

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

جامعة سعد دحلب البليدة

Université Saad Dahlab Blida 1



Faculté de technologie

Département de Génie des Procèdes

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Spécialité : GENIE DES POLYMERES

Intitulé du mémoire

**Formulation et caractérisation d'une peinture retard
feu à phase aqueuse**

Présenté par :

**Mr. BOUKLOUCH Mohammed Fodil
Mr. ALIOUAT Sofiane**

Encadré par :

**Mme. BOUTEMAK
Khalida**

Année Universitaire : 2020– 2021

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous exprimons nos reconnaissances à Mme BOUTEMAK Khalida et MAZOUZI Djihane, pour leur conseil, la disponibilité et la patience dont nous avons bénéficié tout au long de ce travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs du département du génie des procédés qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Nous tenons à remercier les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter d'examiner notre mémoire.

Nos remerciements s'étendent également à l'ensemble du personnel de l'EURL ROUMANI COLORES et notamment le personnel du laboratoire pour leur collaboration, et de nous avoir permis de profiter de leurs expériences et leurs compétences. Nous aimerions aussi gratifier les efforts de Mr DJELLATA Oussama et Mr BELLI Abdelkader qui nous a permis de bénéficier de son encadrement au sein du laboratoire et qui a eu l'amabilité de répondre à nos questions et de fournir les explications nécessaires pendant toute la durée du stage.

Merci à vous tous pour votre aide

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

Mon cher père, un homme qui a vécu pour sa famille.

« J'espère mon père que tu es fier de moi »

Ma chère mère, une femme qui a sacrifié sa vie pour ces enfants.

« J'espère ma mère que je serai toujours à la hauteur de tes attentes »

A mes chers frères : Zohir, Yazid et Yasser.

*A tous les étudiants de département et toutes les personnes qui me
sont très chères.*

Med Fodil

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes chers frères

A mes chères sœurs

A toute ma famille du petit au grand,

Je dédie aussi ce travail à mes amis : Ayoub, Midou, Riad, Ziyad, Aïssam, Oussama, Samir, Latif, Badro, Abdou, Zaki, Ghanou, Khalil, Yacine, Sofiane, Djalil, Mohamed et Djilali

SOFIANE

SOMMAIRE

REMERCIEMENT

DEDICACE

RESUME

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

ABREVIATION

INTRODUCTION GENERAL.....01

Chapitre I partie bibliographique

I.1 Les polymères.....	03
I.1.1 Définition.....	03
I.1.2 Classification des polymères.....	03
I.1.2.1 Selon la nature chimique.....	03
I.1.2.2 Selon la nature des chaînes.....	03
I.1.2.2.1 Les homopolymères.....	03
I.1.2.2.2 Les copolymères.....	04
I.1.3 Type des polymères.....	04
I.1.3.1 Polymères d'origine naturelle.....	04
I.1.3.2 Polymères artificiels.....	04
I.1.3.3 Polymères synthétiques.....	04
I.1.4 Utilisation des polymères dans l'industrie.....	05
I.1.4.1 Polymère dans le secteur de l'emballage et du conditionnement.....	05
I.1.4.2 Polymère dans le secteur mécanique.....	05
I.1.4.3 Polymères dans l'industrie alimentaire et le textile.....	05
I.1.4.4 Polymère dans le secteur médical.....	05
I.1.4.5 Polymère dans l'industrie électronique.....	06
I.1.4.6 Polymère dans l'industrie des peintures.....	06
I.2 La peinture.....	06
I.2.1 Définition.....	06
I.2.2 Histoire de la peinture.....	07

I.2.3 Les types de peinture.....	08
I.2.3.1 La peinture à l'eau.....	08
I.2.3.2 La peinture à l'huile.....	08
I.2.4 Constituants d'une peinture.....	09
I.2.4.1 Le liant.....	09
I.2.4.1.1 Classes des liants utilisés en peinture.....	09
I.2.4.1.2 Propriétés des liants vinyliques.....	11
I.2.4.1.3 La résine d'acétate de vinyle, d'éthylène et de chlorure de vinyle.....	12
I.2.4.1.3.1 Définition.....	12
I.2.4.1.3.2 Propriétés physiques et chimiques.....	12
I.2.4.1.3.3 Rôle dans les peintures.....	12
I.2.4.1.3.4 Les caractéristiques générales.....	13
I.2.4.1.3.5 Applications.....	14
I.2.4.1.3.6 La solubilité et la compatibilité du liant au différent solvants et polymères ...	15
I.2.4.2 Les solvants.....	16
I.2.4.3 Les pigments.....	17
I.2.4.3.1 Pigments minéraux.....	17
I.2.4.3.2 Pigments organiques.....	17
I.2.4.3.3 Pigments fonctionnels.....	17
I.2.4.3.4 Le pigment TiO ₂	17
I.2.4.3.4.1 Définition.....	17
I.2.4.3.4.2 Utilisation du TiO ₂ dans l'industrie.....	17
I.2.4.4 Les charges.....	18
I.2.4.5 Les additifs.....	18
I.3 La dispersion.....	18
I.3.1 Définition de la dispersion.....	18
I.3.2 Mécanisme de la dispersion à l'aide d'éléments de broyage.....	18
I.3.3 facteurs influençant sur la dispersion.....	19
I.3.3.1 Viscosité de la pâte de broyage.....	19
I.3.3.2 Nature de liant et solvant.....	19
I.3.3.3 Agents de mouillage et de dispersion.....	19
I.3.3.4 Vitesse de cisaillement.....	19
I.3.3.5 Température.....	19

Chapitre II matériels et méthodes

II.1 Matériels et méthodes.....	20
II.1.1 Réactifs.....	20
II.1.2 Formulation de la peinture.....	21
II.1.2.1 Peinture standard (à base eau).....	21
II.1.2.2 Peinture retard feu à base eau avec terpolymère d'acétate de vinyle, d'éthylène et de chlorure de vinyle.....	21
II.2 Caractérisation physicochimique des peintures.....	22
II.2.1 Mesure de la densité.....	22
II.2.2 Mesure de la viscosité.....	23
II.2.3 Détermination du pH.....	23
II.2.4 Mesure d'extrait sec.....	23
II.2.5 Mesure de la finesse.....	24
II.2.6 Test au feu.....	24
II.2.7 Analyse spectrale par infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	25
II.2.8 Test mécanique.....	26
II.2.9 Etude du comportement rhéologique.....	28

Chapitre III résultats et discussions

III.1 Obtention des peintures.....	30
III.2 Caractérisation des peintures formulées.....	30
III.2.1 Expression des résultats du test extrait sec et l'humidité	32
III.2.2 Expression de résultats de jauge de finesse	31
III.2.3 Expression de résultats de FTIR.....	31
III.2.4 Expression des résultats de test mécanique.....	34
III.2.5 Expression des résultats d'étude rhéologique.....	36

Conclusion

Annexe

Liste des références bibliographiques

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Liste des figures

Figure I.1: présente la résine époxyde obtenu à partir du bisphénol A.....	11
Figure I.2 : Cette graphique représente la tenue au feu inhérente des différentes résines ...	13
Figure I.3 : un disperseur.....	18
Figure I.4 : disperseur de laboratoire.....	18
Figure II.1 : résine retard feu (terpolymère d'acétate de vinyle, d'éthylène et de chlorure de vinyle)	22
Figure II.2 : Un pycnomètre.....	22
Figure II.3 : viscosimètre BROOKFIELD.....	23
Figure II.4 : Jauge de finesse	24
Figure II.5 : l'étalement des échantillons sur le papier d'opacité	25
Figure II.6 : papier d'opacité après l'inflammation	25
Figure II.7 : Machine de L'essai de traction INSTRON.....	26
Figure II.8 : Comportement d'un matériau soumis à une contrainte mécanique.....	27
Figure II.9 : Rhéomètre MCR 302 Anton Paar Physica	29
Figure III.1 : Photographies des peintures formulées	30
Figure III.2 : Spectre FTIR de peinture retard feu	32
Figure III.3 : Spectre FTIR de peinture à eau	33
Figure III.4 : Différents échantillons qui sont testé à un test de traction.....	34
Figure III.5 : Courbe de l'essai de traction	35
Figure III.6 : Variation des deux modules de conservation G' et de perte G''	37

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les années de création des résines	07
Tableau I.2 : Propriétés physiques et chimiques de la résine spécifique	12
Tableau I.3 : Les caractéristiques générales de la résine spécifiques	13
Tableau I.4 : Solubilité et compatibilité du liant au différentes Esters.....	15
Tableau I.5 : Solubilité et compatibilité du liant au différentes Cétones.....	15
Tableau I.6 : Solubilité et compatibilité du liant au différentes Alcools.....	15
Tableau I.7 : Solubilité et compatibilité du liant au différentes Ethers.....	16
Tableau I.8 : Solubilité et compatibilité du liant aux différents polymères synthétiques.....	16
Tableau II.1 : Différents types de réactifs utilisés et leurs rôles.....	20
Tableau III.1 : les résultats de chaque caractérisation et norme exigée.....	30
Tableau III.2 : Valeurs du Module de Young (E), la contrainte à la rupture (σ) et de l'allongement à la rupture (ϵ) pour les quatre échantillons.....	35

LES ABREVIATIONS

ATH : Tri hydrate d'Alumine

°C : Degré Celsius.

Cp : Centpoise

COV : composés organiques volatils

CRTI : Centre de Recherche en Technologie Industrielles

DP : Degré de Polymérisation

Hz : Hertz

Knf : Kreativa new formula.

LH : longueur en huile

LVE range : Linear Visco-Elastic Range

M : masse moléculaire

MO : masse moléculaire de motif

MPa : Méga pascale

NS : National Standard

Pa.s : Pascale second

PE : Polyéthylène

PH : potentiel d'hydrogène

PMMA : Polyméthacrylate de méthyle

PP : Polypropylène

PS : Polystyrène

kN : kilo Newton

SAS : Sociétés par actions simplifiées

VC : Chlorure de Vinyle

µm : Micro mètre

ملخص

الهدف من هذا العمل هو اعطاء فكرة حول كيفية صناعة الدهانات وبالأخص الدهان المقاوم للحرائق داخل العمارات. قمنا في الباب الاول بإعطاء لمحة عامة عن المبلمرات واصنافها وخصائصها والتعريف بالمكونات التي تدخل في صناعة الدهان وأيضا التعريف بنوع المثبط المسؤول عن صنف الدهان. كما قمنا في الباب الثاني بتوضيح البروتوكول المتبع في صناعة الدهان المضاد للحريق ومختلف التحاليل التي اجريناها على المادة النهائية . في الباب الثالث قمنا بمناقشة مختلف النتائج الناتجة عن التحاليل التي قمنا بها سابقا واستنتجنا ان توظيف المثبط المضاد للحريق له نتيجة واضحة على اختبار الحريق الذي اجريناه حيث قام بتأخير مدة اشتعال ورق العتامة الى حوالي ٢٦ ثانية بينما عند استعمال المثبط العادي اشتعل ورق العتامة في الثانية السادسة

Résumé

Le but de ce travail est de donner une idée sur la fabrication des peintures, en particulier des peintures résistantes au feu, à l'intérieur des bâtiments.

