinture, elle est utilisée à l'intérieur et à l'extérieur.
- 3. Peinture Alkyde** : C'est une peinture à l'eau dont la résine «Alkyde» est également employée pour les peintures à l'huile. Donc, elle est extrêmement solide. Elle peut être appliquée à n'importe quel support, quelque soit à l'intérieur ou à l'extérieur, dans toutes les pièces de la maison. Son usage est similaire à celui d'une peinture à l'huile, mais moins nocif. La pose de la monocouche se fait sur un support bien net et préparé. La présence de deux couches sera requise pour les surfaces poreuses ou abîmées. C'est une technique de

laquage très contemporaine qui est souvent employée dans les cuisines.

II.2.2.4. Processus de la fabrication d'une peinture

Pour chaque composition, la production des peintures implique principalement de réaliser à l'aide d'appareils adaptés, une série d'opérations de dosage, de mélange, de dispersion et de contrôle, dans des conditions optimales.

- **Laboratoire**

Avant de passer à la production, le laboratoire développe une recette unique pour chaque couleur individuelle. Pendant ce processus de développement, la qualité de la peinture est soigneusement testée. Le laboratoire est également responsable du contrôle des matières premières et supervise ainsi la qualité du processus de production du début jusqu'à la fin. Une autre tâche importante du laboratoire est de faire des recherches continues dans le domaine de nouvelles matières premières et de nouveaux systèmes de production.

- **L'empattage (mouillage)**

Le mouillage désigne le processus par lequel le liant pénètre dans les espaces entre les particules de pigment, expulsant ainsi l'air contenu. L'objectif est de favoriser la transition de l'interface solide/air à l'interface solide/milieu de dispersion, ce qui est facilité par l'utilisation d'un agent mouillant.



Figure I.5. Mélangeur.

- **Broyage**

Après le processus de mouillage initial, il est nécessaire d'effectuer le broyage pour séparer mécaniquement les gros agglomérats des particules plus fines dispersées dans le liant.

Cette opération utilise les forces de cisaillement générées par les microbilles d'un broyeur ou d'un tricylindre. Un broyage adéquat confère ainsi des caractéristiques optimales à la peinture, telles que la capacité de couverture, la couleur, l'éclat, les propriétés mécaniques et la stabilité.



Figure I.6. Broyeur.

- **Dilution**

Cette étape implique l'ajout sous agitation des éléments complémentaires de la formule tels que les résines, les solvants et les additifs, visant à stabiliser la dispersion et à développer certaines propriétés comme l'étalement, le séchage et la résistance. Après dilution, les paramètres généraux et spécifiques à chaque type de peinture sont contrôlés pour assurer leur conformité ou corriger la qualité si nécessaire. Les paramètres habituellement vérifiés incluent la finesse, la viscosité, la densité, Séchage à haute température, Séchage Sec, l'épaisseur du film humide, l'épaisseur du film sec, l'adhérence et la stabilité,

- **Mise à la teinte**

Après la dilution, le coloriste intervient pour effectuer les ajustements de la teinte, vérifiant et corrigeant si nécessaire les nuances. Les couleurs sont obtenues de deux manières principales : Les pigments tels que le Dioxyde de Titane, l'Oxyde de Fer Jaune, le Noir de Carbone..., Ils sont tous broyés ensemble dans une formule standard, mais des ajustements de

teinte sont souvent nécessaires. En mélangeant différentes teintes de bases préparées, comme les bases Polyuréthanes Bleues, le Noir d'Oxyde de Fer Jaune...

- **Filtration**

Après la dilution, il est habituel de filtrer les produits finis pour éliminer d'éventuelles impuretés telles que la peau, les grumeaux... Cette étape requiert l'utilisation de tamis, de filtres à cartouches ou de poches.

- **Conditionnement**

Les produits conformes aux normes après contrôle de ces qualités sont conditionnés manuellement à l'aide de machines de conditionnement pondéral ou volumétrique dans différents types d'emballages tels que des fûts, des bidons, des boîtes... Ensuite, ces produits sont entreposés dans le magasin des produits finis en vue de leur expédition aux clients [3].



Figure I.7. Conditionnement.

II.2.3. Généralités sur les peintures anticorrosion et la corrosion

II.2.3.1. Peinture anticorrosion

En général, c'est un type de peinture utilisé sur la surface d'un objet pour protéger sa partie interne de la corrosion et des dommages dus à des facteurs externes. Ce revêtement forme une barrière protectrice entre le métal et l'environnement, empêchant son interaction avec les facteurs provoquant la corrosion (humidité, chaleur, sels, acides et alcalis). Par Exemple : *Peinture Galzinepox Gris*, c'est une peinture anticorrosion contenant $91 \pm 2\%$ de Zinc (un métal anticorrosion) destinée à protéger les structures en acier exposées à un environnement marin ou industriel.

- **Composition de la peinture anticorrosion**

La peinture anticorrosion est constituée d'un mélange complexe de produits chimiques qui lui confèrent des propriétés uniques lui permettant de remplir efficacement sa fonction. Ces composants comprennent :

- ✓ **Résines** : elles constituent l'épine dorsale de la peinture, car elles lient le reste des composants ensemble et forment une couche solide et cohésive sur la surface.
- ✓ **Charges** : ajoutées pour améliorer la dureté et la résistance de la peinture et prévenir les fissures et le pelage au fil du temps.
- ✓ **Pigments** : Ajoutez la couleur désirée à la peinture.
- ✓ **Diluants** : contribuent à rendre la peinture plus fluide et plus facile à appliquer.
- ✓ **Additifs** : utilisés pour améliorer les propriétés de la peinture et répondre à des besoins spécifiques, notamment :
 - **Sécheurs** : accélèrent le processus de séchage de la peinture.
 - **Inhibiteurs de la corrosion** : ce sont des substances chimiques efficaces qui sont ajoutées en petites concentrations, réduisent ou empêchent l'interaction du métal avec l'environnement et améliorent encore la résistance de la peinture à la corrosion. Ils sont de deux types : organiques : tels que les composés Triazoles et composés Aminés et inorganiques tels que le Phosphate; les Chromates; les Silicates; et le Zinc.

II.2.3.2. Corrosion des métaux

La corrosion est définie comme une altération superficielle des métaux ou de leurs propriétés suite à leur interaction avec le milieu extérieur. Cette altération est le résultat d'une réaction entre deux ou plusieurs matériaux ou leurs composants en présence d'un environnement favorisant comme la chaleur, l'humidité, les sels... [4].



Figure I.8. Corrosion des métaux.

- **Types de la corrosion**

En fonction de la nature du milieu ambiant avec lequel le matériau interagit, la corrosion peut être classée en trois principaux types [5] :

1. **Corrosion chimique** : Ce phénomène se produit dans des milieux non électrolytiques, c'est-à-dire qui ne conduisent pas l'électricité, et se déroule généralement à des températures très élevées [6].
2. **Corrosion électrochimique** : Il s'agit d'une réaction d'oxydation et de réduction du métal avec l'élément oxydant présent dans le milieu environnant, qui se produit dans des milieux électrolytiques, c'est-à-dire électriquement conducteurs [6].
3. **Corrosion bactérienne (biologique)** : Elle est causée par deux types de micro-organismes (bactéries), à savoir les bactéries aérobies et anaérobies [7].

- **Origine de la corrosion**

Parmi les principales causes de la corrosion, on peut citer :

- *L'humidité* : l'eau est un électrolyte qui favorise la corrosion des métaux. Plus l'environnement est humide, plus le risque de corrosion est élevé.
- *L'oxygène* : l'oxygène de l'air peut réagir avec les métaux pour former des oxydes, ce qui peut entraîner une corrosion.
- *Les acides* : les acides présents dans l'environnement peuvent attaquer les métaux et provoquer leur corrosion.
- *Les sels* : les sels présents dans l'eau de mer ou dans les sols peuvent accélérer la corrosion des métaux.
- *Les températures élevées* : la chaleur peut accélérer la corrosion des métaux en augmentant la vitesse des réactions chimiques [8].

