

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE 08 MAI 1945 « GUELMA »
FACULTE SCIENCE DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE DE PROCEDES



Mémoire de projet de fin d'étude

Filière : génie procédés

Option : génie des procédés : génie chimique

2eme année Master

Formulation d'une peinture antirouille

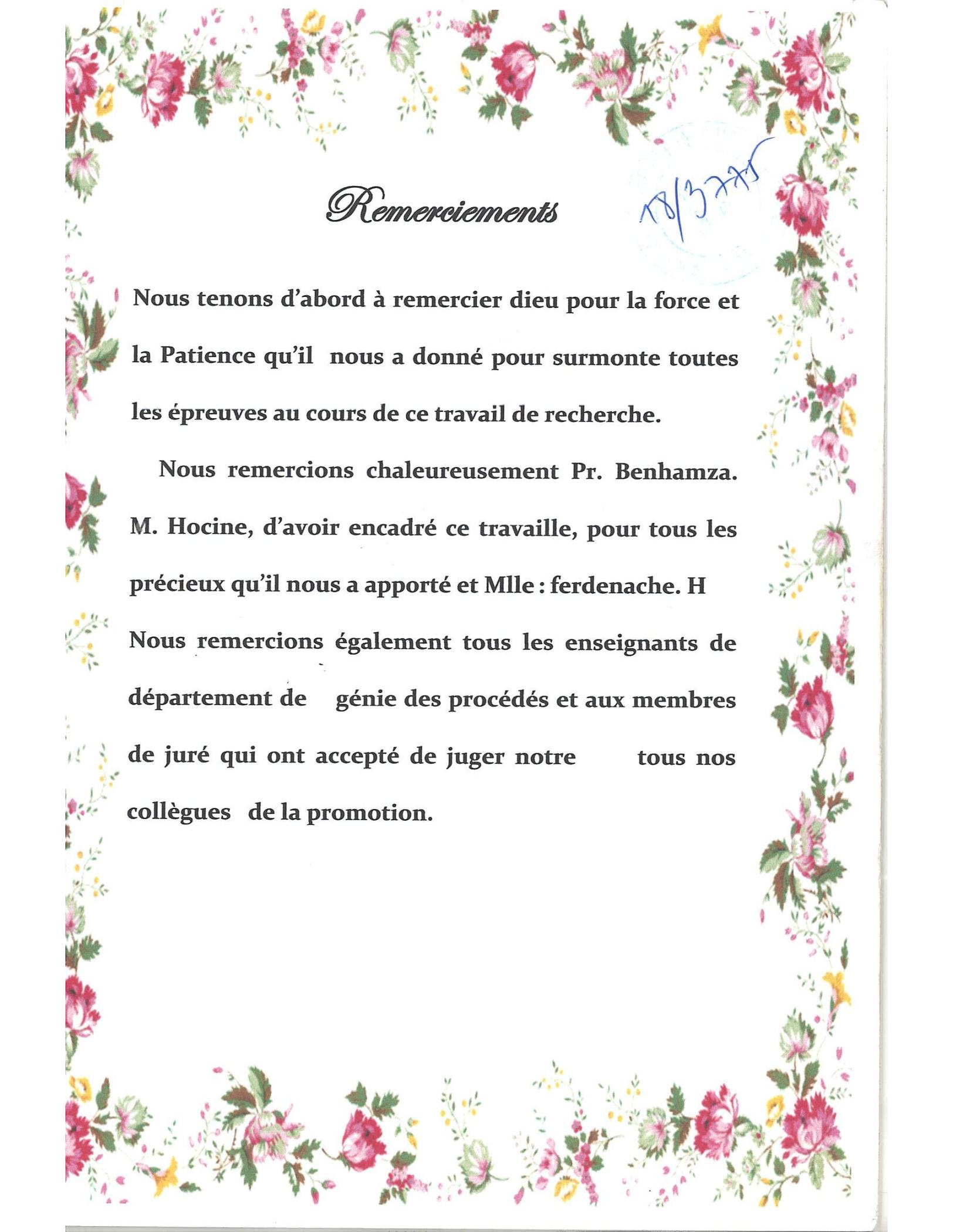
Présenté par :

- ❖ Youssouf moussa kach
- ❖ Athamnia idriss

Sous la direction de :

- ❖ Pr. Benhamza M Hocine

Juin 2018



Remerciements

Nous tenons d'abord à remercier dieu pour la force et la Patience qu'il nous a donné pour surmonter toutes les épreuves au cours de ce travail de recherche.

Nous remercions chaleureusement Pr. Benhamza. M. Hocine, d'avoir encadré ce travail, pour tous les précieux qu'il nous a apporté et Mlle : ferdenache. H

Nous remercions également tous les enseignants de département de génie des procédés et aux membres de juré qui ont accepté de juger notre tous nos collègues de la promotion.



Dedicace

A mes très chers parents qui ont toujours été pour moi , et qui m'ont donné un magnifique modele de labeur et preserverance .

Je dédie aussi ce modeste mémoire 'A toute ma famille , frères et sœurs. Sur tout à mon binome Athaminia Idriss qu'on a passé un moment durant notre travaille collectif .

A tous les employeurs de l'ENAP

Maïs aucune déldicace ne serait témoin de notre profond amour , mon immense gratitude et mon plus grand respect , car on ne pourrait jamais oublier la terndresse et l'amour dévoué par lesquels ils m'ont toujours entouré depuis mon enfance

Est tout ceux -ci dédie le fruit de mes efforts qui est ce mémoire.



Dedicace

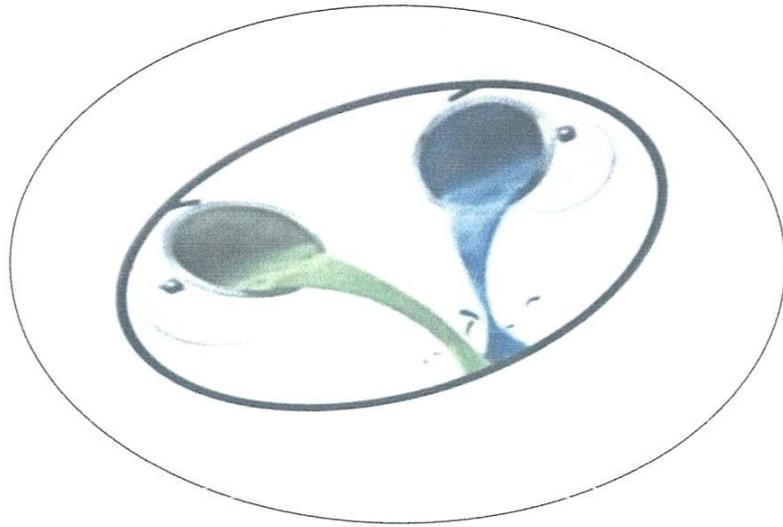
*A mes très chers parents qui ont toujours été pour moi , et qui m'ont donné
un magnifique modele de labeur et preserverance .*

*Je dédie aussi ce modeste mémoire A toute ma famille , frères et sœurs. Sur tout
à mon binome **youssof Moussa Kach** qu'on a passé un moment durant notre
travail collectif .*

A tous les employeurs de l'ENAP

*Maïs aucune dédicace ne serait témoin de notre profond amour , mon
immense gratitude et mon plus grand respect , car on ne pourrait jamais
oublier la tendresse et l'amour dévoué par lesquels ils m'ont toujours entouré
depuis mon enfance*

Est tout ceux -ci dédie le fruit de mes efforts qui est ce mémoire.



Liste des matières

Sommaire

Introduction	01
Chapitre I : Présentation de l'entreprise E.N.A.P	
I. présentation de l'entreprise E.N.A.P.....	02
I.1 Organisation de l'unité.....	03
Département maintenance.	03
Département production.....	03
Département commerciale	03
Département laboratoire	03
I.2 Activité de l'unité	03
I.3 Système technologique.....	04
I.4 Domaines d'application des peintures de l'ENAP.....	05
I.5 PROCESSUS DE FABRICATION DES PEINTURES.....	07
I.5.1 Ligne Fabrication Résines Alkydes (Polycondensation)	08
I.5 Ligne Fabrication Émulsion	08
I.6 Contrôle de la Qualité Recherche et Développement.....	0.8
Chapitre II : généralités sur les peintures	
II.1 Introduction	11
II.2 Définition de peinture	11
II.3 Composition de peinture.....	12
II.3.1 Les liants.....	12
II.3.2 les pigments.....	13
II.3.3 Les charges.....	14
II.3.4 Les solvants	14
II.3.5 Les additifs ou les adjuvants	16
II.4 Rôle des peintures	16
II.5 Différentes types de peinture.....	17
II.5.1 peinture à l'eau	17
II.5.2 peintures aux résines	18
II.5.3 peinture en phase solvant	19
II.5.4 peintures naturelles	19
II.5.5 peintures en phases aqueuse.....	19

Sommaire

II.5.6 peintures en poudre.....	20
II.6. Type de peinture suivant mode de formation de film	21
II.6.1 Séchage physique	21
II.6.2 Polymérisations par action chimique.....	21
II.6.3 Réaction chimique divers	21
II.7 Mode de fabrication des peintures.....	22
II.7.1 Contrôle des matière premières... ..	22
II.7.2 Préparation des peintures	22
II.8 processus de fabrication des peintures.....	24
II.9 Action sur la consistance des peintures.....	25
II.10 Différents gammes peinture.....	25
II.10.1 Peinture pour bâtiments.....	25
II.10.2 Peinture carrosseries	25
II.10.3 Peintures marines	25
II.10.4 vernis	26

Chapitre III : Rhéologie

III.1 Introduction	27
III.2 Différents types de la rhéologie.....	27
III.3 Grandeurs étudiées en rhéologie.....	28
a) Mouvement de cisaillement.....	28
b) vitesse de cisaillement	28
c) la contrainte de cisaillement	29
d) Déformation de cisaillement	30
e) Gradient se vitesse	30
f) Viscosité.....	31
III.4 Différents comportements rhéologiques	32
a) Fluide newtonien	32
b) Fluide rhéo-épaississants	33
c) Fluide de thixotropie.....	33
d) Fluide anti-thixotropes.....	33
e) Fluide viscoélastiques.....	34
f) Fluides plastiques.....	34

III.5 Le Facture temps en rhéologie.....	36
III.6Fluage	36
III.7 Oscillation	38

Chapitre IV : Notion sur la rouille

IV.1. Notions de corrosion des métaux.....	39
IV.1. Introduction.....	39.
IV.2 Formation de rouille	39
IV.2.1 Les type de corrosion.....	40
a) Corrosion chimique.....	41
b) Corrosion électrochimique.....	41
C) Corrosion biochimique.....	42
d) Corrosion accompagnée d'usure.....	42
IV.3. Différents types d'oxydes issus lors de la corrosion de l'acier.....	42
IV.3.1 Les forme de corrosion.....	42
IV.3.2 Corrosion uniforme.....	42
IV.3.3 Corrosion par piqûres.....	44
IV.3.4 Corrosion galvanique.....	44
IV.3.5 Corrosion intergranulaire.....	45
IV.3.6 Corrosion sélective.....	45
IV.3.7 Corrosion caverneuse.....	46
IV.3.8 Corrosion filiforme.....	46
IV.3.9 Corrosion sous contraintes.....	46
IV.3.10 Application de diagramme potentiel Ph.....	47
IV.4. Les peintures dans la lutte contre la corrosion.....	47
IV.4.1. Les revêtements métalliques.....	48
IV.4.2. Les revêtements anodiques.....	49
IV.4.3. Les revêtements cathodiques.....	49
IV.4.4 Les revêtements organiques.....	50
IV.4.4.1. Les bitumes.....	50
IV.4.4.2. Les revêtements polymériques.....	50
IV.4.4.3 Système de protection par les peintures.....	50
IV.5. Durabilité des peintures.....	52

IV.6. La peinture anticorrosion...	53
IV.7. Les étapes de formation d'un film de peinture.....	56
IV.8 Influence de la peinture de la corrosion sur le film de peinture	57
IV.9. Lutte contre la corrosion par l'utilisation des inhibiteurs	59
IV.9.1. Propriété.....	59
IV.9.1. Les conditions nécessaires à l'utilisation d'un inhibiteur	60

Chapitre V : Méthodes expérimentales

V.1 Introduction	62
V.2 Méthodes de la contrôle	62
V.2.1 détermination de la viscosité « Coupes Ford	62
a) Principe.....	62
b) Caractéristiques	62
c) Mode opératoire.....	62
V.2.2 Détermination de l'extrait sec	63
a) Principe.....	63
b) Appareillage	63
c) Mode opératoire	64
d) Expression des résultants	64
V.2.3 Détermination de la densité	64
a) principe.....	64
b) Appareillage.....	64
c) Mode opératoire.....	65
d) Expression des résultants	65
V.2.4 Détermination de la durée de séchage hors toucher (HT) et sec	65
a) Principe.....	65
b) Appareillage.....	65
c) Mode opératoire.....	66
IV.5 Détermination de la brillance	66
a) Principe.....	66
b) Appareillages.....	66
c) Mode opératoire.....	66
d) Expression des résultats.....	66

Sommaire

IV.2.6 Rendement	66
a) Principe.....	66
b) Appareillages et produit	66
c) Mode opératoire	67
d) Expression des Résultats	67
IV.2.7-Mesure de l'épaisseur d'un film sec de peinture ou de vernis	68
a) Principe	68
b) Appareillages et produits	68
c) Mode opératoire	68
VI.2.8- Méthode de détermination de la dureté Persoz au pendule Persoz	69
a) Principe.....	69
b) Appareillages et produits	69
c) Mode opératoire	69
d) Expression des résultats.....	69
VI.2.9 Méthode de détermination du degré d'adhérence	69
a) Principe	69
b) Appareillages et produits	69
c) Mode opératoire	70

Chapitre VI : Résultat et Discussion

VI.1 Introduction	72
VI.1.1 Glyfer économique référence.....	72
VI.1.2 Formulation du Glyfer	73
VI.1.3 L'emballage	73
VI.1.4 Broyage	74
VI.1.5 Diluant	74
VI.1.6 La filtration	74
VI.2 Mesures et les tests de peinture Glyfer	75
VI.2.1 La mesure de finesse de la peinture Glyfer	75
VI.2.2 Détermination de la densité du Glyfer.....	75
VI.2.3 Viscosité du type « Coup Ford »	76
VI.2.4 Rendement du Glyfer	77
VI.2.5 Détermination de l'épaisseur du film humide du Glyfer.....	78

Sommaire

VI.2.6 Le séchage hors touche (HT) et sec du Glyfer.....	78
VI.2.7 Mesure de l'épaisseur du film sec Glyfer.....	79
VI.2.8 La durite	79
VI.2.9 L'adhérence	80
VI.2.10 La Brillance.....	81
VI.4 Première formulation minerais (6.5%) plus 0.5% Calamine	83
VI.4.1 Mesure et la teste de la formulation I	83
VI.4.1.1 Détermination de densité de la formulation I.....	83
VI.4.1.2 Viscosimètre du type « Coup Ford » de la formulation I.....	83
VI.4.1.3 Extrait sec formulation I	84
VI.4.1.4 Rendement I	85
VI.4.1.5 Détermination d'épaisseur film de la plaque I.....	85
VI.4.1.6 Le séchage hors touche (HT) et sec plaque I.....	85
VI.4.1.7 Mesure de l'épaisseur d'un film sec de la plaque I.....	86
VI.4.1.8 La dureté I	86
VI.4.1.9 brillance de la plaque I.....	86
VI.4.10 brillance de la plaque I	86
VI.4.11 Adhérence sur plaque I	87
VI.5 Deuxième formulation (<i>Formulation II</i>).....	88
VI.5.1 Mesure et la teste de la formulation II	88
VI.5.1.1 Détermination de la viscosité « Coupes Ford » et de la Densité II	88
VI.5.1.3 L'extrait sec de la formulation II	88
VI.5.1.4 Rendement de la plaque II	89
VI.5.1.5 l'épaisseur film humide plaque II.....	89
VI.5.1.6 Le séchage hors touche (HT) et sec plaque II.....	89
VI.5.1.7 Dureté Persoz II.....	90
VI.5.1.8 Teste de brillance plaque II.....	90
VI.5.1.9 Mesure d'adhérence II.....	90
VI.6 Les tests rhéologique de la peinture préparée à partir de différentes formulations	91
V.7 Tests de la corrosion dans des différentes solutions.....	92
V.7.1 Le résultat des Tests de la corrosion dans des différentes solutions	93
Conclusion générale	96
Annexe

Liste d'abréviation

CVO: Bohlin instruments (BOHLIN SOFI WARE PROCUT).

D : La densité

ES : L'extrait sec

ENAP : Entreprise Nationale de peinture

E / H : Eau dans l'huile

PS : poise

S : Seconde

t : temps

t_C : caractéristiques

t_E : temps d'observation

η : la viscosité

η_0 : viscosité de la phase continue pure

Φ : Volume de la phase dispersée / volume de la phase continue

τ : contrainte de cisaillement

γ : La déformation de cisaillement

μ : viscosité dynamique

ν : viscosité cinématique

ρ : La masse volumique du fluide

σ_0 : contrainte constante

Liste des figures

Figure I.1: Processus de fabrication de peinture	07
Figure I.2: Fabrication de résine alkyde.....	07
Figure I.3: Fabrication d'émulsion	08
Figure I.4: Contrôle des Matières premières à la réception	08
Figure I.5: Contrôle des produits en cours de fabrication (finesse, viscosité).....	09
Figure I.7: Différentes types de peinture produit dans L'ENAP.....	10
Figure II.1: principe de fonctionnement des pigments.....	14
Figure II.2: Différentes étapes de la fabrication d'une peinture	23
Figure III.1: Mouvement de cisaillement	28
Figure III.2: Vitesse de cisaillement.....	29
Figure III.3 : La contrainte de cisaillement	29
Figure III.4: Déformation de cisaillement	30
Figure III.5 : Gradient de vitesse des fluides	30
Figure III.6 : Courbe d'écoulement (gauche) et de viscosité (à droite) pour un fluide newtonien	32
Figure III.7: Courbes schématique d'écoulement (à gauche) et de viscosité (à droite) pour un fluide rhéoépaississant.....	33
Figure III.8: thixotropie (a) et anti-thixotropie(b).....	34
Figure III.9: Rhéogramme d'un corps de Bingham	35
Figure III.10: Rhéogramme d'un corps de Casson.....	35
Figure III.11 : Fluage primaire, secondaire et tertiaire.....	36
Figure IV.1: le mécanisme électrochimique de l'oxydation du fer	38
Figure IV.2 : différents dépôts de la rouille	39
Figure IV.3: Amorçage (a) et propagation (b) d'une piqûre	44
Figure IV.4 : Représentation schématique d'une pile de corrosion	45
Figure IV.5: Diagramme stabilité du fer dans l'eau	48
Figure IV.6 : Présentation des revêtements métalliques	49
Figure IV.7 : Système de protection par les peintures	51
Figure IV.8 : Mécanisme de dégradation par des films de peinture.....	53
Figure IV.9 : Représentation schématique des différentes étapes déformation d'une peinture	56

Figure V.1: Viscosimètre « Coupes Ford»	61
Figure V.2: Thermomètre	61
Figure V.3: Etuve thermostatique	62
Figure V.4: Balance de précisions	62
Figure V.5: Dessiccateur	62
Figure V6: Pycnomètres.....	63
Figure VI.1: Appareil agitateur	73
Figure VI.2: Mesure de la finesse des grains	74
Figure VI.6: Epaisseur du film humide	78
Figure VI.7: Appareille de mesure du film sec	79
Figure VI.8 : l'appareillage du pendule Persoz	79
Figure VI.9 : Appareil de mesure de l'adhérence	80
Figure VI.10 : Photographié d'une prise d'huile	82
Figure VI.11: Résultat de l'adhérence	87
Figure VI.12 : Evaluation de la viscosité en fonction de gradient de vitesse de la peinture à différent pourcentage de minerai de fer	92

Introduction générale

Excepté quelques matériaux nobles comme l'or ou le marbre, tous les supports doivent être revêtus d'un film de peinture dont le but soit de les protéger contre différentes agressions, soit de les rendre plus décoratifs, soit enfin d'assurer une fonction technique telle que par exemple réfléchir la lumière dans le cas de dispositifs lumineux.

Une peinture est une préparation fluide qui peut être liquide ou pâteuse, qui s'étale en couche mince sur toutes sortes de matériaux appelés subjectiles. Après séchage ou réticulation un revêtement mince ou film, adhérent et résistant jouant un rôle protecteur et / ou décoratif, est formé. Sur l'ensemble des peintures, celles en solvant plus connues employées en milieu industriel fait partie de cette catégorie, la seconde moitié comprenant les peintures en phase aqueuse et les peintures en poudres.

Dans sa conception, la peinture est un matériau composite particulier puisqu'elle comporte généralement, dans sa composition de nombreux éléments, qui confèrent au produit des propriétés physico-chimiques spécifiques. Les peintures en phase solvant contiennent des solvants organiques indispensables pour la mise en solution (ou en dispersion) des liants qui les constituent. Comme toutes les peintures, elles sont constituées des éléments principaux qui sont le liant, les solvants, les pigments, les charges et les additifs.

De nos jours, la corrosion est partout, qui est une destruction non voulue des métaux sous l'action de milieux corrosifs. Après attaque, les métaux ont tendance à retourner à leurs états primitifs par rapport au milieu considéré et ainsi à subir une détérioration de leurs propriétés.

Ce phénomène a pris de nos jours une importance considérable, étant donné l'utilisation de plus en plus grande des métaux et alliages dans la vie moderne. Au point de vue économique la corrosion est d'une importance primordiale. On estime, chaque année un quart de la production des métaux ferreux est détruite par la corrosion, ce qui correspond à environ à 150 millions de tonnes/an ou encore 5 tonnes/seconde ces pertes pouvait être supérieures s'il n'y avait pas la protection contre la corrosion.

L'objectif principal de ce travail est de formuler une nouvelle peinture anti-rouille en étudiant ses différentes caractéristiques.

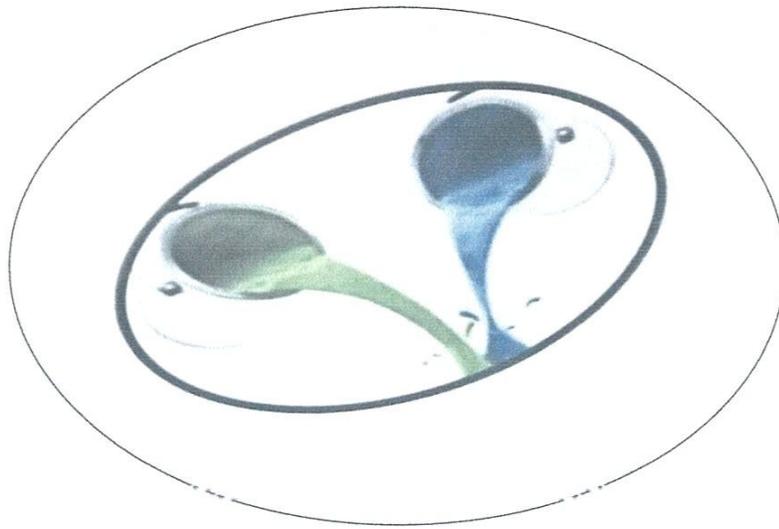
Introduction générale

Le présent travail comporte six chapitres :

- Le premier donne une présentation générale de l'entreprise de peinture E.N.AP.
- Le deuxième chapitre présente des généralités sur la peinture.
- Le troisième chapitre expose la théorie de la rhéologiques et les différents comportements rhéologiques.
- Le quatrième chapitre donne un aperçu sur la notion de la rouille
- Cinquième chapitre présente l'étude expérimentale de la formulation de peinture anti-rouille
- Le dernier chapitre étale les résultats ainsi que leur interprétation, et enfin nous couronnons ce mémoire par une conclusion générale.

Liste de tableau

Tableau I.1: Domaine d'application des peintures à L'ENAP	05
Tableau II.1: Comparaison des propriétés des peintures en phase aqueuse et en phase solvant	20
Tableau VI.1: les caractéristiques et normes	72
Tableau VI.2: formulation des peintures	72
Tableau VI.3: taux de dilution	73
Tableau VI.4: les résultats de la brillance	80
Tableau VI.5: teste de la prise d'huile	81
Tableau VI.6: les résultats de la brillance plaque I	86
Tableau VI.7: les résultats de la brillance plaque II	91



Introduction générale

Introduction général

Excepté quelques matériaux nobles comme l'or ou le marbre, tous les supports doivent être revêtus d'un film de peinture dont le but soit de les protéger contre différentes agressions, soit de les rendre plus décoratifs, soit enfin d'assurer une fonction technique telle que par exemple réfléchir la lumière dans le cas de dispositifs lumineux.

Une peinture est une préparation fluide qui peut être liquide ou pâteuse, qui s'étale en couche mince sur toutes sortes de matériaux appelés subjectiles. Après séchage ou réticulation un revêtement mince ou film, adhérent et résistant jouant un rôle protecteur et / ou décoratif, est formé. Sur l'ensemble des peintures, celles en solvant plus connues employées en milieu industriel fait partie de cette catégorie, la seconde moitié comprenant les peintures en phase aqueuse et les peintures en poudres.

Dans sa conception, la peinture est un matériau composite particulier puisqu'elle comporte généralement, dans sa composition de nombreux éléments, qui confèrent au produit des propriétés physico-chimiques spécifiques. Les peintures en phase solvant contiennent des solvants organiques indispensables pour la mise en solution (ou en dispersion) des liants qui les constituent. Comme toutes les peintures, elles sont constituées des éléments principaux qui sont le liant, les solvants, les pigments, les charges et les additifs.

De nos jours, la corrosion est partout, qui est une destruction non voulue des métaux sous l'action de milieux corrosifs. Après attaque, les métaux ont tendance à retourner à leurs états primitifs par rapport au milieu considéré et ainsi à subir une détérioration de leurs propriétés.

Ce phénomène a pris de nos jours une importance considérable, étant donné l'utilisation de plus en plus grande des métaux et alliages dans la vie moderne. Au point de vue économique la corrosion est d'une importance primordiale. On estime, chaque année un quart de la production des métaux ferreux est détruite par la corrosion, ce qui correspond à environ à 150 millions de tonnes/an ou encore 5 tonnes/seconde ces pertes pourraient être supérieures s'il n'y avait pas la protection contre la corrosion.

Introduction général

L'objectif principal de ce travail est de formuler une nouvelle peinture antirouille en étudiant ses différentes caractéristiques.