Dans la première partie, nous avons donné un aperçu sur les polymères, leurs classes et caractéristiques, et la définition des composants qui entrent dans l'industrie de la peinture, ainsi que la définition du type du liant responsable de la classe de peinture. Dans la deuxième section nous avons clarifié le protocole utilisé dans la fabrication de la peinture ignifuge et les différentes analyses que nous avons menées sur le produit final.

Dans la troisième section, nous avons discuté des différents résultats des analyses que nous avons effectuées précédemment et avons conclu que l'utilisation du liant retard feu à un résultat clair sur l'essai au feu que nous avons mené, car il retarde la période d'inflammation de papier d'opacité à environ 26 secondes, tandis que lors de l'utilisation du liant normal, le papier d'opacité s'est enflammé dans la sixième seconde

Abstract

The aim of this work is to give an idea about how to manufacture paints, especially fire-resistant paint, inside buildings

In the first section, we have given an overview of polymers, their classes and characteristics, and the definition of the components that are used in the manufacture of paint, as well as the definition of the type of inhibitor responsible for the type of paint. In the second section, we have clarified the protocol used in the manufacture of fireproof paint and the various analyzes we conducted on the final material.

In the third section, we discussed the various results resulting from the analyzes that we performed previously and concluded that the use of the anti-fire damper has a clear result on the fire test that we conducted, as it delayed the ignition period of the opaque paper to about 26 seconds, while when using the normal damper the opaque paper ignited in the sixth second.

INTRODUCTION GENERAL

Une peinture a pour principal but la décoration mais peut aussi dans certains cas avoir une fonction purement technique comme par exemple jouer le rôle de barrière contre l'humidité, protéger les structures métalliques contre la corrosion ou joue le rôle de la protection temporaire contre les incendies Etc.

La peinture ignifuge contribue à ce qu'en cas d'incendie dans un bâtiment, celui ne se propage pas. Elle est donc l'une des mesures les plus efficaces pour éviter que le feu ne se propage rapidement, car elle contribue à ne pas propager la flamme et la fumée. La peinture ignifuge est essentielle surtout lorsqu'il s'agit de bâtiments résidentiels, car en contenant le feu, elle permet aux personnes se trouvant à l'intérieur d'avoir plus de temps pour évacuer le bâtiment.

L'industrie de la peinture représente un chapitre important dans le domaine des polymères, elle doit améliorer ses qualités pour répondre à des besoins spécifiques : améliorer fortement la tenue du film ou la modification des produits à des normes ou des critères spécifiques.

Le liant, dénommé également résine, est un polymère d'origine naturelle ou synthétique et 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 en subjectile, et aussi il assure les caractéristiques bien particulières à une peinture.

Le liant qui détermine la qualité de la peinture, pour cela, on utilise dans notre formulation un liant qui présente un effet ignifugeant inhérentes.

Ce mémoire de master est subdivisé en trois chapitres :

Le premier chapitre représente la partie bibliographique, ce chapitre regroupe d'abord les généralités sur les polymères, leur classification selon la nature chimique, selon la nature des chaînes, les différents types des polymères et leur utilisation dans l'industrie.

Nous donnons ensuite une définition de la peinture, ces différents types, citant les constituants et en détaillant les différents types du liant le principale constituant dans la composition d'une peinture, les propriétés physique et chimiques du liant utilisé, leur application et la solubilité et la compatibilité dans les différents solvants et polymères.

Ensuite, nous expliquons sur la dispersion, le mécanisme, et les facteurs influençant sur la dispersion.

Le deuxième chapitre représente la partie expérimentale de ce travail, nous parlons sur la préparation et la caractérisation de la peinture retard feu à phase aqueuse.

Le troisième chapitre représente les résultats des caractérisations fait dans le deuxième chapitre et aussi la discussion de chaque résultat.

I.1 Les polymères

I.1.1 Définition

Le terme polymère est utilisé pour désigner des macromolécules constituées par grand nombre de motifs fonctionnelles, ces motifs peuvent être des molécules de monomères qui comportent un groupement fonctionnel et chaque groupement contient un ou plusieurs sites actifs capables de former une liaison chimique avec d'autres molécules de monomère.

Le nombre de motifs monomères contenus dans une chaîne de polymère caractérise sa taille et est appelé degré de polymérisation « DP ». M_0 étant la masse moléculaire d'un motif monomère, la masse moléculaire M de la macromolécule sera donc :

$$M = M_0 \cdot DP$$

Les propriétés physiques et mécaniques d'un polymère dépendent de la valeur de ce DP [1].

Un oligomère est une macromolécule dont le degré de polymérisation est petit (2 à 20 monomères) [2].

I.1.2 Classification des polymères

I.1.2.1 Selon la nature chimique

- **Polymères minéraux** : constitués des chaînes renfermant soit un seul corps simple (phosphore, soufre...) soit plusieurs hétéroatomes (silicate, acide polyphosphorique...).
- **Polymères organiques** : c'est la classe la plus riche, ils constituent la presque totalité des polymères d'utilisation courante (polyoléfine, polyvinyle...) [3].

I.1.2.2 Selon la nature des chaînes

Polymères linéaires ou monodimensionnels : leur propriété remarquable est la souplesse et / ou l'élasticité, ils représentent environ 70% des polymères actuellement fabriqués dans le monde [3].

I.1.2.2.1 Les homopolymères

Ce sont des polymères dont la structure est formée par la répétition d'une seule unité constitutive. Ils sont obtenus par polymérisation d'une espèce monomère [4].

Par exemple, la polymérisation d'un monomère A peut former une macromolécule composée de n unités constitutives $[-A-]$ liés entre eux par des liaisons covalentes.

Il existe, au sein des homopolymères, différentes familles [5] :

- Les homopolymères linéaires.
- Les homopolymères branchés.
- Les homopolymères étoilés.

I.1.2.2.2 Les copolymères

Les copolymères sont des polymères qui possèdent plusieurs unités, sont obtenus par la copolymérisation [5].

Les différentes familles de copolymères sont :

- Les copolymères statiques (statistical copolymers)
- Les polymères alternés (alternating copolymers)
- Les copolymères séquencés linéaires ou copolymères à bloc
- Les copolymères séquences et greffes (graft copolymers)

I.1.3 Type des polymères

I.1.3.1 Polymères d'origine naturelle

Parmi lesquels, les résines et les gommes naturelles, produits de sécrétion de végétaux (gemme des pins des Landes) ou d'insecte (gomme laque) et les substances fossiles désignées sous l'appellation « Copal » (gomme Copal Zanzibar, Madagascar, Congo, Kauri...).

Ces polymères, constitués de mélanges complexes à base d'huile, de composés terpéniques ou phénoliques ne sont plus utilisés actuellement dans la fabrication des produits manufacturés

I.1.3.2 Polymères artificiels

Obtenus par réactions chimiques sur de polymères naturels en vue d'en modifier leur masse moléculaire, leur solubilité, tout en conservant le squelette originel. Parmi ces polymères, citons les nitrates de cellulose, esters obtenus par action de l'acide nitrique sur la cellulose.

I.1.3.3 Polymères synthétiques

Omniprésents dans la formulation des peintures modernes, obtenus à partir de monomères, c'est-à-dire de composés organiques de faible masse moléculaire. Ces polymères sont synthétisés par voie radicalaire en milieu solvant ou aqueux (Polymères vinyliques), par polycondensation (résines polyesters, résines aminoplastes...), par polyaddition (résines époxydes polyuréthanes). Pour des raisons techniques et économiques, seuls ces polymères retiendront notre attention. En effet, depuis plus de cinquante ans, ces polymères connaissent un essor considérable dont les principales raisons se résument comme suit :

- Maîtrise de leur fabrication de manière à optimiser leurs propriétés ;
- Difficulté au niveau industriel de proposer un liant « universel » pour la protection et la décoration des matériaux ;
- Obtention de performances mécaniques et chimiques améliorées quel que soit le milieu où l'objet peint est exposé et ce sous de faibles épaisseurs ;

- Développement croissant des polymères en phase aqueuse ou sans solvant pour des raisons de réglementation, notamment pour réduire les émissions des composés organiques volatils (solvants, additifs de faible tension de vapeur) désignés sous le vocable COV et exprimés en grammes par litre de peinture.

Les niveaux de COV sont calculés par le formateur lors de la conception des produits prêts à l'emploi [6].

I.1.4 Utilisation des polymères dans l'industrie

Les polymères sont de nature très diverses et chacun d'eux est destiné à un usage particulier correspondant à des propriétés spécifiques [7].

I.1.4.1 Polymère dans le secteur de l'emballage et du conditionnement

S'il y a un domaine où les polymères sont le plus utilisés, c'est bien celui du conditionnement. Autant les matériaux polymères sont utilisés pour l'emballage alimentaire, autant ils sont utilisés dans l'emballage des produits pétroliers, des produits pharmaceutiques, des produits pour le revêtement [7].

I.1.4.2 Polymère dans le secteur mécanique

C'est le secteur où les polymères remplacent les métaux et les céramiques, mais aussi les verres minéraux. Les polymères sont souvent utilisés dans les carrosseries d'automobile, les coques de bateaux, soit purs, soit en mélange avec des fibres (verre, amiante) qui en renforcent les propriétés mécaniques [7].

I.1.4.3 Polymères dans l'industrie alimentaire et le textile

L'alimentaire et le textile sont les domaines grands utilisateurs de polymères naturels. Par leur extrême abondance dans la nature, les polysaccharides jouent un rôle de premier choix dans ces domaines, notamment sous forme de cellulose, et d'amidon. C'est en effet à partir de la cellulose que l'on fabrique la soie artificielle. Mais l'industrie textile intègre aussi des produits de synthèse. Les fibres synthétiques polyester (Tergal), les fibres acryliques et vinyliques doivent une large part de l'intérêt qu'on leur porte à la facilité que l'on a de les mélanger avec des fibres naturelles, la laine et le coton en particulier [7].

I.1.4.4 Polymère dans le secteur médical

Les polymères jouent un grand rôle dans la médecine et ils possèdent des propriétés très utiles dans :

- L'amélioration des qualités mécaniques
- Biodégradabilité
- Recyclabilité
- Antibactérien

Il y'a quatre grands types d'applications :

- Les contenants et emballages médicaux et pharmaceutiques
- Instrumentation médico-chirurgicale et pièces techniques d'équipements
- Dispositifs médicaux à usage unique
- Prothèse et implants chirurgicaux

1.1.4.5 Polymère dans l'industrie électronique

Outre la fabrication des circuits intégrés, la protection des parties actives des composants ou pour les boîtiers, les polymères dans l'électronique interviennent aujourd'hui dans l'électro-optique et la conception des composants pyroélectriques. C'est ainsi qu'ils sont utilisés dans les écrans plats, dans les fibres optiques et dans les systèmes d'imagerie infrarouge [7].

1.1.4.6 Polymère dans l'industrie des peintures

Les peintures et vernis renferment comme constituant principal un polymère filmogène (liant ou résine) qui, après durcissement, forme sur le support un feuil continu et adhérent, aux propriétés spécifiques. Par définition, ces polymères ou macromolécules sont des composés organiques ou minéraux dont les masses moléculaires sont comprises entre 300 et 106 daltons. On distingue habituellement plusieurs types de polymères filmogènes [8].

