



Département de Technologie Chimique Industrielle

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de

Licence Professionnel en :

Génie de la Formulation

Thème :

FORMULATION DE LA PEINTURE POUDRE PRIMAIRE ANTI CORROSION RICHE EN ZINC

Réalisée par :

M^{lle} BENRABAH Djouher Kahina

Tuteur de l'Institut :

M^{me} AICHOUR Amina

Maître de conférences classe B (IT-Bouira)

Tuteur de l'entreprise :

M^{me} OULACEB Nora

Entreprise Nationale Algérienne des Peintures

Soutenu devant le Jury :

- Président : M^{me} BELLACHE. D

Maître Assistant classe A (IT, Univ-Bouira)

- Examineur : Mr BELKACEMI. S

Maître de conférences classe B (IT, Univ-Bouira)

Juillet 2023

Remerciements

Je commence par d'abord remercier le Bon Dieu

Tout-Puissant de m'avoir hébergé compte tenu du courage et des moyens de faire cet humble travail qui a mené à mon diplôme.

Je profite aussi de l'occasion qui m'est offerte pour remercier

Mme AICHOUB Amina de m'avoir fait l'honneur d'être ma promotrice.

Je suis très reconnaissante pour son aide inestimable, pour son écoute, ainsi que pour ses conseils et son temps pour moi.

Je tiens à remercier fortement Mme Oulaceb Nora et tout le groupe de laboratoire des deux unités A et B de Oued Smar pour tout le soutien qu'ils m'ont apporté.

Je tiens aussi à remercier tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation. J'adresse également mes sincères remerciements aux membres du jury qui me font l'honneur d'examiner ce travail.

Enfin je remercie toutes personnes qui m'ont offert, de près ou de loin de l'aide et des encouragements pour terminer ce travail.

Dédicaces

*A mon père, ma source de motivation, qui n'a cessé de me soutenir
et de m'encourager tout au long de mon cursus.*

*A ma mère, ma raison de vivre, pour son amour, son attention,
Son soutien moral, ses prières.*

A mon âme sœur Wiam et mes petits frères Charaf, Mohammed et Youcef.

*A mes chers et fidèles amies Nora,
Sarah, Wissal, Imane et Meriem.*

A toute la promotion, de Génie de la formulation 2022-2023

BENRABAH Djouher Kahina

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Table des Matières	
Introduction générale.....	1

Partie Théorique

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

I.1. Présentation de l'entreprise	3
I.2. Création de l'ENAP	4
I.3. Unité d'Oued Smar	4
I.4. Les processus de l'unité d'Oued Smar.....	5
I.4.1. Le processus de réalisation.....	5
I.4.2. Le processus de soutien	5
I.5. Les différents produits de l'entreprise	5
I.5.1. Peinture pour bâtiment	5
I.5.2. Peinture pour carrosserie	6
I.5.3. Vernis pour bois	6
I.5.4. Peintures anti corrosion	6
I.6. L'organigramme de l'entreprise.....	6

Chapitre II : Généralités sur la corrosion des métaux et la peinture en poudre

II.1. Généralités sur la corrosion des métaux	7
II.1.1. Définition de la corrosion... ..	7
II.1.2. Origine de la corrosion.....	7
II.1.3. Processus de la corrosion... ..	7
II.1.4. Différentes formes de la corrosion.....	8
II.1.4.1. Corrosion chimique (sèche)... ..	8
II.1.4.2. Corrosion biochimique (bactérienne).....	8
II.1.4.3. Corrosion électrochimique (humide)	9
II.1.5. Mécanisme de corrosion... ..	9

II.2. Généralités sur la peinture en poudre	10
II.2.1. Définition de la peinture en poudre	10
II.2.2. Les différentes poudres thermodurcissables (Powder coat).....	10
II.2.2.1. La peinture en poudre époxy	10
II.2.2.2. La peinture en poudre polyester	10
II.2.2.3. La peinture en poudre mixte époxy-polyester	11
II.2.3. La peinture anticorrosion	11
II.2.4. La formule d'une peinture poudre anticorrosion (époxy).....	11
II.2.5. Rôle des constituants.....	12

Partie Expérimentale

Chapitre I : Préparation de la peinture en poudre

I.1. Introduction.....	13
I.2. Formulation de peinture époxy anticorrosion.....	13
I.3. Matériels utilisés pour la préparation de la peinture	15
I.3.1. Matières première.....	15
I.3.1.1. Rôle des matières premières	15
I.3.2. Matériels utilisés.....	16
I.4. Préparation de la peinture en poudre.....	16
I.4.1. Contrôle des matières premières en poudre.....	16
I.4.2. Pesage des matières premières	16
I.4.3. Pré-mélange.....	17
I.4.4. Extrusion	17
I.4.5. Concassage	19
I.4.6. Fraisage ou Broyage	19
I.4.7. Tamisage	19
I.4.8. Stockage de poudre	20
I.5. Préparation des plaques métalliques	20
I.6. Application des revêtements	21
I.6.1. Dépôt de la poudre par pulvérisation électrostatique	21
I.6.2. Pistolets de revêtement en poudre	21
I.6.3. Cuisson de la peinture en poudre thermodurcissable	22

Chapitre II : Contrôle des caractéristiques mécaniques et chimiques de la peinture

II.1. Introduction	23
--------------------------	----

II.2. Tests de contrôle	23
II.2.1. Test d'adhérence	23
II.2.1.1. Principe du test d'adhérence	23
II.2.1.2. Mode opératoire	24
II.2.1.3. Résultats et interprétations	24
II.2.2. Test de résistance au choc	26
II.2.2.1. Principe du test de résistance au choc	26
II.2.2.2. Mode opératoire	26
II.2.2.3. Résultats et interprétations	27
II.2.3. Test d'épaisseur	27
II.2.3.1. Principe du test d'épaisseur	27
II.2.3.2. Mode opératoire	28
II.2.3.3. Résultats et interprétations	28
II.2.4. L'emboutissage	28
II.2.4.1. Principe de l'emboutissage	28
II.2.4.2. Mode opératoire	29
II.2.4.3. Résultats et interprétations	29
II.2.5. Le pliage conique	30
II.2.5.1. Principe du test du pliage conique	30
II.2.5.2. Mode opératoire	30
II.2.5.3. Résultats et interprétations	31
II.2.6. Conclusion	31
II.3. Tests des Contrôles des caractéristiques chimiques des revêtements	32
II.3.1. Test brouillard salin	32
II.3.2. Conditions opératoires	32
II.3.3. Résultats et interprétations	33
II.3.4. Conclusion	33
Conclusion générale	34
Références bibliographiques	35

Liste des tableaux

Partie Expérimentale

Tableau I.1 : 1 ^{ère} formule centésimale utilisée	14
Tableau I.2 : 2 ^{ème} formule centésimale utilisée	14
Tableau II.1 : Classement d'adhérence de 0 à 5	25
Tableau II.2 : Résultats de contrôle des caractéristiques mécanique des primaires	31

Liste des Figures

Partie Théorique

Figure I.1. Les unités de l'entreprise ENAP en Algérie.....	03
Figure I.2. Localisation de l'unité ENAP Oued Smar.....	04
Figure I.3. L'organigramme de l'entreprise.....	06
Figure II.1. Corrosion sèche.....	08
Figure II.2. Corrosion bactérienne	08
Figure II.3. Corrosion humide.....	09
Figure II.4. Peinture en poudre.....	10
Figure II.5. La formule de peinture poudre	11

Partie Expérimentale

Figure I.1. Matières premières utilisées.....	15
Figure I.2. Pesage des constituants	17
Figure I.3. La cuve de mélange	17
Figure I.4. L'extrudeuse	18
Figure I.5. Confection de film de peinture	18
Figure I.6. Concassage du film de peinture	19
Figure I.7. Broyage des copeaux	19
Figure I.8. Tamisage de peinture poudre.....	20
Figure I.9. Peinture en poudre finie.....	20
Figure I.10. Pistolet pulvérisateur	21
Figure I.11. Cabinet de poudrage	21
Figure I.12. Mécanisme de pulvérisation électrostatique	22
Figure I.13. Four à convection.....	22
Figure II.1. Peigne de quadrillage	24
Figure II.2. Résultat d'adhérence.....	25
Figure II.3. Appareil d'essai au choc	26
Figure II.4. Résultat de résistance au choc	27
Figure II.5. Jauge d'épaisseur	27
Figure II.6. Résultat d'épaisseur pour les deux peintures Bleu ciel et Rouge brique	28
Figure II.7. Emboutisseur.....	29
Figure II.8. Résultat d'emboutissage	29

Figure II.9. Appareil de pliage conique.....	30
Figure II.10. Résultat de pliage conique	31
Figure II.11. Bouillard salin	32



INTRODUCTION

GENERALE



Introduction générale

Le secteur des peintures, vernis et résines est un domaine d'activité important dans le tissu industriel national. Il fait partie des secteurs stratégiques pour le développement économique et social de notre pays. En effet, les produits de peinture et vernis fabriqués par cette industrie sont utilisés dans divers domaines d'activités tels que le domaine du bâtiment, qui enregistre aujourd'hui un programme de construction impressionnant, le secteur du matériel naval (barque de pêche, bateaux) ainsi que le domaine de l'industrie du pétrole, où les produits de peinture sont fortement utilisés, notamment dans les bacs de stockage et dans les conduites servant au transport du gaz, du pétrole et de l'eau.