Le présent travail comporte six chapitres :

- Le premier donne une présentation générale de l'entreprise de peinture E.N.AP.
- Le deuxième chapitre présente des généralités sur la peinture.
- Le troisième chapitre expose la théorie de la rhéologiques et les différents comportements rhéologiques.
- Le quatrième chapitre donne un aperçu sur la notion de la rouille
- Cinquième chapitre présente l'étude expérimentale de la formulation de peinture anti-rouille
- Le dernier chapitre étale les résultats ainsi que leur interprétation, et enfin nous couronnons ce mémoire par une conclusion générale.

I : Présentation de l'entreprise ENAP**Introduction**

Après la réorganisation des Entreprise Nationales des Industries Pétrochimique, l'Entreprise Nationale des Peintures ENAP est née par le décret N° 419-82 en date du 04/12/1982. Elle est entrée en activité à partir de janvier 1985. Son siège administratif se trouve à LAKHDARIA (Wilaya) BOUIRA.

C'est une entreprise par action avec un chiffre d'affaire qui vaut **500.000.000 DA**

L'Entreprise Nationale des Peintures ENAP est chargée dans le cadre du plan national du développement des activités de production des peintures et de ces dérivés, dans le but de couvrir les besoins dans ce volet.

Elle a plusieurs spécialité, puisque elle produit la peinture des véhicules ; le vernis ; le déliant ; les émulseurs ; les colles et les résines. Ces derniers ce sont des produits semi fabriquées qui entre dans la composition de toutes les peintures.

Ces branches :

L'entreprise est composée de six unités réparties à travers le territoire national.

A : à l'est du pays « **UNITE DE SOUK AHRAS** »

B : à l'ouest du pays « **UNITE D'ORON** » ET « **UNITE DE SIG (MASKARA)** »

C : au centre du pays « **UNITE DE LAKHDARIA** » et « **UNITE DE OUED ESSMAR** » et « **UNITE D'ECHRAGA** »

Parmi les unités les plus importantes l'unité de **SOUK AHRAS « UPSA »**.

I- L'UNITE DE PRODUCTION DE SOUK AHRAS :

Elle est située au nord de la ville de Souk haras dans la zone industrielle route d'Annaba. Elle a une superficie de 13 hic tard sont couvertes. Elle est réalisée par une entreprise étrangère Belge (BGESA) et avec le concours de quelques entreprises nationales.

Les travaux de construction de l'unité ont commencé en Mai 1974, et elles sont terminées la 30/10/1984 date à laquelle l'unité est entrée en production.

L'unité comprend 19 services dont 03 ateliers de production, 09 ateliers de maintenances. La capacité de production a atteignez les 40000 tonnes par ans de peinture et de résines.

I.1 Organisation de l'unité :

L'unité de Souk-Ahras comprend un effectif est répartis en quatre groupes sections appelés département.

- a- **Département maintenance:** comprend le service transport maintenance et le bureau de méthode.
- b- **Département production:** englobe 3 services qui sont les suivants :
 - o Fabrication résines
 - o Production peinture blanche et peintures teintées.
- c- **Département commerciale :** englobe les services suivants : vente, gestion des stocks et matières premières avant l'utilisation.
- d- **Département laboratoire** (laboratoire central) : comprend 3 services : contrôle matières premières avant l'utilisation et durant le stockage.
 - ❖ Service assistance de la qualité des produits finis et de présentation des produits dans le marché extérieur.
 - ❖ Service développement et recherche : chargé d'étudier des nouvelles foi-mules pour peinture et résine.

Auxquels s'ajoute les cellules de contrôle qualité peinture et cuisson résine lors de la fabrication.

- Les services personnel et sécurité : chargé de veiller sur la sécurité de l'unité et hygiène dans le poste de travail et la prévention contre les risques d'accidents de personnel et les maladies professionnelles.

I.2. Activité de l'unité :

La Fabrication des peintures, colles et semi- finis.

- **Segments des peintures :** Bâtiment, industrie, carrosserie, vernis, diluants, colles.
- **Segments des semi - finis :** émulsions, Résines alkydes et siccatifs.

Capacité théorique de production :

- Peintures (en une équipe) : 20.000 tonnes /an.
- Émulsions + colles (en 03 équipes) : 5.000 tonnes /an.
- Résines alkydes (03 équipes) : 7.500 tonnes /an.

Marché de l'unité et le réseau de distribution :

La totalité des produits fabriqués par l'unité est commercialisée sur le marché national. La distribution des produits sur le marché national se fait selon le circuit suivant :



La distribution des produits "Grand Public et droguerie" s'effectue principalement par L'entreprise SODIPEINT et les distributeurs conventionnés.

Les clients industriels spécifiques sont pris en charge directement par l'unité (circuit direct).

I.3Système technologique:

Équipements techniques de pointe, d'origine européenne.

Le processus de fabrication des peintures :

Après préparation des matières premières conformément aux formules, le processus comprend les phases suivantes : **Empattage, Broyage, Dilution, Filtration, Mise à la teinte, Conditionnement.**

Nature des matières premières utilisées:

Liants (résines glycérophtaliques, acétate de polyvinyle en phase aqueuse...), pigments (dioxyde de titane, oxydes de fer...), charges (carbonate de calcium, sulfate de baryte, talc), solvants (aliphatiques, aromatiques, alcools, acétates), additifs (huiles ; minérales, siccatifs...etc.)

I.4 Domaines d'application des peintures de l'ENAP :

GAMMES PRODUITS	LIGNE DE PRODUIT	DESTINATIONS
BATIMENT	<ul style="list-style-type: none"> - Vinyliques + acryliques (peintures, crépis et enduits à eau) - Glycérophthaliques (peintures brillantes satinées, mâtes et vernis). - Peintures à l'huile - Peintures et vernis - Mastic - Lis bois 	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux de bâtiment intérieur et extérieur (droguerie et professionnel) - sols, réservoirs en béton - vitrerie
ANTI-CORROSION	<ul style="list-style-type: none"> - système ALKYDE - système EPOXY - système POLYURETHANE - système CAOUTCHOUC CHLORE 	<ul style="list-style-type: none"> - Structures et charpentes métalliques en ambiance rurale - Structures métalliques en intérieure en ambiance agressive (industrielle, marine) - Structures métalliques en intérieure et extérieure en ambiance agressive, aviation, marine - Structures métalliques en ambiance marine, bateaux et infrastructures portuaires

INDUSTRIE	<ul style="list-style-type: none"> - système ALKYDE - système ACRYLIQUE - système VINLIQUE - système POLYURETHANE 	<ul style="list-style-type: none"> - Matériels agricoles, véhicules industriels - panneaux de signalisation routière - Électroménager, tôle galvanisée - Équipements industriels
CARROSSERIE	<ul style="list-style-type: none"> - système ALKYDE - système ACRYLIQUE - système POLYURETHANE - système CELLULOSIQUE - Mastics polyester et CELLULOSIQUE 	<ul style="list-style-type: none"> - Véhicules industriels, retouches réfection - tôlerie automobile
BOIS	<ul style="list-style-type: none"> - Vernis ALKYDE - Vernis POLYURETHANE - Vernis CELLULOSIQUE - Mordant 	<ul style="list-style-type: none"> - Menuiserie et ébénisterie
COLLES	<ul style="list-style-type: none"> - Vinyliques à l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> - papier, carton et bois
RESINES	<ul style="list-style-type: none"> - ALKYDES 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabrication de peintures (bâtiment, industrie et encres)
EMULSIONS	<ul style="list-style-type: none"> - Vinyliques /Acryliques 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabrication de peintures et colles
SICCATIFS	<ul style="list-style-type: none"> - <u>octoates et naphtésates</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabrication de peintures et encres
DILUANTS	<ul style="list-style-type: none"> - Synthétiques, cellulosiques, nettoyage et spécifiques 	<ul style="list-style-type: none"> - droguerie et industrie

Tableau 1 : Domaines d'application des peintures de l'ENAP

I.4 PROCESSUS DE FABRICATION DES PEINTURES

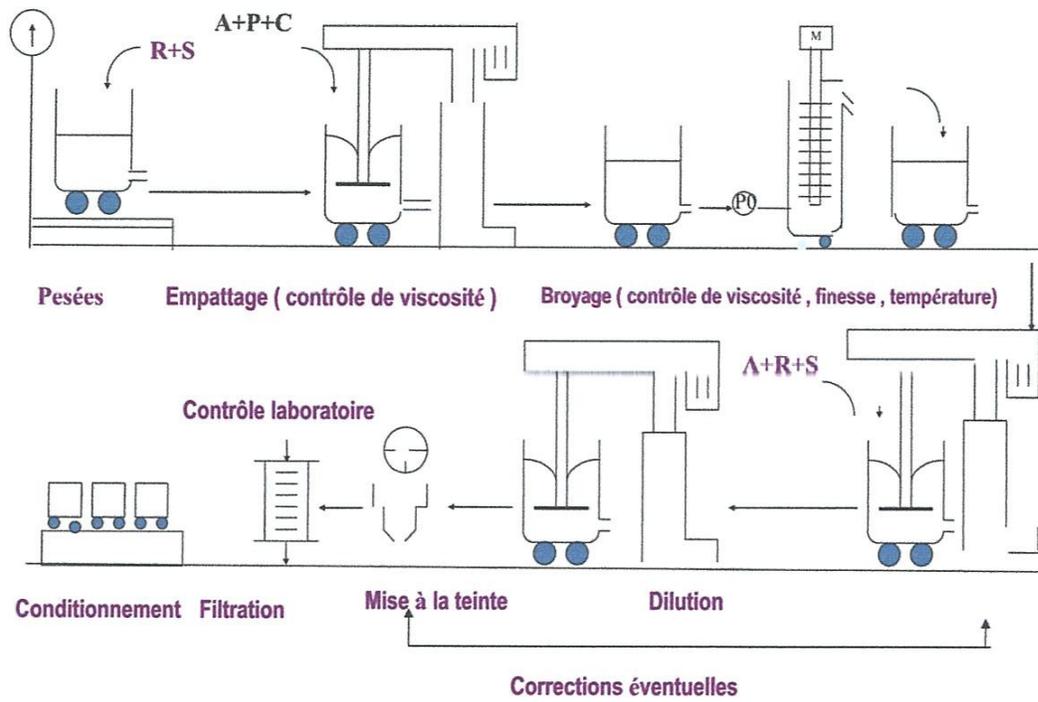


Figure I-1: Processus de fabrication des peintures

I.4.1 Ligne Fabrication Résines Alkydes (Polycondensation) :

La figure I-2 présente la ligne de fabrication résines Alkydes par

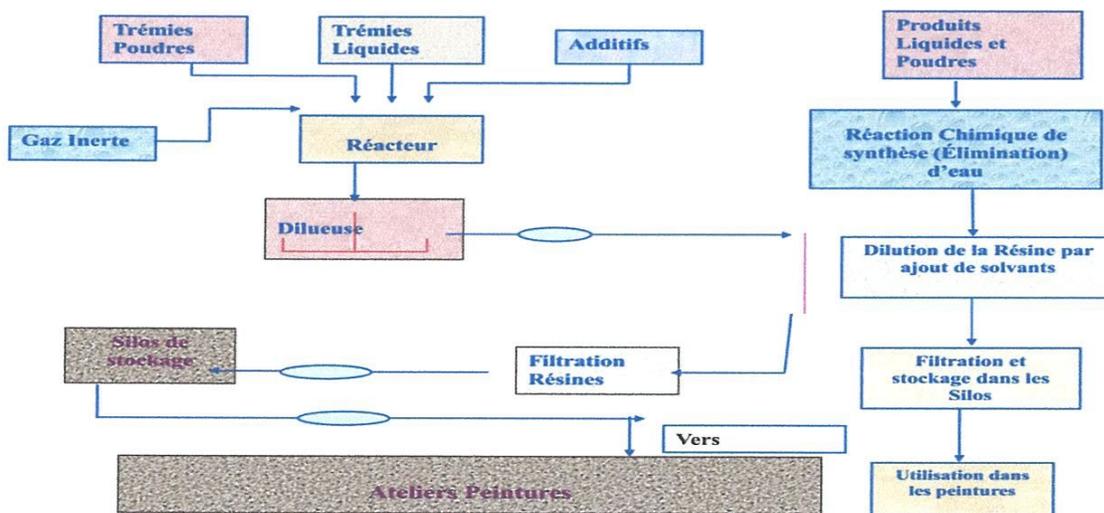


Figure I-2 : ligne de fabrication résines alkydes

I.4.2 Ligne Fabrication Émulsion :

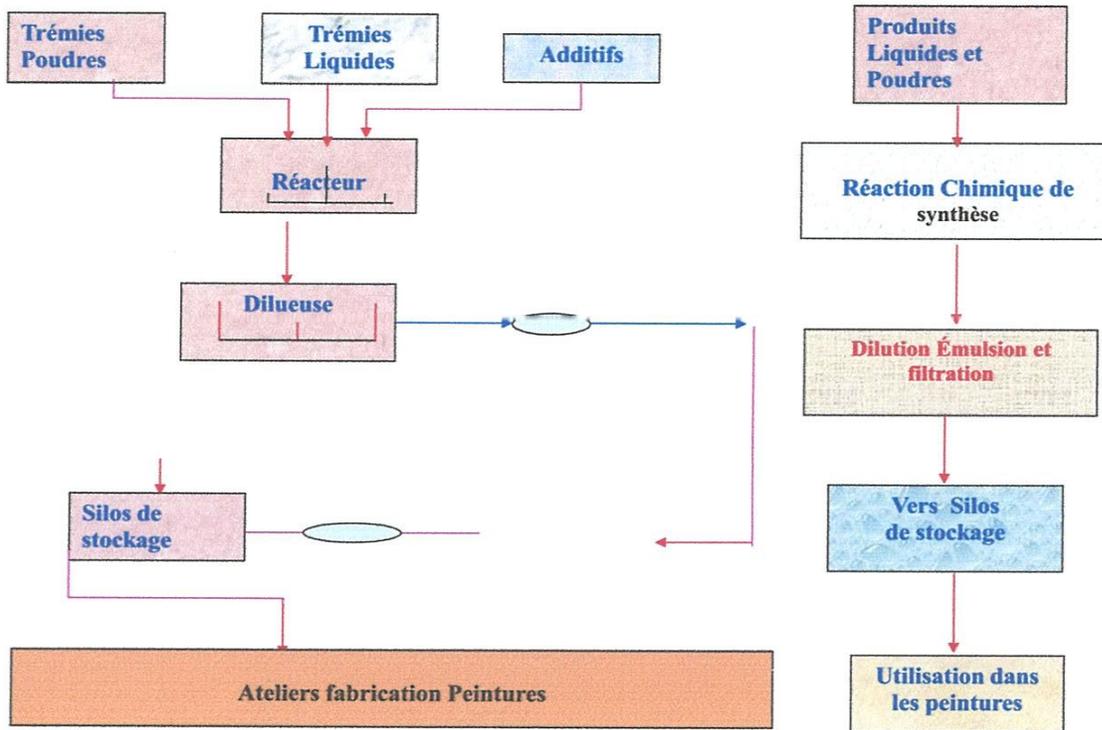


Figure I-3: ligne de fabrication émulsion

I.5 Contrôle de la Qualité Recherche et Développement :

A - Contrôle de la Qualité Recherche et Développement :

❖ *Contrôle de la Qualité :*

❖ *Contrôle des Matières Premières à la réception :*



Figure I-4 : quelques échantillons de matière première



1. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{6}$
 2. $\frac{1}{4} \times \frac{1}{5} = \frac{1}{20}$
 3. $\frac{1}{6} \times \frac{1}{7} = \frac{1}{42}$
 4. $\frac{1}{8} \times \frac{1}{9} = \frac{1}{72}$
 5. $\frac{1}{10} \times \frac{1}{11} = \frac{1}{110}$
 6. $\frac{1}{12} \times \frac{1}{13} = \frac{1}{156}$
 7. $\frac{1}{14} \times \frac{1}{15} = \frac{1}{210}$
 8. $\frac{1}{16} \times \frac{1}{17} = \frac{1}{272}$
 9. $\frac{1}{18} \times \frac{1}{19} = \frac{1}{342}$
 10. $\frac{1}{20} \times \frac{1}{21} = \frac{1}{420}$

11. $\frac{1}{22} \times \frac{1}{23} = \frac{1}{506}$
 12. $\frac{1}{24} \times \frac{1}{25} = \frac{1}{600}$
 13. $\frac{1}{26} \times \frac{1}{27} = \frac{1}{702}$
 14. $\frac{1}{28} \times \frac{1}{29} = \frac{1}{812}$
 15. $\frac{1}{30} \times \frac{1}{31} = \frac{1}{930}$
 16. $\frac{1}{32} \times \frac{1}{33} = \frac{1}{1056}$
 17. $\frac{1}{34} \times \frac{1}{35} = \frac{1}{1190}$
 18. $\frac{1}{36} \times \frac{1}{37} = \frac{1}{1332}$
 19. $\frac{1}{38} \times \frac{1}{39} = \frac{1}{1482}$
 20. $\frac{1}{40} \times \frac{1}{41} = \frac{1}{1640}$

21. $\frac{1}{42} \times \frac{1}{43} = \frac{1}{1806}$
 22. $\frac{1}{44} \times \frac{1}{45} = \frac{1}{1980}$
 23. $\frac{1}{46} \times \frac{1}{47} = \frac{1}{2162}$
 24. $\frac{1}{48} \times \frac{1}{49} = \frac{1}{2352}$
 25. $\frac{1}{50} \times \frac{1}{51} = \frac{1}{2550}$
 26. $\frac{1}{52} \times \frac{1}{53} = \frac{1}{2756}$
 27. $\frac{1}{54} \times \frac{1}{55} = \frac{1}{2970}$
 28. $\frac{1}{56} \times \frac{1}{57} = \frac{1}{3192}$
 29. $\frac{1}{58} \times \frac{1}{59} = \frac{1}{3422}$
 30. $\frac{1}{60} \times \frac{1}{61} = \frac{1}{3660}$

31. $\frac{1}{62} \times \frac{1}{63} = \frac{1}{3906}$



Figure 1: A 3x3 grid of squares with a vertical line on the right side.



Figure 2: A 3x3 grid of squares with a vertical line on the right side and a horizontal line at the bottom.



II.3 composition de peinture

Une peinture est une dispersion de particule (appelés selon leurs matières pigments et charges) dans des substances macromoléculaires plus ou moins visqueuses (appelés matières filmogènes ou liants), liquides volatils (appelés solvants ou diluant permettre de régler la viscosité de l'ensemble. Les peintures comprennent essentiellement divers constituants, ces derniers sont classés en cinq grandes catégories :

- Les liants (résines),
- Les solvants et diluants,
- Les pigments,
- Les additifs [II.4].

2

II.3.1 Les résine :

La résine, il est le constituant principal de la peinture, quel que soit son type. Il assure le lien entre tous les composants, ainsi que l'adhérence de la peinture au support. De lui dépendent les modes de séchage et de formation du film de peinture ainsi que les caractéristiques physiques et chimiques de la peinture. [II.4] 2

Le liant est une macromolécule d'origine naturelle (huiles siccatives, gommes, résines naturelles...) ou synthétique (dérivés du caoutchouc, de la cellulose, produits vinyliques, acryliques, polyesters, poly époxydiques...) Un ou plusieurs liants peuvent être utilisés dans une même peinture ; certains peuvent jouer également le rôle de « durcisseur » en assurant une réticulation de la peinture lors du séchage.

Il existe une grande variété de liants dont le choix et la combinaison adéquats sont fonctions des types des peintures pouvant être obtenues.

La résine a différents propriétés par exemple [II.5] : 3

- La couleur (chaque résine a une couleur différente)
- La viscosité
- La solubilité (chaque résine est soluble dans un solvant)
- L'indice d'acide en (%)

On utilise différentes résines comme :

- Les alkydes
- Les cellulose
- Les époxydique

II.3.2 Les pigments

Ce sont des substances minérales ou organiques généralement sous forme de particules fines (poudres), pratiquement insoluble dans le milieu de suspension, ils sont utiles pour les propriétés protectrices et décoratives. Le meilleur pigment qui nous donne la couleur blanche c'est le dioxyde de titane (TiO_2) [II.6].

➤ Les pigments minéraux :

- a) L'oxyde de fer (jaune, noir et rouge)
- b) Cuivre et chromate

➤ Les pigments organiques : ce sont des pigments artificiels par exemple :

- c) Le noir de carbone qui provient de la combustion de bois
- d) Le noir de fumée qui provient de la combustion de gaz naturel.

➤ Les pigments métalliques : se trouvent sous forme de poudre brillante comme l'aluminium et le zinc.

❖ Le rôle des pigments :

- **Aspect de la couleur :** par leurs dispersions dans le solvant, les pigments ont la particularité d'absorber et de dériver les rayons lumineux.
- **Effet mécanique :** si les grains des pigments occupent tous les vides existant entre les grosses particules, le pigment jouera un rôle dans la résistance mécanique de la peinture (résistance à l'absorption) et parfois joue un rôle utile dans l'adhérence.
- **Effet de protection :** les pigments sont des bons isolants du courant électrique, ils protègent les métaux des corrosions et parfois ils jouent le rôle d'ignifugeant. Leurs principes de fonctionnement sont indiqués dans la figure (II-1) [II.3 ,8].

56

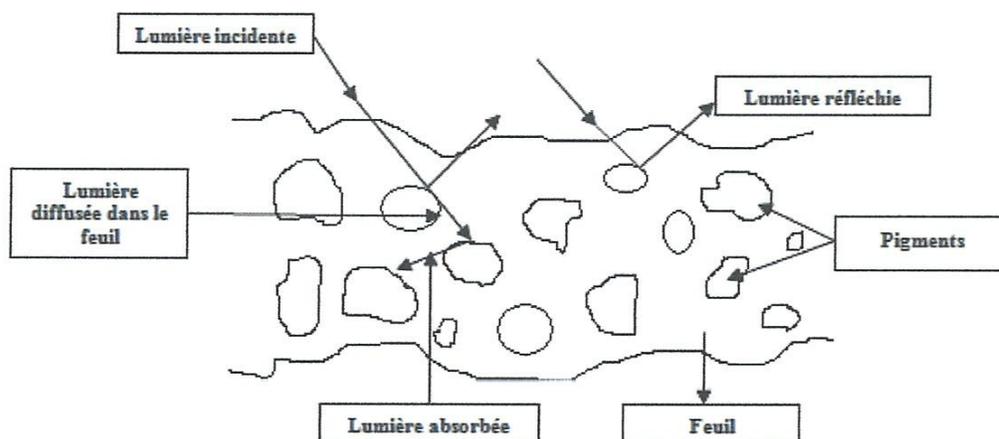


Figure (II-1) : principe de fonctionnement des pigments

II. 3.3 Les charges :

Sont ainsi appelés les pigments ayant un faible pouvoir opacifiant conférant à la pellicule finale des propriétés spécifiques bénéfiques pour cela, une sélection judicieuse des types spécifiques de charges rend possible l'amélioration des caractéristiques finales d'une peinture et modifier les propriétés rhéologiques (régler la viscosité). Ils sont utilisés pour diminuer le prix de revient de la peinture. Les plus représentatifs sont le carbonate de calcium (CaCO_3), les barytes (BaSO_4)...etc.

II.3.4 Les solvants :

Dans l'industrie de la peinture, le diluant désigne le mélange de solvants qui est ajouté à la peinture concentrée et qui permet d'obtenir la peinture prête à l'emploi. Dans ces conditions pour éviter des ennuis, il faut se conformer rigoureusement au mode d'emploi de la peinture.

Le choix des solvants est très important car il règle la facilité d'application d'une peinture et conditionne le résultat obtenu [II.7]. 7

On classe les solvants en trois catégories :

- Solvants légers : $T_{eb} < 100^\circ\text{C}$.
- Solvants moyens : $100^\circ\text{C} < T_{eb} < 130^\circ\text{C}$.
- Solvants lourds : $T_{eb} > 130^\circ\text{C}$.

Dans un film de peinture, l'évaporation des solvants doit être continue et régulière, sans paliers pour éviter leur emprisonnement, les solvants légers partant les premiers.

L'évaporation se fera rapidement au départ pour éviter les coulures au moment de l'application

mais pas trop, cependant pour ne pas risquer la rétention des solvants lourds. Le dernier solvant à partir doit être un bon solvant des éléments filmogènes contenus dans la peinture. La prise du film, son temps de hors poussières, le blush, la tension de la pellicule, le brillant final obtenu, sont conditionnés par le choix et l'équilibre des solvants. Chimiquement, on distingue plusieurs familles de solvants : alcools, esters, cétones, hydrocarbures aliphatiques et aromatiques [II.5]. 3

➤ **Dans le groupe des alcools, on rencontre:**

- Alcools éthylique et isopropyliques dénaturés (légers),
- Butanol (moyen),
- Les glycols (alcools lourds).

➤ **Dans le groupe des esters :**

- Acétate d'éthyle (très léger),
- Acétate de butyle (moyen),
- Acétate d'éthyle glycol (lourd).

➤ **Dans le groupe des cétones :**

- Acétone (très léger),
- Méthyléthylcétone (léger),
- Méthylisobutylcétone (moyen).

➤ **Dans le groupe des hydrocarbures aromatiques :**

- Toluène (léger),
- Xylène (moyen),
- Solvants naphta (lourds).

➤ **Dans le groupe des hydrocarbures aliphatiques :**

- White spirite à moins de 5% d'aromatiques et à 18% d'aromatiques,
- Essence de térébenthine,
- Solvants chlorés (trichloréthylène, perchloréthylène...)

II.3.4 Les additifs ou les adjuvants

Ces sont des substances de divers natures chimiques incorporées dans les peintures pour développer certaines propriétés spécifiques. Il existe des additifs pour séchage, pour l'anti nuance et des additives thixotropies.

On peut distinguer selon le rôle des additifs les types suivants :

- ✓ **Les siccatifs** : ces sont des accélérateurs de séchage pour les peintures qui sèchent par oxydation (le séchage à l'air).
- ✓ **Les agents anti-peaux** : ces sont des adjuvants susceptibles de ralentir ou empêcher la formation des peaux à la surface des peintures au contact de l'air.
- ✓ **Les agents anti-mousses** : ce sont des adjuvants susceptibles de diminuer ou d'éviter la formation des mousses inter temps actives soit en cours de fabrication, soit au cours de l'application.
- ✓ **Les agents mouillants** : ce des adjuvants qui confèrent aux peintures la propriété de mouiller plus facilement la surface peindre.
- ✓ **Les agents fongicides et bactéricides** : ce sont des adjuvants susceptibles de réduire ou d'empêcher l'attaque des peintures (liquide ou sous forme de fil sec) par champignons.
- ✓ **Les agents divers** : dispersants, émulsionnants, épaississants, stabilisants,... [II.3, 5].