I.2 La peinture

I.2.1 Définition

Une peinture – ou un vernis – est une substance plastique fluide (liquide ou éventuellement pulvérulente) qui, appliquée sur un support (ou subjectile) donne, après certaines transformations physiques et chimiques, un revêtement pelliculaire dont l'épaisseur varie de quelques microns à quelques centaines de microns. Ce revêtement doit, en général, être solide, adhérent et durable, pour assurer la protection du support ou sa décoration.

Le revêtement ainsi obtenu et appelé le film, terme qui tend à être remplacé par celui de feuil [9].

Selon le dictionnaire technique des peintures et des travaux d'application, « une peinture est un produit liquide ou en poudre, contenant des pigments, destiné à être appliqué sur une surface pour former un feuil opaque doué de qualités protectrices, décoratives ou techniques particulières » [10].

I.2.2 Histoire de la peinture

Quelques dates permettent de suivre l'évolution des recherches et du développement des peintures depuis une décennie [11].

Tableau I.1 : les années de création des résines

Année de création	Historique
1910	Brevet de la General électrique sur des esters polymérisés (vernis, adhésifs)
1920	Utilisation des vernis cellulosiques
1928	Résine phénoliques
1930	Polymère vinyliques
1930	Obtention du caoutchouc chloré (travaux de Kirchhoff)
1932	Co condensation des alkyde avec des résines formo-phénoliques (travaux de Honel)
1936	Résines urée-formol modifiée par le n-butanol
1940	Résines mélamine et polyuréthane
1944	Résines silicones
1947	Résines époxydes
1948	Liants en émulsion
1949	Résines polyesters insaturées
1954	Résines alkydes thixotropes
1955	Liants diluables à l'eau
A partir de 1955	Vernis et peintures photoréticulable et peinture en poudre
1980	Peintures déposées par électrophrèse (anaphorèse / cataphorèse)
1995-2000	Développements des liants en phase aqueuse tels que les liants époxydes et polyuréthanes

I.2.3 Les types de peinture

Il existe deux principaux types de peinture : la peinture à l'eau et la peinture à l'huile.

II.2.3.1 La peinture à l'eau

C'est une phase aqueuse. Parmi les types de peinture à eau les plus utilisés, on retrouve la peinture acrylique dont le liant est une résine acrylique. Ses principaux avantages sont les suivants : elle ne dégage pas ou peu d'odeur, elle sèche très rapidement, et le nettoyage des outils se fait simplement à l'eau. Il est néanmoins important de bien ventiler la pièce ou les espaces où vous aurez appliqué cette peinture même si la peinture acrylique est moins nocive pour la santé que bien d'autres peintures [12].

I.2.3.2 La peinture à l'huile

Les résines présentes dans la composition de la peinture à l'huile peuvent également être présentes dans les peintures mixtes. On retrouve parmi les peintures à l'huile : la peinture glycéro, la peinture époxy et la peinture polyuréthane, ces deux dernières étant les plus résistantes. Ces peintures bien que très résistantes et ayant un bel aspect, sont généralement bien plus toxiques et mettent plus de temps à sécher. Avec les nouvelles préoccupations écologiques, la peinture se décline aussi en une gamme de produits bios. La peinture bio, 100% naturelle est composée de liants naturels, sans siccatifs et biocides, et permet de limiter (voire supprimer) la diffusion de composés organiques volatiles [12].

Il existe aussi des peintures spéciales ou techniques pour un usage spécifique, la peinture pour :

- Le carrelage
- Le tableau noir
- Les surfaces magnétiques
- Le verre
- L'antirouille
- Le radiateur
- Le plastique
- L'isolation
- L'hydrofuge

I.2.4 Constituants d'une peinture

Les différents produits entrent dans la composition en générale d'une peinture :

- Liant
- Solvant
- Charge
- Pigments
- Divers adjuvant.

I.2.4.1 Le liant

Le liant d'origine organique est un réseau tridimensionnel généralement peu teinté et transparent, c'est le constituant principal dans une peinture ou un vernis, car c'est lui qui donne le caractère filmogène du revêtement et, pour une part très importante, permet de situer ces caractéristiques physiques et chimiques qui dépendent, au niveau du liant polymère, de la solidité des enchainements macromoléculaires. Souvent ce produit est sous forme solide ou visqueuse, il faudra donc le dissoudre dans un mélange de solvants adéquats pour obtenir la fluidité nécessaire à son application [11].

Le liant doit satisfaire à un ensemble de critères [12] :

- Excellentes propriétés mécaniques (dureté, souplesse, résistance, du film à l'usure et aux fluides)
- Stabilité chimique
- Résistance au jaunissement (le jaunissement correspond à une dégradation des chaînes polymériques).

Les liants doivent avoir les caractéristiques suivantes :

- ❖ Brillance
- ❖ Dureté superficielle
- ❖ Résistance aux agents atmosphériques
- ❖ Insolubilité
- ❖ Adhérence sur le support
- ❖ Vitesse de séchage
- ❖ Transparence
- ❖ Souplesse
- ❖ Résistance à l'abrasion

I.2.4.1.1 Classes des liants utilisés en peinture

Les peintures en solvant généralement caractérisées et classifiées selon le type de résine qui les constitue.

Liants naturels : huiles siccatives naturelles ou gommes produites par des résineux. Très anciennement utilisés, employés pour la restauration des meubles et les peintures pour artistes.

- 1- **Dérives cellulosique** : obtenus par modification de la cellulose (nitrocellulose, acétate et acéto-butyrates de cellulose, éthyle cellulose)
- 2- **Dérives du caoutchouc** : obtenus par modification chimique du caoutchouc naturel (chloration ou traitement thermique). C'est produit offrent une excellente résistance à l'eau et ils peuvent être utilisés en milieu corrosif ou marin.
- 3- **Alkydes (gluserophtalique)** : obtenus à partir d'huiles naturelles plus ou moins modifiées par d'autres substances. Ce sont des liants durcissant à température ambiante sous l'action de l'oxygène ou à chaud par réaction avec d'autres résines.
- 4- **Polyesters** : obtenus par réaction entre des polyacides et des polyalcools ne contenant pas de dérivés d'huiles naturelles.... Ce sont des liants qui durcissent par polycondensation interne ou avec des partenaires réactionnels aminoplastes. Ces polymères résultent de la polyestérification d'un polyol par un polyacide avec élimination d'eau. Selon la nature chimique des monomères on distinguera plusieurs familles [13] :
 - **Les résines polyesters insaturée** : sans huile, réticulées par le styrène et ce par un mécanisme radicalaire en présence de peroxydes organiques ;
 - **Les résines alkydes** : obtenues par réaction entre un polyol, un polyacide, un acide gras insaturé ou une huile qui fait partie intégrante du polymère.

Une des caractéristiques qui permet de différencier ces polymères est leur longueur en huile (LH), c'est -à dire le pourcentage d'huile ou d'acides gras contenu dans la macromolécule, ce qui permet de les classer en trois grandes familles :

- Alkydes longues en huile à séchage à l'air utilisées dans le domaine du bâtiment.
- Alkydes moyennes en huile à séchage à l'air utilisées dans les formulations des peintures primaires et de finition.
- Alkydes courtes en huile à séchage au four dont les principales applications sont celles des peintures industrielles.

Les principaux acides gras employés dans la synthèse des résines alkydes sont issus d'huiles siccatives (huiles de lin, de bois de Chine...), semi-siccatives (huile de soja, de tall oil, de carthame, de ricin déshydraté dénommé en anglais castor oil).

Ce qui différencie ces huiles ou acides gras, outre leur longueur en huile, est essentiellement le nombre de doubles liaisons qu'elles renferment.

Quant aux polyols, citons le glycérol, le pentaérythritol et, parmi les polyacides, l'acide ou l'anhydride phtalique.

Néanmoins, ces liants alkydes peuvent être modifiés par des monomères tels que le styrène, le vinyltoluène, les acrylates, les liants siloxanes, des résines époxyde ou phénolique, ce qui permet de disposer d'une gamme étendue de polymères aux propriétés variées.

- 5- **Epoxydes** : les résines comportant des fonctions époxydiques réagissent par addition avec divers groupes chimiques. Ils durcissent à température ambiante ou à chaud selon la nature des partenaires réactionnels.

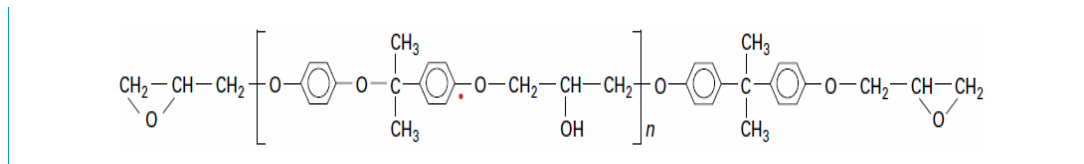
Cette exemple représente une résine synthétique est obtenu par polyaddition, par réaction de l'épichlorhydrine avec des diols tels que le 4,4 dihydroxydiméthylméthane (ou bisphénol A) ou le 4,4' -dihydroxyméthane (ou bisphénol F).

La synthèse fait intervenir deux réactions sont [14] :

- **Une réaction de condensation en milieu alcalin** avec élimination d'acide chlorhydrique qui ne fait pas intervenir le cycle époxyde de l'épichlorhydrine.
- **Une réaction d'addition sur la fonction époxyde ou oxirane.**

Ce polymère comporte deux fonctions réactives époxydes et une fonction alcool secondaire. Les premières pourront réagir avec des composés à hydrogènes labiles tels que polyamines, polyamides, thiols, les secondes avec des polyisocyanates.

Ce type de polymérisation permet, selon les conditions opératoires, de réaliser des polymères liquides de faibles masses moléculaires [$M = 350$ à 470] ou des polymères solides dont les masses moléculaires sont comprises entre 900 à $3\ 800$.



La figure I.1: la résine époxyde obtenu à partir du bisphénol A.

- 6- Polyuréthanes :** obtenus par addition entre un partenaire réactionnel portant des fonctions réactives. La réaction se fait à température ambiante, il y a nécessité d'opérer le mélange des deux composants juste avant emploi (il est toutes fois possible d'avoir des produits en un seul emballage).
- 7- Vinyliques et acryliques :** le choix des monomères permet de s'adapter aux performances recherchées. Ces liants sont principalement utilisés pour les peintures en dispersion aqueuse.

Dans notre exemple nous utilisons un liant vinylique qui affiche des qualités exceptionnelles en matière de performance, sureté et polyvalence.

I.2.4.1.2 Propriétés des liants vinylique

Le liant vinylique est donnant pour caractéristique à la peinture vinylique d'être assez élastique et bien réceptive aux pigments colorés. Il lui donne également une très bonne adhérence et un pouvoir couvrant intéressant.

Dans notre formulation on utilise le liant d'acétate de vinyle, d'éthylène et de chlorure de vinyle.