A l'heure actuelle le secteur du pétrole est en plein développement, avec les nouvelles découvertes réalisées ces dix dernières années, ce secteur stratégique pour l'économie du pays, exige des moyens technologiques plus performants et durables pour assurer une bonne protection des installations industrielles contre la corrosion.

La corrosion des métaux regroupe de multiples phénomènes liés au milieu dans lequel elle se déroule. Ces phénomènes dépendent d'un grand nombre de facteurs qui interviennent non pas individuellement, mais en relation plus ou moins complexe les uns avec les autres (la nature et la structure du matériau, l'environnement et ses caractéristiques chimiques, la température etc....).

Les moyens de lutte contre la corrosion sont multiples et doivent être appropriés à chaque cas. La prévention passive demeure la meilleure solution pour éviter la corrosion des installations métalliques. La manière la plus commune d'empêcher un métal de se corroder ou de retarder sa corrosion, est d'appliquer un revêtement imperméable sur sa surface. Si la couche du revêtement fournit une barrière protectrice parfaite au métal dans un environnement corrosif, alors ni l'oxygène, ni l'eau ne pourront atteindre sa surface et la corrosion sera finalement empêchée.

Le rôle du revêtement est donc de limiter le flux de ces produits (oxygène, eau...) en créant une barrière physique. Malheureusement, la plupart des revêtements, tels que les peintures, ne sont pas de parfaites barrières contre la corrosion et ne protègent donc pas les métaux par suite de l'existence des failles dans les revêtements ou de diffusion de l'oxygène et de l'eau à travers eux. Pour toutes ces raisons, il est nécessaire de recourir à d'autres méthodes de protection des métaux, telles que, les inhibiteurs de corrosion, la protection anodique et la protection cathodique.

Le but de notre travail est de déterminer la concentration optimale de zinc dans la formulation de la peinture pour assurer une protection efficace contre la corrosion, améliorer l'adhérence du revêtement en optimisant les propriétés d'ancrage entre la peinture et le substrat métallique, concevoir une formulation qui permet une application facile et uniforme de la peinture poudre, garantissant ainsi une couverture complète et homogène, et également, veiller à ce que la peinture poudre présente des performances mécaniques satisfaisantes, telles qu'une résistance élevée aux chocs et une flexibilité adéquate pour résister aux déformations du substrat.

Notre projet de fin d'étude se compose de deux parties, une partie théorique qui est formée par deux chapitres, le premier chapitre se focalise sur la présentation de l'entreprise où j'ai mon stage et le deuxième chapitre donne des généralités sur la corrosion des métaux et sur la peinture en poudre.

La partie expérimentale se compose de deux chapitres, dans le premier chapitre, nous avons présentés la méthode de préparation de deux types de peintures (2 formules). Dans le deuxième chapitre, nous avons présentés les résultats des tests de contrôles des caractéristiques mécaniques et chimiques de la peinture préparée et données des interprétations à ces résultats.

Nous avons terminées notre projet de fin d'étude par une conclusion générale.



Partie théorique





CHAPITRE I :
Présentation de l'entreprise



I.1. Présentation de l'entreprise

L'entreprise nationale Algérienne des peintures (ENAP) est une entreprise publique économique certifiée ISO 9001 version 2015, l'ENAP a pour métier de base la production des revêtements organiques : Peintures, vernis, résines, émulsions, siccateurs et colles.

ENAP est une société par action, son capitale sociale est de 9000.000.000DA, elle est implantée sur le territoire national par ces six (06) unités de production (cinq pour la production et une pour le commercial) :

- Deux unités à Oued Smar et Chéraga la wilaya d'Alger.
- Une unité à Lakhdaria la wilaya de Bouira (la direction générale).
- Une unité à Sig la wilaya de Mascara.
- Une unité à la wilaya de Souk Ahras.
- Une unité à la wilaya d'Oran.

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. Les unités de l'entreprise ENAP en Algérie.

I.2. Création de l'ENAP

L'entreprise nationale Algérienne des peintures ENAP, est issue de la restructuration de la société nationale des industries chimiques (SNIC). Cette dernière a été créée en 1968 suite à la nationalisation des sociétés algériennes, son activité a été caractérisée par une politique de développement dans le sens de la monopolisation des industries des peintures, c'est ainsi que les premiers projets algériens en matière de peinture sont l'œuvre de la SNIC.

En 1982 avec la restructuration organique portant référence décret N° 82/417Et 82/422, a été créée l'Enterprise Nationale des Peintures ENAP, jusqu'au mai 1984, elle exerçait sa mission sous la tutelle du ministère des industries légères. Le décret n° 84/113 De mai 1984 a transféré cette tutelle au ministère des industries chimique.

Entrant dans le cadre de la réforme économique en 1990 du plan nationale, l'entreprise nationale des peintures a été transformée en société par EPE/ENAP/SPA et est passée à l'autonomie le 31 mars 1990 avec un capital de 100 millions de dinars qui est passé en 1995 à 500 millions de dinars algériens répartis sur 5000 action de 100.000 DA chacune détenues en totalité par la société de Gestion des Participation Pharmacie Chimie (GEPHAC).

I.3. Unité ENAP d'Oued Smar

L'unité ENAP d'Oued Smar est située à environ 19 km à l'Est d'Alger, sur la route nationale N°5, elle s'étale sur une superficie totale de 57876 m² avec un effectif de 425 employés, répartis entre cadres, agents de maîtrise et agents d'exécution. Elle est partagée en deux zones l'unité B et l'unité A2 qui a une superficie 43509 m² avec un effectif plus de 70 personnes, qui à leur tour sont devisées en plusieurs départements.



Figure I.2. Localisation d'unité ENAP Oued Smar.

I.4. Les processus de l'unité d'Oued Smar

I.4.1 Le processus de réalisation

La production des peintures dépend de ce processus, car c'est lui qui soutient la production, la commercialisation, la matière première et la qualité des produits. Pour que l'unité de production assure la bonne gérance, elle reconstitue le processus de réalisation en quatre processus :

- Le processus d'approvisionnement
- Le processus de production
- Le processus de conception
- Le processus de commercialisation.

I.4.2. Le processus de soutien

Le processus de soutien ramifie en cinq processus qui sont :

- Le processus de ressource humaine.
- Le processus de planification.
- Le processus de sécurité
- Le processus de finance
- Le processus de maintenance

I.5. Les différents produits de l'entreprise

L'unité d'Oued Smar 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.5.1. 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.5.2. 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.5.3. 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.5.4. 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. L'ENAP répond aux exigences de milieu d'application par divers produit on prend comme exemple : PRIMAFER qui protège tout structure ferreuse; sous-couche pour métaux ferreux [1].

I.6. L'organigramme de l'entreprise

Cette société est composée de plusieurs succursales :