5 3

II.4 Rôle des peintures

La peinture est une mélange de matière hétérogènes dont les deux fonctions principes sont de protéger les supports (bois, plastiques, matériaux, maçonneries...) et de les décorer (couleur, brillance, structure...) et cela selon les besoins.

- **Rôle de protecteur** : que ce soit la protection contre la corrosion des structures et objets métalliques, la protection contre les intempéries des matériaux de construction ou encore la protection des bois contre les dégradations photochimiques ou biologiques.
- **Rôle de décoration** : il est également importante pour rendre plus agréable le cadre de vie, les lieux de travail, des objets. Souvent, les formules peinture qui assurent la protection n'ont qu'un effet décoratif réduit, d'où l'utilisation de systèmes peinture de divers couches jouant des rôles différentes mais complémentaires. on distingue dans ce cas les couches primaires où d'impression, qui sont directement au contact du support, les couches intermédiaires et enfin la couche de décorative.

La sélection d'un système de peinture adéquat et toujours une opération délicate qui doit prendre en compte de nombreux paramètres, tels que la nature des surfaces à traiter , leur

préparation, l'ambiance dans laquelle l'objet peint sera placé, les sollicitations mécaniques et chimiques et auxquelles il sera soumis, les moyens d'application disponibles etc...[II.3].

II.5 Différents types de peinture :

A partir de matières premières décrites précédemment sont formulées des peintures liquides parmi lesquelles on distingue celles en phase solvant, en phase aqueuses et celles durcissant sous rayonnement ultraviolet, et des peintures en poudre. [II.6] 4

Les peintures à l'eau sont constituées à partir d'une colle ou d'un colloïde délayé dans l'eau. Ce sont des peintures pour maçonneries d'une manière générale, elles adhèrent mal sur les métaux et le bois et celles ne sont pas lessivables. Par contre elles sont bon marché, faciles à colorer et appliquer. Le film est rigide et fragile. Les peintures à l'eau sont aussi appelée peintures à émulsion :

Une *émulsion* est obtenue par dispersion, dans un milieu liquide de particules, non miscible avec le premier. Une dispersion de résine synthétique est constituée par une distribution fine de polymère, dans une phase liquide, l'eau pour la plupart du temps. D'une manière générale une émulsion contient : *une substance filmogène hydrophobe dispersée dans l'eau, un colloïde stabilisateur (caséine, gomme arabique ou autre), des adjuvants destinés à garantir la conservation.* On devrait parler de la peinture en dispersion plutôt que de la peinture en émulsion d'autant qu'on disperse des pigments, mais cela serait trop simple.

Elles sont composées à partir d'un des liants suivants en dissolution dans l'eau :

A partir de matières première décrites précédemment sont formulées des peintures liquides parmi lesquelles on distingue celles en phase solvant, en phase aqueuses et celles durcissant sous rayonnement ultraviolet et des peintures en poudre.

II.5.1 Peintures à l'eau

- ✓ **Les colles** : (animales, d'amidon cellulosiques) : ces peintures, réservées pour l'intérieur (plafond), sont sensibles à l'eau et aux produit chimiques, elles résistent au frottement mais peuvent se putréfier dans les locaux humides,
- ✓ **La caséine** : elle donne des produits relativement l'ables, imperméables et ignifuges,
- ✓ **La chaux** : la chaux éteinte est mélangée à l'eau et appliquée sous forme de badigeon avec parfois une addition d'alun qu'améliore sa tenue, cette peinture possédé un pouvoir bactéricide et peut être employée à l'extérieur sous réserve d'être renouvelée fréquemment,
- ✓ **Les silicates** : ce sont des peintures pour maçonneries extérieur (béton, enduits au mortier), se combinant avec la chaux contenue dans le support, manquant de souplesse et dont les coloris sont plus nombreux, souple, suit les mouvements du support et attaque le verre, l'aspect est

mate terne mais la résistance est bonne aux intempéries, leur porosité permet la respiration du mur,

- ✓ **Le ciment** : le liant est du ciment blanc ce qui donne des peintures intermédiaires entre les silicates et la chaux, lavables, elles sont déconseillées sur le fer et le bois,
- ✓ **Les fluates** : sont des peintures imperméabilisantes formant une pellicule dure au contact de la chaux libre du ciment, elles sont généralement employées pigment, ce qui conserve leur couleur aux matériaux.

II.5.2 peintures aux résines

Les peintures aux résines sont des mélanges de résines synthétiques diluées dans l'eau ou un solvant approprié mais elles sont insolubles dans l'huile. L'application en est commode car les outils se nettoient à l'eau.

Le séchage est rapide et le film ne comporte aucune trace de brosse ou de rouleau. Il est lisse et lavable, résistant aux intempéries et au soleil. On citera les principes :

- ✓ **Les peintures glycérophthaliques** : ce sont des résines alkydes modifiées l'acide gras et diluées dans un solvant naphta ou à base d'essence, imperméables et possédant une bonne résistance aux produit acide, les oléo glycérophthaliques sont diluées dans l'huile, elles sont peu sensibles au soleil, aux intempéries et aux lessivages,
- ✓ **Les peintures vinyliques dont le diluant est l'eau** : elles sont hors poussier en une ou deux heures et sèches en six heures au plus, non toxiques, elles craignent le gel,
- ✓ **Les peintures au caoutchouc chloré** : elles ont une excellente résistance aux produits chimiques mais elles sont d'application délicate et nocive (solvant benzéniques),
- ✓ **Les peintures aux polyuréthannes** : peu employées car onéreuses, elles supportent des lavages violents et nombreux (enlèvements de graffitis par exemple), elles sont surtout employées dans l'industrie nucléaire
- ✓ **Les peintures aux résines époxydes** : ce sont des peintures épaisses, très résistantes au produit chimiques, d'une excellente adhérence, couteuses, elles sont sur tout employées dans l'industrie ou dans des cas particuliers (peintures de sol, cuvelage étanche pour hydrocarbure, etc.).

II.5.3. peinture en phase solvant

Les peintures en phase solvant sont des solutions polymérisations qui, après durcissement, donnent sur le support une pellicule filmogène continue, adhérente comme le mécanisme physico-chimique qui le passage de l'état liquide à celui de solide. L'état solide se caractérise par la formation de liaisons chimiques obtenues d'un réseau macromoléculaire tridimensionnel. [II.1, 3].

85

II.5.4 les peintures naturelles

Le terme « peinture naturelle » est très vague et peut être interprété différemment selon les personnes. En effet, par exemple l'adjectif « naturel » ne désigne pas forcément quelque chose de sain pour l'homme (ex : amiante, plomb...), a contrario, même si les environnements, elles nécessiteront quand même une transformation en vue d'obtenir le produit final (elles ne seront pas utilisables telles qu'elles sont puisées dans l'environnement)

[II.6].

4

II.5.5 Peinture en phase aqueuse

Ces peintures sont obtenues à partir de liants hydro dispersés et/ou hydrosolubles dont les principales caractéristiques sont présentées ci-après :

- Liants hydrosolubles : macromolécules de type alkyde, acryliques en solution, d'aspect limpide, de masse moléculaire comprise entre 1000 et 5000 et dont le diamètre n'existe pas 0.001 μ m. Ces liants sont généralement solubilisés dans un mélange solvant constitué de glycol et d'eau. Le mélange pondéral éther de glycol eau dépend de la nature chimique du polymère d'une part, de la solubilité de l'éther de glycol dans l'eau d'autre part, [II.8]. 6
- Liants hydro dispersés : parmi lesquels on distingue les dispersions colloïdales et les émulsions :
 - Les dispersions colloïdales : d'aspect translucide, sont des suspensions de particule polymérique dans l'eau. Ces particules, de masse moléculaire comprise entre 50 000 et 200 000, ont un diamètre compris entre 0.001 μ m et 0.1 μ m.
 - Les dispersions émulsion : d'aspect opaque, sont des dispersions de liquides non miscibles entre eux. L'un des liquides forme la phase continue (eau). L'autre forme la phase dispersée discontinue constituée de particules polymériques dont le diamètre est généralement de l'ordre de 0.1 μ m et les masses moléculaires comprises entre 200 000 et 1 000 000.

II.5.6 Peinture en poudre

Ce sont des peintures qui ne contiennent aucun solvant. Pour pouvoir comparer ces différents types de peinture, il faut considérer les aspects techniques (en termes de spécificité d'installations), de coût énergétique du solvant et/ou formation du film de peinture, de quantité de produit (obtention d'un film homogène), de coût de composition (additifs spécifiques), et d'impact environnemental notamment sur la présence de solvants résiduels.

Pour les différencier rapidement, les peintures à haut extrait sec, n'ont pas permis d'avancées technologiques rapides. Elles sont donc un peu délaissées au profit des deux autres produits. Les peintures à l'eau semblent avantagées, car elles peuvent être appliquées à partir des installations déjà utilisées pour les peintures sol vantées. De plus, une faible quantité de peinture est nécessaires pour former un film homogène avec les propriétés optiques et de résistance chimique et physique équivalentes aux références sol vantées. Cependant, la composition résiduelle en solvant est encore importante et des additifs très spécifiques et chers sont utilisés notamment pour stabiliser charges et pigments dans la formulation. A côté de cela, les peintures poudres présentent l'avantage d'être sans solvant et 100% applicables, au sens où toute la poudre peut être appliquée, sans production de déchets. Par contre, une quantité supérieure de produit est nécessaire pour former un film de peinture homogène.

Tableau(1) : Comparaison des propriétés des peintures en phase aqueuse et en phase solvant :[II.9]. 9

PROPRIETES NATURE	PEINTURES EN PHASE AQUEUSE			PEINTURE EN PHASE SOLVANTS
	HYDRODILUABLES		HYDROSOLUB LES	
	EMULSIONS	DISPERSIONS COLLOÏDALES		
Propriétés physiques du liant				
Aspect	Opaque blanc	moléculaire		Limpide
Diamètre des particules	0.1 à 10µm	0,01 à 0,1 µm		< 0.001µm
(Masse moléculaire (g))	à 10 ⁶ 10 ⁵	2×10 ⁴ à 2 ×10 ⁵		5×10 ³ à 5×10 ⁴
Viscosité	Indépendante de la masse moléculaire	Partiellement dépendante de la masse moléculaire		Directement dépendante de la masse moléculaire
Formulation				
Contrôle de la viscosité	Nécessité d'épaississant	Epaississement par tiers solvants		Viscosité fonction de la masse moléculaire
Dispersion des pigments	Difficile	Bonne		Excellente
Extrait sec pondéral	Elevé	Moyen		Moyen à faible
Formulation	Complexe	Intermédiaire		Aisée
Application				
Difficultés d'application (*)	Nombreuses	Moyennement importantes		Peu importantes
Formation du film (**)	Coalescence	Coalescence et séchage physique		Séchage physique

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

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

II.6 Type de peinture suivant mode de formation de film**II.6.1 séchage physique**

Processus simple de formation de film, les solvants sont employés pour leur mise en solution. Dans le cas de ces peintures, détrempe du film est donc possible et son dans cette famille, rentrant en particulier :

- les peintures cellulósiques.
- Les peintures au caoutchouc chloré.
- Les peintures acryliques thermoplastiques.

II.6.2 polymérisation par action chimique**II.6.2.1 l'oxydation**

L'oxydation de l'atmosphère se diffuse dans le film après départ des solvants et provoque lente polymérisation en réagissant avec les groupes chimiques oxydables du liant utilisé, [II.5].

II.6.2.2 Action de chaleur

La polymérisation débute à un seuil de température. Quand il n'est pas atteint, la réaction est incomplète, le film ne possède pas les caractéristiques recherchées et peut voir des faiblesses rédhibitoires.

On trouve dans cette catégorie :

- Les peintures Glycéro-aminoplastes.
- Les peintures époxy-polyamines.
- Les systèmes acryliques.

II.6.2.3 Réaction chimiques diverses

La plupart de ces produits sont utilisés en deux éléments que l'on mélange au moment de l'emploi, le mélange ayant une stabilité limitée dans le temps (quelques heures à quelques jours suivant le type de peinture).

On trouve distingue :

- Les peintures polyuréthanes.
- Les peintures aminoplaste à catalyse acide
- Les peintures polyesters
- Les peintures époxy-polyamines [II.5]. 3

II.7 Mode de fabrication des peintures

II.7.1 Contrôle des matières premières

La première opération est réalisée lors de la fabrication de peinture consiste au contrôle des matières premières utilisées en vue de vérifier sa conformité. Le contrôle de certaines propriétés est donc indispensable tel que sa viscosité, la densité, l'extrait sec et autres, c.à.d. à savoir chaque matière première et ses caractéristique propres. Les résultants trouvés seront comparés avec ceux de la fiche technique accompagnée.

II.7.2 Préparation d'une peinture

Les étapes de préparation d'une peinture industrielle diffèrent d'une à l'autre, selon l'ENAP, l'opération se déroule en cinq étapes :

- ❖ **Empattage** : les pigments et les charges dispersés sont mélangés en présence d'un agent mouillant dispersant pour avoir une pâte d'empattage.
- ❖ **Broyage** : opération de dispersion de matières pulvérulentes (en générale, pigment et matière de charge) dans un liant ou tous autres milieux appropriés par action mécanique. Le broyage ne désigne pas ici une opération de fragmentation en particules solides plus fines, mais seulement une opération de dispersion. Par cette opération on peut obtenir, soit des pâtes, soit des produits broyés ou soit directement des peintures.
- ❖ **Dilution** : dans cette phase, on ajoute reste du liant et certains additifs tels que l'agent d'étalement et résines de réticulation.
- ❖ **Filtration** : après broyage et dilution, ont procédé à la filtration de la peinture afin d'éliminer les impuretés.
- ❖ **Conditionnement** : est la dernière étape du processus de fabrication qui consiste à remplir le produit finale (peinture) dans des boites [II.3, 8] 5, 6

Les différentes étapes, les diverses matières premières utilisables ainsi par la figure suivante :

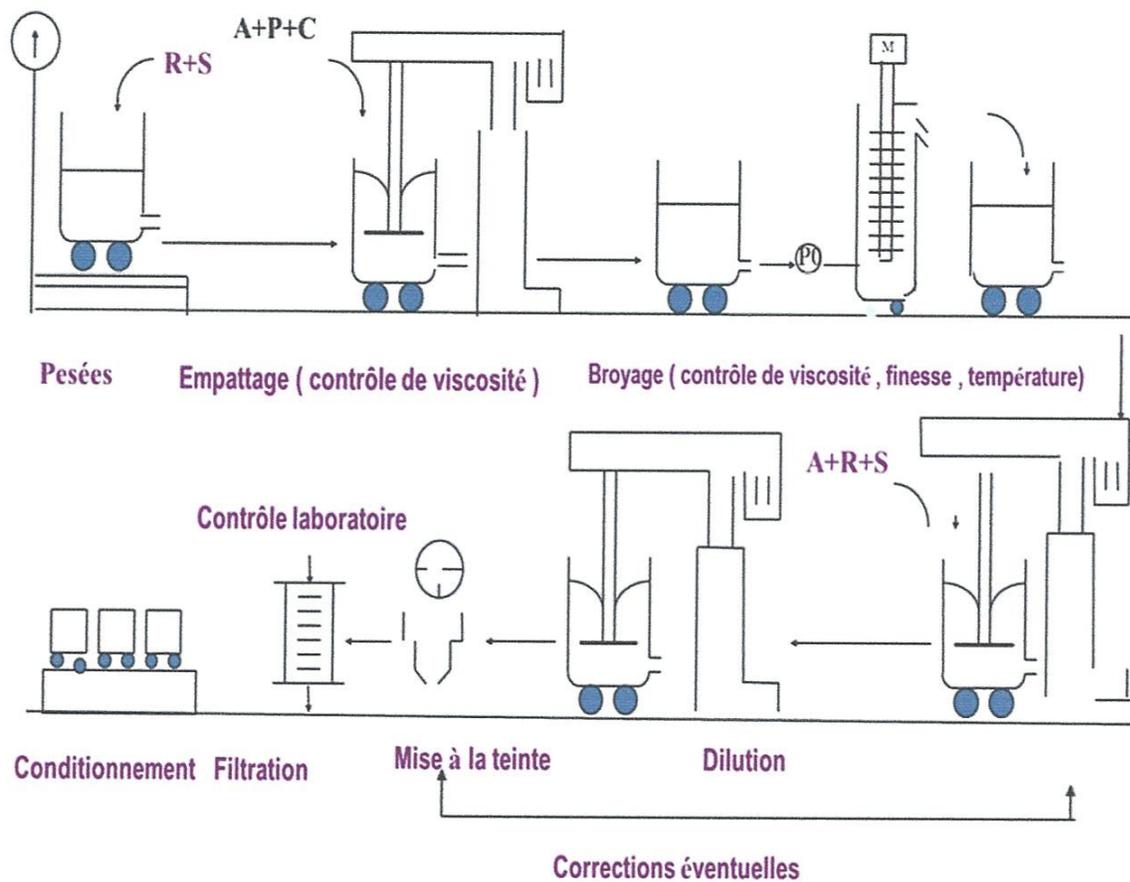


Figure II.2 Différentes étapes et diverses matières premières utilisées

II.8 Processus de fabrication des peintures :

Les différentes étapes, les diverses matières premières utilisées ainsi les différentes opérations nécessaires à la fabrication d'une peinture, peuvent être représentées par la figure suivante :

Matière première mise en œuvre

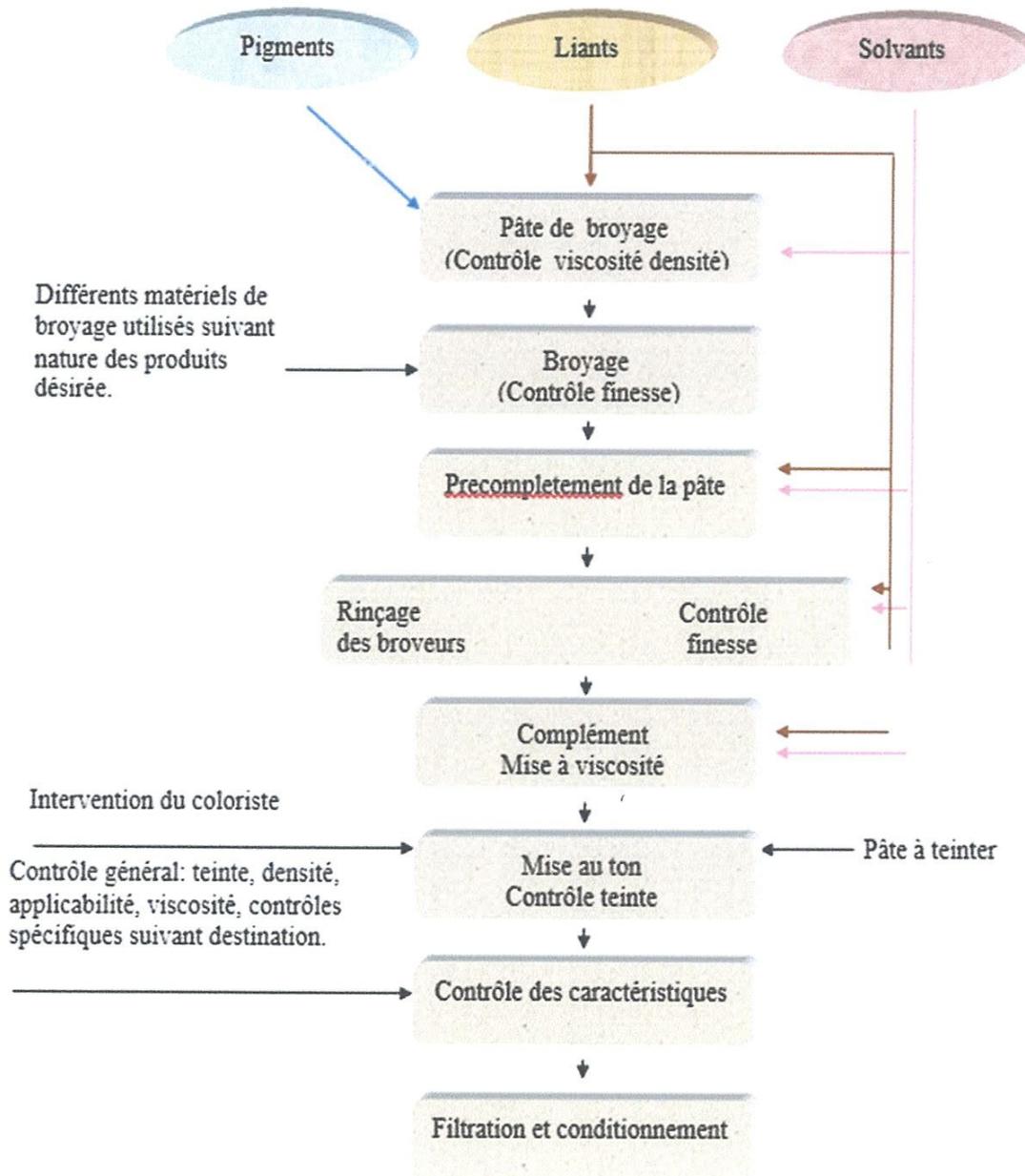


Figure II.3 : Différentes étapes de la fabrication d'une peinture [II.3].

II.9 Action sur la consistance des peintures

Les différentes actions entreprises pour améliorer la consistance de la peinture sont basées sur :

- ✓ **Fluidification** : le moyen le plus simple est l'utilisation des solvants, cependant il est parfois possible d'abaisser fortement et rapidement la viscosité, en ajoutant une faible quantité d'un produit très polaire tel que les acides.
- ✓ **Épaississement** : son rôle est d'augmenter la viscosité des peintures d'un côté et d'éviter le dépôt des pigments et des charges de l'autre.
- ✓ **Action conservatrice** : certains produits sont introduits pour protéger le support tel que : anticorrosion pour limiter l'attaque du fer par les peintures dispersées dans l'eau (le benzoate de soude).
- ✓ **Fongicide** : l'emploi de ces produits est indispensable dans tous les liants à base d'eau, afin d'éviter la décomposition des peintures dans les bidons de peinture [II.5].

3

II.10 Différentes gammes de peintures**II.10.1 Peinture pour bâtiments**

Ce type de peinture est utilisé à l'intérieur des bâtiments et on emploie largement les peintures brillantes, satinées ou mates. Elle est utilisée aussi à l'intérieur où le sujet est dans la plupart des cas du béton et les surfaces doivent être dépoussiérées.

II.10.2 Peinture pour carrosseries

Les peintures pour carrosseries sont destinées à la protection et à la décoration des véhicules légers ou lourds ; on distingue deux types bien distincts :

- ✓ Carrosserie à retoucher et à réparation, c.à.d. des véhicules déjà peints
- ✓ Carrosserie en construction.

II.10.3 les peintures marines

Ce sont des peintures spécialement étudiées et formulées pour la protection des surfaces en contact avec l'eau ou situées au bord de la mer [II.9]

9

II.10.4 Le vernis :

Solution translucide d'une matière résineuse dans un solvant que l'on applique par couches fines sur un support pour le décorer ou le protéger. Le liant est généralement un corps plus ou moins transparent qui a l'apparence d'une résine. Dissous seul dans un solvant, il forme un vernis : *liant + solvant = vernis*

Les nombreuses modifications qui interviennent dans la composition et la préparation des vernis rendent leur classification difficile. Le vernis à l'alcool, par exemple, est une résine dissoute dans un solvant volatil ne contenant aucune huile siccatrice ; le vernis à l'asphalte est une solution d'asphalte qui produit un revêtement opaque, noir ; appliqué en mince pellicule, le vernis durcit en séchant. [6]

4



Chapitre III : Rhéologie

III.1 introduction

Le mot rhéologie (du grec Rhéo, s'écouler et logie étude), a été proposé par Eugene Cookbing Ham en 1929, pour signer la science qui étudie les déformations et de l'écoulement de la matière. devant l'impuissance de la théorie de l'élasticité et de la mécanique des fluides à décrire et à expliquer les propriétés de matériaux aux comportements mal définis qui est intermédiaires entre celui du solide élastique parfait et celui du fluide newtonien , il a apparu nécessaire d'élaborer cette nouvelle discipline.

La rhéologie en tant que discipline, s'intéresse à un éventail considérable de corps : Métaux et alliages, plastique caoutchoucs , produits pétroliers (bitumes, asphaltes, huiles), sols(sables, argiles, boues), (naturelles et artificielles), verres, bois, peinture , mastics , encres d'imprimerie , colles , crèmes pharmaceutiques et cosmétique , produits alimentaires et substances biologiques [III.10].

III.2 Définition de la rhéologie

La rhéologie est une branche de la physique qui étudie l'écoulement ou déformation des corps sous l'effet des contraintes ou plus généralement de leur variation au cours du temps. D'application de ces contraintes ou plus généralement de leur variation au cours du temps.

Les procédés de préparation de produits (solutions, pâtes, etc...) ou dormition de pièces (métallurgie, en plasturgie, etc...) nécessairement immanquablement l'écoulement de la matière, il est donc nécessaire de connaitre le comportement de cette matière pour déterminer les forces à mettre en jeu.

La rhéologie se décompose en plusieurs sortes d'études :

- **rhéologie expérimentale** : détermination expérimentale des relations de comportement (entre contraintes et déformation ou vitesse de déformation).
- **rhéologie structurale** : explique des comportements à partir de la structure du matériau
- **rhéologie théorique** : fournir des modèles mathématiques en nombre limité des comportements indépendamment de la structure microscopique [3,10].

III. 3 Grandeurs étudiées en rhéologie

a) *Mouvement de cisaillement*

Un exemple est le mouvement d'un échantillon entre deux surfaces plaques, l'une immobile, l'autre animée d'un déplacement parallèle à la première. Ces mouvements idéales apparente à celui de la peinture étalée à la brosse sur un mur, de la crème cosmétique étendue sur le beurre étalé sur la tartine de pain [10].