I.2.4.1.3 La résine d'acétate de vinyle, d'éthylène et de chlorure de vinyle.**I.2.4.1.3.1 Définition**

Cette résine est une dispersion aqueuse de taille moyenne, contenant un colloïde protecteur, d'un terpolymère d'acétate de vinyle, d'éthylène et de chlorure de vinyle.

La principale caractéristique de cette résine est sa large gamme d'utilisations dans les systèmes de revêtement contenant des pigments opacifiants, et présentent un effet ignifugeant inhérent sans l'ajout de retardateurs de feu ou d'additifs.

La dispersion a une faible odeur et est produite sans l'utilisation de composés contenant de l'éthoxylate d'alkyl phénol [15].

I.2.4.1.3.2 Propriétés physiques et chimiques

Tableau I.2 : les propriétés physiques et chimiques de la résine spécifique [16].

Propriétés	Valeurs
Etat physique	Liquide
Couleur	Blanc
Odeur	Non déterminé
Valeur de PH	4-5
Densité relative	1,09 g /cm ³
Viscosité dynamique	6000-12000mPa.s à 23 °C
Masse moléculaire	Non utilisable

- Grande polyvalence
- Haute élasticité
- Très bonne résistance à la saponification

I.2.4.1.3.3 Rôle dans les peintures

Les peintures résistantes au feu à base de terpolymère contenant du chlorure de vinyle (VC) améliorent l'efficacité ignifuge due aux propriétés auto-extinguibles des liants VC. Ils présentent donc un effet ignifugeant inhérent sans agents ignifuges ou additifs supplémentaires.

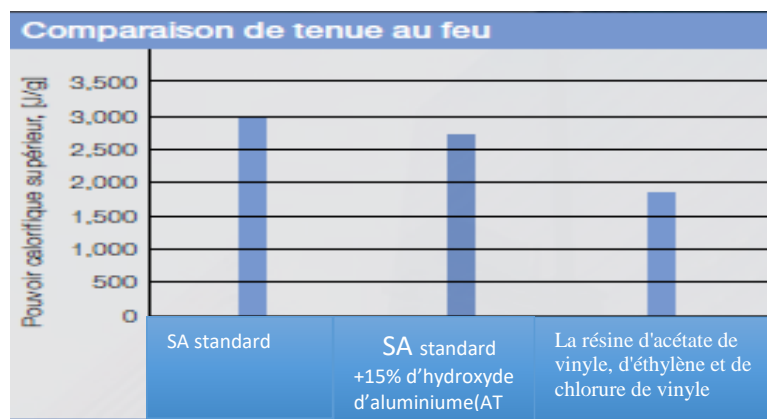


Figure I.2 : Cette graphique montre la tenue au feu inhérente de notre résine par rapport aux styrène-acryliques conventionnels (avec ou sans additif ignifugeant ATH) dans une couche primaire. [17]

Plus le pouvoir calorifique est bas, meilleurs sont la résistance au feu et le comportement de combustion.

I.2.4.1.3.4 Les caractéristiques générales

Tableau I.3 : les caractéristiques générales de la résine spécifiques [18]

Propriétés	Valeur	Méthode
Température minimale de formation du film	environ 2 °C	DIN ISO 2115
Résistance à la congélation	protection contre le gel	méthode spéciale
Taille prédominante des particules	environ 0,7 µm	méthode spéciale
Colloïde protecteur / émulsifiant Système	Ioniques et non ioniques tensioactifs et polymères Composés	
Charge et pigment Compatibilité	très bon	méthode spéciale
Aspect de la film de dispersion	transparent, brillant	Visuel
Surface du film	légèrement collant	méthode spéciale
Stabilité de l'électrolyte	très bon	méthode spéciale

I.2.4.1.3.5 Applications

- Peintures intérieures
- Peintures pour l'extérieur
- Peintures résistantes au feu
- Systèmes composites d'isolation thermique extérieure
- Enduits et plâtres

Ils y'a d'autres utilisations et application sont :

- S'est avéré être un liant exceptionnel dans de nombreux domaines d'application et la polyvalence est sa force particulière.
- Est particulièrement recommandé pour produire des peintures de maçonnerie avec un bon pouvoir couvrant et une grande flexibilité.
- Grâce à sa bonne résistance à la saponification, notre liant peut être utilisé comme composant polymère organique dans les peintures organo-silicatées, et les enduits organo-silicatés. Pour assurer une bonne durée de vie, la formulation doit être soigneusement construite autour du liant.
- Pour obtenir une résistance optimale aux intempéries, il convient d'utiliser des pigments opaques pour assurer une pigmentation adéquate.

En raison de sa température minimale de formation de film d'environ +2°C, ce liant ne nécessite aucun auxiliaire de coalescence pour la formation du film, donc ce liant est très approprié pour les peintures qui répondent aux exigences strictes de l'éco-label.

- Cette résine s'est révélé être un excellent liant pour les enduits à base de résine synthétique, notamment dans les systèmes d'isolation et de finition par l'extérieur

Dans un tel système de revêtement, ce produit peut également être utilisé comme liant pour l'adhésif styrène-panneau et pour la couche de base. En d'autres termes, un seul liant est nécessaire pour l'ensemble du système.

- Ce liant peut être mélangé avec la plupart des dispersions aqueuses de polymères anioniques et/ou non ioniques. Cependant, la compatibilité du mélange doit être testée au moyen d'un test de stockage.
En effet, malgré la bonne compatibilité des polymères, les différences d'indices de réfraction peuvent parfois rendre trouble le film de dispersion sec.
- Il est compatible avec les pigments et les diluants courants et est facile à mettre en œuvre.
- Il est aussi forme un film (selon la norme ISO 2115) à 2 °C et peut donc généralement être mis en œuvre - notamment pour les applications intérieures - sans ajout d'agents filmogènes [19].

I.2.4.1.3.6 La solubilité et la compatibilité du liant au différent solvants et polymères [20].

Tableau I.4 : solubilité et compatibilité du liant au différentes Esters

Esters	Compatibilité
Acétate de méthyle	Oui
Acétate d'éthyle	Oui
Acétate de n-propyle	Oui
Acétate de n-butyle	Oui
Acétate de 2-méthoxyéthyle	Oui

Tableau I.5 : solubilité et compatibilité du liant au différentes Cétones

Cétones	Compatibilité
Méthyléthylcétone	Oui
Cyclohexanone	Oui
Méthylisobutylcétone	Oui
Acétone	Oui

Tableau I.6 : solubilité et compatibilité du liant au différentes Alcools

Alcools	Compatibilité
Méthanol	Oui
Éthanol, 94 %.	Oui
n-Butanol	Oui
Cyclohexanol	Non
Éthylène glycol	Non

Tableau I.7 : solubilité et compatibilité du liant au différentes Ethers

Éthers	Compatibilité
Éther diéthylique	Oui
Tétrahydrofurane	Non

Tableau I.8 : solubilité et compatibilité du liant au différents polymères synthétiques

Polymères synthétiques	Compatibilité
Polyéthylène (PE)	Non
Polypropylène (PP)	Non
Polystyrène (PS)	Non
Polyméthacrylate de méthyle (PMMA)	Compatibilité partielle
Polyesters	Compatibilité partielle

I.2.4.2 Les solvants

Constituant liquide, simple ou mixte, volatil dans des conditions normales de séchage, ayant la propriété de dissoudre totalement le liant, même à forte concentration. Ce sont des composés qui servent à solubiliser le liant polymère pour s'étaler sur le support. Pour cela, ces solvants doivent être compatibles avec les chaînes polymères.

Ils sont éliminés du film de peinture par évaporation pendant le séchage. Ils sont choisis de manière à ce que l'évaporation soit progressive afin que le réseau de la peinture puisse s'organiser. Ils sont également choisis selon des critères économiques, d'hygiène et de sécurité. Dans l'industrie des peintures, les solvants sont presque exclusivement utilisés sous forme de mélange.

Il est possible de regrouper les nombreux solvants utilisés dans les peintures en cinq familles distinctes : les hydrocarbures, les alcools, les éthers de glycol, les esters et les cétones [21].

I.2.4.3 Les pigments

Substances généralement présentes sous forme de fines particules, pratiquement insoluble dans les milieux de suspension usuels, utilisées en raison de certaines de leurs propriétés optiques, protectrices ou décoratives [22].

Ils sont des poudres finement broyées insolubles dans le milieu de suspension (liant polymère et solvant) qui apportent au revêtement sa couleur, son pouvoir isolant, son pouvoir couvrant. Ces pigments peuvent être de nature minérale ou organique. Ils sont utilisés pour apporter la résistance aux rayons ultraviolets et la résistance à la corrosion.

I.2.4.3.1 Pigments minéraux

Ces pigments sont utilisés pour tous les types de peinture.

I.2.4.3.2 Pigments organiques

Il existe plusieurs centaines de formules chimiques différentes pour les pigments organiques [23]

- Les dérivés de phtalocyanine : bleu et vert
- Les dérivés azoïques (dérivés de benzidine, toluidine, dinitraniline), leurs couleurs varient du jaune au rouge
- Les dérivés d'anthraquinone : ils peuvent être jaunes, orangés, rouges, violets, bleus ou marron
- Les pigments de quinacridone : violet, rouge
- Les pigments de dioxazine : violet, rouge
- Le noir de carbone.

I.2.4.3.3 Pigments fonctionnels

Ces pigments apportent au film des caractéristiques différentes d'opacité et de couleur telle que l'anticorrosion, la conductivité... [24]

Dans notre formulation on utilise le dioxyde de titane TiO_2 du couleur blanc

I.2.4.3.4 Le pigment TiO_2

I.2.4.3.4.1 Définition

Le dioxyde de titane est une substance d'un blanc éclatant, utilisé principalement comme colorant intense dans les secteurs industriels.

Au-delà des peintures, revêtement catalytiques, plastiques, papiers, produits pharmaceutiques et crème solaire. [25]

I.2.4.3.4.2 Utilisation du TiO_2 dans l'industrie

Le dioxyde de titane est utilisé sous forme de poudre micrométrique depuis de nombreuses années (début des années 1920) pour ses propriétés opacifiantes et blanchissante. Il représente environ 70 % de la production mondiale de pigments devant le noir de carbone et l'oxyde de fer. Depuis le début des années 1990, il est également utilisé sous forme de poudre nanométrique notamment pour ses capacités d'absorption des rayons ultraviolets.

Le dioxyde de titane fin est principalement utilisé comme pigment blanc dans :

- Les peintures, laques, vernis et enduits ;
- Les plastiques, les élastomères, le caoutchouc et le cuir ;
- Les colorants alimentaires.