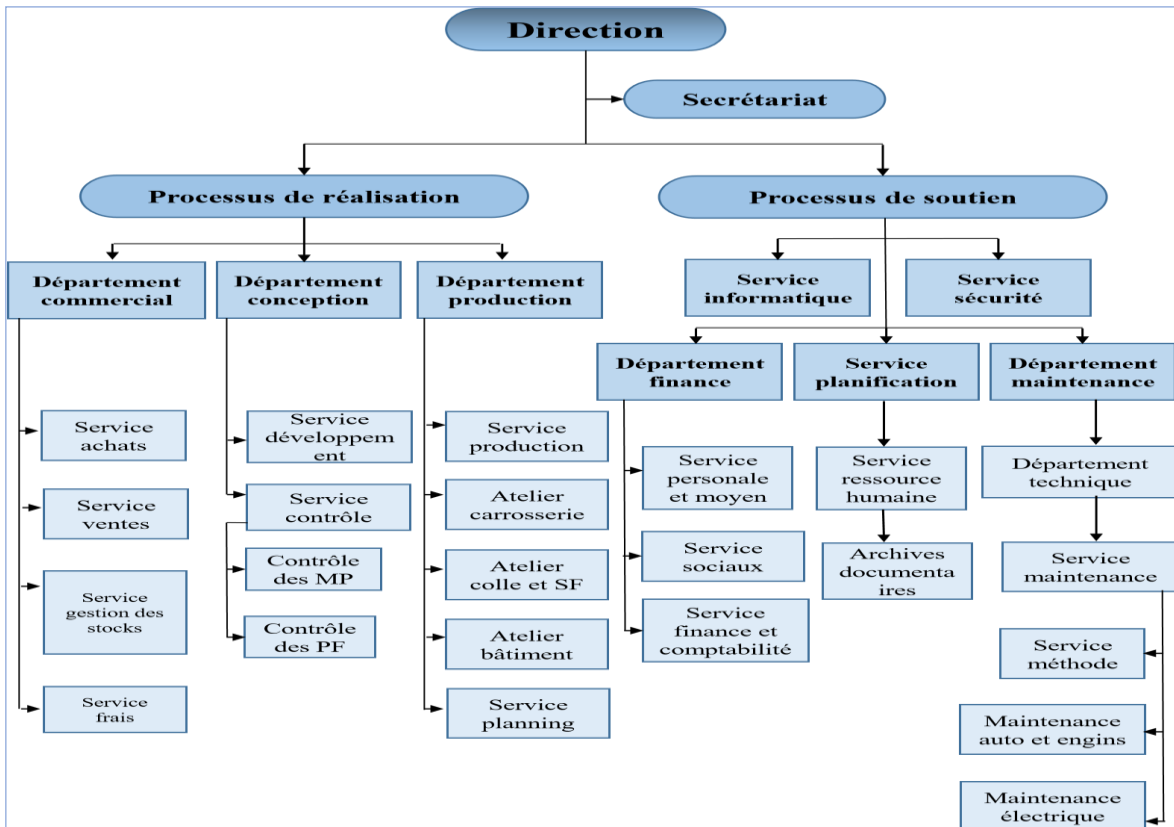


Figure I.3. L'organigramme de l'entreprise.

CHAPITRE II :
Généralités sur la corrosion
des métaux et la peinture en
poudre

II.1. Généralités sur la corrosion des métaux

Comme tous les matériaux de construction, l'acier a tendance à subir une dégradation de surface lorsqu'il est exposé à des milieux agressifs tels que le sol, l'air et les environnements marins. La corrosion est le processus par lequel un matériau se détériore par interaction chimique avec sa prise, entraînant généralement une modification des propriétés du métal lors de sa dégradation proprement dite (altération de ses propriétés mécaniques, électriques, etc.) [2].

II.1.1. Définition de la corrosion

La corrosion est un phénomène naturel qui résulte de l'interaction entre un matériau métallique et son environnement. Elle est causée par une réaction électrochimique qui se produit à la surface du métal en présence d'un électrolyte, comme l'eau ou l'humidité de l'air. Cette réaction peut se produire à différents niveaux de gravité, allant de la simple oxydation à la dégradation complète du métal. Les causes de la corrosion peuvent être multiples et varient en fonction de l'environnement dans lequel le métal est exposé [3].

II.1.2. 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 [4].

II.1.3. Processus de la corrosion

Selon la nature et la température du milieu environnant, la corrosion est appelée corrosion humide. Électrolyse à température modérée. Dans le second cas, il est constitué de vapeur et gaz au-dessus du point de rosée, souvent à des températures élevées (>200°C).

Nous avons enfin mis en évidence l'existence d'un type particulier de corrosion appelé corrosion bactérienne dans laquelle interviennent des organismes vivants d'espèces différentes. Le processus implique essentiellement une attaque bactérienne du tuyau ou du réservoir structures métalliques enterrées et immergées dans l'eau de mer [5, 6].

II.1.4. Différentes formes de la corrosion

II.1.4.1. Corrosion chimique (sèche)

C'est une réaction hétérogène entre une phase solide (métallique) et une phase gazeuse. Le processus redox de corrosion chimique se produit dans les domaines atomiques en contact avec le milieu environnant. Aucun électrolyte n'est présent. Par conséquent, la dégradation purement chimique n'implique pas le passage de courant électrique et le flux d'électrons s'arrête car l'échange d'électrons entre les différents partenaires de réaction se produit directement. L'air contient de l'oxygène, de la vapeur d'eau et des vapeurs acides (CO₂, SO₂, SiI₂, etc.). Ce sont tous des produits corrosifs, mais le plus courant est le dioxyde de carbone CO₂. Il est reconnu que la rouille est le résultat de l'action de toutes ces substances, mais même dans des conditions mal protégées, de l'acide doit être présent pour que la corrosion se produise.

Lorsque le réactif est gazeux ou que la corrosion se produit à haute température, on parle de : corrosion sèche ou corrosion à haute température [7, 8].

La réaction qui se produit est de la forme :



Figure II.1. Corrosion sèche.

II.1.4.2. Corrosion biochimique (bactérienne)

La corrosion bactérienne est due à la présence de grandes colonies de bactéries dites anaérobies qui se développent dans l'eau contenant des sulfates. Actuellement, la lutte contre cette forme de corrosion est largement biologique, en injectant des produits antiseptiques dans le milieu corrosif [9].



Figure II.2. Corrosion bactérienne.

II.1.4.3. Corrosion électrochimique (humide)

Si le réactif est un liquide, il s'accompagne généralement d'une corrosion électrochimique, qui est principalement causée par l'oxydation du métal sous forme d'ions ou d'oxydes, et réduit l'agent de corrosion présent dans la solution d'électrolyte. De plus, il se produit par transport d'électrons (circulation de courant) entre le métal et l'électrolyte en contact avec lui [9].

Pour une corrosion électrochimique on a :

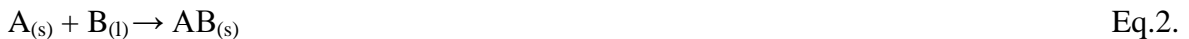
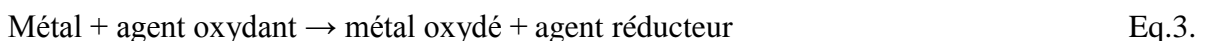


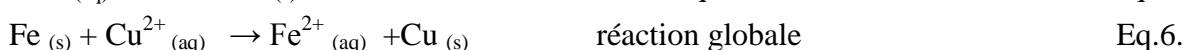
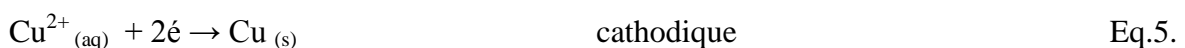
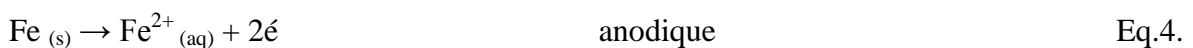
Figure II.3. Corrosion humide.

II.1.5. Mécanisme de la corrosion

La corrosion des métaux est due à des réactions redox irréversibles entre les métaux et les oxydants contenus dans l'environnement. L'oxydation des métaux implique la réduction des agents oxydants [7], selon la réaction :



Toute réaction redox consiste en deux réactions partielles, une oxydation partielle ou réaction anodique partielle, et une réduction partielle ou réaction cathodique partielle :



II.2. Généralités sur la peinture en poudre

Les peintures sont impliquées sur un large éventail de surfaces dans le monde entier et assurent la protection des substrats car elles sont efficaces et peu coûteuses. La gamme des produits est entièrement large et permet de répondre à des cas de corrosion très particuliers. Sur l'ensemble des peintures, celles en solvants sont les plus utilisées. Près de la moitié des peintures employées en milieu industriel fait partie de cette catégorie [10].

II.2.1. Définition de la peinture en poudre

La peinture en poudre est une peinture thermodurcissable qui ne contient pas de solvants. Elle ne nécessite pas de diluant, ne contient ni plomb ni TGIC (isocyaure de triglycidyle) et est recyclable totalement. Elle s'applique sur des pièces métalliques. Les pièces sont peintes au pistolet dans des cabines de mise en peinture, grâce à un système électrostatique.



Figure II.4. Peinture en poudre.

II.2.2. Les différentes poudres thermodurcissables (Powder coat)

Les peintures en poudre sont un élément essentiel du procédé de «Powder coating» qui est utilisé pour donner une finition esthétique et durable à d'innombrables types de pièces et d'équipements industriels [11].

Cela dit, il existe de nombreux types de poudres pouvant être utilisées dans un atelier de peinture industrielle :

II.2.2.1. La peinture en poudre époxy

C'est la plus résistante à la corrosion, utilisée essentiellement dans l'industrie pour la mise en peinture des vannes, des tuyaux, des citernes. Elle est idéale en milieu marin.

II.2.2.2. La peinture en poudre polyester

Utilisée principalement dans le domaine industriel pour les accessoires automobiles, le matériel ferroviaire ou agricole.

II.2.2.3. La peinture en poudre mixte époxy-polyester

Elle constitue un compromis technique entre les peintures époxy pur aux bonnes propriétés anticorrosion et de faible résistance aux UV, et les peintures polyester présentant une très bonne résistance aux UV et aux intempéries. Elle est utilisée pour la décoration d'intérieur.