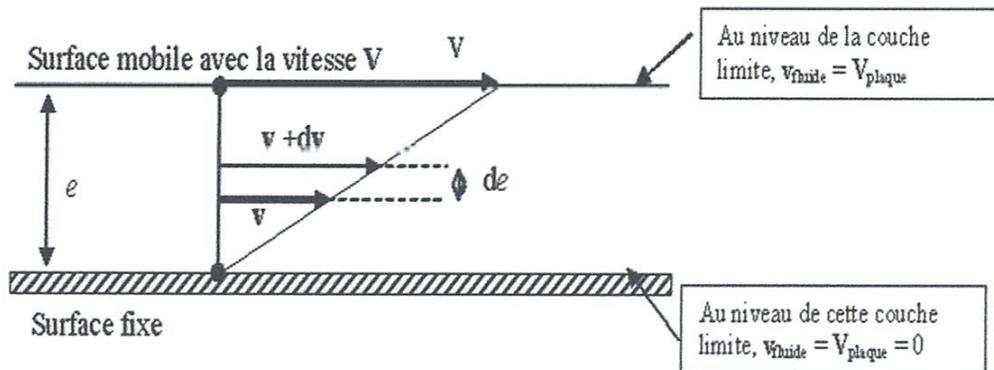


Figure III.1 : mouvement de cisaillement

Hypothèse du modèle

Pendant toute la durée de l'écoulement (du cisaillement) :

- Le mouvement est laminaire (non turbulent). Les couches glissent les unes sur les autres.
- Le matériau est assimilé à une superposition de couches adjacentes d'épaisseur d'infiniment mince sans qu'il y ait transfert de matière entre les couches.
- Le fluide adhère bien aux parois [III.10].

b) *Vitesse de cisaillement*

La valeur de la vitesse de cisaillement dépend, non seulement de la vitesse de déplacement de la plaque mobile mais aussi, de l'épaisseur cisailée. Si elle est faible, il est possible d'atteindre des vitesses de cisaillement élevées même avec des vitesses de déplacement de la plaque mobile mais aussi, de l'épaisseur cisailée dépend, non seulement du placement de la plaque mobile mais aussi, de l'épaisseur e cisailée.

Si e est faible, il est possible d'atteindre des vitesses cisaillement élevées même avec des vitesses relativement faible.

Remarque

Il convient de ne pas confondre vitesse de cisaillement et déformation de cisaillement. La déformation correspond au vecteur déplacement de la particule fluide d'une couche sous l'effet du mouvement de cisaillement pendant une durée t [III.3, 10].

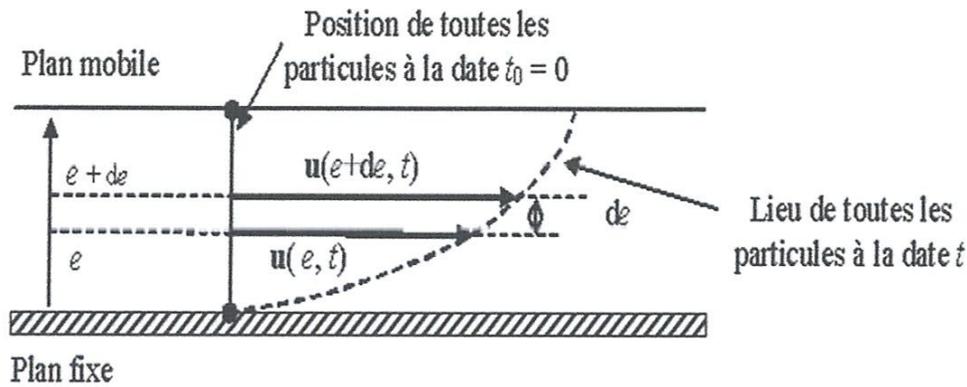


Figure III.2 : vitesse de cisaillement

c) **La contrainte de cisaillement**

Considérons deux couches au contact l'une de l'autre, elles se déplacent relativement l'une par rapport à l'autre. Il en résulte l'apparition de forces de frottement qui s'exercent tangentiellement à la surface de la couche : ce sont les forces de cisaillement.

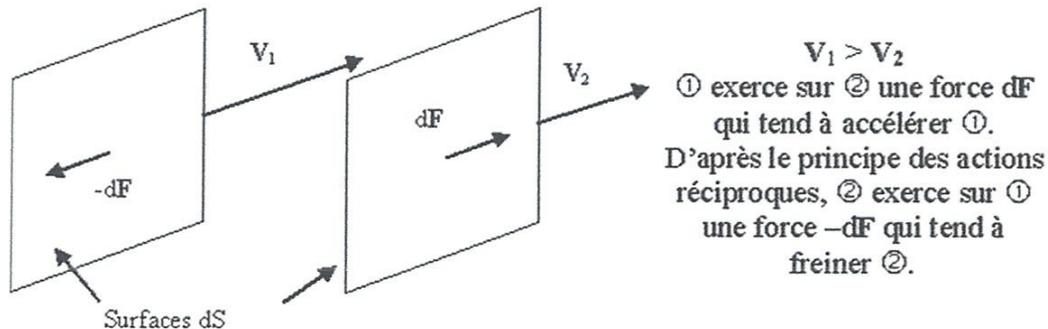


Figure III.3 : la contrainte de cisaillement

Ces forces dépendant de la surface considérée. On est amené à définir la contrainte de cisaillement par :

$$\tau = \frac{df}{ds}$$

Unité : $N/m^2 = \text{pascal (Pa)}$

La contrainte de cisaillement est une grandeur définie en tout point du matériau. Elle varie en général d'une couche à l'autre à mais est constante en tout point de la même couche.

d) Déformation de cisaillement

Considère un petit élément de surface d'une nappe du fluide ds situé à la cote z .

A l'instant t après le début de l'expérience, elle a parcouru une distance x qui dépend de z (et de t) à la cote $z+ dz$, elle aurait parcouru $x +dx$.

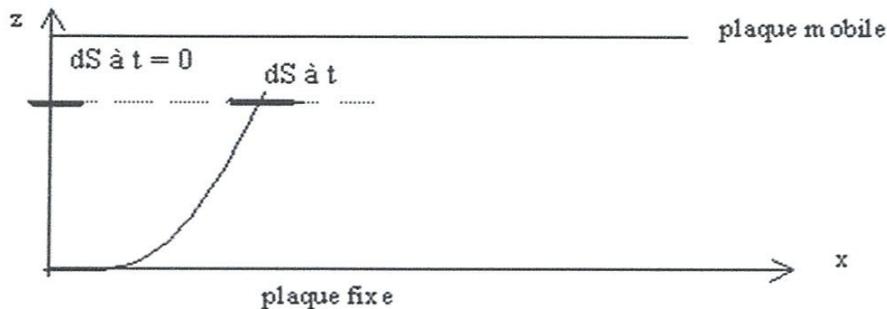


Figure III.4 : déformation de cisaillement

La déformation de cisaillement traduit la variation de la distance parcourue par ds en fonction d'éloignement à la plaque support fixe :

E) Gradient de vitesse

Que se passe-t-il au sein du fluide ?

- Si V_0 n'est pas trop grande, les molécules de fluide en contact avec la paroi sont entraînées par à vitesse V_0 , en une couche mince.
- Les forces de van der Waal permettent de transférer une partie de l'énergie cinétique de cette couche aux molécules en dessous qui sont entraînées mais à une vitesse moindre : plus ces forces d'interaction sont fortes, plus le fluide est visqueux et plus la vitesse décroît vite quand on s'éloigne de la couche du dessus.
- Le mouvement se propage en s'atténuant au sein du fluide : il est nul au contact de la plaque support qui est fixe.

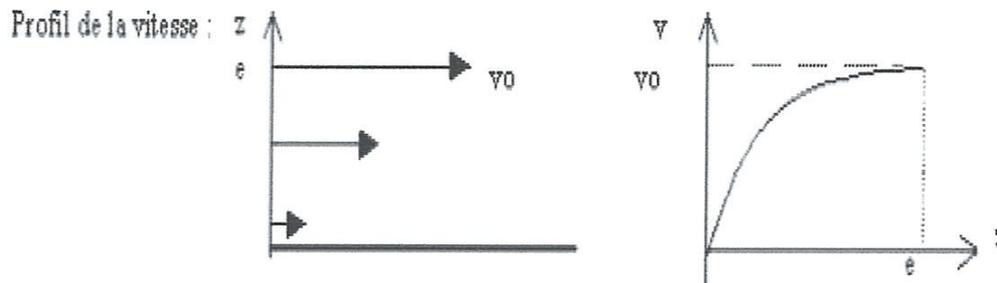


Figure III.5 : gradient de vitesse des fluides

Le gradient de vitesse va traduire l'évolution de vitesse au sein du fluide :

Gradient de vitesse : dv / dz

Unité : en s^{-1}

f) viscosités

La viscosité est la propriété d'un fluide qui tend à empêcher son écoulement lorsqu'une force de cisaillement est appliquée. Les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent facilement. La viscosité est une constante caractéristique du fluide, dans le sens qu'elle ne dépend pas de la contrainte appliquée mais dépend d'autres paramètres en particulier de la température et de la pression.

On définit différents coefficients de viscosité : [III.10]

➤ Viscosité dynamique

Elle est définie par la relation

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\epsilon}}$$

Unités : en système *S.I.P.A.S.* ou poiseuille (PI), l'unité cgs peut encore être rencontrée : le poise (1Po = 0.1Pa.s).

La viscosité dynamique, absolue ou tout court la viscosité [III.10].

➤ Viscosité cinétique

Elle est déterminée par le rapport entre la viscosité la viscosité dynamique sur la masse volumique.

$$\nu = \mu / \rho$$

Où ρ est la masse volumique du fluide.

Unité dans le système international : $Pa.s.kg^{-1}.m^3$.

➤ Viscosité de cisaillement

La viscosité de cisaillement peut être vue comme la résistance à l'écoulement de la différente couche d'un fluide les unes sur les autres [III.11].

III.4 Différents comportements rhéologiques

a) *Fluide Newtoniens*

Les fluides Newtoniens sont caractérisés par une relation linéaire entre la contrainte de cisaillement τ que l'on applique au fluide et sa vitesse de déformation $\dot{\epsilon}$ et n'ont aucune résistance à l'écoulement.

$$\tau = \mu \cdot \dot{\epsilon}$$

τ : contrainte de cisaillement (Pa)

μ : coefficient de viscosité (pas .s)

$\dot{\epsilon}$: vitesse de déformation ou de cisaillement.

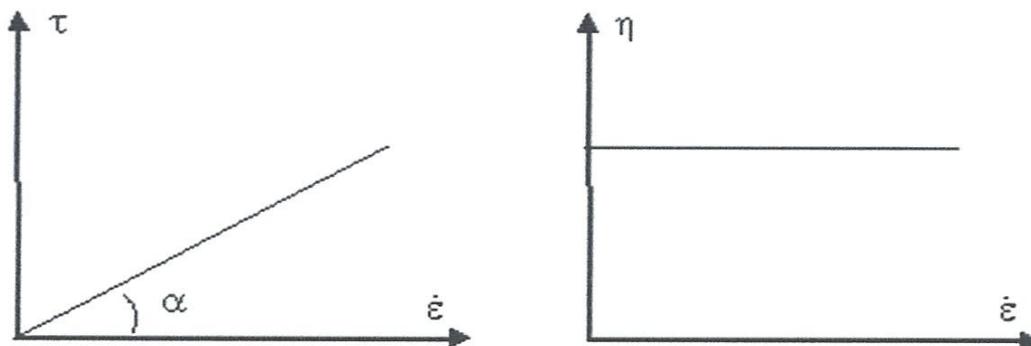


Figure III.6 : courbe d'écoulement et de viscosité pour un fluide Newtonien.

B) *Fluiderhé-épaississants*

Le rhéo-épaississement correspond à une augmentation de la viscosité à une mesure que le gradient de vitesse croit. Donc la courbe d'écoulement correspondant à ce comportement passe par l'origine et va s'incurver vers le haut. Ce comportement est beaucoup moins fréquent. Ce phénomène est lié soit à l'augmentation de volume de la matière ou par structuration induites par le cisaillement. Il concerne aussi des dispersions très concentrées, les solutions d'amidon, sables mouillés et compactés, certaines huiles polymériques et certains amidons dans l'eau. [III.10]

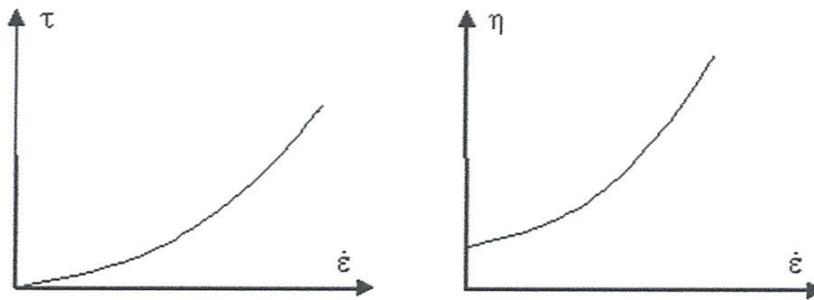


Figure III.7 : courbes schématisques d'écoulement et de viscosité pour un fluide Rhéo - épaississant.

c) *Fluide thixotropie*

Par définition les fluides thixotropes sont tout corps la viscosité apparente à tendance à décroître dans le temps quand on lui applique une contrainte (ou viscosité de cisaillement) constante, est dit thixotrope, pourvu qu'après suppression du cisaillement et un temps de repos suffisant, sa structure initiale se régénéré.

d) *Fluide anti-thixotropes*

L'inverse de la thixotropie. Ces fluides ont une viscosité qui augmente avec le temps quand on leur applique une contrainte. Après suppression de cette contrainte, on ne retrouve la viscosité initiale qu'après un certain temps plus ou moins long.

Il s'agit du passage de l'état liquide à un liquide plus visqueux, gélifié ou solide, lorsqu'une contrainte est appliquée pendant un certain temps. Comme le moment les figures ci-dessous, une fluide thixotropie et anti-thixotropie. [III.1]

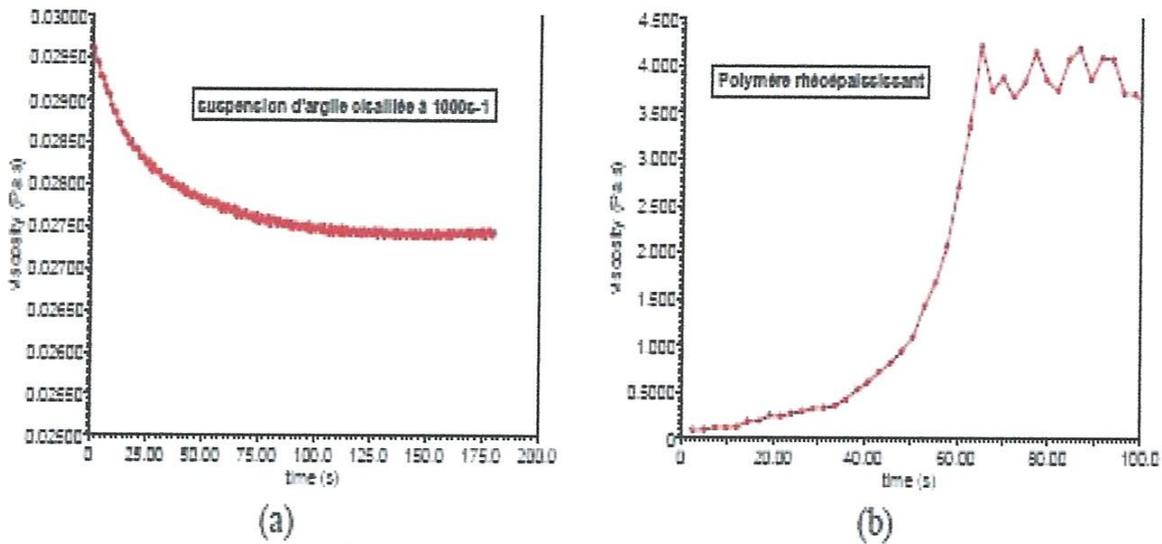


Figure III.8 : thixotropie(a) et anti-thixotropie (b) [III.3].

e) *Fluide viscoélastiques*

Un fluide viscoélastique est un fluide qui possède à la fois des propriétés de viscosité et d'élasticité.

On parle alors d'un comportement viscoélastique, intermédiaire entre celui du solide élastique parfait et du liquide visqueux Newtonien. Il existe plusieurs types de tests permettant de décrire ce comportement, parmi lesquels on distingue principalement les tests de fluage, de relaxation et les tests oscillatoires.

f) *Fluides plastiques*

Ils sont caractérisés par une contrainte de cisaillement seuil τ_c en dessous de laquelle l'écoulement n'est pas possible. Autrement dit, lorsqu'ils sont soumis à une contrainte très faible, leur viscosité est tellement forte qu'ils ne peuvent pas s'écouler.

Leur viscosité diminue ensuite si une contrainte supérieure au seuil est appliquée ce dernier terme indique qu'ils s'écoulent à partir d'une certaine valeur de contrainte τ_c . Au repos le fluide possède une structure tridimensionnelle rigide (particules emboîtées) ou floculées. Le seuil d'écoulement correspond à l'énergie nécessaire pour les séparer.

On distingue deux types de fluides plastiques :

○ **Fluide plastique idéal ou fluide de Bingham :**

Ces fluides présentent un seuil d'écoulement τ_c au-delà duquel ils s'écoulent comme un fluide newtonien : c'est le comportement plastique idéal. Si le mélange suffisamment concentré, ils se forment un réseau d'interaction tridimensionnel dans tout le volume.

Le fluide présente alors un seuil de contrainte minimum τ_c appelé également seuil de plasticité qu'il est nécessaire d'appliquer pour briser le réseau et amorcer l'écoulement.

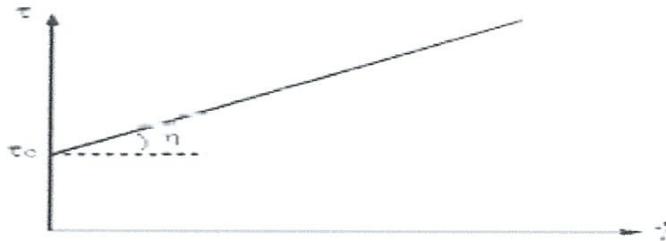


Figure III.9 : Rhéogramme d'un corps de bingham

Exemple :

Bingham a étudié les peintures à l'huile qui sont des fluides newtoniens. Ce n'est plus le cas des peintures actuellement fabriquées qui répondent à des cahiers des charges plus draconiennes : étalement facile, absence de trace de pinceau, absence de coulure...

➤ **Fluides casson :**

Ces fluides présentent un comportement plastique non idéal qui se traduit par une concavité dirigée vers le bas de leurs rhéogramme. C'est un comportement plastique fluidifiant. Comme la montre la figure :

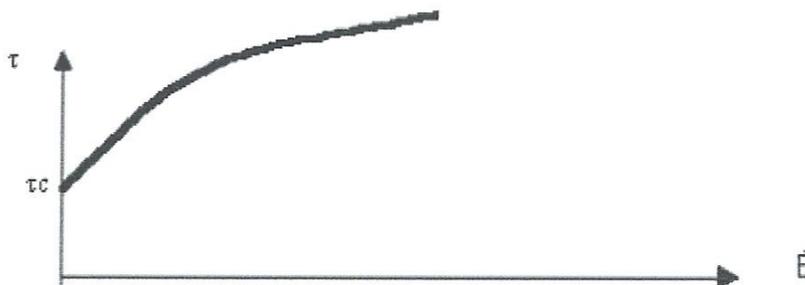


Figure III.10 : Rhéogramme d'un corps de casson

La plupart des fluides plastiques sont des fluides de Casson, comme les boues, les pâtes dentifrices, les pâtes à pain, les matières grasses, les suspensions de sulfates de zinc ou baryum [III.1].

III.5 le facteur temps en rhéologie

Une peinture ou vernis à ongle doivent posséder une faible viscosité à fort cisaillement afin de pouvoir être étalés facilement. Par contre, elle doit retrouver rapidement une forte viscosité dès que la contrainte s'annule (faible cisaillement, par exemple gravitationnel) afin d'éviter les coulures, mais pas trop rapidement si l'on veut un effet tendu. Cela impose de connaître un temps caractéristique de la cinétique de restriction, comparativement au temps d'observation (séchage dans notre exemple) t_e . le rapport t_e / t_c s'appelle le nombre de Déborah (De) ou encore le nombre de Weissenberger (We) [III.2].

III.6 Fluage

Le fluage est le phénomène physique qui provoque la déformation irréversible différée (c'est-à-dire non-instantanée) d'un matériau, pendant une durée suffisante. Le fluage ainsi que la relaxation de contrainte (notée σ), sont deux méthodes en quasi statique de caractérisation des matériaux visqueux (cas du béton) [III. 1].

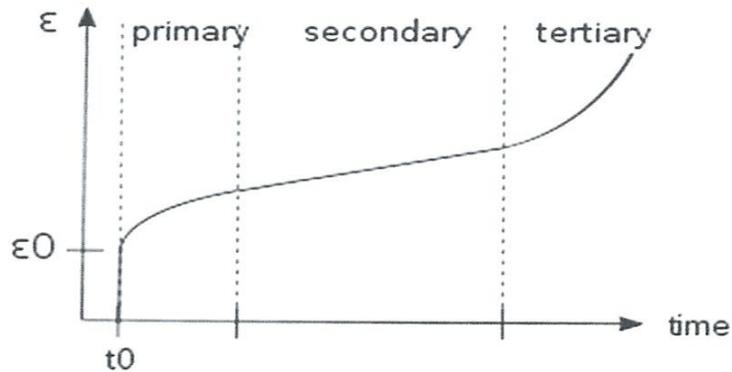


Figure III.11 : fluage primaire, secondaire et tertiaire [3].

Lors d'un essai mécanique de fluage, réalisé avec une éprouvette soumise à une contrainte et une température constantes, l'allongement est mesuré en fonction du temps. La courbe ainsi obtenue présente trois différentes zones, de comportements différents : il s'agit des trois modes de fluage :



Chapitre IV :
Notion générale sur la rouille

IV.1 Introduction

La rouille est une réaction d'oxydation réduction impliquant la molécule de fer, l'oxygène de l'air et l'eau. Il faut donc que ces trois éléments soient en contact pour déclencher le processus de la corrosion. Son résultat cette couche de matière friable et rugueuse qui recouvre les objets en fer laissés aux prises avec de l'air et de l'eau, est un oxyde de fer. Elle fragilise les objets qu'elle attaque dans un phénomène aussi appelé phénomène de corrosion.

La corrosion est le résultat d'une réaction chimique ou électrochimique du métal avec son environnement. Cela peut être, selon les cas, l'air ambiant, l'eau de mer, l'eau de rivière, des produits chimiques tels que les polluants acides et alcalins ou des solutions salines. La transformation et la destruction de la surface du métal est appelée corrosion. La corrosion des métaux purs est due à leur relative instabilité. En comparaison, la forme oxydée du métal est beaucoup plus stable. Ce n'est que grâce à un grand déploiement d'énergie que l'homme parvient à fabriquer un métal pur à partir d'oxydes métalliques présents en abondance dans les minerais naturels. Il s'agit toujours d'un processus de réduction opéré sur ces oxydes. La loi de la nature veut que toute substance instable (le métal pur) finisse avec le temps par reprendre, au contact de l'oxygène de l'air, une forme stable (l'oxyde métallique). Pour simplifier, on peut dire que la corrosion est le retour du métal au minéral. [IV.1]

IV.2 Formation de rouille

La rouille se forme lorsqu'une réaction d'oxydoréduction se déclenche entre du fer, ou un alliage à base de fer, de l'oxygène et de l'eau. La partie du fer en contact avec l'eau joue le rôle de l'anode et l'autre partie celui de la cathode. La réaction transforme une partie du fer en ions Fe^{2+} et le contact de l'eau avec l'air facilite la libération d'ions OH . Ceux-ci vont finalement s'apparier pour former notamment de l'hydroxyde de fer, $Fe(OH)_2$, composant essentiel de la rouille [IV.2].



Figure IV.1: Le mécanisme électrochimique de l'oxydation du fer. [IV.2]

Une goutte d'eau posée sur un morceau de fer libre est le lieu idéal pour que cette réaction ait lieu.

La molécule de fer métallique s'oxyde en ion ferreux selon la réaction d'oxydation :



L'eau en contact avec l'oxygène de l'air donne une réaction de réduction en formant des ions OH⁻ :



Finalement, les ions Fe²⁺ et OH⁻ en suspension vont s'équilibrer électriquement et former l'hydroxyde de fer Fe(OH)₂ et éventuellement d'autres combinaisons, comme FeO, Fe(OH)₃ et Fe₂O₃. La rouille est finalement un matériau complexe, composé de multiples formes de molécules basées sur le fer.

Les mécanismes mis en jeu sont divers et conduisent à des formes différentes de corrosion.

Remarque

Dans l'atmosphère, les métaux ferreux ne se corrodent qu'à partir d'une humidité relative supérieure à 60 %. En dessous de ce seuil, il n'y a pas assez d'eau de condensation (rosée) à la surface du métal pour former un film d'eau et ceci pour des températures habituellement comprises entre +10 et +20°C.



Figure IV.2 : Différents dégradations de la rouille

IV.2.1 Les type de corrosion

La corrosion peut se développer suivant différents processus qui caractérisent chaque type de corrosion [IV.3].

Corrosion chimique Il s'agit d'une réaction purement chimique entre la surface d'un matériau et un gaz ou un liquide non électrolyte. Par exemple, l'oxydation de l'acier ordinaire à haute température par l'oxygène de l'air est une corrosion chimique.

a) Corrosion chimique

Il s'agit d'une réaction purement chimique entre la surface d'un matériau et un gaz ou un liquide non électrolyte. Par exemple, l'oxydation de l'acier ordinaire à haute température par l'oxygène de l'air est une corrosion chimique.

b) Corrosion électrochimique

C'est une réaction électrochimique entre la surface d'un matériau et un liquide électrolyte. Cette réaction est accompagnée de la formation de piles qui sont le siège de circulation de courant électrique. La dégradation de l'aluminium par l'acide sulfurique dilué appartient à ce type de corrosion.

La corrosion électrochimique de l'acier peut être décrite de manière simplifiée, l'acier se dissout selon la réaction suivante :



Quand le fer se corrode, la vitesse est généralement contrôlée par la réaction cathodique, qui en principe est beaucoup plus lente (contrôle cathodique).