I.2.4.4 Les charges

Les charges sont des substances à l'état de fine poudre ou des solides pulvérulents, de granulométrie en général supérieure à celle des pigments ($>1 \mu\text{m}$), insoluble dans les milieux utilisés, principalement d'origine minérale, de couleur blanche. Leur rôle est notamment d'abaisser le prix de revient de la peinture. Elles peuvent également modifier certaines caractéristiques mécaniques, chimiques et électriques. [26]

I.2.4.5 Les additifs

Les additifs sont des substances ajoutées en faible quantité qui jouent des rôles divers pour développer certaines qualités propres et améliorer soit les conditions de fabrication et/ ou de conservation et/ ou d'application, soit certaines propriétés spécifiques. Ce sont, par exemple, les agents de mouillage et de dispersion des charges et des pigments, les agents anti sédimentation, les agents anti-peux, les fluidifiants, les épaississants, qui jouent un rôle dans la formation du film de peinture en tant que catalyseur en apportant une tenue supplémentaire à certaines agressions. [26]

I.3 La dispersion

I.3.1 Définition de la dispersion

Dispersion signifie la destruction des agglomérats de pigments et leur répartition de façon homogène dans la solution liant. Elle est appelée couramment « broyage » mais c'est en fait un travail de dispersion des particules pulvérulentes.

La dispersion est réalisée dans un récipient à l'aide d'un disperseur. Un disperseur est un mélangeur à grande vitesse muni d'un disque denté. [27]



Figure I.3 : un disperseur



Figure I.4 : disperseur de laboratoire

I.3.2 Mécanisme de la dispersion à l'aide d'éléments de broyage

Les sollicitations mécaniques exercées sur les agglomérats sont surtout des contraintes de pression (par écrasement) et de cisaillement, aussi bien par cisaillement laminaire que par frottement humide. (Le frottement humide est un état intermédiaire entre le frottement de deux surfaces sèches et le frottement en présence d'un film liquide présent entre les surfaces, dit film lubrifiant) [27].

I.3.3 facteurs influençant sur la dispersion

I.3.3.1 Viscosité de la pâte de broyage

La viscosité c'est l'aptitude d'une substance fluide à s'écouler lorsqu'elle est soumise à une force.

Si la viscosité est trop élevée, la base de broyage s'immobilise et le disque tourne dans le vide. Si la viscosité est trop basse, la pâte de broyage est projetée et l'on n'obtient aucune dispersion. Si la viscosité est ni fluide ni épaisse on aura une bonne dispersion [28].

I.3.3.2 Nature de liant et solvant

Le solvant doit avoir une bonne affinité pour le liant, pour que ce dernier puisse pénétrer entre : Les grains des pigments et charges.

Le liant doit avoir une affinité plus grande pour les pigments que pour celle du solvant, pour qu'il puisse s'adsorber sur la surface du pigment [29].

I.3.3.3 Agents de mouillage et de dispersion

Ils peuvent accélérer la pénétration de la phase liquide et la mouillabilité du pigment et charge [29].

I.3.3.4 Vitesse de cisaillement

Pour avoir une bonne dispersion en un minimum de temps, il faut appliquer une grande vitesse de cisaillement car celle-ci augmentera le nombre de frottements [29].

I.3.3.5 Température

Au cours de la dispersion, la température de la pâte de broyage s'élève par suite de frottements et cela risque de causer l'évaporation du solvant et l'épaississement de la pâte de broyage. Donc on doit maintenir la température constante en utilisant un réfrigérant [29].

Notre étude a pour objectif la préparation et la caractérisation d'une peinture retard feu à base eau avec ter-polymère d'acétate de vinyle, d'éthylène et de chlorure de vinyle comme un liant.

II.1 Matériels et méthodes

Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire de production de l'entreprise EURL ROMANI COLOR (star peinture), au niveau du laboratoire de recherche Analyses Fonctionnelles des Procédés Chimiques département du Génie de procédés de l'Université de Blida1 et au niveau du laboratoire de centre de recherche en technologie industrielles ; CRTI CHRAGA.

II.1.1 Réactifs

Les réactifs utilisés dans la préparation de deux types de peinture sont représentés dans le tableau II.1 avec leurs rôles.

Tableau II.1 : Différents types de réactifs utilisés et leurs rôles.

Réactifs	Origine	Rôle
Biocide	Entreprise Europe network/CCL de Lyon	Pour la protection antimicrobienne du film-sec et augmenter la durée de conservation de produit
Antimousse	www .ventsys.com	Pour enlever la mousse de système de peinture aqueuse et de dispersion de plastique
Agent dispersent	Tronox France SAS	pour la séparation des particules
Epaississant cellulosique	NOURYON CHEMICAL AG	Augmenter la viscosité
Liant	Allemagne	Renforcer les liaisons chimiques entre les constituants
Charge CaCO ₃	KNF NEUBERGER France	Pour la finition esthétique et de protection de la surface sur laquelle il est appliqué

Pigment TiO ₂	Tronox France SAS	Le dioxyde de titane permet d'éviter que les rayons UV ne pénètrent et n'endommagent le produit ainsi que son apparence, il existe à l'état naturel, sert aussi à blanchir et/ou opacifier les peintures et les plastiques
Agent coalescence	Directive Européenne	Pour la brillance, étalement

II.1.2 Formulation de la peinture

Deux types de peinture sont formulés :

II.1.2.1 Peinture standard (phase aqueuse)

La peinture a été élaborée selon la méthode de dispersion en mélangeant deux phases dont chaque phase a été préparée dans un disperseur à T=23°C comme suite,

• **Préparation de la 1^{er} phase** : dans un récipient, on met de l'eau puis on ajoute le biocide (agent antibactérien), puis l'antimousse et on agite pendant 5min. Après, on ajoute l'agent dispersant pour la séparation des particules, puis le NaOH à une concentration de 25% pour la neutralisation ; tout en augmentant la vitesse d'agitation, afin d'obtenir un gel légèrement épais.

• **Préparation de la 2^{em} phase** : c'est la phase responsable de la nature de notre peinture ; elle consiste à l'ajout de la charge (CaCO₃) et le pigment (TiO₂). Le rôle de ces deux agents est le blanchissement de la peinture. On agite pendant 10min, puis on ajoute respectivement le liant avec des quantités bien déterminé sur la 1^{er} phase préparé précédemment, laisser le tout mélanger pendant 5min jusqu'à obtenir notre peinture finale.

II.1.2.2 Peinture retard feu à base eau avec ter-polymère d'acétate de vinyle, d'éthylène et de chlorure de vinyle

On utilise la même méthode de la préparation effectué dans le premier type, en changeant le liant utilisé par le ter-polymère d'acétate de vinyle, d'éthylène et de chlorure de vinyle.

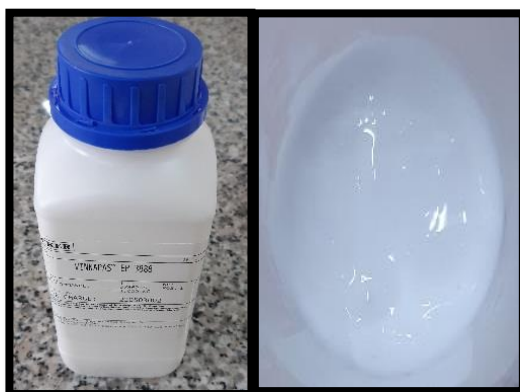


Figure II.1 : la résine retard feu

(ter-polymère d'acétate de vinyle, d'éthylène et de chlorure de vinyle)

II.2 Caractérisation physicochimique des peintures

II.2.1 Mesure de la densité

Cette méthode consiste à déterminer la densité de notre peinture au moyen d'un densimètre. Le pycnomètre métallique est soigneusement nettoyé, rincé et séché sous un courant d'air sec, puis on fait peser le pycnomètre, le pycnomètre sera après rempli avec notre échantillon dont on veut déterminer sa densité à 23 °C. Ensuite, on pousse le couvercle sur le pycnomètre pour faire écouler le liquide excédent dans le bord extérieur et pour fermer le pycnomètre. Enfin on refait la pesée du pycnomètre avec le contenu. Le résultat obtenu est divisé sur 100 ml (volume de pycnomètre).



Figure II.2 : Un pycnomètre

II .2.2. Mesure de la viscosité

Cette méthode consiste à mesurer la viscosité en poise au moyen d'un viscosimètre BROOKFIELD à la température 20-25°C.



Figure II.3 : viscosimètre BROOKFIELD

II .2.3 Détermination du pH

Afin de déterminer le pH de notre peinture ; on étalonne le pH-mètre, puis on fait laver les électrodes et le récipient de mesure avec de l'eau distillée. Puis on fait homogénéiser le produit d'essai, en introduisant un volume suffisant dans le récipient de mesure et plonger l'électrode, en agitant légèrement notre produit, enfin et à 23 °C vérifier que l'indication donné pour le pH mètre est stable. [30]

La mesure du pH a été effectuée à l'aide d'un pH-mètre de marque HANNA instruments HI2210, en utilisant une électrode en verre.

II.2.4 Mesure d'extrait sec

Il indique pour une forme ou une matière première, sa teneur en matière sèche. L'extrait sec peut être massique ou volumique.

• $ESm \text{ (en \%)} = m_s / m_t$ **(Equation II.1)**

• $ESv \text{ (en\%)} = V_s / V_t$ **(Equation II.2)**

ESm : extrait sec massique m_s : masse sèche m_t : masse totale

ESv : extrait sec volumique V_s : volume sec V_t : volume totale

L'extrait sec d'un produit de peinture, c'est ce qui reste après évaporation des matières volatiles qu'il contient. Pour la détermination de l'extrait sec, on prélève un petit échantillon (d'environ 1g) du produit à examiner, que l'on étale sur une capsule

métallique préalablement tarée. On pèse et, après une heure d'étuvage à 120 c°. Le résultat est exprimé comme suit [31] :

- $ESm = \frac{m_s}{m_t} \times 100$ (Equation II.3)

Avec : m_s : masse de résidu après étuvage

m_t : masse initiale de l'échantillons

II.2.5 Mesure de la finesse

Mesurer la finesse c'est mesurer la grosseur maximale des agglomérats contenus dans la peinture. On mesure la finesse avec une jauge qui s'appelle jauge de finesse ; on place l'échantillon de peinture au point le plus profond des rainures puis on étale à l'aide de la règle de précision en position inclinée jusqu'à extrémité. Et a en mettant bloc à hauteur des yeux et on détermine le point de mesure pour lequel de grosses particules ou traces sont visibles. [31]

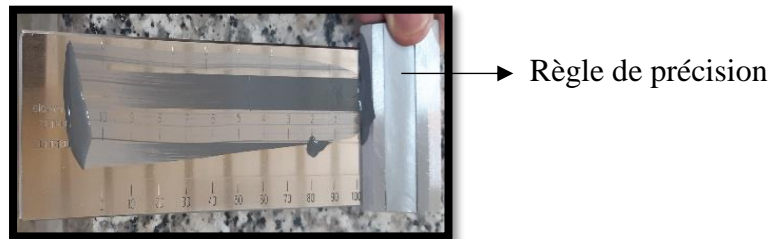


Figure II.4 : Jauge de finesse

L'échelle Hegman ou échelle National Standard est indiquée sous l'abréviation « NS » sur la jauge. L'échelle s'étend de 0 à 8, Plus la valeur Hegman est élevée, plus les particules sont petites ; comme indiquant au-dessus :

- 0 Hegman : taille de particule =100µm (4 mil)
- 4 Hegman : taille de particule =50µm (2 mil)
- 8 Hegman : taille de particule =0µm (0 mil)

II.2.6 Test au feu

- On met sur deux papiers d'opacité un échantillon de peinture, l'une est une peinture standard à eau et l'autre est une peinture retard feu, laisser les deux échantillons pendant 60min jusqu'à le séchage sous un courant d'air sec puis en

enflamme les papiers avec un briquet et on note le temps jusqu'au moment de la montée de la fumée noire comme les figures suivantes :



Figure II.5 : l'étalement des échantillons sur le papier d'opacité



Figure II.6 : papier d'opacité après l'inflammation

II.2.7 Analyse spectrale par infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) [32]

On a préparé deux échantillons de peinture sous forme des films plaquette ; échantillon 1 peinture retard feu ; échantillon 2 peinture standard. Ensuite on met chaque échantillon dans un porte film. Le spectre FTIR de l'échantillon a été enregistré entre 500 et 4000 cm^{-1} sur un spectrophotomètre FT-IR de marque SHIMADZU -8900.