- **Mécanisme de la corrosion**

La corrosion se produit à la suite de réactions d'oxydation et de réduction, Ce type de corrosion est connu sous le nom de corrosion électrochimique. Dans le milieu marin, ce processus se produit lorsque le métal du conteneur vient en contact avec l'eau de mer, qui agit comme une solution électrolytique.

Le mécanisme de corrosion électrochimique en milieu marin comprend les étapes suivantes :

- *Formation d'une cellule électrochimique*

La surface métallique du récipient agit comme une anode (électrode négative). Les ions

présents dans l'eau de mer, jouent le rôle de cathode (électrode positive). L'eau forme un pont ionique reliant l'anode et la cathode.

- *Réactions d'oxydation et de réduction*

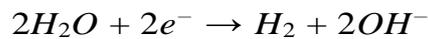
À la surface de l'anode (métal), des réactions d'oxydation se produisent, où les atomes métalliques perdent des électrons et se transforment en ions positifs.



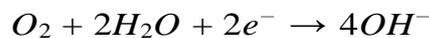
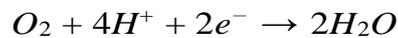
En milieu acide, la réaction cathodique est :



En milieu basique, la réaction cathodique est :



Réaction de récupération d'oxygène : La réaction cathodique se produit dans le milieu basique et l'oxygène est restitué en fonction des réactions [9]:



- *Flux de courant électrique*

Le courant électrique circule de l'anode à la cathode à travers le pont ionique.

- *Corrosion des métaux*

Des atomes de métal disparaissent de sa surface en raison de réactions d'oxydation, conduisant à la corrosion du métal.

II.2.4. Généralités sur le milieu marin et les conteneurs

II.2.4.1. Définition du milieu marin

Le milieu marin est défini comme un écosystème complexe constitué d'eau, de sels et d'organismes vivants, de sorte que l'eau de mer est composée de 96,5% d'eau pure et à 3,5 % de composés dissous [10]. Parmi les composés dissous les plus importants dont nous disposons figurent les suivants :



Figure I.9. Milieu marin.

Tableau II.1. Concentrations moyennes en sels dissous de l'eau de mer naturelle.

Elément	Cl ⁻	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁺	Br ⁻	H ₃ BO ₃	Sr ²⁺	F ⁻	Mg ²⁺
C(mg/kg)	19353	10763	2712	421	399	142	67	25,6	7,9	1,3	1294

II.2.4.2. Caractéristiques du milieu marin

Les caractéristiques du milieu marin les plus importantes sont :

- **Salinité**

L'eau de mer contient un pourcentage élevé de sels minéraux, ce qui entraîne une vitesse accrue de la corrosion des métaux. Les ions chlorure, en particulier, provoquent la formation d'une couche de rouille chlorée à la surface du récipient, ce qui l'aide à se corroder plus rapidement [11].

- **Acidité**

L'eau de mer a un pH compris entre 7,8 et 8,2, ce qui est considéré comme légèrement acide par rapport à l'eau douce. Cette acidité corrode progressivement le métal, ce qui contribue à réduire la durée de vie du récipient [12].

- **Courants marins**

Le mouvement des courants marins provoque le frottement des conteneurs les uns contre les autres et contre les parois des navires, ce qui entraîne une corrosion mécanique. La vitesse et la concentration des courants sont des facteurs affectant la gravité de cette corrosion [13].

- **Organismes marins**

De nombreux organismes marins vivent à la surface des conteneurs ou à l'intérieur de ceux-ci, ce qui peut entraîner leur corrosion. Certains types de bactéries et de champignons sécrètent des produits chimiques qui attaquent le métal, ce qui contribue à accélérer le processus de corrosion [14].

- **Chaleur**

Les températures élevées augmentent la vitesse des réactions chimiques qui conduisent à la corrosion des métaux. Les températures de l'eau dans les régions tropicales et subtropicales sont beaucoup plus élevées que dans les régions tempérées, ce qui entraîne une corrosion plus rapide des conteneurs dans ces régions.

Chapitre II :

Partie expérimentale

II.1. Introduction

Dans la partie pratique de notre étude, nous avons commencé par la préparation de différents types de peintures utilisées pour la conception et l'évaluation des systèmes de peintures pour les conteneurs au milieu marin. Ces peintures sont ensuite appliquées sur des échantillons représentatifs des surfaces métalliques des conteneurs en utilisant trois peintures distinctes, chacune sera appliquée comme une couche à savoir : une couche primaire, une couche intermédiaire et une couche de finition.

Par la suite, ces échantillons seront soumis à un test de Brouillard Salin afin d'évaluer leur résistance à la corrosion dans des conditions environnementales simulées, reproduisant les rigueurs de l'environnement marin.

II.2. Préparation des peintures

Dans notre étude, nous avons choisi 6 différentes peintures, nous avons préparées 1Kg de chacune, les peintures choisis sont : Galzinepox Gris, Miocoat Epoxy Gris, Epoxamine, Epoxal Brun Rouge, Polyrane et Acrymarine

Dont la formule de chacune de ces peintures est présentée dans les Tableaux I.1 à I.6.

Tableau II.1. Formule de la peinture Galzinepox Gris.

Constituent de la peinture	Masse (g)
Liant	76
Additif 1	2
Additif 2 (gel anti déposante phase solvant)	112
Pigment (Poussière de zinc fine)	800
Solvant 1	110
Solvant 2	180
Totale	1000

Tableau II.2. Formule de peinture de Miocoat Epoxy Gris.

Constituent de la peinture	Masse (g)
Liant : (résine Epoxy)	180
Pigment : Oxyde de Fer	350
Charges	180
Solvant	110
Additifs	180
Totale	1000

Tableau II.3. Formule de la peinture Epoxamine.

Constituent de la peinture	Masse (g)
Résine Epoxy	510
Pigments blanc	300
Solvant	187
Additif mouillant	2
Additif pour étalement	1
Total	1000

Tableau II.4. Formule de la peinture Epoxal Brun Rouge.

Constituent de la peinture	Masse (g)
Liant	635
Pigment	116
Charge	165
Additif (gel anti déposante phase solvant)	13
Solvant	71
Totale	1000

Tableau II.5. Formule de la peinture Polyrane.

Constituent de la peinture	Masse (g)
Résine polyster	330
Pigment blanc	300
Solvant	51
Additif (mouillant)	1
Résine alkyde	165
Solvant	132
Additif	5
Plastifiant	16
Total	1000

Tableau II.6. Formule de la peinture Acrymarine.

Constituants de la peinture	Masse (g) dans l'embattage	Masse (g) dans dilution
Additif 1	/	60
Additif 2	1	/
Additif 3 (Sol. Acylique)	300	440
Pigment (Titane N°3)	180	/
Solvant 1	/	10
Solvant 2	/	9
Total	481	519
	1000	

Pour la préparation des peintures, nous avons fait la préparation de Galzinepox Gris et le Miocoat Epoxy Gris et Acrymarine, les étapes de la préparation des autres types des peintures (Epoamine, Epoxal Brun Rouge, et Polyrane) sont les mêmes a ceux cités, avec une petite différence dans les étapes.

La préparation des peintures comporte L'empattage qui constitue une étape essentielle dans la préparation des peintures. Tout d'abord, nous sélectionnons soigneusement les matières

premières et les disposons méthodiquement sur la table de travail. Ensuite, nous procédons à des mesures précises.

Pour la préparation de 1kg de la peinture Galzinepox Gris, on pese 76 g de résine, 112 g de gel anti déposant et 2 g d'additif, à l'aide d'une balance de précision. Après avoir pesé chaque composant, nous les mélangeons tous ensemble. Le mélange est ensuite transféré dans un appareil de mixage où il sera agité pendant environ une heure, jusqu'à obtention d'une peinture homogène.

Après avoir obtenu une peinture homogène, nous ajoutons 0,5 g du solvant 1 et 0,5 g du solvant 2, puis nous mélangeons bien. Ainsi, nous obtenons la peinture Galzin Epoxy Gris. Après avoir obtenu une peinture homogène, nous mesurons la finesse à l'aide de la jauge de North pour évaluer sa qualité selon les normes requises.