II.2.3. La peinture anticorrosion

D'une manière générale, la peinture utilisée pour la protection de l'acier se compose de deux constituants séparés, la base et le durcisseur. L'utilisation du système de peinture à deux composants permet un séchage rapide à température ambiante. Comme les systèmes se composent de trois couches de peinture, le séchage rapide donne des temps de recouvrement relativement courts. La réticulation de ce type de peinture à deux composants (base + durcisseur) est liée à la réaction chimique qui se produit entre la résine contenue dans la base et la résine contenue dans le durcisseur. Cette réaction chimique entre les deux résines donne naissance au liant de la peinture.

II.2.4. La formule d'une peinture poudre anticorrosion (époxy)

Formuler une peinture c'est choisir ses constituants et en déterminants les quantités pour résoudre un problème technique au moindre cout. L'évolution de la chimie des peintures ainsi que la diversité des domaines d'application (bâtiment, carrosserie, industrie, marine, aviation...) ont justifié la généralisation des produits prêts à l'emploi que le cout élevé de la main-d'œuvre a contribué à promouvoir.

La formulation pour une peinture poudre anticorrosion est donnée dans la figure II.5.

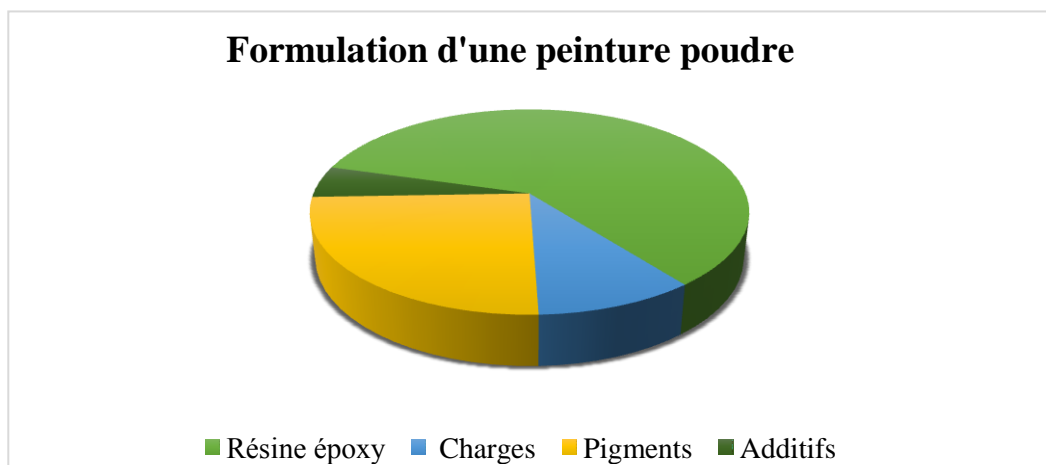



Figure II.5. La formule de la peinture en poudre.

II.2.5. Rôle des constituants

- La résine époxy est un liant solide qui assure une bonne adhérence de la peinture sur la surface à protéger.
- Les charges (par exemple de l'oxyde de fer) sont ajoutées pour améliorer la résistance à la corrosion.
- Les pigments sont utilisés pour colorer la peinture et pour améliorer la résistance à la lumière.
- Les additifs (par exemple des agents de mouillabilité) sont utilisés pour améliorer les propriétés de la peinture, comme la facilité d'application ou la résistance aux UV [1].



Partie expérimentale



CHAPITRE I :
Préparation de la peinture en
poudre

I.1. Introduction

L'utilisation des revêtements organiques protecteurs est une méthode largement utilisée pour la durabilité et de la résistance à la corrosion des structures métalliques. Le phénomène de la corrosion est un problème majeur qui se produit au niveau des installations. Cela, est dû principalement à la constitution des peintures utilisées comme revêtements (propriétés intrinsèques de la peinture), et les constituants du revêtement (résines, pigments, mélange de solvants, additifs), et de l'interface métal/peinture en termes d'adhérence.

Notre travail se focalise principalement sur la formulation d'une nouvelle peinture époxy anticorrosion riche en zinc. Il se focalise également sur l'étude de l'efficacité de l'inhibiteur organique phosphate de zinc sur la surface métallique en diminuant la quantité de l'inhibiteur dans chaque formule pour connaître le taux de corrosion. Pour cette étude, nous avons choisis des peintures de nature époxyde, qui possèdent une adhérence supérieure et une meilleure tenue à la corrosion et dont l'usage est largement répondu à l'industrie pétrolière. Ces peintures contiennent le phosphate de zinc comme agent anticorrosion dans la couche de primaire.

Plusieurs formulations de revêtements de peinture de nature époxyde ont été préparées au niveau de l'entreprise nationale de peintures (ENAP Oued Smar). Ces revêtements se différencient par leurs constituants.

- Primaire à base de phosphate de zinc.
- Primaire à base de phosphate de zinc et l'inhibiteur organique A à des concentrations variables.
- Primaire à base de phosphate de zinc et d'oxyde de fer rouge.
- Primaire à base de phosphate de zinc, d'oxyde de fer rouge et de l'inhibiteur organique A ou B à des concentrations variables.

A la fin d'étude, Nous ferons une comparaison quantitativement et qualitativement entre la peinture en poudre primaire riche en phosphate de zinc et son similaire à la phase solvantée.

I.2. Formulation de peinture époxy anticorrosion

La peinture est un système bi-composant. La base est une résine époxydique solide et le durcisseur phénolique (BLANC FIXE). Cette peinture est mono couche et anticorrosion.

La préparation des revêtements a été effectuée suivants les indications données par la fiche technique de chaque produit.

Pour faire l'étude de l'efficacité de l'inhibiteur phosphate de zinc, nous venons faire deux préparations de peinture primaire (peinture époxy bleu ciel et peinture époxy rouge brique) en diminuant la quantité de l'inhibiteur dans chaque formule, et en apportant une légère modification de couleur par l'ajout des différents pigments. Par la suite, nous comparons cette nouvelle formule (peinture sèche) avec la norme ISO.

Tableau I.1 : 1^{ère} formule centésimale utilisée.

Peinture Epoxy Bleu Ciel				
Désignation	Formule 1 (%)	Formule 2 (%)	Formule 3 (%)	Formule 4 (%)
Eposir 7175	48,000	48,000	48,000	48,000
Sirion Vp 2028	15,760	15,760	15,760	15,760
Phosphate de Zinc	17,000	13,000	7,000	0,000
Blanc Fixe	0,000	4,000	10,000	17,000
A1	0.300	0.300	0.300	0.300
A2	0.500	0.500	0.500	0.500
A3	1,000	1,000	1,000	1,000
Titane N°3	15,000	15,000	15,000	15,000
Violet	0,120	0,120	0,120	0,120
Bleu Phtalo	2,200	2,200	2,200	2,200
Oxyde de Fer	0,120	0,120	0,120	0,120
Total	100,000	100,000	100,000	100,000

Tableau I.2 : 2^{ème} formule centésimale utilisée.

Peinture Epoxy Rouge Brique				
Désignation	Formule 1 (%)	Formule 2 (%)	Formule 3 (%)	Formule 4 (%)
Eposir 7175	48,000	48,000	48,000	48,000
Sirion Vp 2028	15,760	15,760	15,760	15,760
Phosphate de Zinc	14,840	10,840	4,840	0,000
Blanc Fixe	0,000	4,000	10,000	14,840
A1	0.300	0.300	0.300	0.300
A2	0.500	0.500	0.500	0.500
A3	1,000	1,000	1,000	1,000
Oxyde de Fer	15	15	15	15
Oxyde de Fer	4,6	4,6	4,6	4,6
Total	100,000	100,000	100,000	100,000

I.3. Matériels utilisés pour la préparation de la peinture

I.3.1. Matières premières

Liants :

- Résine époxydique.
- Durcisseur phénolique.

Charge :

- Phosphate de zinc ($Zn_3(PO_4)_2$).
- Sulfate de baryum ($BaSO_4$).

Pigments :

- Oxyde de titane (TiO_2).
- Violet organique ($C_{34}H_{22}Cl_2N_4O_2$).
- Bleu phtalocyanine ($C_{32}H_{18}N_8$).
- Oxyde de fer rouge (Fe_2O_3).
- Oxyde de fer jaune ($FeO(OH)$)

Additifs :

- Agent d'Étalement.
- Agent de Glissement.
- Agent de Dégazage



Figure I.1. Matières premières utilisées.

I.3.1.1. Rôle des matières premières

- ✓ **La résine et le durcisseur** sont des constituants majeurs conférant ces propriétés physico-chimiques au revêtement.
- ✓ **Les charges** sont des participants à l'opacité et l'ajustement de la brillance principalement.
- ✓ **Les pigments** donnent la teinte ainsi que son opacité au film de peinture.

✓ **Les additifs** conférant des propriétés spécifiques ou un aspect particulier.

I.3.2. Matériels utilisés

- Bécher 500 g.
- Verre en montre.
- Balance de précision.
- Spatule.
- Extrudeuse.
- Broyeur.
- Tamis 0,125 μm .
- Pistolet électrostatique.
- Four + Pièces métallique.