II.2.8 Test mécanique

✓ L'essai de traction

Cette caractérisation a été effectuée au Centre de Recherche en Technologies Industrielles (CRTI), laboratoire des Essais Mécaniques - CHERAGA -

Afin de caractériser le comportement des quatre échantillons (Peinture retard feu-Résine retard feu-Peinture simple-Résine simple) , l'unité de développement technologique du centre dispose d'un atelier équipé d'un parc de moyens d'essais conséquent permettant de nombreuses applications chargé d'effectuer selon les normes de sécurité les différents tests mécaniques à savoir :

- Essai de traction a été réalisé à température ambiante sur des éprouvettes plaquettes et/ou prismatiques ($\ell_0=60$ mm, $l=40$ mm, $e=0,05$ mm ± 0.04 mm) à l'aide d'une machine de marque (**INSTRON**) de capacité qui peut atteindre les 600 KN.

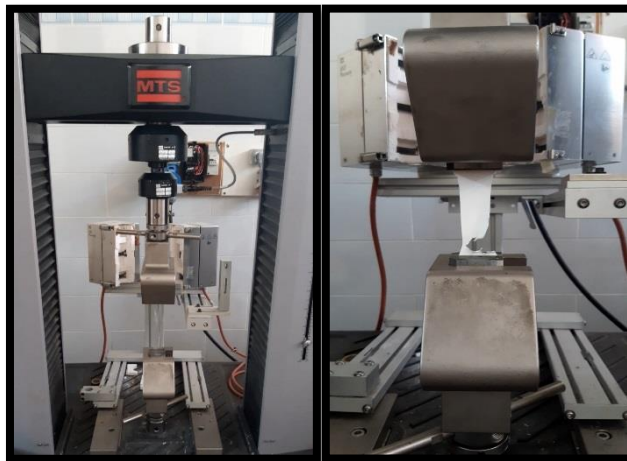


Figure II.7 : Machine de L'essai de traction INSTRON.

Avec :

$\Delta L = \ell - \ell_0$: Allongement à la rupture (mm).

ℓ_0 : longueur initiale de l'éprouvette.

ℓ : longueur finale de l'éprouvette.

L'essai de traction consiste à appliquer deux forces opposées sur un échantillon. Les extrémités d'un échantillon de film ont été serrées entre les mâchoires de la machine d'essai en tension, l'une fixe et l'autre mobile. L'échantillon a été ensuite soumis à un étirement uniaxial à vitesse imposée et constante. Les

forces ont été enregistrées par le capteur de force situé sur la partie fixe de la machine. Chaque matériau est caractérisé par un diagramme contrainte déformation. La Figure II.8 présente un exemple de comportement d'un matériau soumis à une contrainte de traction [33]. On y distingue trois zones :

- la zone 1 de la courbe contrainte élongation est linéaire et correspond à une déformation élastique (déformation réversible). Le matériau s'allonge sous l'action de la traction et reprend sa forme et ses dimensions initiales lorsque la contrainte

est interrompue le coefficient de proportionnalité est appelé module de Young ou module d'élasticité.

- La zone 2 est appelée zone de déformation plastique. La déformation est toujours élastique, mais la variation (contrainte déformation) n'est plus linéaire. Cette zone présente un maximum au-delà duquel le matériau subit une déformation irréversible. A l'arrêt de la contrainte, le matériau ne retrouve pas sa forme initiale : il existe une déformation résiduelle permanente.

Au-delà d'une déformation critique, une contraction du matériau s'opère en un point donné jusqu'à rupture. On aborde alors la zone 3 de la courbe, dite zone de rupture. Si un matériau se casse dans son domaine élastique, c'est à dire sans subir de déformation plastique avant sa rupture, il est considéré comme fragile. Par contre, il sera considéré comme ductile s'il peut subir de grandes déformations plastiques avant sa rupture [34].

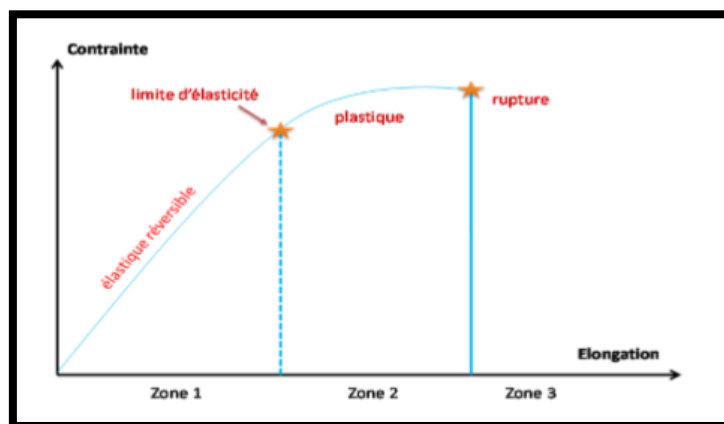


Figure II.8 : Comportement d'un matériau soumis à une contrainte mécanique.

Les propriétés mécaniques de différents films ont été évaluées à l'aide d'une machine de traction. Quatre échantillons rectangulaires de film ont été préparés en utilisant un massicot de précision à double lame afin d'obtenir des éprouvettes de traction avec une largeur exacte et des côtés parallèles et sans défaut sur toute leur longueur.

Ces échantillons préconditionnés ont été soumis à un essai de traction uniaxiale (capteur de force de 300 N) à une vitesse constante de 2 mm/s jusqu'à rupture.

Les mesures ont été réalisées à température ambiante (25±2°C). À partir des courbes contrainte déformation enregistrées automatiquement (Force (F) en N en fonction de l'allongement (ΔL) en millimètre) ; nous avons calculé :

- La contrainte à la rupture δ (MPa) :

$$\delta = \frac{F_{max}}{S} \dots\dots\dots(\text{Equation II.4})$$

Avec : S est la section initiale de l'éprouvette (m²) et égale au produit de l'épaisseur par sa largeur, et F_{max}, la force à la rupture (N).

- Le module d'élasticité ou module de Young E(MPa) correspond à la pente de la partie linéaire de la courbe (contrainte déformation) aux faibles déformations :

$$E = \frac{\delta}{\epsilon} \dots\dots\dots(\text{Equation II.5})$$

Avec :

δ = la contrainte (N/m² ou MPa)

ε = la déformation (%).

- Le pourcentage de déformation nominale (allongement) du film au point de rupture, correspond au rapport entre l'allongement et la longueur de référence (initiale) :

$$\epsilon_n = \left(\frac{\Delta l}{l_0}\right) \times 100 \dots\dots\dots(\text{Equation II.6})$$

II.2.9 Etude du comportement rhéologique

Le rhéomètre utilisé est de type MCR 302 Anton Paar Physica (Anton Paar, GmbH, Germany), présenté sur la Figure II.9, relié à un thermostat où la température est fixée à 20°C. En utilisant un système de mesure plan-plan 25mm. Les résultats expérimentaux sont traités par le logiciel Rhéoplus.

L'objectif de ce test est de caractériser le comportement viscoélastique des films de la peinture. [35]

➤ **Le test de viscoélasticité :**

Les propriétés viscoélastiques des films ont été mesurées en mode dynamique par un test non destructif d'oscillations de faible amplitude. Un balayage croissant en déformation, de (0,001 à 1000) % a été effectué à la fréquence de 1 Hz (mode logarithmique, 25points/s). Cette mesure a permis d'obtenir les valeurs des modules G' , G'' dans le domaine linéaire viscoélastique. D'où :

G' : le module de conservation, il représente le caractère élastique du film, l'énergie emmagasinée dans le matériau.

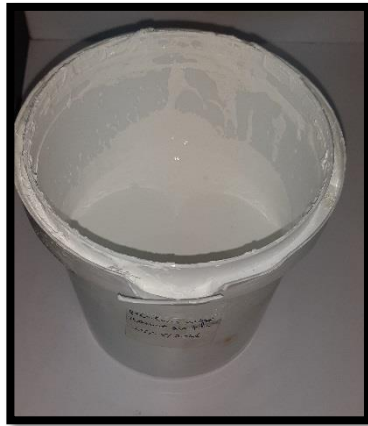
G'' : le module de perte, il représente le caractère visqueux, l'énergie dissipée dans le matériau.



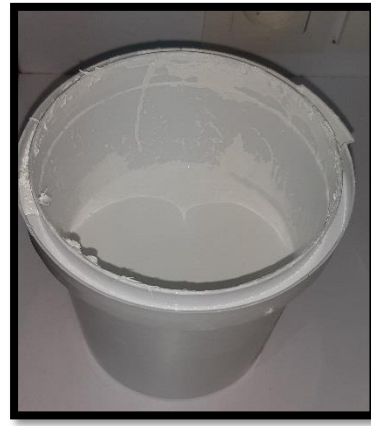
Figure II.9 : Rhéomètre MCR 302 Anton Paar Physica.

III.1 Obtention des peintures

Les deux peintures obtenues sont étés bien formulées. La figure III.1 représente les photographies des peintures obtenues.



Peinture retard feu (1)



Peinture simple (2)

Figure III.1 : les photographies des peintures formulées.

III.2 Caractérisation des peintures formulées

Après la caractérisation faite effectués sur les deux formulations :
Peinture retard feu (échantillons1), peinture à eau (échantillons 2) les résultats obtenus sont présentés sur le tableau III .1 suivant :

Tableau III.1 : Résultats de chaque caractérisation et norme exigée

Caractérisation	Résultats obtenus	Les valeurs des normes
la densité	$d_1 = 1,454$ $d_2 = 1,432$	1,4 et 1,6
la viscosité (poise) [la tige 03 et vitesse 02]	$V_1 = 1066$ poise $V_2 = 1043$ poise	[1000-2020 poise] 1Pa.s =1000 cP=10 poise
pH	$pH_1 = 8,55$ $pH_2 = 8,77$	[8,5-9,5]
Taux d'extrait sec(%) et Taux d'humidité (%)	$T_e = 60\%$ $T_h = 40\%$	
La finesse μm (Peinture retard feu)	50 μm (2 mil)	0 μm -100 μm
Test au feu	$T_1 = 26$ s $T_2 = 06$ s	

Afin de comparer les résultats obtenus :

-La densité de peinture retard feu ($d_1=1,454$) est presque la même avec la densité de peinture à eau ($d_2=1,432$) avec une petite différence de 0,022.