Figure II.1. Peinture Galzin Epox Gris.

Pour préparer 1 kg de la peinture Miocoat Epoxy Gris, nous commençons par peser et mélanger la résine Epoxy (180 g) avec le pigment (Oxyde de Fer, 350 g) dans un récipient de mélange. Ensuite, nous ajoutons les charges (180 g) et les additifs (180 g) au mélange de résine et de pigment, et mélangeons soigneusement jusqu'à l'obtention d'une consistance homogène. Nous transférons ensuite le mélange dans le broyeur à haute performance et broyons le tout jusqu'à obtenir une dispersion uniforme des composants. Après cela, nous ajoutons progressivement le solvant (110 g) au mélange broyé tout en continuant à mélanger, assurant que le solvant est bien incorporé et que la peinture atteint la viscosité désirée.

Enfin, nous prenons un échantillon de la peinture et utilisons la jauge de finesse pour vérifier la taille des particules, en nous assurant que la finesse est conforme aux spécifications requises.



Figure II.2. Préparation de la peinture Miocoat Epoxy Gris (broyeur).

Pour préparer peinture Acrymarine, nous suivons deux étapes principales : l'étape de l'empattage et l'autre étape de dilution. Tout d'abord, nous préparons les matières premières sur la table de travail puis nous commençons par l'étape de l'empattage où nous pesons 1 g d'additif 1 et 300 g de Sol Acrylique et 180 g de Titane. Nous mettons ces composants dans le mélangeur pendant une heure jusqu'à ce que nous obtenions le degré de finesse souhaité pour le mélange. À l'étape de l'empattage, nous avons obtenu un mélange sous forme de pâte et c'est pourquoi nous passons à la deuxième étape pour le diluer.



Figure II.3. Matières premières pour la préparation de la peinture Acrymarine.

Les peintures Epoxamine et Polyrane ont été préparée en suivant les trois étapes empattage, broyage et dilution. La peinture Epoxal Brun Rouge a été préparé en suit les deux étapes d'empattage et de broyage.

II.3. Contrôle de qualité des peintures préparées

Dans l'étape de contrôle de produits finis, nous avons contrôlé les paramètres suivants :

II.3.1. Finesse

Pour mesurer la finesse d'une peinture, on utilise un appareil appelé Jauge de North, où l'on dépose un peu de peinture puis on la tire soigneusement pour déterminer la taille des particules. Ensuite, on compare les résultats aux normes requises.

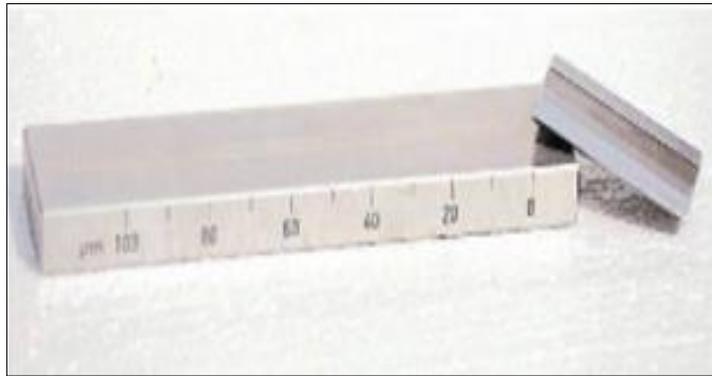


Figure II.4. Jauge de finesse North.

II.3.2. Viscosité de peinture

Pour vérifier la viscosité d'une peinture avec un viscosimètre Brookfield, nous homogénéisons d'abord la peinture. Ensuite, nous sélectionnons la broche et la vitesse adéquates. Nous immergeons complètement la broche sans bulles d'air, puis nous allumons l'appareil. Enfin, nous attendons que la lecture se stabilise pour obtenir la mesure précise.

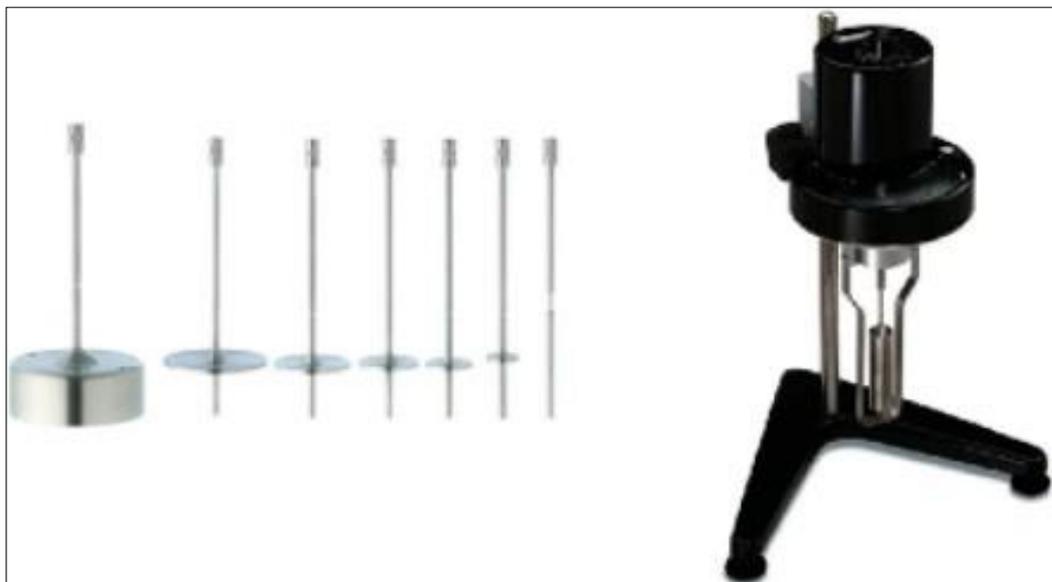


Figure II.5. Viscosimètre Brookfield.

II.3.3. Densité de peinture

Pour vérifier la densité d'une peinture avec un pycnomètre, nous commençons par peser le pycnomètre vide et propre. Ensuite, nous le remplissons de la peinture et éliminons les bulles d'air. Nous pesons le pycnomètre rempli. En utilisant les masses obtenues et le volume connu du pycnomètre, nous calculons la densité de la peinture avec la formule 1:

$$\text{Densité} = \frac{\text{Masse de la peinture} - \text{Masse du pycnomètre}}{\text{Volume du pycnomètre}} \quad (1)$$



Figure II.6. Pycnomètre.

II.3.4. Séchage humide et sec

Un vérifier le séchage humide et sec (en touche) d'une peinture, nous appliquons une couche uniforme sur un panneau de test. Ensuite, à intervalles régulières, nous touchons légèrement la surface pour évaluer le séchage. Le séchage humide est atteint lorsque la peinture ne se transfère plus au toucher mais reste encore molle, tandis que le séchage sec (en touche) est atteint lorsque la surface est résistante au toucher sans laisser d'empreinte.

II.3.5. Epaisseur du film humide

Dans cette partie un mesurer l'épaisseur du film humide d'une peinture, nous utilisons une jauge d'épaisseur manuelle. Après avoir calibré la jauge, nous appliquons la peinture selon les recommandations du fabricant. Ensuite, immédiatement après l'application, nous utilisons la jauge perpendiculairement à la surface pour mesurer l'épaisseur du film humide.

Cette mesure est répétée à plusieurs endroits pour obtenir une moyenne représentative. Cela nous permet de contrôler et d'ajuster l'application pour garantir une épaisseur uniforme du film humide.

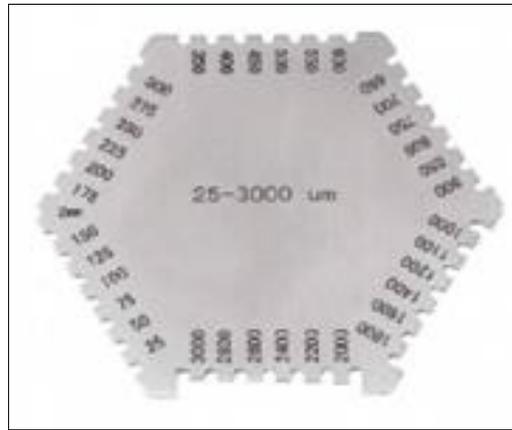


Figure II.7. Une jauge d'épaisseur manuelle.