I.4. Préparation de la peinture en poudre

La peinture en poudre est un produit fini : la teinte, la finition et les performances sont ainsi figées lors du procédé de fabrication qui se décompose en plusieurs étapes :

I.4.1. Contrôle des matières premières en poudre

Afin de préparer un produit conforme en caractéristiques, il est obligatoire d'assurer la conformité des matières premières utilisées pour la formulation des revêtements.

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

I.4.2. Pesage des matières premières

Les matières premières sèches sont conservées dans le dépôt central. Il s'agit de pigments, de charges et d'additifs, mais aussi de liants. Pendant le processus de production les quantités nécessaires de matières premières sèches sont soigneusement pesées jusqu'au gramme.

Dans cette partie on a utilisé comme matériel un bécher de 500 g pour les grandes quantités et un verre en montre pour les petites quantités, une balance pour peser les masses de différents constituants sites précédemment par l’outil d’une spatule.



Figure I.2. Pesage des constituants.

I.4.3. Pré-mélange

Toutes les matières premières utilisées dans les revêtements en poudre se trouvent en phase solide lorsqu'elles sont mélangées, nous avons mélangés à froid les constituants dans un mélangeur avec un remplissage manuel. Le polymère et les autres ingrédients tels que les pigments, charges, agents de réticulation...etc sont pesés avec précision et jetés dans une cuve de mélange. Les contenus sont ensuite mélangés ensemble pour produire un mélange homogène.



Figure I.3. La cuve de mélange.

I.4.4. Extrusion

L'extrusion est un procédé mécanique en continu, consiste à transformer la matière première (sous forme de granulés de polyéthylène) en bulle qui deviendra, une fois refroidie, une gaine. Le pré-mélange est ensuite introduit dans l'extrudeuse dont le cylindre est maintenu à une température prédéterminée exacte, elle dépend de la température de fusion de l'époxy dans la fiche technique qui est comprise entre 60°C et 80°C.

La température du cylindre est réglée de sorte que le polymère soit tout juste liquéfié. Une température trop élevée donnera une faible viscosité à l'état fondu, un faible cisaillement et une mauvaise dispersion des pigments, ce qui à terme ne produira pas des revêtements présentant les performances souhaitées. Le débit d'alimentation sur la trémie et la vitesse de la vis de l'extrudeuse, est ensuite équilibré afin que la vis reste entièrement chargée. Il s'agit ensuite d'ajuster soigneusement ces trois paramètres, ainsi que l'extrusion.



Figure I.4. L'extrudeuse.

Nous avons mélangés les différents constituants et les homogénéisés à chaud. Après l'étape du refroidissement, cette gaine servira de base à la confection de films, de feuilles, de plaques etc... Plus précisément, les granules sont chauffés à une température suffisante et sont ramollies sous forme d'une pâte, elle-même malaxée dans une vis d'extrusion. Le produit extrudé passe entre les rouleaux de refroidissement, file sous la forme de feuille d'environ 1 mm d'épaisseur.

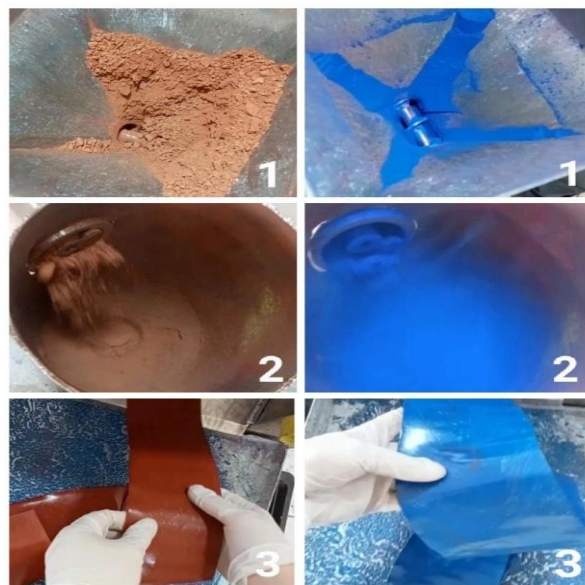


Figure I.5. Confection de film de peinture.

I.4.5. Concassage

C'est l'action de concasser, c'est-à-dire de réduire en petites parties, quelque matière dure ou sèche comme le film de peinture obtenue qui est ensuite divisé en copeaux d'environ 10 à 20 mm où le concassage est fait manuellement dans notre cas.



Figure I.6. Concassage du film de peinture.

I.4.6. Fraisage ou Broyage

Les copeaux sont ensuite broyés pour obtenir une répartition granulométrique adaptée au processus d'application, Pour cela, nous avons utilisés un broyeur. Dans les usines modernes, un tamis est utilisé pour limiter la taille maximale des particules. De plus, il faut savoir que les particules surdimensionnées sont réintroduites en continu dans le broyeur.



Figure I.7. Broyage des copeaux.

I.4.7. Tamisage

Il s'agit de l'opération finale du processus, quelle que soit la méthode utilisée pour produire la poudre. Cette opération est utilisée pour éliminer toutes sortes de particules surdimensionnées qui pourraient avoir traversé le broyeur afin d'obtenir une répartition granulométrique inférieure de 0,125 μm .



Figure I.8. Tamisage de peinture poudre.

I.4.8. Stockage de poudre

Après le tamisage final, la poudre est stockée dans des récipients bien fermés, ainsi que dans un endroit sec, afin d'éviter une éventuelle contamination ou accumulation d'humidité. Pour le stockage à long terme, la poudre doit être maintenue à une température aussi basse que possible, située préférablement au-dessous de 25°C. Les poudres doivent être tenues à l'écart des pièces en mouvement car la chaleur de friction peut faire fondre la poudre et éventuellement la faire durcir à l'intérieur du récipient.

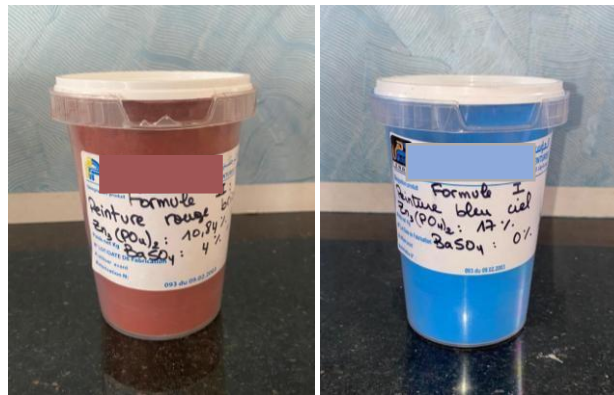


Figure I.9. Peinture en poudre finie.

I.5. Préparation des plaques métalliques

Les plaques (électrodes) de travail sont des plaques en acier de forme rectangulaire, revêtues par les différentes peintures formulées précédemment au moyen d'un pistolet pneumatique ou des lames. L'application de ces revêtements nécessite une préparation de la surface métallique (substrat). Tout d'abord les électrodes sont dégraissées avec un solvant organique (acide sulfurique) avec un pourcentage de dilution est de 5%.

Ensuite, les surfaces des électrodes sont polies manuellement en utilisant du papier et finalement, rincées avec de l'eau chaude à 40°C de température.

I.6. Application des revêtements

I.6.1. Dépôt de la poudre par pulvérisation électrostatique

La peinture en poudre est alimentée par de l'air comprimé est chargée électrostatiquement et pulvérisée sur la pièce par un pistolet pulvérisateur.



Figure I.10. Pistolet pulvérisateur.

D'abord, nous avons commencés toujours par charger positivement les pièces métalliques à peindre dans la cabine de poudrage qui est connecté à une prise mise à la terre pour que les charges positives passent à travers.

Ensuite, nous avons continués en chargeant négativement la peinture que l'on va appliquer. En définitif, l'objectif est d'obtenir deux courants qui s'opposent en sens inverse. Nous avons propulsés alors les particules négatives de la peinture à l'aide d'un pistolet.

Le métal chargé positivement les attire ainsi automatiquement comme un aimant, une couche à partir de 30 μm peut être réalisée.



Figure I.11. Cabinet de poudrage.

I.6.2. Pistolets de revêtement en poudre

Il existe au moins trois types de pistolets électrostatiques utilisés :

- Pistolets de charge "Tribo" où la charge électrostatique est générée par le frottement entre la poudre et le canon du pistolet.
- Pistolets de chargement "Bell" où la poudre est chargée en étant "jetée" du périmètre de la "cloche".

- Pistolets de charge "Corona" où un champ électrique ($> 30 \text{ kV/cm}$) est utilisé pour générer la charge électrostatique. Les pistolets Corona sont à chargement interne ou externe. C'est le système utilisé par l'ENAP.