En solution désaérée, la réaction cathodique est la suivante :



Cette réaction est assez rapide dans les acides mais elle est lente dans les milieux aqueux neutres ou basiques. La réaction cathodique peut être accélérée par l'oxygène dissous suivant la réaction suivante (processus appelé dépoliarisation) :



En ajoutant les équations (IV-1) et (IV-3) qui font intervenir la réaction :



On obtient l'équation (IV-5)



L'hydroxyde ferreux, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ compose la barrière de diffusion à l'interface métal solution à travers laquelle l' O_2 doit diffuser. Le pH de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ saturé est d'environ 9.5. La couleur de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ bien que blanche quand il est pur, est normalement verte ou noir-vert à cause d'un début d'oxydation à l'air. La surface extérieure du film d'oxyde exposée à l'oxygène dissous, se transforme d'hydroxyde ferreux en hydroxyde ferrique hydraté ou en hydroxyde ferrique :



L'hydroxyde ferrique hydraté de couleur orange à brun-rouge compose la plus grande partie de la rouille ordinaire. Le $\text{Fe}(\text{OH})_3$ saturé a un pH presque neutre.

c) Corrosion biochimique

C'est l'attaque bactérienne des matériaux métalliques, en particulier dans les canalisations enterrées et les réservoirs. En effet, le métabolisme du développement de certaines bactéries provoque la formation d'acide sulfurique qui attaque le métal.

d) Corrosion accompagnée d'usure

Lorsque les produits de corrosion forment un dépôt adhérent et continu sur la surface du métal, ils ralentissent la vitesse de corrosion. Cette couche peut être éliminée en certains points par usure, abrasive ou érosive. Il y a alors accélération de la corrosion parce que la surface du métal est mise à nu.

IV.3 Différents types d'oxydes issus lors de la corrosion de l'acier

Lors de la dégradation de l'acier, différents produits de corrosion (lépidocrocite, goethite, magnétite) sont susceptibles de se former. Les dépôts de produits de corrosion formés peuvent jouer un rôle actif de barrière plus ou moins efficace selon leur nature. Cependant, ces couches sont minces, pas toujours homogènes dans leur épaisseur, et leur nature change dès lors qu'elles sont extraites du milieu dans lequel elles se sont formées. [IV.4]

IV.3.1 Les formes de corrosion

Plusieurs formes de corrosion peuvent être dénombrées, caractérisées par des modifications de propriétés physiques du métal. [IV.3]

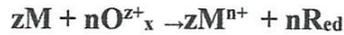
IV.3.2 La corrosion uniforme

Est une perte de matière plus ou moins régulière sur toute la surface. Le métal dans ce cas est dans l'état actif. Elle est aisément contrôlable par des mesures de perte de poids ou la diminution d'épaisseur du métal.

Attaque de toute la surface du métal, c'est la forme plus courante.

Exemple : oxydation, dissolution active dans l'acide, oxydation et passivité anodiques, palliation chimique et électronique, corrosion atmosphérique, voir tableau ci-dessous [IV.5].

D'un point de vue pratique, le couplage d'une ou plusieurs réactions d'oxydation d'un métal ou alliage, avec une ou plusieurs réactions de réduction d'espèces en solution, conduit à l'obtention d'un potentiel « mixte » de corrosion, appelé aussi potentiel libre. La totalité de la surface du métal prend cette valeur du potentiel qui est le siège d'une corrosion généralisée (hypothèse de Wagner-Taurde), décrite par la réaction suivante :



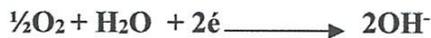
M désigne le métal et M^{n+} l'ion correspondant ; O_z^{z+} l'oxydant et Red désigne l'espèce réductrice associé.

La réaction anodique correspond à la dissolution du métal : $\text{M} \rightarrow \text{M}^{n+} + n\text{e}^-$

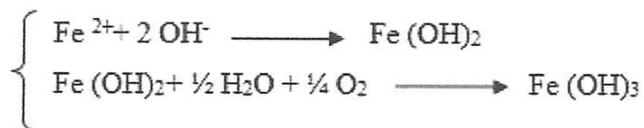
Le cation dissout peut ensuite se présenter sous différentes formes ou encore former des liaisons plus complexes. La réaction cathodique, quant à elle, varie suivant la nature des espèces oxydantes présentes en solution. Le phénomène cathodique le plus fréquemment rencontré est la réaction de réduction du proton H^+ (ou H_3O^+) en milieu acide :



La corrosion se développe infiniment tant qu'elle n'est pas limitée par l'appauvrissement en protons aux pH élevés, ou par la saturation du milieu au voisinage de la surface, en ions Fe^{2+} , qui entraîne la formation d'un dépôt protecteur par précipitation d'hydroxyde ferreux aux pH basiques et limite en général la corrosion. Dans les solutions aqueuses aérées peu acides, neutres ou basiques, la réaction cathodique la plus importante est la réduction de l'oxygène dissous :



Les ions Fe^{2+} de la réaction anodique s'hydrolysent pour former de l'hydroxyde ferrique $\text{Fe}(\text{OH})_3$ selon :



Le composé $\text{Fe}(\text{OH})_3$ qui se forme est alors très peu soluble et les produits de corrosion peuvent s'accumuler à la surface des métaux. A la suite de la formation de ces dépôts de produits de corrosion, les conditions locales sont considérablement modifiées et le mécanisme d'endommagement peu évalué.

IV.3.3 Corrosion par piqûres

La corrosion par piqûres est caractérisée par une attaque très localisée en certains points de la surface et provoque des piqûres. Cette forme de corrosion est produite par certains anions, notamment les halogénures (chlorures...), sur les métaux protégés par un film d'oxyde mince. Elle induit typiquement des cavités de quelques dizaines de micromètres de diamètre. La corrosion par piqûres affecte en particulier les métaux ou les alliages passivés (aciers inoxydables, les alliages d'aluminium).

Selon le schéma de la figure IV.3, ce type de corrosion comprend au moins deux étapes : l'amorçage qui se produit lors de la rupture locale de la passivité et la croissance ou propagation.

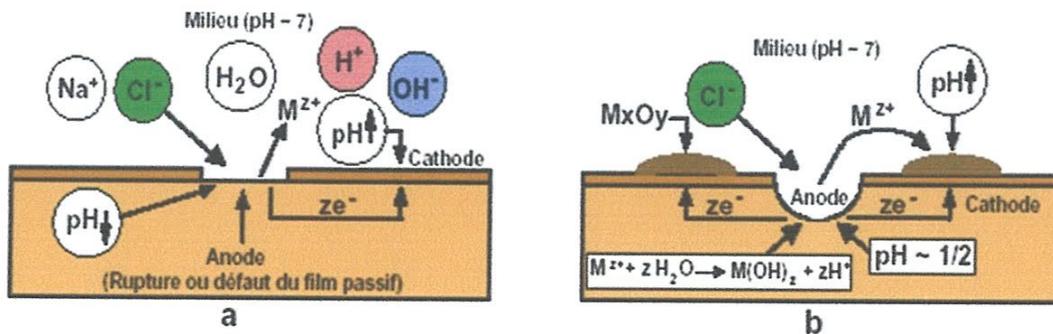


Figure IV.3 : Amorçage (a) et propagation (b) d'une piqûre. [IV.3]

IV.3.4 Corrosion galvanique

Contrairement à certains types de corrosion tels que la corrosion inter granulaire et la corrosion par piqûre, la corrosion galvanique est largement indépendante des données métalliques des matériaux. Ce type de corrosion résulte du couplage électrique de deux métaux différents et immergés dans la solution. La polarisation des surfaces métalliques par couplage galvanique a pour conséquence d'accroître la résistance à la corrosion de l'alliage le plus noble (la cathode) et de réduire la résistance à la corrosion de l'alliage le moins noble (l'anode). Elle résulte de la formation d'une pile (Figure IV.4) qui conduit à une hétérogénéité de l'attaque.

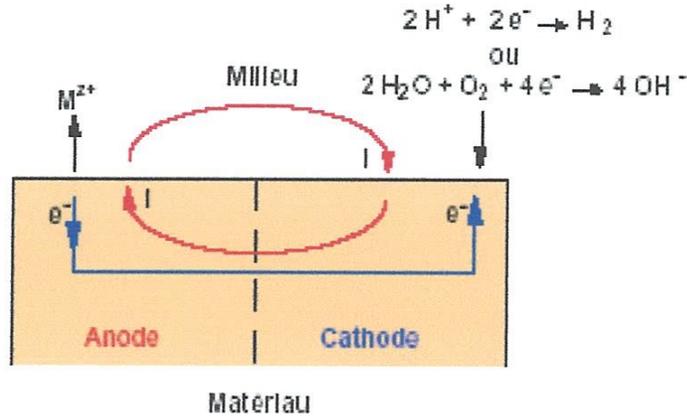


Figure IV.4 : Représentation schématique d'une pile de corrosion. [IV.3]

IV.3.5. Corrosion inter granulaire

Ce type de corrosion se manifeste aux joints de grains. Ce phénomène peut provoquer des fissures qui affaiblissent les caractéristiques mécaniques du métal. Certains aciers inoxydables et alliages (fer, chrome, nickel) sont très affectés par ce mode de corrosion qui réduit de façon catastrophique leur résistance mécanique. Ce type de corrosion est un phénomène microscopique (invisible dans les étapes initiales).

IV.3.6. Corrosion sélective

C'est un type de corrosion très dangereux parce qu'insoupçonné, la pièce corrodée ne semble pratiquement pas concernée, alors que sa résistance diminue considérablement. Elle consiste en la dissolution sélective d'un élément d'un alliage, les autres éléments restent non attaqués. Le métal devient poreux et perd sa résistance.

Tableau IV.1: caractéristique de la corrosion sélective

<i>dissolution sélective</i>	<i>Caractéristique</i>	<i>Exemple</i>
	Un composant d'un alliage (habituellement les plus actifs) est sélectivement enlevé d'un alliage.	Désinfections des laitons (Cu Zn).

IV.3.7. Corrosion caverneuse

La corrosion caverneuse est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure créant ainsi une pile électrochimique. Cette attaque sélective du métal est observée dans les fissures et autres endroits peu accessibles à l'oxygène. Souvent, la corrosion caverneuse est associée à la présence de petits volumes de solution corrosive stagnante, due à la présence de cavités, surfaces jointives ou dépôts discontinus.

IV.3.8. Corrosion filiforme

Ce type de corrosion est souvent associé à la présence d'un revêtement protecteur (peinture, vernis...) semi perméable à l'oxygène et à l'eau. L'attaque se manifeste par des filaments émis dans toutes les directions, à partir des défauts du revêtement, qui peut affecter divers matériaux tels que le fer et l'Aluminium lorsqu'ils sont soumis à des atmosphères humides entre 20°C et 30°C. L'oxygène et l'eau sont les réactifs nécessaires au développement de la corrosion filiforme [IV.6].

La présence d'ions agressifs tels que Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} favorise l'initiation de cette corrosion en développant une acidification locale.

D'après les mesures du potentiel et du pH, le fil de corrosion filiforme est composé d'une tête contenant une solution aqueuse acide et d'une queue alcaline contenant les produits de corrosion. Les conditions alcalines favorisent le décollement du revêtement [IV.7].

IV.3.9. Corrosion sous contraintes

La corrosion sous contrainte est une fissuration du métal qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique. Le processus se déroule en deux phases successives :

- ❖ Une phase d'initiation qui correspond à la formation d'un défaut local en surface (piqûre),
- ❖ Une phase de propagation dans laquelle la piqure devient fissure et progresse jusqu'à la rupture. Ce processus dépend essentiellement de l'intensité des contraintes imposées, de la nature du matériau (composition chimique et structure), de l'état de surface et du milieu corrosif et de la température.

IV.3.10. Application de diagramme potentiel – pH

En milieu acide ($\text{pH} < 4$) ; la présence de Fe^{2+} est élevée ; l'hydroxyde ferreux est Dissous. Le taux de corrosion est important et ne dépend pratiquement que de la vitesse de diffusion de l'hydrogène et de l'oxygène.

- ❖ En milieu neutre ($4 < \text{pH} < 10$) le taux de corrosion est pratiquement indépendant du pH car il se forme en surface de l'hydroxyde ferreux, soluble mais continuellement renouvelable par la corrosion sous – jacente. La surface du fer est donc toujours en contact avec un film de solution alcaline saturée d'hydroxyde ferreux hydraté dont le pH est environ 9.5 quel que soit le pH du milieu.
- ❖ En milieu basique ($\text{pH} > 10$) le fer se passive surtout en présence d'oxygène et la vitesse de corrosion diminue. Le professeur Pourbaix a établi pour nombreux métaux des diagrammes basés sur les tentions d'équilibre des réactions électrochimiques en fonction du pH de la solution. Ces diagrammes indiquent les limites thermodynamiques de stabilité du métal considéré par rapport à ses ions dans le milieu et aux produits de réaction, en fonction du pH et de la tension. Ces diagrammes, sont établis généralement à 250C. Dans le cas du fer, il apparaît trois domaines distincts (F.i.v.) [IV.8]

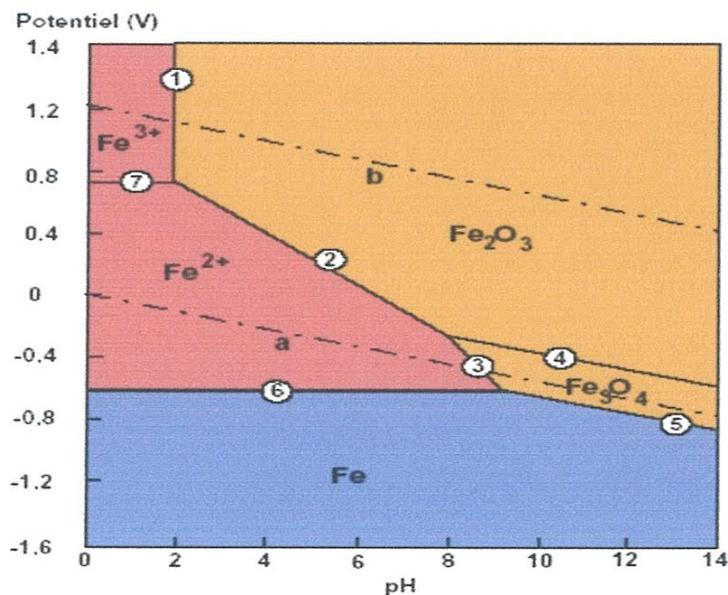


Figure IV.5 : Diagramme de stabilité du fer dans l'eau [IV.8].

IV.4. Les peintures dans la lutte contre la corrosion

En matière de lutte anticorrosion, il existe à l'heure actuelle, un nombre important de techniques bien ciblées, mais les dégâts occasionnés par la corrosion sont toujours considérables.

La protection contre la corrosion comprend les méthodes suivantes [IV.9] :

- Choix judicieux des matériaux : utilisation des métaux nobles,
- Utilisation des inhibiteurs de corrosion,
- Protection électrochimique : protection cathodique ou anodique,
- Utilisation des revêtements (revêtement organique ou inorganique).

IV.4.1 Les revêtements métalliques

Il existe deux types de revêtements métalliques suivant les places occupées dans la classification électrochimique, le métal qui constitue le revêtement et le métal à protéger (Figure IV.1) [IV.10, 11].

IV.4.2. Les revêtements anodiques

Le métal protecteur est moins noble que le métal à protéger. C'est le cas du procédé de galvanisation (revêtement de zinc). En cas de défaut du revêtement, il y a formation d'une pile locale et ce dernier se corrode en protégeant cathodiquement le métal de base.

IV.4.3. Les revêtements cathodiques

Le métal protecteur est plus noble que le métal à protéger. C'est le cas, par exemple, d'un revêtement de Nickel ou de Cuivre sur l'Acier. En cas de défaut du revêtement, la pile de corrosion qui se forme peut conduire à une perforation rapide du métal de base, aggravée par le rapport "petite surface anodique" sur "grande surface cathodique". Dans ce cas, la continuité du revêtement est donc le facteur primordial.

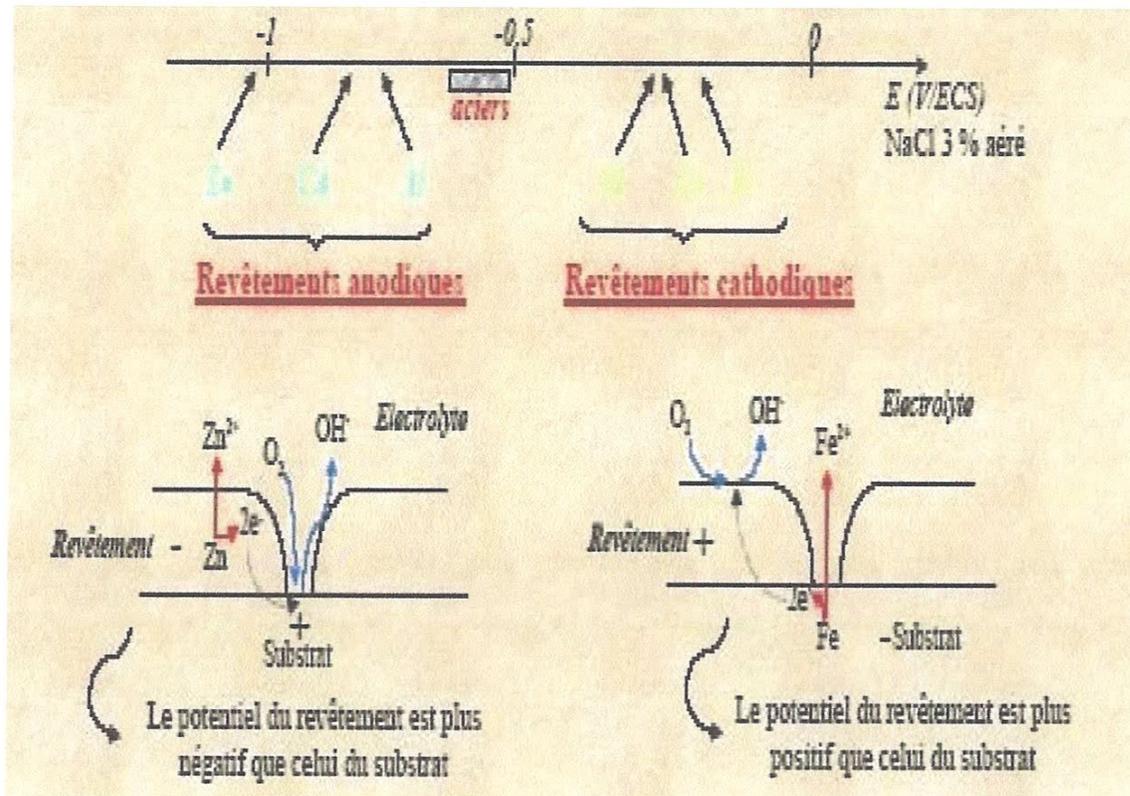


Figure IV.6 : Présentation des revêtements métalliques.

Un potentiel inférieur ou proche de celui du matériau à protéger semble le meilleur choix car, en cas de défaut ou de dégradation de la couche métallique, la corrosion galvanique se développera sur le revêtement qui aura le rôle anodique dans le couple formé avec le matériau. A l'inverse, un revêtement de potentiel plus élevé conduira à une forte dégradation du matériau, qui aura le rôle cathodique du couple, la corrosion galvanique sera aggravée par la nature très localisée des défauts sur la surface métallique [IV.12].

IV.4.4 Les revêtements organiques

Les revêtements organiques forment une barrière plus ou moins imperméable entre le matériau et le milieu. Ils se divisent en trois familles :

- Les bitumes,
- Les revêtements polymériques,
- Les peintures et les vernis.

IV.4.4.1 Les bitumes

Ils sont utilisés pour protéger des structures enterrées en acier. Le bitume contient différents hydrocarbures appartenant aux résidus de la distillation du pétrole, en raison de leur point d'ébullition relativement élevé. L'épaisseur des revêtements en bitume peut atteindre 5mm. Leur plasticité réduit considérablement les risques d'endommagement mécanique.

IV.4.4.2 Les Revêtements polymériques

Il existe une grande variété de revêtements polymériques pour la protection des métaux contre la corrosion : les thermoplastiques, les caoutchoucs et les thermodurcissables. L'épaisseur des revêtements polymériques est en général de l'ordre de 100 à 500 μm mais elle varie selon les cas. L'efficacité de la protection des revêtements polymériques dépend de leur résistance chimique intrinsèque dans le milieu et l'absence de défauts [IV.13].

IV.4.4.3 Système de protection par peinture

Un système de protection par les peintures est généralement constitué de plusieurs couches qui ont chacune un but bien précis. Il se compose d'un primaire, d'une couche ou plusieurs couches intermédiaires et d'une couche de finition (figure IV.7).

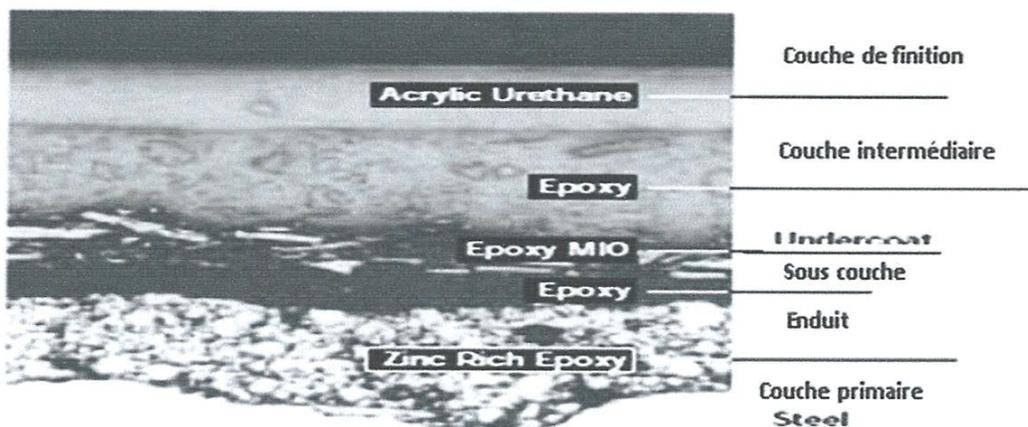


Figure IV.7: Système de protection par les peintures [IV.14].

➤ Couche de primaire

Une couche primaire assure l'adhésion avec le métal, le lien avec la couche immédiatement supérieure qui est chargée de la fonction protectrice principale et la couche de finition qui remplit souvent un rôle esthétique. Une couche primaire assure aussi la mouillabilité au

support et possède souvent des propriétés d'inhibition aux endroits où la couche se détériore afin de limiter la propagation de la dégradation. Les primaires destinés au traitement des surfaces métalliques sont habituellement formulés pour inhiber la corrosion. Il y a deux types de base de primaires :

- ✓ Des primaires pigmentés avec des éléments métalliques anodiques à l'acier. Lorsque le revêtement est endommagé et que le substrat en acier est exposé, le pigment se comporte comme une anode sacrificielle et ceci jusqu' à son épuisement. Les primaires à base de zinc (40 à 80 % de zinc) sont les plus utilisés.

- ✓ Des primaires ayant une bonne adhérence et des propriétés de résistance chimique élevées et dont le genre type est l'époxy à deux composantes. L'adhérence nécessaire est obtenue seulement sur une surface complètement nettoyée. Ces primaires peuvent contenir des pigments inhibiteurs de corrosion. Le phosphate de zinc est largement répandu dans des formulations modernes de primaires.

➤ *Couches intermédiaires*

Ce sont des couches d'étanchéité qui protègent le primaire contre un accès d'eau, d'oxygène et d'ions. Elles sont placées entre la couche du primaire et la couche de finition. Les couches intermédiaires sont appliquées pour donner une épaisseur finale au film du système. Certaines couches minces dites d'accrochage sont parfois nécessaires quand les différentes couches d'un système ne sont pas compatibles. Plusieurs couches garantissent l'absence de défauts. Il faut noter que ces couches doivent rester compatibles avec la couche de finition.

➤ *Couche de finition*

C'est la dernière couche d'un système de peinture, tout en complétant l'étanchéité, elle joue plusieurs rôles : forte résistance aux chocs mécaniques, thermiques, abrasions, attaques chimiques ou physique aspect décoratif [IV.15].

IV.5 Durabilité des peintures

La corrosion des métaux peints apparaît généralement lorsque le film de peinture se dégrade. Plusieurs mécanismes peuvent contribuer à la perte des propriétés protectrices des peintures :

- Le vieillissement de la peinture, la formation de cloques, les défauts d'application ou les endommagements mécaniques. Le vieillissement des peintures, figure IV.8. (a), est dû aux effets physiques et chimiques du milieu.
- La formation de cloques, (figure IV.8. (b), peut avoir différentes origines. Le plus souvent, elle est liée à un phénomène osmotique. En effet, le film fonctionne comme une membrane semi-perméable, laissant passer l'eau mais pas les composants ioniques. En présence de l'eau de condensation, les contaminants ioniques situés à l'interface métal-film engendrent une pression osmotique. Il en résulte un flux d'eau à travers le film, de l'extérieur vers l'intérieur, provoquant la formation d'une cloque et sa croissance. A un certain stade, la cloque se rompt et le métal de base se trouve en contact direct avec le milieu.
- Bon nombre de dégâts de corrosion observés sur les surfaces peintes proviennent de défauts d'application (porosité) ou d'endommagements mécaniques (rayures). Ces défaillances du film provoquent des piles de corrosion entre les endroits protégés et ceux non protégés. La figure IV.8 (c) représente schématiquement un cas similaire : le décollement cathodique d'une peinture lors de la corrosion atmosphère de l'acier. [IV.12]

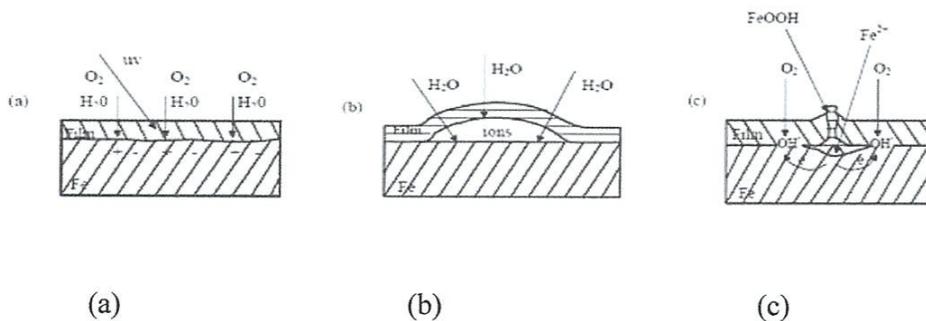


Figure IV.8. Mécanismes de dégradation des films de peinture [IV.12].

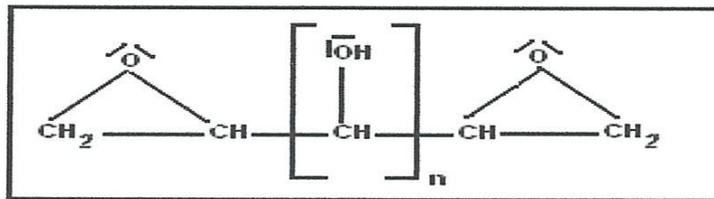
IV.6 Les peintures anticorrosion

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.

a) La base

La base se définit comme la dispersion des charges minérales et de pigments organiques ou minéraux dans une résine en solution dans un mélange de solvants. Elle contient une résine époxydique (le prépolymère).