II.3.6. Epaisseur du film sec

Pour mesurer l'épaisseur du film sec d'une peinture, nous utilisons une jauge d'épaisseur électronique. Après avoir calibré la jauge, nous plaçons délicatement l'appareil sur la surface peinte et relevons la valeur affichée. Cette opération est répétée à plusieurs endroits pour obtenir une moyenne. Cela nous permet d'évaluer l'uniformité de l'épaisseur du film sec et de garantir sa conformité aux spécifications requises.



Figure II.8. Une jauge d'épaisseur électronique.

II.3.7. Adhérence

Le test d'adhérence, nous utilisons un outil pointu pour réaliser des entailles légères à travers la peinture, formant une série de croisillons ou de motifs sur la surface.

Ensuite, nous appliquons fermement du ruban adhésif sur la zone entaillée et l'arrachons brusquement. Une bonne adhérence est indiquée si la peinture reste solidement fixée au substrat et ne se détache pas avec le ruban adhésif. Ce test permet d'évaluer efficacement la force d'adhérence de la peinture.

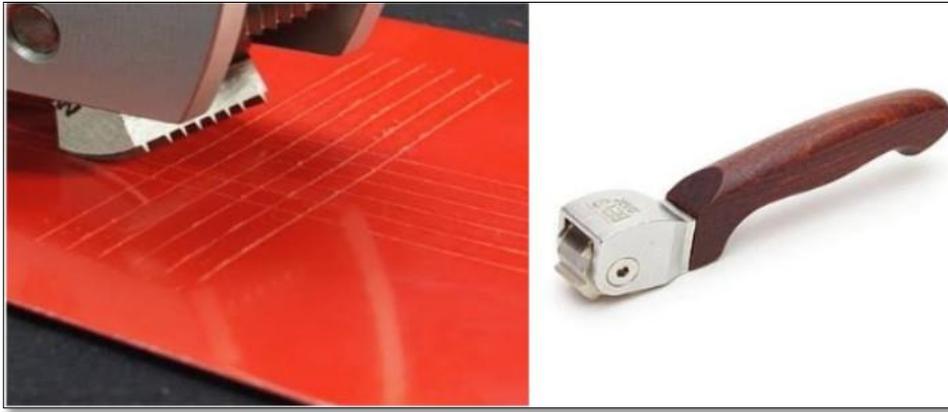


Figure II.9. Un outil pointu.

II.3.8. Stabilité

Pour évaluer la stabilité des peintures, un test de résistance peut être réalisé en plaçant un échantillon de peinture dans une étuve à 70 degrés Celsius pendant 24 heures. Après cette période, l'échantillon est examiné pour détecter tout changement physique, tel que la formation de grumeaux ou la séparation des ingrédients. Cette méthode permet de vérifier si la peinture conserve sa qualité et sa cohérence, ce qui est essentiel pour assurer sa durabilité dans divers environnements.

II.4. Conception des systèmes de peintures anticorrosives

Dans cette partie, nous concevons quatre systèmes de peinture, de sorte que chaque système soit constitué de trois couches présentés dans le Tableau II.7, où le rôle de chaque couche est présenté comme suit :

- *Couche primaire (Sous couche anticorrosion)* : Elle a un rôle de protection active du point de vue anticorrosion (présence de pigments inhibiteurs). De plus elle assure une meilleure adhérence possible avec le support.
- *Couche intermédiaire* : Elle accroît l'épaisseur du système et tend à prolonger la durée d'efficacité des couches primaires. Elle s'applique en une ou deux couches.
- *Couche de finition* : Elle donne l'aspect et la couleur désirée, tout en ayant les propriétés nécessaires pour résister aux conditions d'exposition spécifiques (contraintes mécaniques et conditions atmosphériques). Elle apporte de l'épaisseur au système et le renforcent.

Tableau II.7. La conception de quatre systèmes de peintures choisis pour les conteneurs maritimes.

Système	Intérieur de conteneur		Extérieur de conteneur	
	Conteneur Ordinaire (Système 1)	Conteneur Alimentaire (Système 2)	Conteneur Ordinaire (Système 3)	Conteneur Ordinaire (Système 4)
Couche anticorrosion	Galzinepox Gris EA+EB	Galzinepox Gris EA+EB	Galzinepox Gris EA+EB	Galzinepox Gris EA+EB
Couche intermédiaire	Miocoat Epoxy Gris EA+EB	Epoxal Brun Rouge EA+EB	Miocoat Epoxy Gris EA+EB	Miocoat Epoxy Gris EA+EB
Couche de finition	Epoxamine EA+EB	Epoxal Brun Rouge EA+EB	Polyrane EA+EB	Acrymarine

Ces systèmes de peintures sont conçus selon les étapes suivantes :

II.4.1. Préparation de la surface

Cette étape consiste la préparation des plaques de conteneurs, les principaux procédés de préparation de la surface sont :

Le dégraissage : Il consiste à éliminer les huiles et les graisses grâce à des dégraissants appropriés (Solvants chlorés ...).

Application du phosphal : son role est pour rendre la surface rugueuse, On prépare 100g de Phosphal composé de 50g de Phosphal A et 50g de Phosphal B, puis nous appliquons du Phosphal sur les plaques d'un côté à l'aide d'une pistole électrostatique et nous les laissons sécher pendant 24 heures, puis nous répétons le processus d'application sur l'autre face des plaques, Ensuite, nous mesurons l'épaisseur de la couche de phosphale dans chacune des quatre plaques sur les deux côtés.



Figure II.10. Application de Phosphale.

II.4.2. Application des systèmes des peintures

A cette étape, nous avons appliquées trois couches de peinture dans chaque système, en tenant compte de l'épaisseur requise pour sa conception, de sorte que dans chaque couche nous avons appliquées ce qui suit :

II.4.2.1. Couche 1

Dans cette couche, nous avons préparées 100g de Galzinepox Gris EA+EB, composés de 97g de Galzinepox Gris EA et 3g de Galzinepox Gris EB, puis nous avons appliquées au Pinceau sur les plaques d'une face de chacun des quatre systèmes, en surveillant son épaisseur humide, puis nous avons le laissées sécher pendant 8 à 10 heures, et Nous avons mesurées l'épaisseur sec.

Nous avons répétées les mêmes étapes de l'autre face.



Figure II.11. Application de Galzinepox Gris EA+EB sur une face de la plaque métallique.

II.4.2.2. Couche 2

Pour le premier, le troisième et le quatrième systèmes, nous avons préparées 75g de Miocoat Epoxy Gris EA+EB, composée de 70,5 grammes de Miocoat Epoxy Gris EA et 4,5 grammes de Miocoat Epoxy Gris EB, puis nous avons appliquées avec un pinceau sur les plaques d'une face dans la première et la troisième et la quatrième système, en surveillant son épaisseur humide, puis nous avons les laissées sécher pendant 6 à 8 heures. nous avons mesurées l'épaisseur sec.

Pour le deuxième système, nous avons préparées 25g de Epoxal Brun Rouge EA + EB, composé de 12,5g de Epoxal Brun Rouge EA et 12,5 de Epoxal Brun Rouge EB, Puis nous avons appliquées avec un pinceau sur la plaque d'une face, en surveillant son épaisseur humide, puis nous avons le laissées sécher 16 à 18 heures, enfin nous avons mesurées l'épaisseur sec.

Nous avons répétées les mêmes étapes de l'autre face.