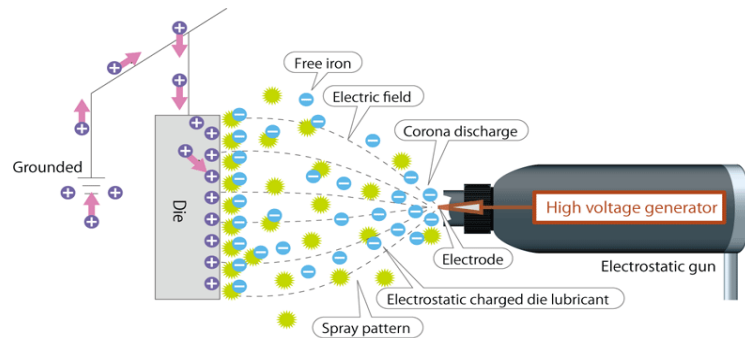


Figure I.12. Mécanisme de pulvérisation électrostatique.

I.6.3. Cuisson de la peinture en poudre thermodurcissable

La poudre stabilisée électrostatiquement est fondue et coulée à chaud, puis cristallisée et réticulée pour obtenir les propriétés finales du revêtement. Des fours à convection ou à infrarouge sont utilisés. La poudre passe par trois étapes importantes

- La fusion
- La gélification
- La polymérisation

Le but est de transformer un produit à l'état de poudre en un revêtement thermodurcissable solide, homogène et continu dans son réseau tridimensionnel.

- Les revêtements en poudre courants sont durcis à $180\text{-}200^\circ\text{C}$ pendant 10-15 min. Peinture en poudre basse température à partir de 140°C .
- Le temps de recul typique est d'environ triple du temps de gélification. Pour réchauffer le substrat, 2 minutes sont ajoutées pour chaque 1 mm d'épaisseur.
- Pour les revêtements en poudre liés par fusion, un durcissement à $220\text{-}250^\circ\text{C}$ pendant 1-5 min est utilisé.



Figure I.13. Four à convection.

CHAPITRE II :
Contrôle des caractéristiques
Mécaniques et chimiques
De la peinture

II.1. Introduction

Ce chapitre, représente les résultats expérimentaux relatifs à la conformité de la fabrication de la peinture en poudre thermodurcissable (peinture époxydique) des deux formules précédentes. Des tests de contrôle des caractéristiques mécaniques et chimiques des revêtements ont été faits pour valider la qualité de la peinture préparée.

II.2. Tests des Contrôles des caractéristiques mécaniques des revêtements

Dans cette partie, les différentes peintures anticorrosion à base de résine époxy feront l'objet de plusieurs tests mécaniques pour contrôler leurs résistances mécaniques selon des méthodes et des procédures normalisées.

Cette étude comparative aux normes de contrôle des films des peintures sera réalisée afin de déterminer la qualité et le comportement des revêtements avec le substrat après le séchage complet du film. Pour cela différents contrôles de qualité ont été effectués au moyen de techniques mécaniques à savoir :

- ✓ Test d'adhérence ;
- ✓ Test de résistance au choc ;
- ✓ Test d'épaisseur ;
- ✓ L'emboutissage ;
- ✓ Le pliage conique.

II.2.1. Test d'adhérence

II.2.1.1. Principe du test d'adhérence

Cette méthode permet de déterminer le comportement d'un film de peinture ou de vernis après incision en quadrillage. Elle consiste à déterminer le degré d'adhérence d'un film sec de peinture ou de vernis selon une notation de 0 à 5 (voir tableau II.1). Pour réaliser ce test, nous avons utilisés les matériels suivants :

- Peigne 1 mm ou 2 mm.
- Ruban adhésif normalisé ASTM D1000.
- Plaque d'acier 180 x 8 x 0,8 mm.

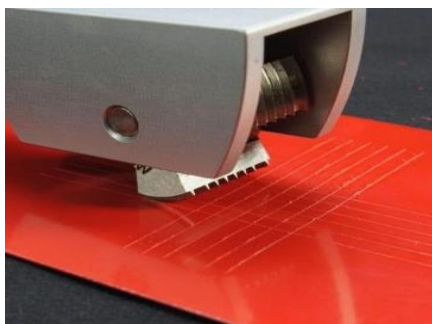


Figure II.1. Peigne de quadrillage.

II.2.1.2. Mode opératoire

Le revêtement ou le système complet à tester doit être appliqué et réticulé dans les conditions normales d'utilisation de ces produits. Il existe deux types de séchage : soit à l'air libre, soit à l'étuve.

Pour le séchage à l'air libre, il faut laisser les produits à l'air libre pendant une durée d'au moins 24 heures.

Pour le séchage dans une étuve, il faut laisser les plaques peintes à une température ambiante pendant 12 heures maximum.

Selon le type de peigne utiliser, nous avons pratiqués des incisions espacées de 1 ou 2 mm dans un sens puis dans le sens perpendiculaire afin d'obtenir un quadrillage. Il est important que la pression exercée sur le peigne soit constante et que le feuil soit incisé jusqu'au support ou jusqu'à la couche immédiatement en dessous (dans le cas d'essais d'adhérence entre couche). Ensuite, nous avons soufflés sur la partie quadrillage pour éliminer les fines particules qui sont détachées de l'incision.

Nous avons appliqués une bande ruban adhésif de façon à ce qu'elle colle entièrement sur la partie quadrillée et qu'il n'y ait aucune bulle d'air entre le ruban et le film de peinture. Puis, nous avons arrachés le ruban d'un mouvement rapide et continu. Enfin, nous avons examinés les parties quadrillées et les traces sur le ruban et noter les résultats selon le tableau de l'adhérence.

II.2.1.3. Résultats et interprétations

Les résultats du test d'adhérence sont donnés dans la figure II.2 et dans le tableau II.2. Pour interpréter les résultats du test d'adhérence, il faut faire une comparaison entre les parties quadrillées après scotch-âge par rapport aux quadrillages données dans le tableau II.1. Nous avons trouvés les bords des incisions parfaitement lisses ; aucun des carrés du quadrillage ne s'est détaché. Donc on peut dire que le classement de test d'adhérence est zéro.



Figure II.2. Résultat d'adhérence.

Tableau II.1 : Classement d'adhérence de 0 à 5.

Classement	Description	Surface de la partie quadrillée pour laquelle un écaillage s'est produit
0	Les bords des incisions sont parfaitement lisses ; aucun des carrés du quadrillage ne s'est détaché.	
1	Détachement de petites écailles du revêtement aux intersections des incisions, qui représentent environ 5 % de la partie quadrillée.	
2	Le revêtement s'est détaché le long des bords ou aux intersections des incisions, et représente nettement plus de 5 % jusqu'à environ 15 % de la partie quadrillée.	
3	Le revêtement s'est détaché le long des bords des incisions en partie ou en totalité en larges bandes ou s'est détaché en partie ou en totalité en divers endroits des quadrillages. La surface détachée représente nettement plus de 15 % jusqu'à environ 35 % de la partie quadrillée	
4	Le revêtement s'est détaché le long des bords des incisions en larges bandes ou quelques carrés se sont détachés en partie ou en totalité. La surface détachée représente nettement plus de 35 % jusqu'à environ 65 % de la partie quadrillée.	
5	Tous les degrés d'écaillage qui ne peuvent pas être classés selon la classification 4.	

II.2.2. Test de résistance au choc

II.2.2.1. Principe du test de résistance au choc

Cette méthode permet de vérifier la résistance au choc d'un film de peintures appliquée sur un support métallique. L'essai consiste à soumettre la plaque recouverte d'un film sec à un choc recto ou verso et à noter la hauteur d'impact selon les normes fixées sans craquelure ou décollement du film. Pour réaliser ce test, nous avons utilisés les matériels suivants :

- Appareil d'essai au choc.
- Plaque d'acier 180 x 80 x 0,8 mm.



Figure II.3. Appareil d'essai résistance au choc.

II.2.2.2. Mode opératoire

Nous avons appliqués la peinture sur plaque d'acier dans les mêmes conditions que celles utilisées par le client (épaisseur, séchage air, étuvage, etc...).

Pour les produits à séchage à l'air libre, nous avons laissés les produits au moins 24 heures à la température ambiante.

Pour les produits à séchage dans l'étuve, nous avons laissés les plaques peintes à la température ambiante pendant 12 heures maximum.

Ensuite, Nous avons déterminés l'épaisseur film sec, puis placés la plaque sur le support de l'appareil d'essai au choc 1 kg.

Puis, nous avons laissés tomber la masse de 1000 g à la hauteur de chute fixée par la norme sans craquelure ni décollement.

II.2.2.3. Résultats et interprétations

Les résultats du test de résistance au choc sont donnés dans la figure II.4 et dans le tableau II.2. Pour le test de résistance au choc, il est essentiel qu'aucune craquelure ou décollement n'apparaisse au niveau de la plaque recto ou verso. Et c'est ce que nous avons trouvé, comme le montre la figure II.4, qu'il n'y a pas une fissure ou une séparation de la couche de revêtement sur la plaque.