La résine époxydique est schématisée ci- dessous



n : définit la longueur de la chaîne carbonée et varie entre 0 et 12. La résine époxydique contient deux types de fonctions actives, le groupe époxydique et la fonction alcool secondaire.

Les réseaux époxy sont souvent employés dans les systèmes adhésifs et les collages de revêtements organiques pour leurs bonnes propriétés mécaniques. De plus, ce type de composé présente un faible retrait après réticulation, une bonne adhésion à une large gamme de substrats, ainsi qu'une bonne résistance au décollement sous polarisation cathodique, ce qui pourrait expliquer la raison de son utilisation par certaines compagnies gazières ou pétrolières à l'échelle mondiale [IV.16].

La base contient également les différents agents mouillants et dispersants, composés organiques à têtes polaires. L'utilisation de ces agents accélère le mouillage et stabilise la dispersion des pigments. L'utilisation de ces agents diminue le temps de broyage de la base.

Ces agents mouillants et dispersants sont des agents tensioactifs qui peuvent être des composés anioniques ou des composés cationiques ou des composés amphotères.

La réalisation de la base consiste ensuite à mélanger les différents produits minéraux et organiques insolubles dans la résine, par une opération appelée empattage, de manière à réaliser la suspension.

La base contient également bon nombre de solvants qui peuvent être de nature différente ; composés aromatiques, acétates, cétones. Certains sont choisis pour solubiliser au mieux la résine de la base afin de faciliter la dispersion des différentes matières minérales de la base. D'autres sont de mauvais solvants de la résine. Ils servent de diluant à la peinture pour faciliter son application.

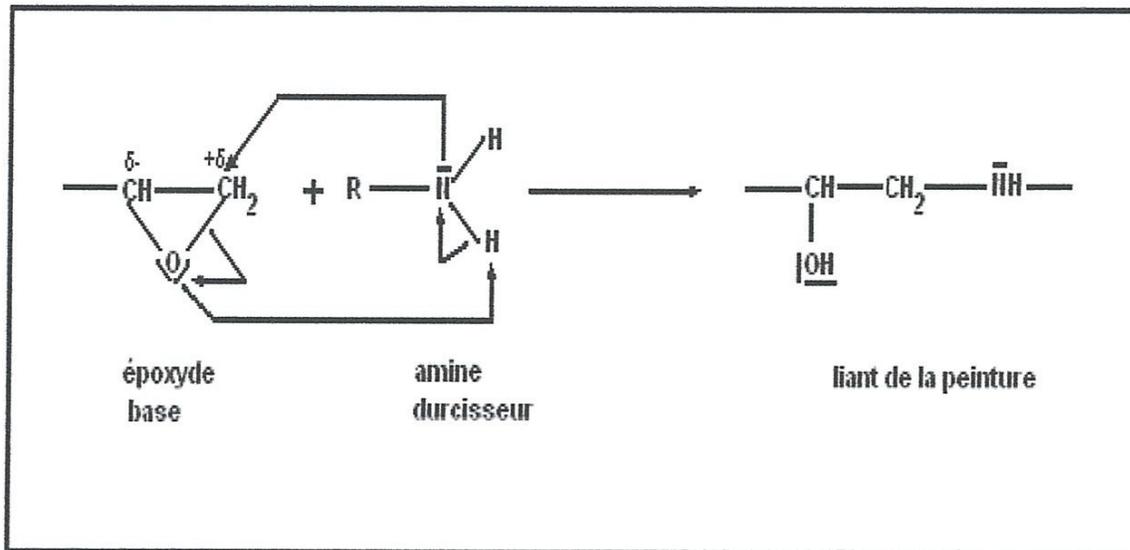
Après avoir mélangé les différents produits dans l'opération d'empattage, la base est alors constituée. Cependant, après cette opération, le mélange comporte de nombreux agrégats. La base est ensuite broyée dans un broyeur à billes de verre d'un diamètre de 2 à 3 mm jusqu'à l'obtention d'une finesse convenable.

b) *Le durcisseur*

Le durcisseur est le second composant de la peinture. Sa composition chimique dépend de la nature du film souhaité. Il s'agit d'une solution de résine dans un mélange de solvants.

Les prépolymères époxy sont susceptibles de réagir avec un certain nombre de composés par ouverture de groupe oxirane ou par réaction avec le groupe hydroxyle.

La réaction mise en jeu lors de la réticulation du film de peinture se décrit, dans le cas du durcissement par une amine primaire :



Cette réaction a lieu à température ambiante. Elle est exothermique. Elle peut être activée par la présence d'hydrogènes acides, phénol, acide salicylique qui permet des durcissements à basse température (0 à 10 °C).

Le séchage de la peinture est donc de deux types :

- Le séchage physique dû à l'évaporation des solvants qui composent la peinture,
- Le séchage chimique qui correspond aux réactions de réticulation décrites ci-dessus.

Le couplage de deux modes de séchage permet d'obtenir des films de peinture à séchage rapide et à température ambiante ce qui permet une utilisation à grande échelle et facilite le recouvrement par les autres couches de peinture [IV.17].

IV.7 Les étapes de formation d'un film de peinture

Les peintures présentent un mode de séchage en plusieurs étapes. Le processus final de coalescence peut durer, à température ambiante, de quelques semaines à plusieurs mois (figure IV.10) [IV.18] :

- 1- Concentration des particules : L'évaporation de solvant concentre les particules de polymère.
- 2- Formation du film : L'arrangement des particules est modifié et le volume libre est diminué.
- 3- Processus de coalescence : Cette étape peut durer longtemps (une semaine à plusieurs mois).

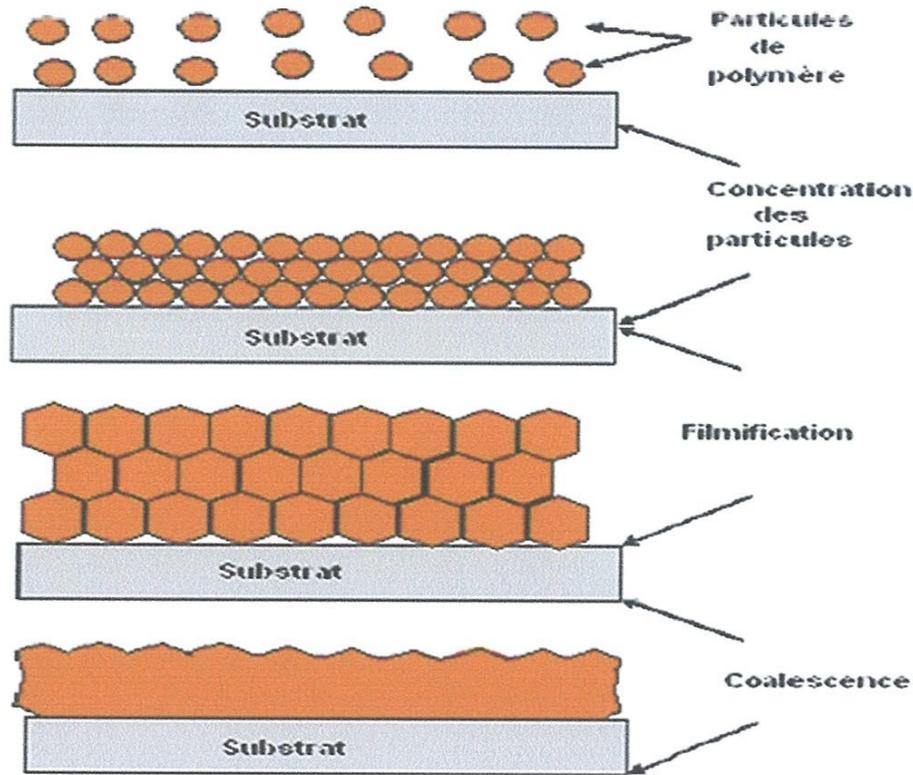


Figure IV.9 Représentation schématique des différentes étapes de formation d'une peinture

IV.8 Influence de la peinture de la corrosion sur le film de peinture :

Quelques exemples pris au sein du E.N.A.P

La destruction du film de peinture est due à la rouille qui attaque l'acier par-dessous. La rouille se produit sous l'action conjuguée de l'oxygène et de l'humidité, lorsque ces éléments arrivent à diffuser jusqu'à l'acier. Compte tenu de la diversité des supports et des agressivités

auxquelles ils sont soumis les systèmes présents ci-dessous sont donnés à titre d'informations générales [IV.19].

1) En atmosphère non agressive zone rurale : Système Alkyde (Glycérophtalique)

Supports / systèmes	Acier carbone	Métaux non ferreux
Préparation du support	- sable, brossage - dégraissage, lavage	- Dégraissage, lavage
Primaire	-primaire ou Glyfer économique	- fosfeal AM GRIS ou -fosfeal jaune
Intermédiaire	-styralin S/C	- styralin S/C
Finition	-styralin S / F	- styralin S /F

2) Zone industrielle à très forte agressivité :

Les ouvrages concernés sont : les tôles, charpentes métallique réservoirs, pylônes électriques, silos, ponts et canalisations.

Supports / systèmes	Métaux ferreux nus	Alliages légers sauf les galvanisés
Préparation du support	-Sablage, brossage -Dégraissage, lavage	-décrassage ou lavage -Nettoyage avec un dégraissant
Primaire	Galzinepox ofm ou primepox	-Fosfal Am et Epoxamine S / C
Intérimaire	-Epoxamine ofm ou Epoxy Hr	Epoxamine ofm ou Epoxy HR
Finition	-Epoxamine C / F (en intérieur) ou polyrane C / F (en extérieur).	Epoxamine C / F ou Polyrane

3) Ouvrages enterrés ou immergés en eau salée ou douce (métaux ferreux) :

Supports / systèmes	Ouvrages enterrés	Ouvrages immergés
Préparation du support	-Sablage, brossage -Dégraissage, lavage	Sablage, brossage -Dégraissage, lavage
Primaire	Primafer ou primepox	Galziepox ou primepox
Intemédiaire
Finition	Bimepox	Bimepox

- 4) Intérieur des réservoirs en contact avec les produits alimentaires :
Ces systèmes concernent les revêtements agréés pour contact alimentaire.

Milieux / systèmes	Produit alimentaire	Eau potable
Préparation du support	-Sablage	-sablage
Finition	Epoxamine	Epoxamine

- 5) Ouvrages en contact avec les eaux de rejet, huiles et hydrocarbures :

Support / systèmes	Métaux ferreux (canalisations, bacs.)	Concrète (pits...)
Préparation du support	-Sablage	-sablage et dépolissage Ou décrochage léger à l'eau
Primaire	Galzinepox ou primepox
Intermédiaire
Finition	2 couches Epoxy HR	couches Chloric CC C/F

- 6) Ouvrages soumis à l'agression thermique :

Supports / systèmes	Métaux ferreux (200 à 300°C)	Métaux ferreux (400 à 600)
Préparation du support	Sablage	Sablage
Primaire	Thermoric GA 200 / 300	Silitherme GA 400/ 600
Finition	Thermoric AL 200/ 300	Silitherme AL 400/ 600

IV.9. Lutte contre la corrosion par l'utilisation des inhibiteursDéfinition

Un inhibiteur de corrosion est un additif chimique qui, ajouté à faible concentration au milieu corrosif, ralentit le processus de corrosion d'un métal placé au contact de ce milieu [IV.20].

IV.9.1 Propriétés

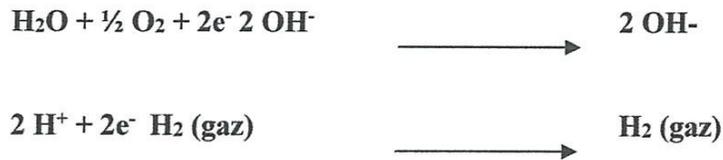
- Un inhibiteur de corrosion doit abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques de ce dernier.
- Il doit être non seulement stable en présence des autres constituants du milieu, mais également ne pas influencer sur la stabilité des espèces contenues dans ce milieu.
- Un inhibiteur est définitivement reconnu comme tel s'il est stable à la température d'utilisation et efficace à faible concentration.
- Il peut être utilisé en vue d'une protection permanente (surveillance primordiale du dispositif) ou plus couramment en vue d'une protection temporaire : durant une période où la pièce est particulièrement sensible à la corrosion (stockage, décapage, nettoyage...).
- Un inhibiteur (ou un mélange d'inhibiteurs) peut être combiné à un autre moyen de protection : protection supplémentaire d'un alliage à faible résistance à la corrosion, addition à un revêtement de surface tel que peinture, graisse, huile, etc.
- Être compatible avec les normes de non toxicité.
- Être peu onéreux [IV.21].

IV.9.2 Les conditions nécessaires à l'utilisation d'un inhibiteur

A partir du mécanisme d'action des chromates en peintures, LEIDHEISER [IV.22], on a défini les conditions nécessaires qui doivent satisfaire un substituant convenable des chromates en peintures :

- L'inhibiteur doit être efficace dans un domaine de pH compris entre 4 et 10 et de manière idéale entre 2 et 12.
- L'inhibiteur réagit à la surface du métal pour donner un produit de solubilité plus faible que l'inhibiteur lui-même.
- L'inhibiteur doit avoir une solubilité faible pour ne pas être éliminé du revêtement au contact d'un milieu humide mais suffisant pour pouvoir agir à l'interface métal/revêtement.
- L'inhibiteur doit être efficace dans les domaines anodiques de dissolution du métal et cathodique.

L'inhibiteur doit agir sur les deux réactions cathodiques :



IV.9.3 Influence sur les réactions électrochimiques partielles

D'après leur influence sur la vitesse des réactions électrochimiques partielles, on peut distinguer les inhibiteurs anodiques, cathodiques ou mixtes (regroupent les deux premières propriétés). L'inhibiteur de corrosion forme une couche barrière sur la surface métallique, qui modifie les réactions électrochimiques en bloquant soit les sites anodiques (siège de l'oxydation du métal) soit les sites cathodiques (siège de la réduction de l'oxygène en milieu neutre aéré ou siège de la réduction du proton H^+ en milieu acide).

✓ *les inhibiteurs anodiques*

Un inhibiteur anodique agit au niveau des anodes microscopiques en diminuant la densité du courant partiel anodique et en déplaçant le potentiel de corrosion dans le sens positif. Les inhibiteurs anodiques doivent être utilisés avec précaution. En effet, si le film protecteur est altéré par une rayure ou par une dissolution, ou si la quantité d'inhibiteur est insuffisante pour restaurer le film, la partie exposée se corrode en piqûre profonde. Ainsi, les inhibiteurs anodiques sont classés en tant qu'inhibiteurs dangereux tels que : l'ortho phosphate, le nitrite et les silicates.

✓ *les inhibiteurs cathodiques*

Un inhibiteur cathodique diminue la densité du courant partiel cathodique et déplace le potentiel de corrosion dans le sens négatif. Ceci se produit par la précipitation de l'espèce insoluble sur les sites cathodiques. Des ions de zinc sont utilisés en tant qu'inhibiteurs cathodiques en raison de la précipitation de $\text{Zn}(\text{OH})_2$ aux sites cathodiques.

✓ *les inhibiteurs mixtes*

Un inhibiteur mixte diminue la vitesse des deux réactions partielles, mais il modifie peu le potentiel de corrosion. [IV.20]



Partie pratique V :

V.1 Introduction

Ce chapitre énumère les différentes méthodes de préparation, de contrôle et de mesure effectuées pendant la préparation (rendement, épaisseur de film humide, épaisseur du film sec, la dureté, et l'adhérence) ainsi que lors de la formulation d'une peinture.

V. 2.Méthodes de contrôle

V.2.1. Détermination de la viscosité

a) Principe :

La viscosité des peintures est déterminée en fonction de temps d'écoulement en secondes à un intervalle de température de 20–25 °C.

b) Appareillage et produits :

- Viscosimètre « Coupes Ford », figure V.1
- Thermomètre, figure V.2
- Chronomètre



Figure V.1 : Viscosimètre « coupes Ford »

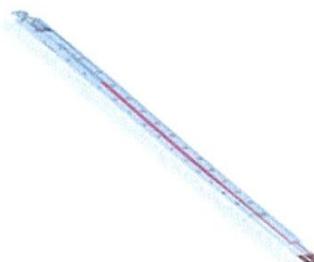


Figure V.2 : Thermomètre

c) Mode opératoire

Pour déterminer la viscosité on utilise un viscosimètre coupes Ford, On met la coupe sur support horizontal après s'être assuré de sa propreté, on bouche l'ajustage à l'aide du doigt placé sous la coupe et on la remplit à bord avec le produit du test. On débouche l'ajustage en mettant le chronomètre en marche, une fois l'écoulement est terminé on arrête le chronomètre au moment de la rupture du filet liquide. La température des Essais doit être de 20 ± 1 °C.

V.2.2 Détermination de l'extrait sec

C'est la détermination de la matière non-volatile, entrant dans la composition de la peinture, c'est-à-dire les ingrédients qui après séchage constituent le film composé principalement des pigments, des charges et des liants.

a) Principe

Pour la détermination de l'extrait sec, du produit est mis dans une étuve pendant un temps donné à une température constante et ceci en fonction du type de produit (peinture à base de solvant ou à base d'eau, résine ou émulsion).

b) Appareillage :

L'appareillage utilisée se compose essentiellement de

- Coupelles à extrait sec en aluminium ou couvercles de boîtes.
- Etuve thermostatique
- Balance de précision à 10^{-4} g
- Dessicateur



Figure V.3 : Etuve thermostatique



Figure V.4 : Balance de précision



Figure V.5 Dessicateur

c) Mode opératoire :

Pour déterminer l'extrait sec, on pèse la coupelle vide soit M_1 , après on mesure environ 1,5 à 2 du produit qu'on veut tester dans la coupelle soit M_2 .

On met la coupelle dans une étuve thermostatique pendant environ 1h30 à 150 °C, et après on la laisse refroidir dans le dessiccateur puis on pèse à nouveau la coupelle, soit M_3 .

d) Expression des résultants

L'extrait sec se calcul par la formule suivante :

$$ES = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} * 100$$

Avec :

M_1 : masse de la coupelle vide

M_2 : masse de la coupelle avec le produit avant séchage

M_3 : masse de la coupelle avec le produit après séchage

V.2.3. Détermination de la densité**1- Principe :**

Consiste à déterminer la densité des peintures, vernis et diluants au moyen d'un pycnomètre.

2- Appareillage et produits :

- Balance de précision
- Pycnomètre 100 CF



Figure V.6 : Pycnomètre

3- Mode opératoire

Pour déterminer la densité on utilise un pycnomètre ; on pèse le pycnomètre avec son couvercle soit M_1 , on remplit le pycnomètre avec le produit à contrôler jusqu'au bord, en évitant la formation de bulles d'air.

On place le couvercle au fond, dans un mouvement de rotation, et on essuie l'excès du produit qui s'échappe du pycnomètre. Après on pèse le pycnomètre avec le produit et son couvercle soit M_2 .

4-Expression des résultats :

La densité se calcule par la formule suivante :

$$D = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

Avec :

M_1 : Poids du pycnomètre vide avec couvercle

M_2 : Poids du pycnomètre rempli avec couvercle

V : Volume du pycnomètre (100 CF).

V.2.4 Détermination des durées de séchage hors toucher (HT) et sec

a) Principe

Cette méthode a pour objectif la détermination des durées de séchage hors toucher (HT) et sec d'une couche de peinture ou vernis *hors toucher (HT) : temps au bout duquel le film n'est plus collant au toucher.*

b) Appareillage

- Poids 100 g et 500g.
- Disque en caoutchouc 20 cm de diamètre et 5 mm d'épaisseur
- Chronomètre.
- Applicateur automatique de film et lame d'épaisseur.
- Roue ASTM pour peinture routière
- Support métalliques.

c) Mode opératoire

Pour la peinture séchée à air, excepté la peinture de signalisation routière, les différentes étapes du séchage sont déterminées de la façon suivante :

- **Hors toucher** : on dépose sur le film de peinture une feuille de papier à cigarettes soumise à une pression déterminée pendant un temps donné. La feuille doit se détacher lorsque l'on retourne l'éprouvette.
- **Sec** : on dépose sur le film un morceau de tamis à une pression déterminée, celui-ci ne doit laisser aucune trace sur la touche de peinture.

V.2.5 Détermination de la brillance :**a) Principe :**

Cette méthode permet la détermination de la brillance d'un film sec de peinture ou de vernis à l'angle d'incidence ou de réflexion variables. Elle s'applique dans les conditions suivantes :

- ✚ L'angle de 60° est applicable à tous les films de peintures et de vernis : si la valeur mesurée est supérieure à 70°, l'angle de 20° est le plus adapté dans ce cas (film à brillance élevée). Dans le cas contraire, on utilise l'angle de 85°, c'est-à-dire des films à faible brillance.

b) Appareillages et produits :

- Brillance mètre.
- Plaque en acier 180 x 80 x 0,8mm.

c) Mode opératoire : déterminer la brillance, on relève directement la valeur de la brillance affichée. Refaire trois fois la mesure en trois endroits différents et faire la moyenne des lectures.

d) Expression des résultats :

Indiquer la moyenne de trois mesures en précisant l'angle utilisé.

V.2.6 Rendement

Cette méthode consiste à déterminer le rendement d'une peinture ou d'un vernis en m²/kg ou m³/l.

▪ Principe

Déterminer le rendement d'une peinture ou d'un vernis sur un support

▪ Appareillages et produits

- ✚ Balance de précision

- + Plaque d'acier 180 * 80 * 0.8 mm
- + Autre supports
- + Pistolet pneumatique
- + Brosse
- + Jauge d'épaisseur film humide
- + Jauge d'épaisseur magnétique

- **Mode opératoire**

- + Choisir le support approprié selon le type de peinture ou vernis et relever sa surface : S
- + Peser le support préalablement traité : P₀
- + Appliquer la peinture ou vernis selon le mode d'application approprié
- + Relever aussitôt après l'épaisseur du film humide et peser peint : P₁
- + Laisser sécher (séchage air ou four) et relever l'épaisseur film sec.

Remarque :

- Pour l'application des glycars, glyfours etc., utiliser le pistolet pneumatique.
- Pour l'application des Epoxamine, polyrane, chloric CC etc., utiliser la brosse

- **Expression des Résultats**

- + $S=L * l$
- + Poids de la peinture ou vernis déposé= $P_1 - P_0 = P(g)$
- + Pour couvrir S (m²) il faut P(g) de peinture ou vernis
- + Pour couvrir 1m² il faut X(g) de peinture ou vernis= $1m^2 * P / S$
- + X (g) couvre 1m²
- + 100 g couvre Y (m²) = $1m^2 * 100g / S$

D'où le rendement R (m² / kg) = Y (m²) / 1kg ou R (m² /kg) x densités peinture ou vernis.

Ce rendement correspond à l'épaisseur du film humide et l'épaisseur du film sec déterminé auparavant.

V.2.7 Détermination de l'épaisseur du film humide

1. Principe

Déterminer l'épaisseur film humide d'un revêtement au moyen d'une jauge d'épaisseur film humide.

2. Appareillages et produits

- + Plaque d'acier ou autre support selon le type de revêtement à contrôler
- + Jauge d'épaisseur film humide
- + Pistolet
- + Brosse

3. Mode opératoire

- + Appliquer, selon le mode d'application adéquat, la peinture ou le vernis sur le support approprié préalablement traité.
- + Relever aussitôt après l'épaisseur film humide comme suit :
 - Effectuer en appliquant une légère pression de courts mouvements de la jauge d'épaisseur film humide
 - Soulever la jauge verticalement relevé l'épaisseur du film humide à la première dent mouillée.

4. Expression des résultats

Faire trois mesures d'épaisseur du film humide et prendre la moyenne.

V.2.7-Mesure de l'épaisseur d'un film sec de peinture ou de vernis

I. Principe

Déterminer l'épaisseur film sec au moyen d'une jauge d'épaisseur magnétique.

II. Appareillages et produits

- + Jauge d'épaisseur magnétique
- + Plaque d'acier 180*80 * 0.8mm

III. Mode opératoire

- + Tourner la molette dans le sens des aiguilles d'une montre et mener le chiffre à 0 en face de l'index du cadran.
- + Appliquer la jauge d'épaisseur magnétique sur la surface du film sec.
- + Tourner la molette dans le sens contraire des aiguilles d'une montre jusqu'à la retombée de pole qui est aussi caractérisé par un bruit sec provoqué par la détente du ressort intérieur.

- ✚ Lire l'épaisseur film sec en micron sur le cadran du jaune.
- ✚ Refaire trois fois la mesure en trois endroits différents et faire la moyenne des lectures.

V.2.8- Méthode de détermination la dureté Persoz au pendule Persoz

i. Principe

L'essai consiste à déterminer l'amortissement des oscillations d'un pendule reposant sur le film sec contrôlé par deux billes d'acier, de même diamètre faisant partie intégrante du pendule.

ii. Appareillages et produits

Pendule Persoz.

Plaque d'acier 180 * 80 * 0.8mm.

iii. Mode opératoire

- Avant essai, laisser séjourner les plaques peintes pendant au moins douze heures dans local où la température est de 20°C et l'humidité relative de 65%,
- Fixer la plaque sur la plate-forme dont l'horizontalité a été réglée au préalable à l'aide du niveau à bulle,
- S'assurer de la propriété des billes du pendule puis poser celui-ci sur le film à contrôler,
- La pointe de l'aiguille du pendule doit se trouver au repos en face de la graduation 0°,
- Ramener la pointe de l'aiguille du pendule à la graduation 12°, le lâcher pour déclencher les oscillations du pendule,
- Lire le résultant en secondes affichés par le pendule.

iv. Expression des résultats

Indiquer la dureté *Persoz* et l'épaisseur moyenne film sec.