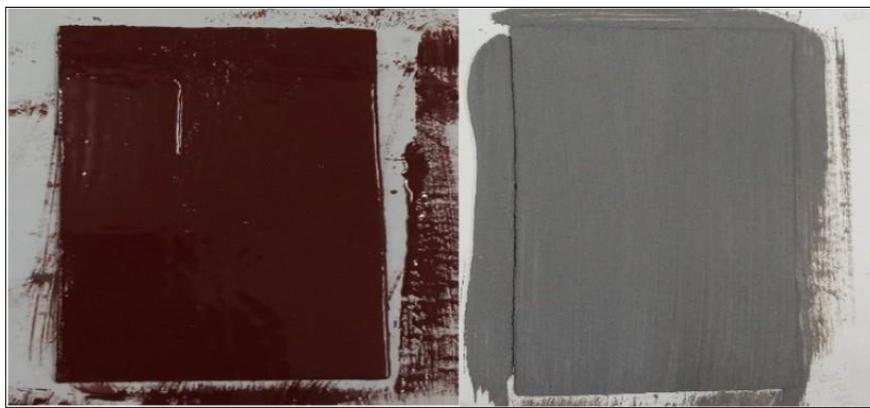


Figure II.12. Application de deuxième couche dans le système 2 (à gauche) et système 1 (à droite).

II.4.2.3. Couche 3

Pour le premier système, nous avons préparées 25g d'Epoxamine EA+EB, composé de 23,25g d'Epoxamine EA et 1,75g d'Epoxamine EB. Puis nous avons l'appliquées par un pinceau sur la première plaque d'une face, en surveillant son épaisseur humide, puis nous avons le laissées sécher 16 à 18 heures, ensuite, nous avons mesurées l'épaisseur sèche.

Pour le deuxième système, nous avons préparées 25 grammes d'Epoxal Brun Rouge EA+EB, constitués de 12,5 grammes d'Epoxal Brun Rouge EA et 12,5 grammes d'Epoxal Brun Rouge EB, puis nous avons l'appliquées par un pinceau sur la deuxième plaque d'une face, en surveillant son épaisseur humide, puis nous avons le laissées sécher pendant 16 à 18 heures. Enfin nous avons mesurées l'épaisseur sèche.

Pour le troisième système, nous avons préparées 25g de Polyrane EA+EB, composé de 20g de Polyrane EA et 5g de Polyrane EB, puis nous avons l'appliquées par un pinceau sur la troisième plaque d'une face, en surveillant son épaisseur humide, puis nous avons le laissées sécher pendant 16 à 18 heures, nous avons mesurées l'épaisseur sèche.

Pour le quatrième système, nous avons préparées 25 grammes d'Acrymarine, puis nous avons l'appliquées par un pinceau sur la quatrième plaque d'une face, en surveillant son épaisseur humide, puis nous avons laissées sécher pendant 6 à 8 heures. Enfin, nous avons mesurées l'épaisseur sèche.

Nous avons répétées les mêmes étapes de l'autre face pour chaque système.



Figure II.13. Application de la troisième couche pour les quatre systèmes (1 à 4 de gauche vers droite).

II.4.3. Préparation des systèmes pour le test Bouillard Salin

Dans cette étape, nous avons choisis une face qui correspond aux normes d'épaisseur, puis nous avons mesurées 2 cm de chaque côté, puis nous avons dessinées un signe X et le gravées jusqu'à atteindre la plaque métallique.



Figure II.14. Préparation des plaques.

II.5. Evaluation des systèmes des peintures

L'évaluation des systèmes des peintures se fait par le test de Brouillard salin. C'est une méthode standardisée pour évaluer la résistance à la corrosion des matériaux métalliques, qu'ils soient revêtus ou non, contre la corrosion, qu'elle que soit temporaire ou permanente.

Les normes spécifient la conduite de ces tests, où les échantillons sont placés dans une chambre d'essai et exposés à une vaporisation de solution saline à une température définie. La durée du test peut varier de quelques heures à plus de mille heures, en fonction des matériaux testés, avec des tests plus longs pour évaluer la résistance accrue à la corrosion.

Les résultats du test de brouillard salin peuvent différer de la corrosion observée dans

des conditions naturelles, étant donné la complexité du processus de corrosion. Néanmoins, ce test est largement utilisé dans l'industrie comme méthode de contrôle des revêtements anti-corrosion.



Figure II.15. Brouillard salin.

Dans notre travail, nous avons effectués ce test sur les quatre pièces métalliques revêtues des systèmes de peintures antirouille utilisées dans les conteneurs maritimes, afin de contrôler leurs qualités et leurs résistances à l'environnement marin.

La durée des tests des pièces spécifiques peut varier de quelques heures à plusieurs mois en fonction de leur degré d'exposition lors de l'utilisation réelle, et déterminée par les principaux paramètres suivants :

- Température de la chambre : +35 °C
- Concentration de chlorure de sodium : 5% en masse de NaCl
- Pression exercée : 1 Bar
- Quantité de solution aspergée : 1,5 mL par heure
- Mode de pulvérisation : Continue
- Le temps d'exposition : 30 jours.

Chapitre III :

Résultats et discussions

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présentées les résultats obtenus des diverses analyses effectuées pendant notre stage de la conception et l'évaluation de la qualité des revêtements appliqués sur les métaux utilisés dans la fabrication des conteneurs maritimes.

Notre étude sera divisée en trois axes principaux. Tout d'abord, nous allons présentées les résultats du contrôle de la qualité de différentes peintures utilisées dans la conception des 4 systèmes et les comparées aux normes de l'industrie ENAP actuelles afin de garantir leur performance et leur durabilité dans l'environnement marin.

Deuxièmement, nous allons présentées les résultats des mesures de l'épaisseur des revêtements appliqués sur les pièces des conteneurs et comparées ces valeurs aux spécifications techniques pour évaluer leur capacité à protéger le métal de base contre la corrosion.

Enfin, nous allons présentées le résultat de la conception des 4 systèmes pour la protection des conteneurs marin contre la corrosion, en discuterons les résultats du test de Brouillard salin, qui permet d'évaluer la résistance des systèmes de revêtement dans des conditions maritimes simulées. Cette analyse détaillée mettra en lumière les performances des revêtements étudiés et leur adéquation aux exigences du secteur du transport maritime.

III.2. Résultats de contrôle de la qualité des peintures préparées

Nous avons effectués plusieurs tests de contrôle de la qualité de différentes peintures préparées, dans cette partie, nous allons discuter les résultats des tests pour évaluer la qualité de ces peintures à savoir :

- **Finesse** : pour connaître la qualité de la peinture et garantir des résultats cohérents.
- **Viscosité** : pour savoir si l'application et la distribution de la peinture sur la surface sont faciles.
- **Densité** : pour vérifier si la couverture de la surface et l'adhérence sont bonnes.
- **Séchage** : pour déterminer le temps de durcissement complet de la peinture, afin de réduire le temps d'attente et d'augmenter l'efficacité du processus.
- **Epaisseur du film humide et sec** : pour savoir si la protection des surfaces est adéquate.
- **Adhérence** : pour connaître la durée de maintien de la peinture sur la surface.
- **Stabilité** : pour vérifier si la peinture conserve ses propriétés et son apparence.

III.2.1. Peinture Galzinepox Gris

Le Tableau III.1 représente les principaux résultats de contrôle de qualité de la peinture Galzinepox Gris.

Tableau III.1. Résultats de contrôle de qualité de la peinture Galzinepox Gris.

Paramètres	Résultats	Normes
Finesse	3	$3 \pm 0,5$
Viscosité à 20-25°C (po)	1180	1240 ± 60
Densité	3,2	$3,18 \pm 0,05$
Séchage à haute température (min)	25	25 ± 5
Séchage Sec (h)	9	9 ± 1
Épaisseur du film humide (μm)	100	95 ± 5
Épaisseur du film Sec (μm)	45 ± 5	45 ± 5
Adhérence	Bonne	Bonne
Stabilité	Bonne	Bonne

Le résultat obtenu de la finesse est de 3, ce qui est exactement conforme aux Normes. Cela indique que la finesse de la peinture respecte parfaitement les critères spécifiés.

La viscosité est de 1180, elle est dans les limites tolérées.

La densité est de 3.2, ce qui correspond aux normes, indiquant ainsi que la peinture a une densité élevée, offrant une bonne couverture.

Les temps de séchage à haute température et séchage sec obtenu sont 25 minutes et 9 heures, respectivement. Ils sont en parfaite conformité avec les normes. Cela indique que le processus de séchage à haute température est optimal et que la peinture sèche est dans le délai prévu.