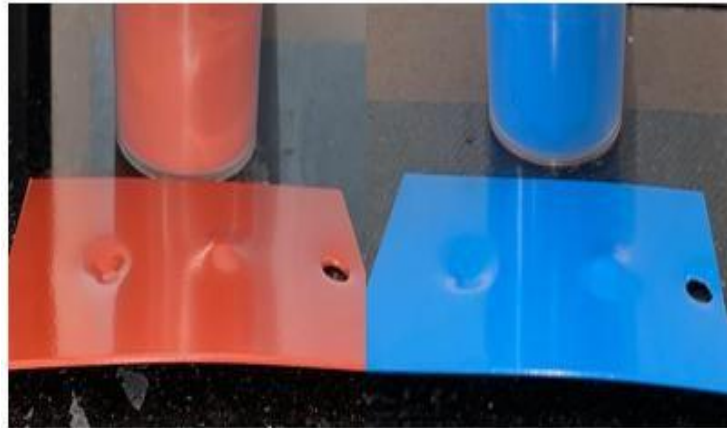


Figure II.4. Résultat de résistance au choc.

II.2.3. Test d'épaisseur

II.2.3.1. Principe du test d'épaisseur

Cette méthode consiste à mesurer l'épaisseur d'un film sec de peinture ou de vernis. La détermination de l'épaisseur du film sec se fait à l'aide d'une jauge d'épaisseur magnétique. Pour réaliser ce test, nous avons utilisés les matériels suivants :

- Jauge d'épaisseur magnétique.
- Plaque d'acier 180 x 80 x 0,8.



Figure II.5. Jauge d'épaisseur.

II.2.3.2. Mode opératoire

Tout d'abord, nous avons tournés la molette dans le sens des aiguilles d'une montre et amener le chiffre 0 en face de l'index du cardan. Ensuite, nous avons appliqués la jauge d'épaisseur magnétique sur la surface du film sec. Puis, nous avons tournés la molette dans le sens contraire des aiguilles d'une montre jusqu'à la retombée du pôle qui est aussi caractérisé par un bruit sec provoqué par la détente du ressort intérieur. Enfin, nous avons lis l'épaisseur film sec en microns sur le cadran de la jauge.

Nous avons refait la mesure trois fois en trois endroits différents et faire la moyenne des lectures.

II.2.3.3. Résultats et interprétations

Le résultat du test d'épaisseur moyen est donné dans la figure II.6, et dans le tableau II.2. Selon les normes ISO, l'épaisseur doit être comprise entre 50 et 80 mm. Nous avons trouvés des valeurs d'épaisseur de 54 mm et 68 mm pour les deux peintures Bleu ciel et Rouge brique respectivement, donc on peut dire que les résultats du test d'épaisseur sont bons.



Figure II.6. Résultat de test d'épaisseur pour les deux peintures Bleu ciel et Rouge brique.

II.2.4. L'emboutissage

II.2.4.1. Principe de l'emboutissage

Cette méthode consiste à vérifier la résistance à l'emboutissage d'un film de peinture appliqué sur un support métallique. L'essai consiste à soumettre la plaque recouverte d'un film sec à une déformation lente et à noter la profondeur de l'embouti selon les normes fixées sans craquelure ou décollement du film. Pour faire ce test, nous avons utilisés les matériels suivants :

- Emboutisseur Erichsen.
- Plaque d'acier 180 x 80 x 0,8 mm.

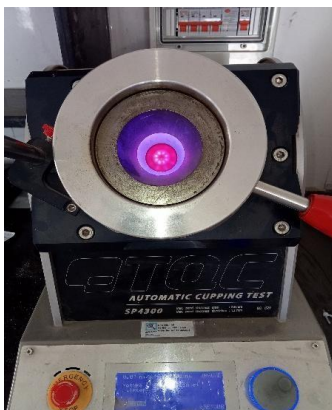


Figure II.7. Emboutisseur.

II.2.4.2. Mode opératoire

Tout d'abord, nous avons appliqués la peinture sur la plaque d'acier dans les mêmes conditions que celles utilisées par le client (épaisseur, séchage air, étuvage, etc...). Nous avons séchés les plaques peintes à températures ambiante pendant 12 h maximum si le séchage se fait dans une étuve, ou pendant 24 heures si le séchage se fait à l'air libre.

Nous avons déterminés l'épaisseur du film sec. Ensuite, nous avons serrés la plaque entre la bague et la matrice de l'emboutisseur, le revêtement étant du côté de la matrice.

Enfin, nous avons amorcés (automatiquement ou manuellement) l'extrémité sphérique du poinçon à vitesse constante jusqu'à la profondeur d'embouti exigée par les normes sans craquelure ni décollement.

II.2.4.3. Résultats et interprétations

Le résultat du test d'emboutissage est donné dans la figure II.8 et dans le tableau II.2.



Figure II.8. Résultat d'emboutissage.

Les résultats du test d'emboutissage nous ressort clairement de la figure II.8, que la concavité de la plaque métallique après déformation au niveau de l'embouti, n'a provoqué aucun cratère ou fissure, ce qui prouve la qualité du revêtement.

II.2.5. Le pliage conique

II.2.5.1. Principe du test du pliage conique

Cette méthode a pour objet de définir la résistance d'un film de peinture appliqué sur plaque métallique, aux fissurations et au décollement, lorsqu'il est soumis au pliage sur un mandrin conique. L'essai consiste à plier la plaque recouverte d'un film sec sur mandrin conique selon les normes fixées sans fissuration ou décollement du film. Pour faire ce test, nous avons utilisés les matériels suivants :

- Appareil de pliage muni d'un mandrin conique.
- Plaque d'acier 180 x 80 x 0,8 mm.



Figure II.9. Appareil de pliage conique.

II.2.5.2. Mode opératoire

Tout d'abord, nous avons appliqués la peinture sur la plaque d'acier dans les mêmes conditions que celles utilisées par le client (épaisseur, séchage air, étuvage, etc....). Nous avons séchés les plaques peintes à températures ambiante pendant 12 h maximum si le séchage se fait dans une étuve, ou pendant 24 heures si le séchage se fait à l'air libre. Nous avons déterminés l'épaisseur film sec.

Ensuite, nous avons glissés la plaque entre le mandrin et la barre de pliage et la face peinte étant tournée vers la barre. Nous avons serrés les visse de blocage. Puis baissés le levier de 180° à vitesse uniforme. Enfin, nous avons examinés aussitôt la plaque.

II.2.5.3. Résultats et interprétations

Les résultats du test de pliage conique sont donnés dans la figure II.10 et dans le tableau II.2.

Les résultats du test de pliage, nous assurent que la couche de peinture ne s'est pas décollée, nous avons remarqué que les plaques ont la capacité de s'allonger et d'adhérer à la couche de revêtement sous contrainte de flexion, il n'y a aucun détachement de peinture.



Figure II.10. Résultat de pliage conique.

Tableau II.2 : Résultats de contrôle des caractéristiques mécanique des primaires.

Nature de peinture	Adhérence	Choc recto/verso	Epaisseur	Emboutissage	Pliage conique
Norme	0 à 2	1kg/36 cm	(50 – 80) mm	(7 mm)	Bon
Peinture époxy (Bleu ciel)	0	Bon	65	Bon	Bon
Peinture époxy (Rouge brique)	0	Bon	52	Bon	Bon

II.2.6. Conclusion

Les résultats de contrôle des caractéristiques mécaniques de différents systèmes de peintures à base de résine époxydique (peinture époxy Bleu ciel et peinture époxy Rouge brique) montrent qu'elles sont conformes selon les normes ISO, donc, elles sont tous retenues pour une évaluation de leurs performances anticorrosion par brouillard salin.

II.3. Tests des Contrôles des caractéristiques chimiques des revêtements

II.3.1. Test brouillard salin

Un essai au brouillard salin est effectué pour vérifier la résistance à la corrosion du métal revêtu du revêtement préparé. Il est basé sur l'accélération du processus de corrosion. Elle est généralement définie comme une méthode d'évaluation des propriétés de l'acier et des revêtements. L'effet du test de corrosion est obtenu après un temps plus court par rapport à une exposition naturelle.

Dans cette évaluation, deux systèmes époxydiques de protection contre la corrosion avec différentes épaisseurs ont été testés à savoir :

- ✓ Système bicouches standard composé d'une couche anticorrosion et d'une couche de finition ;
- ✓ Système monocouche modifié composé d'une couche de peinture époxy (anticorrosion et finition).



Figure II.11. Bouillard salin.

II.3.2. Conditions opératoires

Les durées d'essais sur les pièces à tester, peuvent varier de quelques heures à plusieurs mois en fonction de leur niveau d'exposition en utilisation réelle. Les principaux paramètres sont :

- ✓ 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.
- ✓ La pulvérisation : continue.
- ✓ Le temps d'exposition : 30 jours.