- La viscosité de peinture retard feu ($V_1= 1066$ poise) est aussi presque la même avec la viscosité de peinture a eau ($V_2= 1043$ poise) avec une petite différence de 23 poise car on a utilisé l'épaississant cellulosique dans les deux types. $1\text{Pa.s} = 1000 \text{ cP} = 10 \text{ poise}$

-Le pH de la peinture retard feu ($\text{pH}_1=8,55$) est presque le même avec le pH de peinture à eau ($\text{pH}_2= 8,77$) avec une petite différence de 0,22. Il est basique car l'utilisation de NaOH 0,1% dans la formulation, le NaOH est utilisée pour éviter la fermentation des bactéries au stockage.

-Comparer les résultats obtenus par rapport aux normes, les valeurs ne sortent pas des normes exigées ; densité [1,4-1,6], viscosité [1000-2020 poise], pH [8,5-9,5].

Les résultats obtenus du test au feu montrent que la peinture retard feu est plus résistante au feu par rapport la peinture à eau (peinture retard feu résiste 26s avant l'inflammation du papier d'opacité et la peinture à eau résiste 06s s'enflamme)

Les valeurs des résultats sont presque les mêmes avec une petite différence par ce que on a utilisé la même méthode de préparation dans les deux types de peinture et les mêmes réactifs, sauf le liant utilisé dans le première type le ter-polymère de vinyle acétate, éthylène et vinyle de chlorure avec le liant simple dans le deuxième type; et aussi on a travaillé avec les mêmes conditions (température $T=23^\circ\text{C}$, vitesse d'agitation de DISPERSEUR (300 tour/min)) pendant 20min pour chaque formulation.

III.2.1 Expression des résultats du test extrait sec et l'humidité

Par différence la mesure de l'humidité relative permet de connaître l'extrait sec du produit ; l'échantillon est chauffé par un courant d'air chaud de l'extérieur vers l'intérieur c'est à dire dans la direction contraire au dégagement d'humidité et au refroidissement par évaporation de la surface de l'échantillon.

On a obtenu un taux d'extrait sec égal à 60 % et de 40% du taux d'humidité.

III.2.2 Expression de résultats de jauge de finesse

- On observe les particules sur l'échelle 4 alors la taille des particules égale à $50\mu\text{m}$

III.2.3 Expression de résultats d'analyse infrarouge par transformer de FOURIER

Le but de cette analyse est d'identifier les liaisons présentes dans nos peintures ; peinture retard feu et peinture à eau. Les mesures FTIR permettront de confirmer les tendances décrites précédemment. Les spectres sont été enregistrés entre 500 et 4000 cm^{-1} .

La figure III.2 montre le spectre FTIR de peinture retard feu a caractérisée.

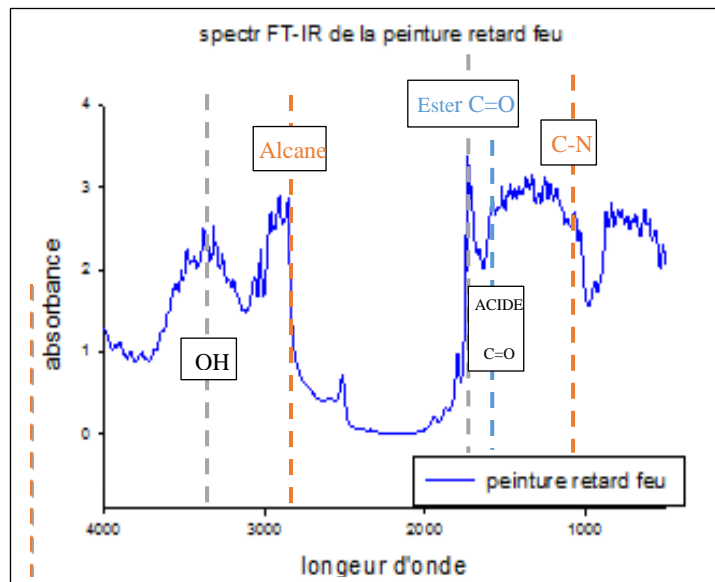


Figure III.2 : Spectre FTIR de peinture retard feu.

Le spectre infrarouge de la peinture retard feu a montré des pics caractéristiques suivants :

- 1040-1180 cm^{-1} : groupement caractéristiques d'amide(C-N).
- 1725-1700 cm^{-1} : groupements caractéristique d'acide(C=O).
- 1720-1775 cm^{-1} : groupement caractéristiques ester (C=O).
- 2850-2950 cm^{-1} : groupement caractéristique d'alcane (CHx).
- 3400 cm^{-1} : groupement caractéristique d'alcool(OH).

La figure III.3 montre le spectre FTIR de peinture à eau.

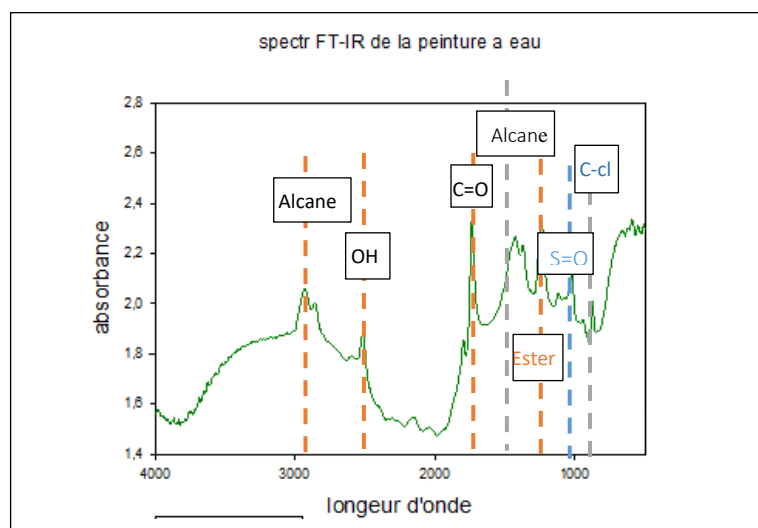


Figure III.3 : Spectre FTIR de peinture à eau

Le spectre infrarouge de la peinture à eau a montré des pics caractéristiques suivants :

- 874 : bande caractéristique du groupement halogénure (-C-Cl)
- 1029 : bande caractéristique du groupement sulfone (S=O).
- 1236 : bande caractéristique du groupement ester (aromatique).
- 1422 : bande caractéristique du groupement alcane (CHx déformation).
- 1733 : bande caractéristique du groupement ester(C=O).
- 2518 : bande caractéristique du groupement OH (avec liaison hydrogène).
- 2926 : bande caractéristique du groupement alcane (CHx stretching).

III.2.4 Expression des résultats de test mécanique**➤ L'essai en traction**

Les propriétés mécaniques ont été étudiées par les tests de traction. Ces essais ont été réalisés sur les différents films formulés à partir de la peinture :

- 1 : Peinture retard feu
- 2 : Peinture simple
- 3 : Résine retard feu
- 4 : Résine simple

Les essais ont été effectués en déplacement contrôlé avec une vitesse de 2 mm/s à température ambiante. La figure III.4 montre les films des peintures et des résines obtenues qui ont subi des tests de traction

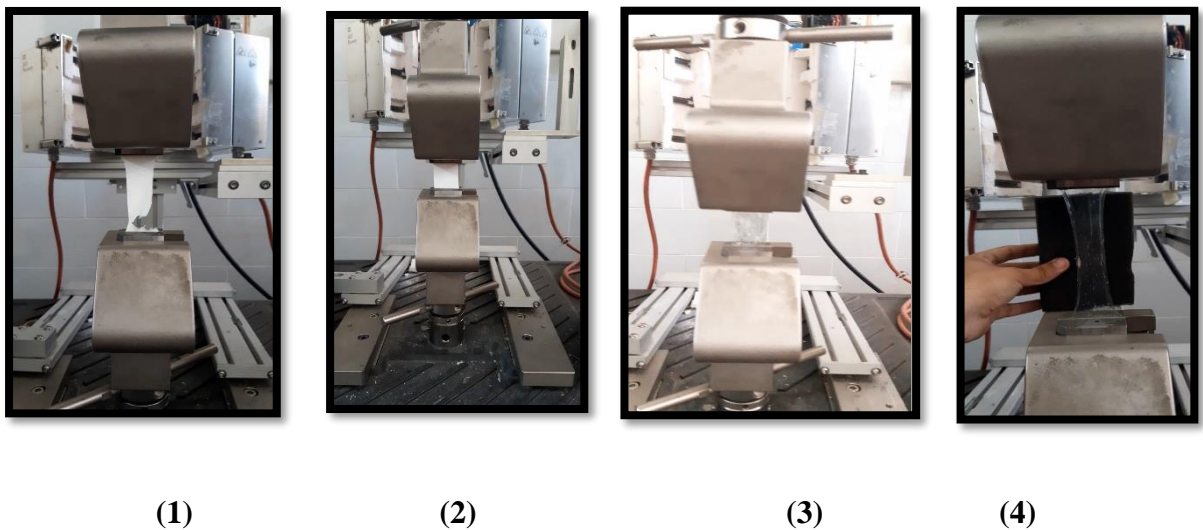


Figure III.4 : les différents échantillons qui sont testé à un test de traction.

Les valeurs de la contrainte à la rupture, l'allongement à la rupture et Module de Young (E), sont représentées dans le Tableau III.2 ci-dessus ;

Tableau III.2 : Valeurs du Module de Young (E), la contrainte à la rupture (σ) et de l'allongement à la rupture (ϵ) pour les quatre échantillons

	Peinture retard feu	Peinture simple	Résine retard feu	Résine simple
Allongement ϵ (%)	303,0022	135,693	246,4430	436,9895
Contrainte à la rupture σ (MPa)	52,9035	555,546	35,9440	80,6193
Module de Young E	1,1024	14,897	0,4648	0,6502

La figure III.5 représente la courbe de contrainte en fonction de la déformation des quatre échantillons.

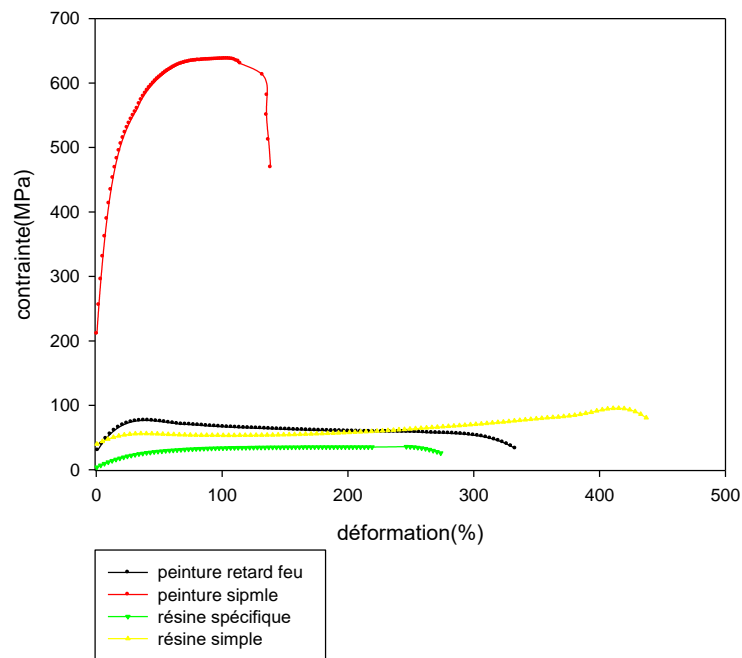


Figure III.5 : Courbe de l'essai de traction.