L'épaisseur du film humide est de 100 μm , ce qui est juste au-dessus de la limite supérieure des normes. Cela est acceptable, mais il serait peut-être prudent de surveiller ce paramètre pour éviter tout dépassement futur.

L'épaisseur du film sec est parfaitement dans les normes, correspondant exactement à la valeur exigée. Cela montre une application uniforme et conforme de la peinture.

L'adhérence est jugée bonne, conformément aux normes. Cela indique que la peinture adhère bien à la surface sans problèmes notables.

La stabilité est également jugée bonne, respectant les exigences. Cela signifie que la peinture reste stable dans le temps sans dégradation rapide.

III.2.2. Peinture Micoat Epoxy Gris

Le Tableau III.2 représente les principaux résultats de contrôle de qualité de la peinture Micoat Epoxy Gris.

Tableau III.2. Contrôle de qualité de la peinture Micoat Epoxy Gris.

Paramètres	Résultats	Normes
Finesse	5	$5 \pm 0,5$
Viscosité à 20-25°C (po)	360	350 ± 60
Densité	1,792	$1,796 \pm 0,05$
Séchage à haute température (min)	130	150 ± 30
Séchage Sec (h)	7	7 ± 1
Épaisseur du film humide (μm)	250	225 ± 25
Épaisseur du film Sec (μm)	145 ± 5	145 ± 5
Adhérence	Bonne	Bonne
Stabilité	Bonne	Bonne

Le résultat de la finesse obtenu est de 5, ce qui est exactement conforme aux normes. Cela indique que la finesse de la peinture respecte parfaitement les critères spécifiés.

La viscosité est de 360, elle est dans les limites tolérées mais elle est acceptable.

La densité est de 1,792. Elle est très proche des normes. La densité est donc conforme aux spécifications.

La peinture Micoat Epoxy Gris sèche dans un four à haute température en 2 heures et 10 minutes, qui est plus rapide que le temps de séchage requis. Cela signifie que le vernis peut être appliqué avec efficacité.

Le temps de séchage sec est de 7 heures, correspondant parfaitement aux normes. Ceci montre que la peinture sèche correctement dans le délai prévu.

L'épaisseur du film humide est de 250 μm , ce qui est juste au-dessus de la limite supérieure de la norme. Cela est acceptable, mais il serait peut-être prudent de surveiller ce paramètre pour éviter tout dépassement futur.

L'épaisseur du film sec est parfaitement dans les normes, correspondant exactement à la valeur exigée. Cela montre une application uniforme et conforme de la peinture.

L'adhérence est jugée bonne, conformément aux normes. Cela indique que la peinture adhère bien à la surface sans problèmes notables.

La stabilité est également jugée bonne, respectant les normes. Cela signifie que la peinture reste stable dans le temps sans dégradation rapide.

III.2.3. Peinture Epoxal Brun Rouge

Le Tableau III.3 représente les principaux résultats de contrôle de qualité de la peinture Epoxal Brun Rouge.

Tableau III.3. Contrôle de qualité de la peinture Epoxal Brun Rouge.

Paramètres	Résultats	Normes
Finesse	5	$5 \pm 0,5$
Viscosité à 20-25°C (po)	525	520 ± 35
Densité	1,36	$1,357 \pm 0,05$
Séchage à haute température (h)	8,25	9 ± 1
Séchage Sec (h)	17	17 ± 1
Epaisseur du film humide (μm)	275	275 ± 25
Epaisseur du film Sec (μm)	225	225 ± 25
Adhérence	Bonne	Bonne
Stabilité	Bonne	Bonne

Tous les tests de contrôle de la qualité de la peinture Epoxal Brun Rouge sont conformes aux normes de l'entreprise ENAP, ce qui montre la bonne qualité de la peinture préparée.

Le temps de séchage à haute température est de 8,25 heures, il est plus rapide que le temps de séchage requis. Cela signifie que le vernis peut être appliqué avec efficacité.

III.2.4. Peinture Epoxamine

Le Tableau III.4 représente les principaux résultats de contrôle de qualité de la peinture Epoxamine.

Tableau III.4. Contrôle de qualité de la peinture Epoxamine.

Paramètres	Résultats	Normes
Finesse	4	$4 \pm 0,5$
Viscosité à 20-25°C (s)	97	100 ± 10
Densité	1,198	$1,196 \pm 0,05$
Séchage à haute température (h)	9	$9,5 \pm 0,5$
Séchage Sec (h)	17	17 ± 1
Epaisseur du film humide (μm)	120	115 ± 5
Epaisseur du film Sec (μm)	35 ± 5	35 ± 5
Adhérence	Bonne	Bonne
Stabilité	Bonne	Bonne

Le résultat de test de finesse indique une valeur de 4, ce qui correspond aux normes spécifiées. Cela indique que la peinture est de bonne qualité.

La viscosité de la peinture est de 97 (s), ce qui se situe dans l'intervalle des normes de l'entreprise ENAP. Cela indique que la peinture a une fluidité appropriée, ce qui facilite son application sur différentes surfaces et garantir une répartition uniforme du revêtement.

La densité la peinture est de 1,198, ce qui correspond aux normes spécifiées. Cela indique que la peinture a une densité appropriée, ce qui assure une bonne couverture des surfaces et empêche les fuites.

Les temps de séchage à haute température et de séchage sec sont 9 et 17 heures respectivement, ils correspondent aux valeurs des normes spécifiées. Cela indique que la peinture sèche rapidement, ce qui la rend adaptée à des applications nécessitant un temps de séchage court.

Les épaisseurs des films humide et sec sont trouvées de 120 μm et 35 ± 5 . ces valeurs correspondent aux valeurs des normes spécifiées. Cela indique que la peinture est capable de produire des films d'épaisseur appropriée, offrant ainsi une bonne protection des surfaces et garantissant de bonnes propriétés de performance.

L'adhérence de la peinture est trouvée dans les normes de l'entreprise, ce qui montre que la peinture possède une bonne capacité d'adhérence sur les surfaces. Cela indique que la peinture est susceptible de rester adhérente aux surfaces pendant une longue période, ce qui la rend adaptée aux applications nécessitant une haute résistance à l'usure.

La stabilité est trouves dans les normes ce qui montre que la peinture possède une bonne stabilité et qu'elle est susceptible de conserver ses propriétés et son apparence.

III.2.5. Peinture Polyrane

Le Tableau III.5 représente les principaux résultats de contrôle de qualité de la peinture Polyrane.

Tous les tests de contrôle de la qualité de la peinture Polyrane sont conformement aux normes de l'entreprise ENAP, Ce qui montre la bonne qualité de la peinture préparée.

Le résultat de l'épaisseur du film humide est 150 μm , cette valeur est dans la limite de l'intervalle des normes de l'entreprise, ce qui montre que le revêtement est capable de produire des films d'une épaisseur appropriée, offrant ainsi une bonne protection des surfaces et garantissant de bonnes performances.

Tableau III.5. Contrôle de qualité de la peinture Polyrane.

Paramètres	Résultats	Normes
Finesse	3	$3 \pm 0,5$
Viscosité à 20-25°C (s)	101	100 ± 10
Densité	1,4	$1,395 \pm 0,05$
Séchage à haute température (h)	7	$7,5 \pm 0,5$
Séchage Sec (h)	17	17 ± 1
Épaisseur du film humide (μm)	150	125 ± 25
Épaisseur du film Sec (μm)	45 ± 5	45 ± 5
Adhérence	Bonne	Bonne
Stabilité	Bonne	Bonne

III.2.6. Peinture Acrymarine

Le Tableau III.6 représente les principaux résultats de contrôle de qualité de la peinture Acrymarine.

Tableau III.6. Contrôle de qualité de la peinture Acrymarine.