V.2.9 Méthode de détermination du degré d'adhérence

Cette méthode permet de déterminer le comportement d'un film de peinture ou vernis après incision en quadrillage.

a. Principe

La méthode consiste à déterminer le degré d'adhérence d'un film sec de peinture ou vernis selon une notion de 0 à 5 (voir tableau ci-dessus quadrillage).

b. Appareillages et produits

- ✓ Peigne 1mm ou 2mm
- ✓ Ruban adhésif normalisé ASTM D 1000
- ✓ Plaque d'acier 180* 80*0.8mm

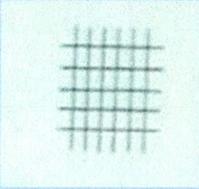
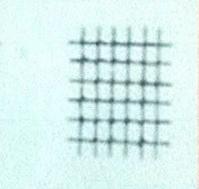
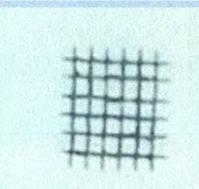
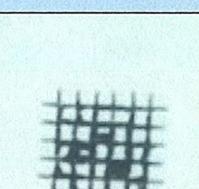
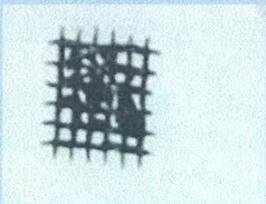
c. Mode opératoire

- ✓ Le revêtement ou le système complet à tester doit être appliqué et réticulé dans les conditions normales d'utilisation de ces produits.
- ✓ Pour le produit à sécher air, laisser sécher au moins 24 h à température ambiante.
- ✓ Pour le produit à sécher au four, après étuvage, laisser séjourner les plaques peintes à température ambiante pendant 12h maximum.
- ✓ Selon le type de peigne utilisé, pratiquer des incisions espacées de 1 ou 2 mm dans un sens perpendiculaire afin d'obtenir un quadrillage. Il est important que la pression exercée sur peigne soit constante et que le feuille soit incisé support ou jusqu'à la couche immédiatement au-dessous (dans le cas d'essais d'adhérence entre couche).
- ✓ Souffler ensuite sur la partie quadrillée pour éliminer les fines particules qui se sont détachées de l'incision.
- ✓ Appliquer 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.
- ✓ Arracher le ruban d'un mouvement rapide et continu.
- ✓ Examiner les parties quadrillées et les traces sur le ruban et noter les résultats selon le tableau en annexe.

d. Expression des résultants

Comparer les parties quadrillées après scotchée par rapport aux quadrillages du tableau des quadrillages et noter le classement de 0 à 5.

Tableau du quadrillage

classification	Description	Surface de la partie quadrillée
0	Les bords des incisions sont parfaitement lisses, aucun des carrés du quadrillage ne s'est détaché.	
1	Détachement de petites écailles du revêtement l'intersection des incisions, qui représente 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. surface détachée représente nettement plus de 15% jusqu'à environ 35% jusqu'à environ 65% 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. 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.	

VI. Introduction

Le travail de recherche de la présente étude consiste à la formulation et la caractérisation de peintures antirouille. Cette formulation ainsi que les différentes mesures ont été réalisées au niveau du laboratoire central de l'Entreprise Nationale Algérienne des Peintures (ENAP) et le laboratoire d'Analyses Industrielles et Génie des Matériaux LAIGM de l'université 08 Mai 1945 de Guelma.

Dans ce chapitre nous présentons deux formulations de peinture, la première de type « Glyfer » fabriqué par l'ENAP et la deuxième à base de « Minerai Jaune et Calamine Noir » proposé par nos soins. Cette dernière est une nouvelle peinture antirouille à base de minerai jaune plus de calamine noire à la place du pigment (d'oxyde de fer rouge) utilisée généralement pour la protection contre la corrosion de l'acier métallique tel que dans le type « Glyfer ».

VI.1 Formulation d'une peinture

La peinture est une préparation fluide (liquide, pâteuse ou pulvérulente qui peut s'étaler en couche mince sur toute sortes de matériaux (appelés subjectiles) pour former, après séchage ou réticulation (durcissement) un revêtement (film ou feuille), adhérent jouant un rôle protecteur.

Le travail entrepris dans cette étude consiste à la formulation de deux types de peinture anticorrosion ; la première de type « Glyfer » fabriqué par l'ENAP et la deuxième à base de « Minerai Jaune et Calamine Noir » proposé par nos soins.

Les différentes étapes fabrication pour les deux peintures sont détaillées ci-dessous :

VI.1.1 Glyfer économique

Le *Glyfer Economique* est une peinture antirouille utilisée particulièrement pour la protection de l'acier métallique.

Les caractéristiques physico-chimiques :

Primaire d'accrochage à base de résine alkyde modifiée en phase aqueuse, *Glyfer Economique* offre une adhérence parfaite sur de nombreux supports et une excellente durabilité dans le temps :

- ✓ Nature Alkyde à base de pigments inhibiteurs de corrosion.
- ✓ Son utilisation pour les métaux ferreux et ouvrages métalliques.

- ✓ Propriétés de bonne résistance à la corrosion sous différentes ambiances et aussi il est un bon garnissant.

Tableau VI.1 Caractéristiques et normes.

Densité	Viscosité 20-25°C	Rendement : 4-5m ² /kg ±0.5	Séchage à 20-25°C	Aspect : Mat	conditionnement
1.490 ± 0.05	150 ± 10CF4	110 μ (50μs)	HT : 4h Sec : 12h	12 mois dans son emballage	1kg, 4kg ,25 kg

VI.1.2. Formulation du Glyfer

La formulation du Glyfer est présentée dans le tableau suivant :

Tableau VI.2 : formulation de peinture

Matière première	En poids	Masse pour 400g
1 : Résine	29%	116g
2 : Agent mouillant phase solvant(A5022)	0.3%	1.2g
3 : Anti peau (A5025)	0.2%	0.8g
4 : carbonate de calcium	36%	144
5 : talc bâtiment	13%	52
6 : oxyde de fer rouge	7%	28
Les siccatives pour la dilution		
7: Sicotobalt (T4347)	0.08%	0.32
8: Sictocal (T4364)	1.01%	4.04
9:Sictoplomb (T4419)	0.37%	1.48
10:Gélentil	7%	28

VI.1.3. L'empattage

D'après le même processus suivant on prépare la formulation de peinture *Glyfer économique* et même pour celui *Minerai jaune* et *Calamine Noire* ENAP.

On charge les matières premières qui figurant sur *le tableau VI.2* par ordre de 1 jusqu'à 6 pour quel toute les matières dispersent bien. On met l'agitation en marche (*agitation de 2 mn à vitesse = 600 rpm*). L'introduction de l'émulsifiant du ENAP est fait sous agitation (*agitation 5 mn à vitesse = 600 r pm*),

- On introduit graduellement et sous agitation, celle-ci est introduite graduellement Pendant une *durée de 3 mn à vitesse = 600 rpm*. On augmente la vitesse *d'agitation à 800 rpm* pour une *durée d'une heure*.



Figure VI.1 : Appareil agitateur

VI.1.4 Broyage :

On introduit ensuite, les pigments : d'oxyde fer de rouge. Une fois, les solides sont bien incorporés dans le mélange de la résine, on laisse le mélange agiter pendant 20 min environ sous une forte agitation. Avant de diluer le mélange, on effectue un contrôle de finesse, afin d'assurer que toutes les pigments ont été bien dispersés, et un contrôle de pH en ajoutant de soude.

Par cette opération on peut obtenir, soit des pâtes, soit des produits broyés, soit directement des peintures. en ajoutant 1/3 de bille du verre pour facilite l'empattage et rapidement d'avoir la finesse normale.

VI.1.5 Le diluant :

La dernière phase consiste à ajouter le reste des matières : l'agent anti coalescence, White Spirit, Propylène Glycol pour améliorer la souplesse du film de peinture, Agent Fongicide, l'eau, la résine, et l'Acresol afin d'ajuster la viscosité. On effectue, enfin, un contrôle visuel de la couleur afin de répondre aux exigences. L'importance de cette phase permet de connaître la viscosité de la peinture, sa densité, durance etc...

Tableau VI.3 : Taux de dilution

Matière première	En poids	Masse pour 400g
<i>White spirit (S3110)</i>	6.1%	24.4
<i>Sicotobalt (T4347)</i>	0.08%	0.32
<i>Sictocal (T4364)</i>	1.01%	4.04
<i>Sictoplomb (T4419)</i>	0.37%	1.48
<i>Gélenil</i>	7%	28

Nb : le test est répété plusieurs fois avec plusieurs corrections par des bases teintées noirs et rouges afin d'obtenir la coloration exacte recherchée.

VI.1.6 La filtration :

Après broyage et diluant, ont procédé à la filtration de la peinture afin d'éliminer les impuretés

VI.2. Applications du Glyfer économique

VI.2.1 La mesure de finesse de grains

À l'aide de la jauge Hegman est un contrôle ponctuel réalisé en cours de fabrication. Il permet de vérifier que la dispersion est satisfaisante, juste avant l'étape de complément. La jauge Hegman est un bloc plat en acier dont la surface est entaillée de deux rainures plates et uniformes. Ces rainures s'étendent d'une profondeur maximale à une extrémité de la jauge et de façon décroissante jusqu'à rejoindre le point zéro à l'autre bord du bloc acier.



Figure VI.2 : Mesure de la finesse des grains

+ Interprétation de résultat :

Nous avons placé l'échantillon du produit au point le plus profond des rainures. Etaler à l'aide de la règle de précision en position inclinée jusqu'à l'autre extrémité. Mettre le bloc à hauteur des yeux et déterminer le point de mesure pour lequel de grosses particules ou des traces sont visibles donc on a obtenu 6/2 ce qui nous confirme que la finesse de notre peinture elle bonne dans cette intervalle.

VI.2.2 Détermination de la densité « Pycnomètre » :

Cette méthode consiste à déterminer la densité des peintures, et diluants au moyen d'un pycnomètre. Pour déterminer la densité on utilise un pycnomètre, on pèse le pycnomètre avec son couvercle soit M_1 , on remplit le pycnomètre avec le produit à contrôler jusqu'au bord, en évitant la formation de bulles d'air.

On place le couvercle à fond, dans un mouvement de rotation, et on essuie l'excès du produit qui s'est échappé du pycnomètre. Après on pèse le pycnomètre avec le produit et son couvercle soit M_2 .



Figure VI.3 : détermination pycnomètre

a) Expression des résultats :

La densité se calcul par la formule suivante :

On place le couvercle à fond, dans un mouvement de rotation, et on essuie l'excès du produit qui s'est échappé du pycnomètre. Après on pèse le pycnomètre avec le produit et son couvercle soit M_2 .

Donc d'après le tableau, valeur suivant la norme de la densité est donnée $1,490 \pm 0.05$.

$$D = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

M_1 est la masse de pycnomètre vide avec son couvercle = 198.9g

M_2 est la masse de pycnomètre rempli et fermé = 1.42g

V s'exprimer par 100.

Application numérique :

$$D = (198.9 - 1.42) \div (100) = \underline{1.4748\%}$$

✚ **Interprétation de résultat :**

Pour la peinture de formulation à partir Glyfer économique on a trouvé que la densité égale 1.47%, d'après la comparaison à celle du tableau la viscosité est diminuée.

VI.2.3 Viscosimètre type « coupe Ford »

La viscosité des peintures est déterminée en fonction de temps d'écoulement en secondes à un intervalle de température de 20-25 °C. Pour déterminer la viscosité on utilise un viscosimètre coupes Ford, on met la coupe sur son support horizontal après s'être assuré de sa propreté, on bouche l'ajustage à l'aide du doigt placé sous la coupe et on la remplit à ras bord avec le produit du teste. On débouche l'ajustage en mettant le chronomètre en marche, une fois l'écoulement est terminé on arrête le chronomètre au moment de la rupture du filet liquide. La température des essais doit être de 20±1°C.



Figure VI.4 : Viscosimètre « coupe Ford »

✚ **Interprétation de résultat :**

Résultat obtenu d'après l'écoulement est de 150 poises signifie que la viscosité en L'augmentation du temps d'écoulement implique une augmentation de la viscosité. Est normale et conforme à celle de norme.

VI.2.4 Rendement

Pour déterminer le rendement d'une peinture ou d'un vernis sur un support approprié. On doit choisir le support approprié selon le type de peinture ou vernis et relever sa surface S.

S : surface de la plaque.

L : longueur de la plaque = 16,5 cm

l : largeur de la plaque = 7.5 cm

$$S = 16.5 * 7.5 = \underline{123.75 \text{ cm}^2}$$

- Peser à l'aide d'une balance le support préalablement traité P_o , on a :

$$P_o = 69.5 \text{ g}$$

- Relever aussitôt après avoir mis une épaisseur de peinture d'un film humide et de poids P_1 ,
On a le support avec l'épaisseur film humide de peinture obtenu $P_1 = 70.2 \text{ g}$.

Application numérique :

- Poids de la peinture du Glyfer déposé; $P_1 - P_o = P(\text{g})$

Poids $P = 70.2 - 69.5 = 0.7$ convertissons en kg et on obtient 0.0007 kg

VI.2.5 Détermination de l'épaisseur film humide

D'après la fiche technique de La norme pour une épaisseur de film humide de la peinture *Glyfer économiques* de $100 \pm 5\mu$.

- Relever aussitôt après l'épaisseur film humide comme suit :
 - Nous avons effectué en appliquant une légère pression de courts mouvements tout au long de la plaque par notre échantillon à l'aide de jauge d'épaisseur film humide.
 - Soulever la jauge verticalement relevé l'épaisseur du film humide à la première dent mouillée ce qui a donné comme résultat 110 μ .

Interprétation de résultat:

Notre résultat est supérieur par rapport à celui de la norme donc nous pouvons dire qu'il y a eu une augmentation de l'épaisseur de la couche et qu'elle a dépassé celle de norme demandé de 5μ .



Figure VI.6 : Epaisseur du film humide

VI.2.6 Le séchage Hors touche (HT) et sec du Glyfer économique

Le séchage Hors touche (HT) et sec de peinture préparée à partir du Glyfer, donne des résultats qui sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau	1	2	3
<i>HT</i>	<i>2h : 30min</i>	<i>2h : 45min</i>	<i>3h : 00min</i>
<i>Sec</i>	<i>05h : 20min</i>	<i>05h : 50min</i>	<i>06h : 00min</i>

Remarque

Séchage HT : 2H 00 ± 30 min

Sec : 6H 00 ± 1

HT est effectué après 3 heures, celui du séchage sec après 6 heures.

✚ Résultat et interprétation :

D'après tous les résultats obtenus concernant le séchage Hors Touche (HT) et sec on trouve que le temps de séchage de peinture préparée à base du *Glyfer économique N° 3* est dans les normes, tandis que celle du *N° 1* et *2* sont hors normes.

VI.2.7 Mesure de l'épaisseur d'un film sec de la peinture Glyfer

Après avoir pris trois fois la mesure et ceci en trois endroits différents de la plaque nous avons obtenus 60 μ, Or la norme 60 ± 5 !

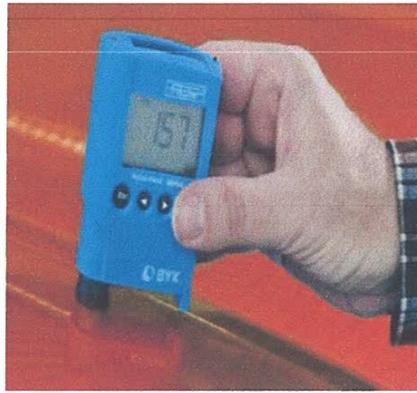


Figure VI.7 épaisseur film sec

✚ **Interprétation de résultat :**

Le résultat trouvé est **60 μ m** est parfait sa situé dans la norme demandé, c'est –à-dire qu'il y a pas l'existence des couches en excès sur la plaque. L'épaisseur d'un film correctement séché. Nous avons obtenues un bon film sec normal.

VI.2.8 La dureté (Pendule Persoz) :

Le test consiste à mesurer le temps d'amortissement d'un pendule oscillant sur une surface-test. L'amplitude d'oscillation du pendule, qui dépend de la dureté, est détectée grâce aux faisceaux photoélectriques du pendule. Elle décroît plus vite sur les surfaces souples.

La dureté Persoz s'exprime donc en secondes est égale : **55 secondes**

✚ **Interprétation de restant :**

A l'aide l'appareil Persoz obtenu résultat **55sec**, et ce résultat a eu relation à l'épaisseur sèche, qui aura été mesurée sur une zone proche de la zone testée.



Figure IV.8 : L'appareillage du pendule Persoz

VI.2.9 L'Adhérence :

Cette méthode permet de déterminer le comportement d'un film de peinture ou vernis après incision en quadrillage.

D'après le résultat que nous avons obtenu par degrés d'adhérence notre film sec de plaque du Glyfer économique peinte a une bonne adhérence.

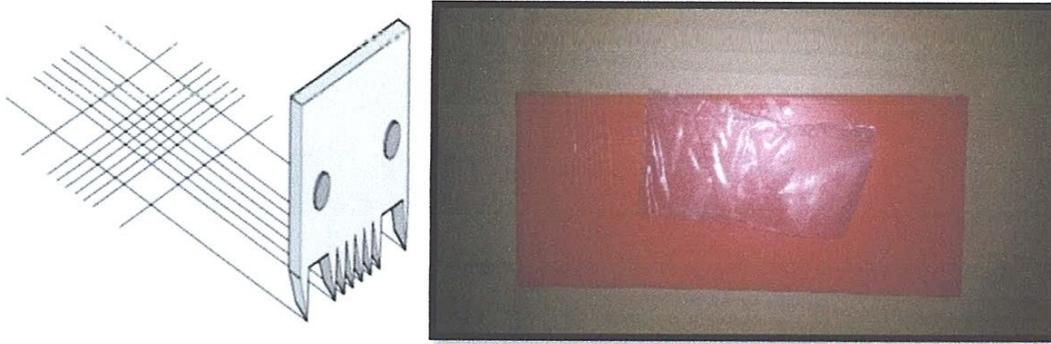


Figure VI.9 : Résultat de l'adhérence

✦ Interprétation de résultat :

Raison pour laquelle les bords des incisions sont parfaitement lisses aucun des carrés de quadrillage ne s'est détaché.

VI.2.10 La Brillance

Les résultats des tests de brillance de la peinture préparée à base du *Glyfer économique* sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau VI.4: résultats de la brillance

Angle	Test 1%	Test 2%	Test 3	Moyenne
20°	0.3%	0.5	0.5	0.433
60°	11.3%	12.1	12.8	12.066
85°	16.7%	17.7	20.1	18.166

✚ Interprétation de résultat :

On remarque que la brillance à un angle égale à 60° est supérieure à 11% ; et celle à un angle égale à 85° est supérieur à 16%.

Donc nous allons prendre en considérations les deux angles celui de 60° et de 85° dans ces deux cas notre peinture est MAT.

VI.3 Formulation de la peinture *Minerai Jaune et Calamine Noir*

VI.3.1 Contrôle des matières premières

Le contrôle des matières premières utilisées en vue de vérifiée sa conformité. Le contrôle de certaines propriétés est donc indispensable tel que sa viscosité, la densité, l'extrait sec et autre, à savoir chaque matière première et ses caractéristique propres. Les résultats trouvés seront comparés avec ceux de la fiche technique accompagnée.

Contrôle de la première pour l'échantillon *minerai jaune et le calamine noire* ont été contrôlé comme suit :

Peser la quantité appropriée du pigment à soumettre à l'essai correspondant à sa prise d'huile probable, voir tableau ci-dessous :

Tableau VI.5 : Test de la prise d'huile

Prise d'huile probable	Masse de la prise d'essai
<i>Moins de 5</i>	<i>20g</i>
<i>10 à 30</i>	<i>10g</i>
<i>30 à 50</i>	<i>5g</i>
<i>50 à 80</i>	<i>2g</i>
<i>Plus de 80</i>	<i>1g</i>

Remarque : la prise d'huile de pigment « Oxyde de Fer rouge » est comprise dans cet Intervalle d'après la norme : 22 ± 3 . Ce qui veut dire, si le résultat est entre $[19 - 25]$, et par comparaison nous pouvons dire que la prise d'huile des deux échantillons (*Minerai jaune et calamine*) soit acceptable.

Expression des Résultats

Calculer la prise d'huile par la masse d'huile nécessaire pour 100 g de pigment, c'est-à-dire :

$$Ph = \frac{93 \cdot Vn}{m}$$

V_n : volume en millilitre d'huile nécessaire.

m : Masse en gramme de pigment utilisé.

93 : Densité de l'huile de lin * 100 (masse de l'huile de lin).

Application numérique :

Premier test : Prise d'huile minerai jaune 1

D'après la loi, on obtient un volume pour le pigment minerai jaune 1 de $V_n = 1,75$ ml, et c'est la valeur où le produit se transforme sous forme en pate.

$$Ph. = \frac{93 * 1,75}{10} = 16,27$$

Interprétation du résultat :

Le ph est égale 16.27 ml, cela veut dire le point de l'obtention sous forme de pate.

On peut dire que la valeur est acceptable à celle de la norme demandé, l'échantillon à une bonne absorption sous forme de la pâte.

Deuxième test prise d'huile calamine noire :

Prise du volume initiale minerai jaune est de 1,75 et celui de la calamine noire obtenu lors dosage 1,8 Règle de calcule : $1,75 - 1,8 = 0,95$ ml.

$$Ph = \frac{93 * 0,95}{10} = 8$$

✚ Interprétation de résultat:

Pour le résultat la valeur un peu éloigné de la norme raison pour laquelle calamine noire n'est plus degrés d'absorption facile et rapide d'être sous forme pate, si nous constatons lors de sa formulation est de 1% et 0,5% est une quantité très négligeable qu'il deviendra sous forme de la pâte qu'il n'est pas trop absorbant.



Figure VI.10: Prise d'huile de l'échantillon

VI.3 première formulation minerai jaune (6.5%) plus Calamine noire (0.5)

Pour la première formulation nous avons mesuré les pigments 6.5% de minerai jaune + 0.5 % de calamine noire en mélangeant avec tous les produits qu'il faut telle que : Résine alkyde long huile (joue le rôle de brillance pour la peinture), les additifs (agent mouillant), les charges et le pigment (0.6% + 0.5), on introduit sous agitateur et agiter pendant 30 min.

Puis on contrôle sa finesse et on rajoute encore les solvants pour diluer (la dilution joue le rôle de séchage de peinture).

VI.3.1 Détermination de la densité « Pycnomètre » :

$$D_1 = \frac{(329.6 - 198.6)}{100} = 1.30 \%$$

Interprétation de résultat

Pour la première formulation on a trouvé que la densité est presque égale à celle demandée par les normes. Les peintures préparées à partir de notre échantillon ont une bonne densité car il est presque à la proximité de la norme densité égale 1.3 % (est acceptable d'après la norme).

VI.3.2 Viscosimètre type « coupe Ford »

Le résultat obtenu formulation 1 :

Norme de la viscosité	Formulation (1)
	Viscosité 1
150 ± 10	150 Poises

Interprétation de résultats

D'après les résultats obtenus, de la viscosité des essais 1 sont dans la norme, tandis que la formulation 1, ont une viscosité parfaite avec celle demandée par les normes, puisque la viscosité du Glyfer économique de l'ENAP doit être supérieure ou égale 150 poises.

VI.3.3 Extrait sec :

Extrait sec peinture : résidu obtenu par évaporation des solvants et des matières volatiles contenues dans la peinture. Les matières non-volatiles entrent dans la composition solide du revêtement. Ces ingrédients restant après séchage constituent le film de peinture. C'est l'extrait sec véritable qui peut être mesuré en volume ou en masse.

$$\text{Extrait sec} = \frac{P_2 - P_0}{X} * 100$$

P_0 : Mesure du couvercle vide.

X : (mesure de formulation 6.5% plus 0.5%)

P_2 : c'est l'échantillon après vaporisation + couvercle).

Application numérique :

Nous avons mesuré le poids du couvercle vide qui a la valeur du couvercle vide qui est le $P_0 = 6.451 \text{ g}$

X : la quantité de l'échantillon déposé sur le couvercle vide = 1.757 g

P_2 : c'est le poids qu'on met dans four à 150°C pendant un heure et récupéré mesure son poids = 7.659 g .

$$E_{SC(1)} = \frac{(7.659 - 6.451)}{1.757} * 100 = 68.75 \%$$

+ Interprétation de résultat

Le résidu est obtenu par élimination des solvants dans des conditions conventionnelles. Elles sont fixées par une méthode bien déterminée de température, de durée ou de dépression afin de supprimer toutes les matières volatiles présentes dans la peinture. Pour cette valeur il ne reste alors plus que les matières sèches qui déterminent l'extrait sec.

VI.3.4 Rendement :

Déterminer le rendement d'une peinture ou d'un vernis sur un support approprié :

Choisir le support approprié selon le type de peinture ou vernis et relever sa surface : S

Nous avons obtenu d'après notre plaque sa surface $S = L * I$

S : surface de la plaque.

L : longueur de la plaque = $16,5$

I : largeur de la plaque = $7,5$

$$S = 16.5 * 7.5 = 123.75 \text{ Cm}^2$$

- Peser le support préalablement traité : **Po**
D'après la mesure prise l'aide de la balance, **Po = 84.1g**
- Relever aussitôt après l'épaisseur film humide et peser peint : **P1**
L'épaisseur film humide obtenu **P1= 86.2 g**

L'application numérique :

- Poids de la peinture du primafer déposé = $P1 - P0 = P(g)$
Poids = 86.2 - 84.1 = 2.1 g convertissons en kg obtenu 0.00021kg

VI.3.5 Détermination de l'épaisseur film humide plaque 1

Pour une épaisseur du film humide de pour d'après la norme **100 ± 5**

- plaque par notre échantillon à l'aide jauge d'épaisseur film humide.
-Soulever la jauge verticalement relevé l'épaisseur du film humide à la première dent mouillée ce qui a donné comme résultant **100μ**

+ Interprétation de résultants :

Notre résultant est égale à celui de la norme dans nous pouvons dire qu'il y a pas couche supplémentaire sur la plaque, ce qui veut dire le film de cette formulation 1 a un bon accrochage sur la couche primaire.

IV.3.6 Le séchage Hors touche (HT) et sec

Le séchage Hors touche (HT) et sec de peinture préparée à partir de la référence du

Glyfer économique donné :

Séchage : HT : 2H 00 ± 30min

Sec : 6H 00 ± 1

Séchage de la formulation 1 :

Séchage : HT : 1h 45 min

Sec : 5h 30 min

Remarque

-HT est effectué près qu'à 2h, celui du séchage sec près que 6h.

✚ Interprétation de résultat

D'après tous les résultats concernant le séchage hors touche (HT) et son sec on trouve que le temps de séchage de peinture préparée à base alkyle long huile, est dans les normes bien précisé, tandis que Sec aussi dans les hors normes.

VI.3.7 Mesure du l'épaisseur d'un film sec de peinture

Après avoir prise trois fois la mesure en trois endroits différents sur la plaque nous avons obtenus **58 μ** . Et celui du film sec est de **60 \pm 5 μ** sur la fiche es d'après la comparaison qu'avec celle du résultats.

✚ Interprétation de résultat :

Notre résultat trouvé c'est 58 μ c'est qui a fait Il existe des sondes permettant de mesurer précisément l'épaisseur d'un film correctement séché et / ou réticulé. Nous avons obtenues un bon film sec normal.