Des sévérisations peuvent être appliquées en alternant : exposition au brouillard salin, température et humidité, et phase de séchage. Selon demande, il est possible d'alimenter les produits, de les mettre dans le processus de laminage, de fonctionnement continu..., et de surveiller les données de sortie : courant, tension, pression...


II.3.3. Résultats et interprétations

Les résultats du test brouillard salin ont montrés que les plaques étaient compatibles et conformes en tous points et il n'y a pas de corrosion pénétrante. Les résultats obtenus prouvent que le système de peinture monocouche formulé à base de la résine époxydique présente de bonnes performances anticorrosion (pas de formation des cloques).

II.3.4. Conclusion


Afin d'assurer une bonne protection du métal et d'éviter la perméabilité des agents corrosifs tel que l'eau et l'oxygène à travers le film, l'épaisseur de film de la couche de système de peinture monocouche doit être supérieure à 100 μm .

On peut dire également, que lorsque le pourcentage de l'agent anticorrosion introduit dans la formule est suffisant par apport aux pourcentages des pigments et charges ainsi qu'avec les autres composants de la formule, elle présente une bonne protection contre la corrosion que lorsqu'il est insuffisant.



CONCLUSION

GENERALE



Conclusion générale

Notre travail a focalisé sur la préparation d'une peinture en poudre à base de la résine époxydique en deux formules : Bleu ciel et Rouge brique.

La préparation de la peinture en poudre a suivi par un contrôle de son qualité, pour cela des tests de contrôle des caractéristiques mécaniques et chimiques de la peinture préparée ont été réalisés

Les résultats des tests mécaniques montrent que le système de peintures monocouche formulé à base de la résine époxydique répond aux normes de contrôle ISO.

L'agent anticorrosion phosphate de zinc utilisé dans la couche de primaire présente une compatibilité meilleure avec la résine époxydique, cette compatibilité a pour résultat que les plaques ne se corrodent pas même si la quantité de phosphate de zinc varie dans chaque formulation. On peut dire alors, que plus la quantité d'inhibiteur de phosphate de zinc dans la formule est élevée, plus la corrosion est diminuée.

Les résultats obtenus lors de test brouillard salin montrent que la peinture époxy (système monocouche) présente des performances anticorrosion comparables (pas de formation des cloques) par rapport à celles de référence.

Après cette étude comparative et les résultats satisfaisants obtenus lors des différents contrôles, le système monocouche à base de la résine époxydique peut constituer une alternative réelle et concrète comme peintures de remplacement. Cela va certainement contribuer à l'amélioration des systèmes de protection des pipelines et bacs de stockage en intérieure, et ainsi soutenir les objectifs économiques, commerciaux et environnementaux de l'entreprise.

Le système primaire (monocouche) anticorrosion offre plusieurs avantages par rapport à l'ancien système de référence à savoir :

- ❖ Peinture écologique (pas de COV / recyclable) ;
- ❖ Pas des coulures à des épaisseurs élevées ;
- ❖ Économique (gain du temps / aucun déchet) ;
- ❖ Réduit les risques d'incendies (pas de transport des produits toxiques) ;
- ❖ Utilisation facile par plusieurs modes d'application.



**Références
bibliographiques**



Références bibliographiques

- [1] Informations fournies par l'entreprise ENAP.
- [2] Benarioua, M., 2019. Etude de l'Inhibition de la Corrosion d'un Acier Doux en Milieu Acide par l'Emploi d'Inhibiteurs à Base de Plantes. Thèse de Doctorat, Université de Mostefa Ben Boulaïd Batna 2.
- [3] Bouhria, K., 2021. Corrosion et protections des métaux. Support du cours, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF.
- [4] Mansouri, M.E.M., 2020. Etude de la corrosion en utilisant les inhibiteurs. Mémoire de Master, Université Mohamed Khider de Biskra.
- [5] Coombs, J., 1999. Fundamentals of corrosion mechanics, Chevron Corporation, New York.
- [6] Didi, A., Hamadi, F., 2018. Etude de corrosion bactérienne champs Hassi Messaoud. Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [7] Mehibil, R., 2008. Etude de l'efficacité inhibitrice de quelques nouveaux inhibiteurs, dits non polluants, sur la corrosion de deux types d'alliages d'aluminium. Mémoire de Magister, Université de Skikda.
- [8] Chinogurei, C., 2018. Propriétés inhibitrices de l'huile de Cade sur la corrosion de l'aluminium. Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar-Annaba.
- [9] Lefevre, B., 2014. Corrosion des aciers revêtus de Zinc dans les zones confinées des carrosseries automobiles, Thèse de Doctorat, Université de Pierre et Marie Curie, Paris VI.
- [10] Lebreton, R., Ecuyer, M., Portaz, T., 2005. Peintures en solvants : Composition, risques toxicologiques, mesures de prévention, INRS, ED 971, Paris.
- [11] Bouhafer, A., 2009. Etude de la dégradation d'une peinture de carrosserie automobile. Mémoire de Magister, Université de M'Hamed Bougara, Boumerdes.

ملخص

توفر الطلاءات (العضوية أو المعدنية) والدهانات حماية سلبية ضد تآكل المعدات المعدنية فتحد من تدفق العناصر العدوانية من خلال إنشاء حواجز مادية. معظم الطلاءات لا تغطي جيدا، لذا فإن التلامس بين المعادن والسوائل المسببة للتآكل أمر لا مفر منه. تعتمد فعالية الطلاءات المضادة للتآكل على الخصائص الجوهرية للفيلم العضوي (تأثير الحاجز)، والتصاقه (واجهة المعدن / الطلاء) ولوجود مثبتات تمنع اختراق طبقة المعدن. تعتمد أهدافنا البحثية على: دراسة تأثير هذه المثبتات العضوية على خواص الحاجزة لدهانات الايبوكسي، وتحديد التركيز الأمثل للزنك في صياغة الطلاء بحيث يوفر حماية فعالة ضد التآكل، والتأكد من أن طلاء المسحوق يحتوي على أداء ميكانيكي مُرضٍ، مثل مقاومة عالية للصدمات ومرونة كافية لمقاومة تشوهات الركيزة. تم إجراء دراسة على التآكل والطلاء بواسطة الاختبارات الميكانيكية والكيميائية. لقد مكنتنا هذه الاختبارات من إثبات دور مثبت فوسفات الزنك في الصيغة وحتى إثبات جودة الدهانات المضادة للتآكل التي تنتجها وحدة ENAP.

الكلمات المفتاحية: طلاء، دهان مضاد للتآكل، تآكل، التصاق، مثبتات، مرونة، تشوهات.

Résumé

Les revêtements (organiques ou minéraux) et les peintures assurent une protection passive contre la corrosion des équipements métalliques en limitant le flux d'éléments agressifs en créant des barrières physiques. La plupart des revêtements ne couvrent pas bien, de sorte que le contact entre les métaux et les liquides corrosifs est inévitable. L'efficacité des revêtements anticorrosion dépend des propriétés intrinsèques du film organique (effet barrière), de son adhérence (interface métal/revêtement) et la présence d'inhibiteurs qui empêchent la pénétration de la couche métallique. Nos objectifs de recherche reposent sur : Etudier l'effet de ces inhibiteurs organiques sur les propriétés barrières des peintures époxy, Déterminer la concentration optimale de phosphate de zinc dans la formulation du revêtement afin qu'elle assure une protection efficace contre la corrosion, et S'assurer que le revêtement en poudre présente des performances mécaniques satisfaisantes, telles qu'une résistance élevée aux chocs et une élasticité suffisante pour résister aux déformations du substrat.

Une étude de corrosion et de revêtement a été réalisée par des tests mécaniques et chimiques. Ces essais nous ont permis de prouver le rôle de l'inhibiteur de phosphate de zinc dans la formulation et même de prouver la qualité des peintures en poudre anticorrosion produites par l'unité ENAP.

Mots clés : Revêtement, peinture anticorrosion, corrosion, adhérence, l'inhibiteurs, élasticité, déformations.

Abstract

Coatings (organic or mineral) and paints provide passive protection against corrosion of metal equipment by limiting the flow of aggressive elements by creating physical barriers. Most coatings do not cover well, so contact between metals and corrosive liquids is unavoidable. The effectiveness of anti-corrosion coatings depends on the intrinsic properties of the organic film (barrier effect), its adhesion (metal/coating interface) and the presence of inhibitors which prevent penetration of the metal layer. Our research objectives are based on Studying the effect of these organic inhibitors on the barrier properties of epoxy paints, Determining the optimal concentration of zinc phosphate in the coating formulation so that it provides effective protection against corrosion, and S' ensure that the powder coating has satisfactory mechanical performance, such as high impact resistance and sufficient elasticity to resist deformations of the substrate. A corrosion and coating study was carried out by mechanical and chemical tests. These tests allowed us to prove the role of the zinc phosphate inhibitor in the formulation and even to prove the quality of the anti-corrosion powder paints produced by the ENAP unit.

Keywords: anticorrosion paint, corrosion, adhesion, inhibitors, elasticity, deformations.