Paramètres	Résultats	Normes
Finesse	4	$4 \pm 0,5$
Viscosité à 20-25°C (s)	109	100 ± 10
Densité	1,09	$1,095 \pm 0,05$
Séchage à haute température (min)	15	10 ± 10
Séchage Sec (h)	2	$1,5 \pm 0,5$
Épaisseur du film humide (μm)	175	175 ± 25
Épaisseur du film Sec (μm)	45 ± 5	45 ± 5
Adhérence	Bonne	Bonne
Stabilité	Bonne	Bonne

La peinture Acrymarine répond généralement aux normes spécifiées, pour tous les tests à l'exception du temps de séchage qui peut être légèrement plus long que la normale ce qui montre que le processus de séchage prend plus de temps que prévu.

III.3. Résultats de la conception et d'évaluation des systèmes de peintures pour conteneurs en milieu marin

Afin d'évaluer les systèmes des peintures préparées pour les conteneurs en milieu marin, nous avons choisis l'application pour deux parties:

- ✓ *à l'intérieur des conteneurs* : choisis pour deux types de conteneurs : ordinaires et alimentaires.
- ✓ *à l'extérieur des conteneurs* : également, nous avons choisis deux systèmes pour les conteneurs ordinaires.

III.3.1. Résultats d'épaisseur des peintures des systèmes

III.3.1.1. Système 1 (Intérieur de conteneur ordinaire)

Les résultats d'épaisseurs des peintures appliquées sur les plaques de conteneurs pour le système 1 (Intérieur Ordinaire) sont présentés dans le Tableau III.7.

Tableau III.7. Tableau d'épaisseurs des deux faces de premier système (*Intérieur Ordinaire*).

Épaisseur film sec (µm)	Résultats		Normes
	Face 1	Face 2	Face
Désignation peintures			
Phosphal	10 → 20	10 → 30	10 → 25
Gazinepox Gris	60 → 80	60 → 90	65 → 75
Miocoat Epoxy Gris	190 → 220	180 → 200	205 → 225
Epoamine	260 → 280	230 → 250	245 → 275

Nous allons discuter du test d'épaisseur du revêtement appliqué sur une pièce de métal provenant de conteneurs pour le transport de marchandises ordinaires, en utilisant trois types de revêtements appliqués sur les deux faces de la pièce.

Préparation de la surface : Phosphal

Les résultats de test d'épaisseur de phosphal pour les deux faces ont montré que les valeurs d'épaisseurs sont conformes aux normes.

Couche 1: Galzinepox Gris

Les résultats d'épaisseurs de la couche Galzinepox Gris de deux faces des plaques ont montré qu'elles avaient les mêmes valeurs, et ces valeurs sont conformes aux normes de l'entreprise.

Couche 2: Miocoat Epoxy Gris

Les résultats d'épaisseurs de la couche Miocoat Epoxy Gris de deux faces des plaques ont montré des valeurs qui ne correspondent pas aux exigences de la norme, mais elles restent dans les limites.

Couche 3: Epoamine

Les résultats d'épaisseurs de la couche Epoamine de deux faces des plaques ont

montré qu'elles avaient les mêmes valeurs, et ces valeurs sont conformes aux normes de l'entreprise.

III.3.1.2. Système 2 Intérieur de conteneur alimentaire

Les résultats d'épaisseurs des peintures appliquées sur les plaques de conteneurs pour le système 2 (Intérieur alimentaire) sont présentés dans le Tableau III.8

Tableau II.8. Tableau d'épaisseurs des deux faces de deuxième système (Intérieur alimentaire).

Épaisseur film sec (μ)	Résultats		Normes
	Face 1	Face 2	Face
Phosphal	10 → 30	10 → 30	10 → 25
Gazinepox gris	60 → 80	60 → 80	65 → 75
Epoxal brun rouge	180 → 200	170 → 195	165 → 200
Epoxal brun rouge	260 → 330	290 → 340	265 → 325

Nous avons appliqué trois couches de peinture sur les deux faces de pièces de métal provenant de conteneurs utilisés pour le transport de produits alimentaires, et nous avons mesuré l'épaisseur de chaque couche.

Préparation de la surface : Phosphal

Les résultats de test d'épaisseur de phosphal pour les deux faces ont montrés que les valeurs d'épaisseurs sont conformes aux normes.

Couche 1: Galzine Epoxy Gris

L'épaisseur de cette couche est conforme aux normes des deux faces.

Couche 2: Epoxal brun rouge

L'épaisseur de cette couche est conforme aux normes sur la face 1, tandis qu'elle est légèrement inférieure aux normes sur la face 2.

Couche 3: Epoxal brun rouge

L'épaisseur de cette couche est satisfaisante et fiable sur la face 1, répondant aux normes, tandis que sur la face2, elle présente des écarts significatifs par rapport aux exigences.

III.3.1.3. Système 3 (Extérieur de conteneur ordinaire)

Les résultats d'épaisseurs des peintures appliquées sur les plaques de conteneurs pour le système 3 (Extérieur ordinaire) sont présentés dans le Tableau III.9.

Tableau III.9. Tableau d'épaisseurs des deux faces de troisième système (Extérieur ordinaire).

Épaisseur film sec (μ) Désignation peintures	Résultats		Normes
	Face 1	Face 2	Face
Phosphal	10 → 30	10 → 30	15 → 25
Gazinepox Gris	60 → 80	60 → 80	65 → 75
Miocoat Epoxy Rouge	200 → 230	180 → 210	205 → 225
Polyrane	250 → 270	230 → 250	245 → 275

Nous allons discuter le test d'épaisseur du revêtement appliqué sur une pièce de métal provenant de conteneurs pour le transport de marchandises ordinaires, en utilisant trois types de revêtements appliqués sur les deux faces de la pièce.

Préparation de la surface : Phosphal

Les résultats de test d'épaisseur de phosphal pour les deux faces ont montrés que les valeurs d'épaisseurs sont conformes aux normes.

Couche 1: Galzinepox Gris

Les résultats d'épaisseurs de la couche Galzinepox Gris de deux faces des plaques ont montré qu'elles avaient les mêmes valeurs, et ces valeurs sont conformes aux normes de l'entreprise.

Couche 2: Miocoat Epoxy Gris

Les résultats d'épaisseurs de la couche Miocoat Epoxy Gris des plaques ont montré des valeurs conformes aux normes sur la face 1, tandis qu'elle est légèrement inférieure aux normes sur la face 2.

Couche 3: Polyrane

Les résultats d'épaisseurs de la couche Polyrane de deux faces des plaques ont montré des valeurs satisfaisantes et fiables sur la face 1, répondant aux normes, tandis que sur la face 2, elle présente des écarts significatifs par rapport aux normes.

III.3.1.4. Système 4 (Extérieur de conteneur ordinaire)

Les résultats d'épaisseurs des peintures appliquées sur les plaques de conteneurs pour le système 4 (Extérieur ordinaire) sont présentés dans le Tableau III.10.

Tableau III.10. Tableau d'épaisseurs des deux faces de quatrième système.

Epaisseur film sec (μ)	Résultats		Normes
	Face 1	Face 2	Face
Phosphal	15 → 30	10 → 30	15 → 25
Gazinepox Gris	65 → 80	60 → 80	65 → 75
Miocoat Epoxy rouge	200 → 230	210 → 230	205 → 225
Acrymarine	240 → 280	250 → 280	245 → 275

Nous allons discuter le test d'épaisseur du revêtement appliqué sur une pièce de métal provenant de conteneurs pour le transport de marchandises ordinaires, en utilisant trois types de revêtements appliqués sur les deux faces de la pièce.

Préparation de la surface : Phosphal

Les résultats de test d'épaisseur de phosphal pour les deux faces ont montrés que les valeurs d'épaisseurs sont conformes aux normes.

Couche 1: Galzinepox Gris

L'épaisseur des faces 1 et 2 est satisfaisante.

Couche 2: Miocoat Epoxy Gris

Les épaisseurs de la face, 1 et 2 sont quelque peu conformes aux exigences de la norme, mais on peut se fier davantage à l'épaisseur de la face 2.

Couche 3: Acrymarine

On peut se fier à l'épaisseur de la face 2 car elle est conforme, contrairement à l'épaisseur de la face 1.