VI.3.9 La dureté :

Le test consiste à mesurer le temps d'amortissement d'un pendule oscillant sur une surface-test. L'amplitude d'oscillation du pendule, qui dépend de la dureté, est détectée grâce aux faisceaux photoélectriques du pendule.

✚ Interprétation de résultat

La dureté obtenue **58 pos seconde** à l'aide de Pendule Persoz, On peut dire que notre film de d'épaisseur qui une influence sur le résultats du film sec raison pour la valeur correspond un a la valeur du film sec qui a un bon séchage d'après le résultat.

VI.3.10 brillance de la plaque 1

Les résultats des tests de brillance, de peinture préparée par la formulation 1 donné par le tableau suivant :

Tableau VI.6: résultat de brillance plaque1

Angle	Teste 1	Teste2	Teste 3	Moyenne
20°C	0.1	0.1	0.1	0.1%
60°C	0.4	0.4	0.4	0.4%
85°C	1.5	1.4	2.0	1.6%

+ Interprétation de résultant :

On remarque que la brillance à un angle égale à 60° est supérieur à 0.3% on prend donc en considération et aussi la brillance à un angle égale à 85° . En revanche l'augmentation du taux de la résine augmente considérablement la brillance. Cela peut être dû à la présence de l'huile dans la résine, qui peut donner une brillance et souplesse au film de cette peinture.

Remarque : Aspect est Mat.

VI.3.11 Adhérence sur plaque 1 :

Cette méthode permet de déterminer le comportement d'un film de peinture ou vernis après incision en quadrillage.

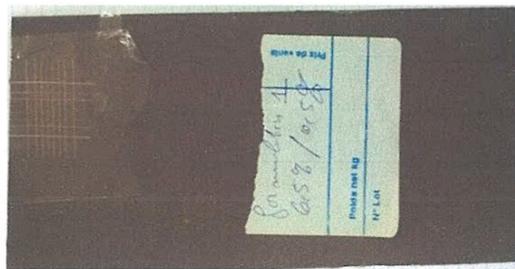


Figure VI.11 : résultat du l'adhérence

+ Interprétation de résultant

Cette propriété dépend, entre autres facteurs de l'adhérence, mais l'essai de quadrillage ne peut être considéré comme le véritable moyen de mesure l'adhérence (il faut pour cela pratiquer un essai de traction).

D'après le résultant que nous avons obtenus par degrés d'adhérence notre film sec de plaque peinte qui a une bonne adhérence !

VI.4 Formulation 2

Dans cette partie nous faisons une étude comparative entre les deux résultants obtenus lors de la formulation.

Pour la deuxième formulation la quantité prise de l'échantillon est moindre et celle de la première formulation, en diminuant la quantité a été maintenue constant. D'après la comparaison nous remarquons la couleur deux formulations sont différentes c'est la due à la quantité pris lors de formulation 6 % de minerai jaune + 1% de calamine noire.

VI.4.1.Détermination de la viscosité « Coupes Ford » :

La viscosité des peintures est déterminée en fonction de temps d'écoulement en secondes à un intervalle de température de 20–25 °C. La température des essais doit être de 20±1°C.

Viscosité 2	Résultant
Norme T (20 – 25) °C	à 20°C
150 ± 10 poise	140 poises

✚ Interprétation du résultant :

Nous pouvons dire la viscosité est normale car d'après la norme le temps par la viscosité est égale 140 poise inclut dans l'intervalle qui une meilleur viscosité

La Densité

La détermination de la densité est effectuée en utilisant un pycnomètre. Le résultat obtenu est : 1.276 %.

$$D = D_2 = \frac{(326.4 - 198.8)}{100} = 1.276 \%$$

✚ Interprétation et de résultat

Pour la peinture préparée à partir de la formulation 2, on trouve que la densité et près qu'à celle demandée par les normes. Tandis que la peinture préparée par formulation 1 a une bonne densité est égale 1.30%(demandée par les normes).

VI.4.2 L'extrait sec

Le résultat obtenu de l'extrait sec ES de la formulation 2 :

$$ES (2) = \frac{7.6362 - 6.32}{1.534} * 100 = 81.2 \%$$

✚ **Interprétation de résultats:**

On peut dire que notre peinture contient entre 68.75 % et 81.2% de peinture sec, les restes ces solvants qui s'évaporent après chauffage à 150° dans l'étuve.

Quand l'extrait sec est élevé le pouvoir de la peinture devient plus élevé.

VI.4.3 Rendement :

Déterminer le rendement d'une peinture ou d'un vernis sur un support approprié :

Choisir le support approprié selon le type de peinture ou vernis et relever sa surface :S

Nous avons obtenus d'après notre plaque sa surface $S = L * l$

S : surface de la plaque.

L : longueur de la plaque = 16,5

l : largeur de la plaque = 7.5

$$S = 16.5 * 7.5 = 123.75 \text{ Cm}^2$$

- Peser le support préalablement traité : P_0

D'après la mesure prise l'aide de la balance, $P_0 = 82.21g$

- Relever aussitôt après l'épaisseur film humide et peser peint : P_1

L'épaisseur film humide obtenu $P_1 = 87.5 g$

L'application numérique :

- Poids de la peinture du déposé = $P_1 - P_0 = P(g)$

Poids = $87.5 - 82.2 = 5.2 g$ convertissons en kg obtenu $0.00521kg$

VI.4.4 l'épaisseur film humide plaque 2

- plaque par notre échantillon à l'aide jauge d'épaisseur film humide 95μ .

-Soulever la jauge verticalement relevé l'épaisseur du film humide à la première dent mouillée ce qui a donné comme résultant 95μ .

✚ Interprétation de résultat :

Notre résultant est normale par la norme dans nous pouvons dire qu'il y a pas couche supplémentaire sur la plaque, ce qui veut dire le film de cette formulation 2 a un bon accrochage sur la couche primaire.

VI.4.5 l'épaisseur d'un film sec de peinture

Après avoir prise trois fois la mesure en trois endroits différents sur la plaque nous avons obtenus **65 μ** .

✚ Interprétation de résultats :

Notre résultat trouvé c'est **65 μ** c'est qui a fait Il existe des sondes permettant de mesurer précisément l'épaisseur d'un film correctement séché et / ou réticulé. Nous avons obtenues un bon film sec normal.

VI.4.6 Le séchage Hors touche (HT) et sec

Le séchage Hors touche (HT) et sec de peinture préparée à partir de la référence du Glyfer économique donné :

Séchage : HT : 1h 45 min

Sec : 5h 30 min

Remarque

-HT est effectué près qu'à 2h, celui du séchage sec près que 6h.

Interprétation de résultants

D'après le résultant consternant le séchage Hors touche (HT) et sec on trouve que le temps de séchage des peintures préparées à base Alkyle long huile, sont dans la norme.

VI.4.7 Dureté Persoz (2)

Le test consiste à mesurer le temps d'amortissement d'un pendule oscillant sur une surface-test. L'amplitude d'oscillation du pendule, qui dépend de la dureté, est détectée grâce aux faisceaux photoélectriques du pendule.

Donc la Durite Persoz est = 45 seconde

✚ Interprétation de résultats:

Elle décroît plus vite sur les surfaces souples. La dureté Persoz 45 s'exprime donc en secondes.

Le procès-verbal d'essai devra faire figurer l'épaisseur sèche, qui aura été mesurée sur une zone proche de la zone testée donc pas des rayures sur la plaque ce qui veut dire à bonne dureté.

VI.4.8 Brillance (2)

La réflexion est dite spéculaire lorsqu'un faisceau de rayons parallèles sont réfléchis avec le même angle. La réflexion est dite diffuse lorsque le faisceau incident est réfléchi dans plusieurs directions. Cette propriété est en grande partie liée à l'état de surface – lisse ou rugueux – du film.

Teste de brillance plaque 2

Les résultats des tests de brillance, de peinture préparée par la **formulation 2** donné par le tableau suivant :

Tableau VI.7: résultat de brillance plaque2

Angle	Test 1	Test 2	Test 3	Moyenne
20°	0.1	0.1	0.1	0.1%
60°	1.5	1.2	1.6	1.4%
85°	2.7	2.1	3.4	2.7%

✚ Interprétation de résultat :

On remarque que la brillance à 85° est supérieur à 1.4% on prend donc en compte seulement, en revanche l'augmentation du taux de la résine augmente considérablement la brillance. Cela peut être dû à la présence de l'huile dans la résine, qui peut donner une meilleur brillance et souplesse au film de peinture.

VI.4.9 mesure d'adhérence :

Cette méthode permet de déterminer le comportement d'un film de peinture ou vernis après incision en quadrillage.).

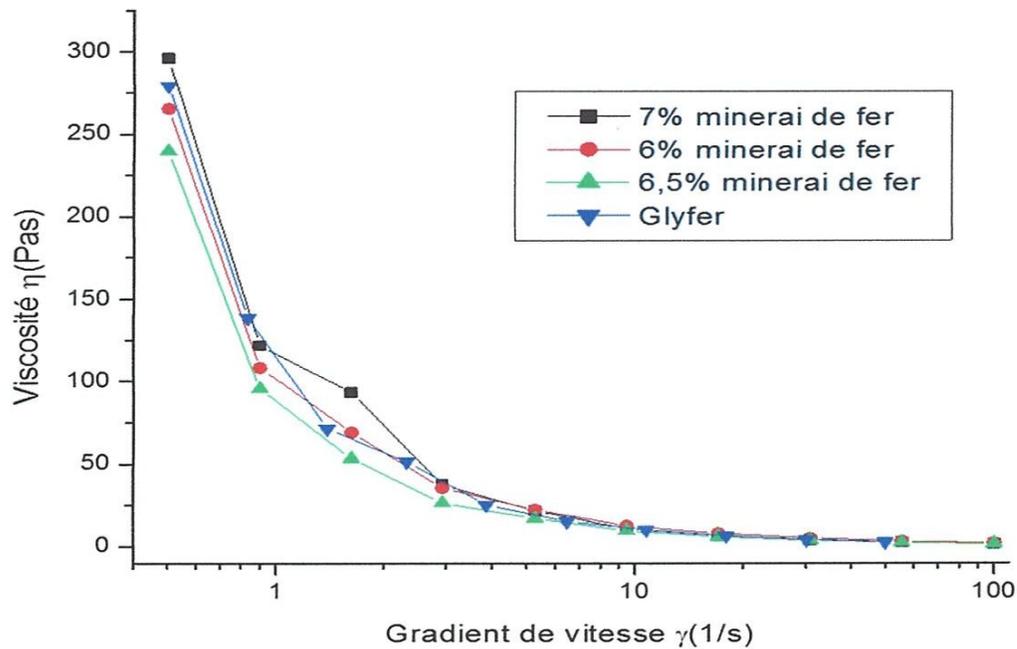
✚ Interprétation de résultant :

Cette propriété dépend, entre autres facteurs de l'adhérence, mais l'essai de quadrillage ne peut être considéré comme le véritable moyen de mesure l'adhérence (il faut pour cela pratiquer un essai de traction).

D'après le résultant que nous avons obtenus par degrés d'adhérence notre film sec de plaque peinte qui a une bonne adhérence !

VI.5 les tests rhéologique de la peinture préparée à partir de différentes formulations

Formulation 5 la peinture à différent pourcentage de minerai de fer



Figures VI.12 : Évaluation de la viscosité en fonction de gradient de vitesse de la peinture à différent pourcentage de minerai de fer

Remarques concernant les différentes courbes de ce test

- ✓ La température est constante et égale 25°C
- ✓ Contrainte σ varie entre 0.01- 200 (Pa) [aller]
- ✓ Viscosité η 300 (Pas) pour la peinture à basse minerai de 7%
- ✓ Viscosité η 295 (pas) pour la peinture à base minerai de 6%
- ✓ Viscosité η 258 (pas) pour la peinture de la référence Glyfer
- ✓ Viscosité η 248 (pas) pour la peinture à base du minerai 6.5%
- ✓ Gradients de vitesses γ varie entre 0.1 – 100 (1 /s)

Interprétation de résultats rhéologie de la peinture préparée avec les différentes formulations

On remarque que les courbes ont la même allure, ces fluides de types thixotropes dont la viscosité apparente a tendance à décroître dans le temps quand on lui applique une contrainte (ou une viscosité de cisaillement) constante, pourvu qu'après suppression du cisaillement et un temps de repos suffisant, sa structure initiale se régénère.

V.6 Tests de corrosion dans des différentes solutions salines

La précipitation de produits de corrosion à la surface d'un métal qui se corrode est liée à un problème de solubilité locale. La limite de solubilité étant, par expérience, rarement atteinte dans la totalité du liquide, c'est donc uniquement au niveau d'une couche de liquide à la surface du métal que les produits de corrosion sont susceptibles de précipiter.

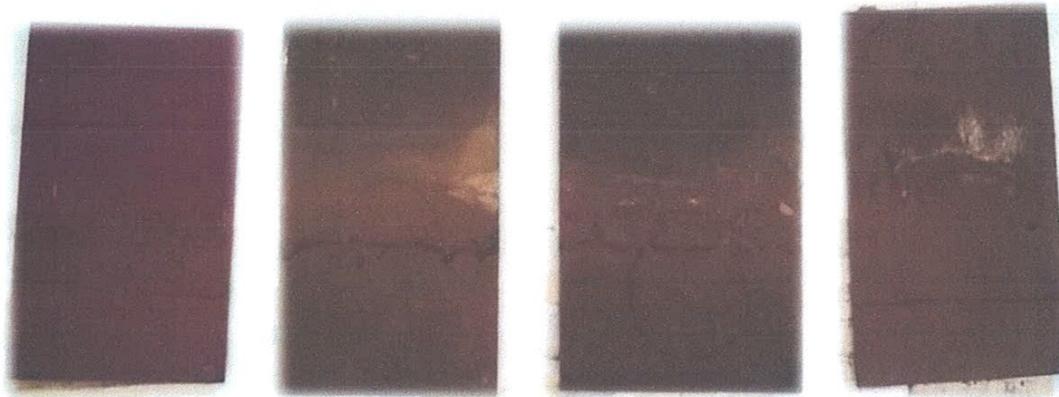
Différents tests expérimentaux dans différents milieux corrosifs sont effectués. La démarche expérimentale comprend trois étapes principales :

1. La première étape concerne l'étude par immersion de la corrosion en milieu de salinité de (NaCl) 35 g/l. Dans un premier temps, les essais sont effectués dans des cellules, contenant les 4 plaques: Plaque des minerais 6%, 6.5%, 7% et celui du Glyfer qui est la référence et ceci pendant 15 jours.
2. Dans une deuxième étape, on fait l'essai dans une solution basique de (NaOH), de 40 g/l. Les essais sont réalisés sur deux plaques qui sont : minerai 6% et 6.5% et ceci durant les 15 jours.
3. Troisièmement, les essais sont réalisés dans une solution acide (HCl) 83 ml/l, deux échantillons sont étudiés : minerai 6% et celui 6.5% Ces essais ont pour objectif de corréler la vitesse de corrosion.

V.6.1 le résultat des Tests de la corrosion dans des différentes solutions :

V.6.1.1 Immersion dans une solution saline de 35 g/l de NaCl.

Les plaques des minerais 6.5%, 6%, 7% et celui du Glyfer qui est la référence immergés pendant 15 jours sont montrés dans la figure ci-dessous.



Glyfer

formulation 1

formulation 2

Minerai 7%

✚ Observation.

D'après ces résultats nous remarquons qu'il y a formation et de dépôt de rouille sur le Glyfer, la formulation 1, la formulation 2 ainsi que celle du Minerai 7%. C'est la conséquence de l'oxydation sous forme d'ions, de tous les atomes constitutifs de la surface des plaques qui sont attaqués sensiblement à la même vitesse par ce milieu corrosif. Ceci se traduit, à l'échelle macroscopique, par une diminution régulière de l'épaisseur du métal, par opposition celui du minerai 7% il y a moins de dépôt de formation d'oxydation et cette plaque est plus résistante dans ce milieu agressive.

VI.6.2 Immersion dans une solution 83 ml/l de HCL acide

Les deux plaques présentées ci-dessous, Minerai 6% et 6.5%.



Formulation 1



Formulation 2

✚ Observation

Les Résultats des essais après 15 jours dans une solution HCL, les minerai 6% et 6.5% ; Montrent qu'il y a accumulation de corrosion provoquant un gonflement dans la zone corrodée, « corrosion feuilletant ».

VI. 6.3 Immersion dans une solution basique de 40g/l de HCL

L'immersion du Minerai 6% et 6.5% dans une solution basique donne des résultats comme montré ci-dessous :

**Formulation 1****Formulation 2****Observation**

On remarque pour ces cas-là qu'il y a une perte de couche film de ces peintures, ce milieu acide élevé 40g/l de HCL est une quantité énorme qui cause une grande perte de films de peinture.

Conclusion

D'après les tests de corrosion, les résultats des différentes formulations obtenus sur des plaques en métal, on constate qu'il y a eu dépôt et formation de rouille presque sur toutes les plaques plus au moins variable. Toutefois on peut considérer que les trois formulations ont le même comportement avec la solution saline.



Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre travail de mémoire de Master avait pour but la formulation d'une nouvelle peinture antirouille. Cette étude a été effectuée au niveau de l'unité de peinture *l'ENAP* de Souk-Ahras et au laboratoire de recherche LAIGM de l'université de 08 mai 1945 de Guelma.

La préparation de cette peinture est réalisée à base de résine alkyle longue en huile (huile de Soja) utilisé à L'ANAP ; elle a été caractérisée en mesurant sa viscosité, sa densité, son extrait sec, sa brillance et son séchage H/T et sec. Ses caractéristiques rhéologiques sont aussi mesurées, à savoir la variation de sa viscosité et sa déformation et ceci pour différentes contraintes.

Dans le présent travail deux nouvelles formulations de peinture ont été préparées. Ces formulations sont composées de résine (lame de peinture), de solvant (whitespirit), d'un anti mousse, émulsifiant, de Sictobalt, de Sictoplomb et de Sictocal.

D'après les résultats obtenus des mesures sur les différents échantillons de peintures, ainsi les caractéristiques physico-chimiques des différentes formulations montrent que :

- Les valeurs de la viscosité « Coupes Ford » et de la densité obtenues sont dans les normes.
- Les résultats de la valeur de l'extrait sec sont aussi conformés aux normes.
- Puisque les peintures obtenues ont un aspect Mat et parfaitement adéquat pour les couches primaires, de ce fait les tests de brillance sont aussi dans la norme.
- Les résultats rhéologiques obtenus sur la nouvelle peinture préparée à partir de Calamine noire et de Minerais jaune et ceci pour différentes quantités, montrent, qu'il y a une diminution de la viscosité avec l'augmentation de la déformation, ceci correspond à un fluide thixotrope, (Phénomène par lequel certains mélanges passent de l'état de gel à celui de liquide par une légère agitation).

D'après les tests de corrosion, les résultats des différentes formulations obtenus sur des plaques en métal, on constate qu'il y a eu dépôt et formation de rouille presque sur toutes les plaques plus au moins variable. Toutefois on peut considérer que les trois formulations ont le même comportement avec la solution saline. Le temps d'observation nous a montré que l'effet de corrosion apparaît en premier lieu avec la peinture de la formulation 2, puis viens celle de la formulation 1 puis celle de référence. Concernant celle préparée avec le Minerai à 7%, elle montre plus de corrosion. Cependant ces dépôts ne sont pas très importants. Les résultats

Conclusion générale

obtenus des nouvelles peintures de la formulation I et II, présentent des caractéristiques intéressantes, et peuvent être utilisées comme couche de peinture primaire.

- Des futurs travaux peuvent être menés afin d'approfondir et de mieux tester ce genre de peinture.

Référence bibliographiques

8 [II.1] FADANACH HADRIA, Etude de la microencapsulation et caractérisation d'une peinture, thèse, université 08 mai 1945 Guelma.

[II.2] L CLEUET peinture industrielles au pistolet, technique et vulgarisation, 1978

5 [II.3] E.N.A.P, Chimie générale des résines et émulsion ; Manuel industriel, 2003

2 [II.4] A.CH.BOYKRA « Nouvelle formulation d'une peinture hydrodiluable » thèse, Université 08 mai 1945 Guelma, 2013.

3 [II.5] SAILOUDI FAYSSAL : formulation des émulsions de peinture. Université 08 Mai 1945 – Guelma 2012.

4 [II.6] PDF : Guide de choix des éco-matériaux « les peinture » septembre 2008.

7 [II.7] peinture en phase aqueuse (ou peinture à l'eau), composition, risques toxicologiques, mesures de prévention. Aide –Mémoire technique.

6 [II.8] M.RAHIM B.BOUCHAREB, H.KHACHINE, formulation d'une peinture glylac 2000 super à base d'une émulsifiant, Guelma, 2007.

9 [II.9] S.PLATEL, R.GILLARD, Technologie de la peinture paris, 1983

[III.1] COUR Mm Bouchmilla : Etude de la rhéologie, 2015.

[II.2] Un article de Wikipédia, l'encyclopédie libre. Aller à navigation, rechercher

[II.3] KADDOUR BENYAHIA : Contrôle Non Destructives et propriétés Rhéologies Des Matériaux Diélectriques Mous. *Université de Batna, Département d'Electrotechnique Faculté des sciences de l'ingénieur.*

Référence bibliographiques

[IV.13] **CEFRACOR**. Matériaux métalliques : phénomènes de corrosion, cinquième partie : protection et lutte contre la corrosion, *CEFRACOR 2003*, PP.89-104, disponible sur : <http://www.cefracor.org/doc/cours-05/pdf>.

[IV.14] **R. HUDSON**. Coating for the protection of structural steel work. *NPL, 2003*. PP.1- disponible sur : <http://www.npl.co.uk/ncs/docs/steelwork.pdf>.

[IV.15] **R. HUDSON**. Coating for the protection of structural steel work. *NPL, 2003*. PP.17, disponible sur : <http://www.npl.co.uk/ncs/docs/steelwork.pdf>.

[IV.16] **FREDERIQUE COEUILLE**. Revêtements polymères de canalisation de fluide : Caractérisation et évolution de l'adhésion en milieu agressif. *Thèse de doctorat. Centre des Matériaux de l'école Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2002*. PP.31-35.

[IV.17] **CHRISTIAN CASENAVE**. Etude de la protection contre la corrosion d'un alliage d'aluminium au moyen des systèmes de peinture contenant des inhibiteurs non chromâtes. *Thèse de doctorat, Ecole Nationale supérieure de chimie Toulouse, 2004*. N° d'ordre 904. PP.11-23.

[IV.18] **CHRISTOPHE LE PEN, COLETTE LA CAABANNE, NADINE PEBERE**. Caractérisation de peinture hydrodiluable par spectroscopie d'impédance électrochimique et de courants thermo stimulés. *CIRIMATT, de Toulouse. Matériaux 2002*.

[IV.19] **Systèmes peintures Entreprise National Algérien de peinture, industriel paints 1980**.

[IV.20] **A Short introduction to corrosion and its control, corrosion in the metals and its prevention**, *National Corrosion Service, NPL, 2003*. PP. 1-9, disponible sur: http://www.npl.co.uk/lmm/docs/_basic_of_corrosion_control.pdf

[IV.21] **CHRISTAIN FIAUD**. Inhibiteur de corrosion. *Technique de l'ingénieur, traité corrosion et vieillissement, cor 1 005*. PP.1-14.

Référence bibliographiques

[IV.22] HENRY LEIDHEISER. Mechanism of corrosion inhibition with special attention to inhibitors in organic coatings. *Journal of coatings technology* Vol. 53, No. 678, 1981. PP.29-39.

White Spirit**Mode d'utilisation**

Ce produit est utilisé comme un solvant organique.

Caractéristique

- Point d'ébullition : **150 – 200°C**
- Point de fusion : **< -20 °C**
- Limites d'explosivité dans l'air (en volume %)
- Limite supérieure : **7**
- Limite inférieure : **0.2 Kpa à 20°C**
- Densité de vapeur (aire = 1) : **> 1**
- Viscosité dynamique : **1.07 m Pa.s à 25°C**
- Densité : **0.779-783 à 15°**

RESAL 2470

Code produit : T2470

Désignation : REAL 2470

Domaine : semi-finis

Utilisation : Laques brillantes bâtiment.

Propriétés : bon brillant. Bonne tenue à l'extérieur. Bonne brossabilité.

Forme de livraison : 60% WS

Caractéristiques :

Extrait Sec : 60 ± 1 %

Viscosité Garner à 20 – 25°C : X-Y

Densité : 0.910 ± 0.05

Indice d'acide : < 10 Couleur Garder : 5 - 6 point d'éclair (creuset fermé) : 40°C

Délai de stockage sous abri : 12 mois dans son emballage d'origine fermé.

Conditionnement : 180 kg.

Solubilité : - Solvants aliphatiques – Solvants aromatiques

Siccativisation : peinture blanches : Cobalt : 0.025 + plomb : 0.5 + calcium : 0.25 peintures

Colorées : Manganèse : 0.40 + plomb : 0.75 + calcium : 0.25 ou cobalt : 0.025 + manganèse + Plomb : 0.75 + calcium : 0.25 la Siccativisation s'effectue en % de métal par rapport à l'extrait sec de la résine utilisée.

Résine : c'est matière naturelle ou synthétique utilisée comme liant dans une peinture. Le terme résine « alkyde ou Glycéro » fait référence à une peinture en solvant (peinture à l'huile), tandis

que celui de « résine acrylique » désigne une peinture en solvant (peinture à huile), tandis que celui de « résine acrylique » désigne une peinture aqueuse à base de polymère acrylique en émulsion.

Les siccatifs : Sictobalt

Nature

Octoate de cobalt.

Utilisation

Siccateur de surface qui agit en provoquant une oxydation rapide en surface. Il est associé aux octoates de magnésium, de plomb et calcium.

Propriétés

- provoque le séchage en surface.
- Donne souplesse et élasticité aux films.
- Utilisé également comme accélérateur de polymérisation des résines polyester instaurées.

Caractéristiques

- Teneur sec : $35\% \pm 2$ – Viscosité Gardner à 20 – 25°C : Al-A
- Couleur : Violet.
- Densité : 0.870 ± 0.02 – indice d'acide : 180 – 200
- point d'éclair creuset fermé : 38°C
- Délai de stockage sous abri : 12 mois dans son emballage d'origine fermé.

Siccativisation

Peinture colorées : Manganèse : 0.40 + plomb : 0.75 + Calcium : 0.25 ou cobalt : 0.025 + manganèse : 0.25 + plomb : 0.75 + calcium : 0.25 ou cobalt : 0.025 + manganèse : 0.25 + plomb : 0.75 la siccativisation s'effectue en % de métal par rapport à l'extrait à l'extrait sec de la résine utilisée.