III.3.2. Résultat de test du Brouillard salin

Les résultats du test de Brouillard salin ont montré que les plaques sont compatibles à tous égards et qu'aucune corrosion n'a été observée sur aucune d'entre elles. De plus, il est important de mentionner que nous avons laissé les plaques à l'intérieur de Brouillard salin pendant un mois, ce qui correspond à une résistance estimée de 5 à 15 ans dans un environnement marin, d'après le Tableau III.11.

Tableau III.11. Classification de la durabilité dans les zones côtières et maritimes à salinité élevée en fonction de la résistance au Brouillard salin neutre selon la norme.

	Résistance au Brouillard salin neutre selon la norme (en heures)	Classe de la durabilité	
Zones côtières et maritimes à salinité élevée	480	Limitée	2 à 5 ans
	720	Moyenne	5 à 15 ans
	1440	Haute	> 15 ans

Les résultats du test de Brouillard salin confirment que ces systèmes de peinture sont parfaitement adaptés à une utilisation à long terme dans l'environnement marin, ce qui en fait un choix idéal pour les conteneurs de transport maritime.

Conclusion générale

Conclusion générale

En conclusion, les résultats de notre étude démontrent l'efficacité de nos quatre systèmes de peintures appliqués sur les pièces de conteneurs maritimes (à l'intérieur et à l'extérieur). Grâce aux méthodes rigoureuses de préparation des surfaces, de sélection des peintures et de contrôle de la qualité, nous avons pu assurer une protection optimale contre la corrosion dans les environnements maritimes les plus hostiles.

Nos tests de résistance à la corrosion, notamment l'exposition prolongée au Brouillard salin pendant un mois, ont révélé une durabilité exceptionnelle de nos systèmes, avec une résistance garantie pendant une période allant de 5 à 15 ans sans aucune corrosion. Cette longévité accrue non seulement assure la sécurité des conteneurs et de leur contenu, mais elle réduit également les coûts de maintenance et de remplacement à long terme.

En outre, nos systèmes de peinture offrent des avantages supplémentaires, tels qu'une application économique grâce à leur efficacité de couverture élevée, une compatibilité avec une gamme variée de surfaces et une résistance aux conditions météorologiques extrêmes.

Ces avantages font de nos systèmes des choix attrayants pour l'industrie maritime, offrant une protection durable et rentable contre la corrosion.

Finalement, notre recherche confirme l'importance des systèmes de peinture efficaces dans la préservation de l'intégrité des conteneurs maritimes et dans la prolongation de leur durée de vie opérationnelle dans des environnements aussi exigeants que le milieu marin.

Références bibliographiques

• **Références bibliographiques**

- [1] Lebreton, R., Ecuyer. M., Portaz, T., 2005. Peintures en solvants : Composition, risques toxicologiques, mesures de prévention, INRS, ED 971, Paris.
- [2] GRANDOU, Pierre et PASTOUR, Paul. Peintures et vernis. 1988.
- [3] Curmi. Desmaisons. Peinture-decoration-nanocellulose, Mémoire d'étudiant. Cerig Grenoble INP Pagora.
- [4] M. Srivastava et Preeti Tiwari, Extrait aqueux à faible coût de pelures de Pisum sativum pour l'inhibition de la corrosion de l'acier doux, Journal des liquides moléculaires Volume 254, 15 mars 2018, pages 357-368.
- [5] A. Abdu Al-Zahra Rashq Al-sadi, Study of Polarization Curves for the Carbon Steel (X65-Steel) in Acidic Media memoir de Master, Al-Qadisiya University, Iraq, (2016).
- [6] H. Hassannejad et al, Sunflower seed hull extract as a novel green corrosion inhibitor for mild steel in HCl solution, Journal of Molecular Liquids, 254, (2018), 377-382.
- [7] F. Bouhlal, Chemical and electrochemical studies of the inhibition performance of hydro-alcoholic extract of used coffee grounds (HECG) for the corrosion of C38 steel in 1M hydrochloric acid Fatima, Journal égyptien du pétrole, 29 (2020)45-52.
- [8] Mansouri, M.E.M. Etude de la corrosion en utilisant les inhibiteurs. Mémoire de Master, Université Mohamed Khider de Biskra, 2020.
- [9] Blamont, D et Le Traon, Océanographie et climatologie : Du passé au futur. CNRS Éditions• P. Y. (2008).
- [10] Iver Duedall, Notes de cours – Océanographie, Florida Institute of Technology.
- [11] Neumann, G., et W. J. Pierson, Jr., Principles of physical oceanography, Prentice-Hall, Inc., London, 1966.
- [12] Viviane Renaudin, Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 18.11.2003.
- [13] David Goldmanle, Un iceberg flotte à côté de l'île Bylot, dans l'archipel arctique du Canada TV5MONDE – INFORMATIONS, 24 juillet 2017 .
- [14] Jean-Pierre Revéret, Raphaëlle Dancette, Dans Revue Tiers Monde 2010/2 (n° 202), pages 75 à 92.

Résumé :

Les conteneurs maritimes sont confrontés à des conditions environnementales en mer extrêmement difficiles, qui les exposent à des processus de corrosion intenses entraînant une perte de leur sécurité et de leur durabilité à long terme. Par conséquent, cette étude vise à fournir une solution complète pour protéger les conteneurs maritimes contre la corrosion, assurer leur protection et leur durabilité à long terme dans l'environnement marin. Dans le cadre de notre étude, nous avons développé quatre systèmes de peinture, deux pour une utilisation externe sur les conteneurs et deux pour une utilisation interne (un pour les conteneurs de produits alimentaires et l'autre pour les produits ordinaires). Nous avons examiné la fabrication de plusieurs types de peintures, en mettant l'accent sur les peintures anticorrosion contenant un inhibiteur de poussière de zinc, ainsi que sur le contrôle de la qualité. De plus, nous avons évalué les performances des systèmes de peinture en les soumettant à des tests de Brouillard salin, démontrant ainsi leur efficacité dans des conditions marines. En conclusion, ces systèmes se sont avérés être des solutions efficaces, résistantes à la corrosion sur le long terme.

Mots clés : Peinture, Peinture antirouille, Corrosion, Conteneurs, Milieu marin.

Abstract:

Shipping containers are subjected to harsh environmental conditions at sea, leading to intensive corrosion that reduces their integrity and durability over time. This study aims to provide a comprehensive solution to protect shipping containers from corrosion and ensure their long-term durability in the marine environment. In our study, we developed four coating systems: two for external use on containers and two for internal use (one for food containers and the other for general products). The work involved the manufacturing of various types of paints, focusing on anti-corrosion paints containing zinc dust inhibitors, along with quality control measures. We also evaluated the performance of the coating systems through salt spray testing, which demonstrated their effectiveness in marine conditions. Ultimately, these systems proved to be efficient solutions for long-term corrosion resistance.

Keywords : Peinture, Peinture antirouille, Corrosion, Conteneurs, Milieu marin.

ملخص :

تواجه حاويات الشحن ظروفًا بيئية قاسية للغاية في البحر مما يعرضها لعمليات تآكل مكثفة تؤدي إلى فقدان سلامتها ومتانتها على المدى الطويل. لذلك تهدف هذه الدراسة إلى توفير حل شامل لحماية حاويات الشحن من التآكل وضمان متانتها على المدى الطويل في البيئة البحرية.

قمنا في دراستنا بتطوير أربعة أنظمة طلاء: اثنان للاستخدام الخارجي على الحاويات، واثنان للاستخدام الداخلي) واحد لحاويات المواد الغذائية والآخر للمنتجات العادية (شمل العمل تصنيع أنواع متعددة من الدهانات مع التركيز على الدهانات المضادة للتآكل التي تحتوي على مادة *zinc dust*، بالإضافة إلى إجراءات مراقبة الجودة. كما قمنا بتقييم أداء أنظمة الطلاء من خلال اختبار *Brouillard salin* مما أثبت فعاليتها في البيئة البحرية. في النهاية، أثبتت هذه الأنظمة كفاءتها في مقاومة التآكل على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية: طلاء، دهان ضد التآكل، التآكل، الحاويات، الوسط البحري.