D'après l'allure des courbes obtenues on constate que :

L'essai de traction a présenté la meilleure contrainte avec une valeur de 640 (MPa) pour le film de la peinture simple, cependant il a marqué un module d'élasticité élevé 14,897 ce qui implique un comportement plastique dur, et pour le film de peinture retard feu, il a présenté un allongement de 303% ; avec une contrainte à la rupture modérée égale à 52,9035(MPa) et un faible module d'élasticité de 1,10 ce qui lui conféré un comportement élastique. Et pour le film de résine retard feu a présenté un allongement 246,44%.et une contrainte à la rupture modérée de 35,94% et un faible module d'élasticité de 0,46 donc elle plus élastique que les autres en fin ; pour le film de résine simple a présenté un allongement 436,98%.et une contrainte à la rupture modérée de 80,61% et un faible module d'élasticité de 0,65 donc elle présente un comportement similaire d'un film élastique.

III.2.5 Expression des résultats d'étude rhéologique

• Test de Viscoélasticité

Ce test permet d'évaluer l'élasticité des peintures formé et les résines utilisés, de déterminer leurs comportements viscoélastiques qui se déclinent en rhéologie par le module élastique (ou de conservation) G' et le module visqueux (de perte) G'' , en appliquant une rampe de déformation oscillatoire.

En utilisant un système de mesure plan-plan 25mm une portion de film a été placé sur le plateau de mesure puis analysée en appliquant une déformation allant de 0,001% à 1000% en rampe logarithmique et une fréquence fixée à 1Hz.

La température est maintenue à 20°C. Les paramètres rhéologiques : module élastique G' , module de perte G'' et la contrainte δ au point de gel, ont été retenus comme caractéristiques de la rigidité du film formé.

Les résultats du test viscoélasticité qui étudie l'évolution des deux modules de conservation G' et de perte G'' en fonction de la déformation de cisaillement

des deux échantillons (peinture retard feu, peinture a eau) sont présentés dans la figure III.6 ; pour les deux différents types de peinture.

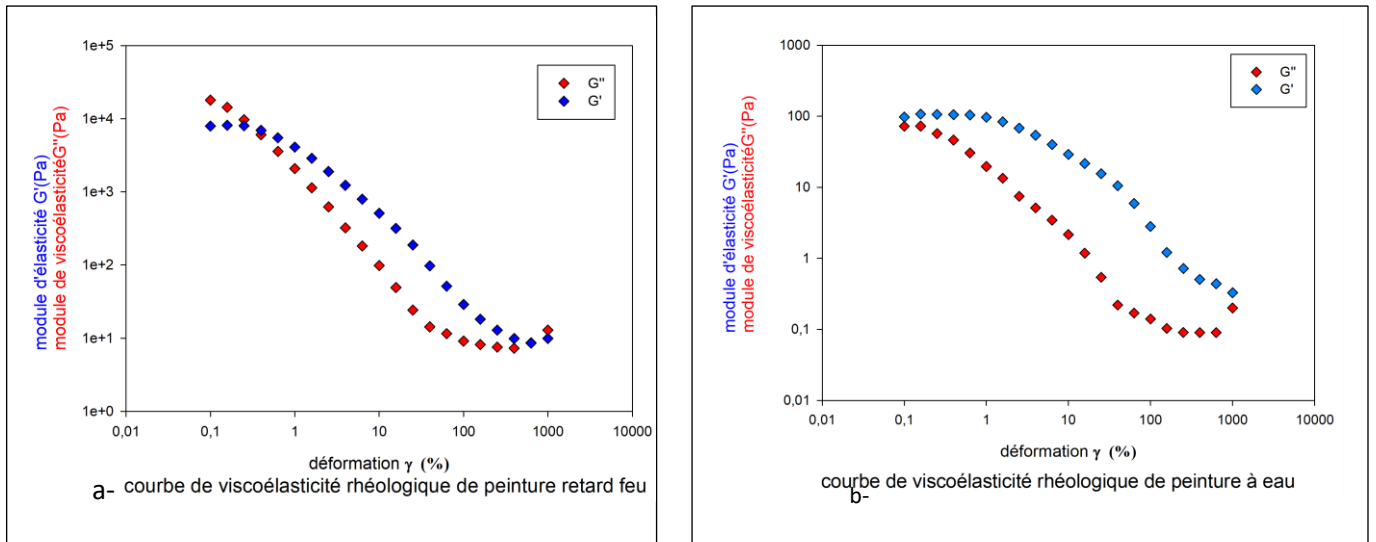


Figure III.6 : Variation des deux modules de conservation G' et de perte G'' ,

a - peinture retard feu en fonction de la déformation, b- peinture à eau, $T^\circ=20^\circ\text{C}$.

La figure III.6 illustre l'évolution des deux modules de conservation G' et de perte G'' des films de peintures en fonction de la déformation γ . On remarque bien qu'aux faibles déformations, le module de conservation G' est constant pour la partie linéaire, ce qui correspond au domaine de la viscoélasticité linéaire, appelé, Linear Visco-Elastic Range, LVE range. Dans ce domaine, le comportement du film de peinture est solide viscoélastique et les déformations enregistrées sont récupérables. Lorsque la déformation dépasse une certaine valeur, on remarque que G' diminue et intercepte G'' au point noté point gel. A ce stade le comportement s'inverse et devient celui d'un liquide plastique, auquel cas, les déformations ne sont plus réversibles, et donc son irrécupérable

CONCLUSION

A travers ce mémoire, nous avons élucidé tout ce qui rapporte la peinture appropriée, dont la caractéristique principale est de jouer le rôle d'une barrière imperméable d'un côté et de l'autre protéger les structures métalliques contre la corrosion. En plus de son côté esthétique pour la décoration des maisons, la peinture peut nous assurer une protection temporaire contre les incendies et ainsi offrir aux personnes concernées le temps d'éviter les pertes humaines en premier lieu puis leurs biens.

La peinture ignifuge dans des bâtiments avance l'avantage de stopper toute propagation rapide des flammes et contribue efficacement à la protection des individus et des matériels pendant une durée relativement suffisante afin de donner le temps nécessaire d'intervention aux personnels de sauvetage.

Notre présent mémoire illustre clairement notre travail qui a été répartie en trois sections claires et bien réparties. Chacune d'entre elle présente les éléments essentiels contribuant à la fabrication de la peinture en évoquant leurs propriétés physiques et chimiques.

La partie expérimentale de notre travail est faite sur la préparation de la peinture retard feu à phase aqueuse et la caractérisation faite sur ce produit fini. Les interprétations des résultats trouvés sont imminentes et doivent même renforcer et justifier notre choix.

En se posant la question si ce travail est terminé ? la réponse est toute simple en disant qu'il reste beaucoup à faire et d'essayer d'apporter plus d'assurance et de sécurité quant à l'usage de la peinture. Les accidents qui sont dus aux incendies provoqués par les peintures sont nombreux et nous devons travailler dans le sens de résoudre ce problème par la fabrication de peinture répondant aux normes internationales de sûreté et de sécurité. Cela ouvre beaucoup de perspectives aux futurs étudiants désirant travailler dans cet axe de thématique.

Annexe

Fréquences de vibrations et déformations angulaires de principales fonctions rencontrées dans les composés organiques en FTIR.

Composé	Vibrations caractéristiques	Fréquence de vibration (cm ⁻¹)
Alcane	CH _x <i>stretching</i>	2950-2850
	CH _x <i>déformation</i>	1500-1400
Insaturé	CH _x <i>stretching</i>	3050-3000
	C=C <i>stretching</i>	1600-1500
	Aromatique substitué (CH)	1900-1700
	Aromatique <i>bending</i>	800-750
Alcool	OH <i>stretching</i>	3400 (large)
	C-O <i>stretching</i> OH <i>déformation</i>	1050-1250
Cétone	C=O <i>stretching</i>	1690-1680
Aldéhyde	H-C=O	2800-2650
	C=O <i>stretching</i>	1710-1700
Acide	OH (avec liaison hydrogène)	3200-2500 (large)
	C=O <i>stretching</i>	1725-1700
	C-O	1440-1395, 1320-1210
	OH <i>déformation</i>	950-900
Sel de l'acide	COO ⁻ <i>stretching antisymétrique</i>	1615-1650
	COO ⁻ <i>stretching symétrique</i>	1400-1300
Ester	C=O	1775-1720
	Aromatique	1250-1100
Amine	NH <i>stretching</i>	3400-3300
	NH <i>déformation</i>	1650-1550
	C-N <i>stretching</i>	1350-1250
Amide	NH <i>stretching</i>	3350-3070
	C=O	1680-1630
	NH <i>déformation</i>	1650-1515
	C-N <i>stretching</i>	1180-1040
Nitrile	C≡N	2250
Isocyanate	N=C=O	2275
Sulfone	S=O	1100-1000
	C-S <i>stretching</i>	740-690
	SO ₂	1380-1300
Halogénure	C-F	1400-1000
	C-Cl	1175-650
	C-Br	590-510
	C-I	525-485

Propriétés physico-chimiques de catalyseur et de régulateur de pH :

	Hydroxyde de sodium
Formule moléculaire	NaOH
Masse molaire (g/mol)	40
Point de fusion/point de congélation	319-323°C
Densité ²⁰	2,13g/cm ³ à 20°C
Solubilité dans l'eau	1.000g/l à 20°C
pH	14 (eau 100g/l à 20°C)
Point initial d'ébullition et intervalle d'ébullition	1.390°C

Propriétés physico-chimiques des constituants utilisés

	Carbonate de Calcium	Dioxyde de Titane
Formule moléculaire	CaCO ₃	TiO ₂
Masse molaire (g/mol)	100,0892	80
Point de fusion	2570°C pour CaO °C	Décomposition vers 120°C
Densité	Non volatil	3,9 g/cm ³
pH	8,5-9,4	>6
Point d'ébullition	2850°C	---

Références bibliographique

- [1] : M. MEDKOUR, Polymères, Synthèse macromoléculaire, tome1, OPU, Alger, (1992).
- [2] : C. CHASSANIEUX, H. LEFEBVRE, S. PASCUAL, L'indispensable en polymères, Bréal Vasti-DUMAS, (2008).
- [3] : M. MEDKOUR, Polymères, Synthèse macromoléculaire, tome1, OPU, Alger, (1992).
- [4] : A. BOUDERT, voyage au cœur de la matière plastique, les microstructures des polymères, CNRS édition, (2013).
- [5] : P. COMBETTE, I. ERNOULT, physique des polymères, structure, fabrication, emploi, Québec, presses internationales polytechniques Hermann, (2005), p30.
- [6] : Jean-Claude LAOUT, Physico-chimie et matières pulvérulentes, Ancien responsable du service « Peintures » des Laboratoires Wolff (Lyon), Elaboration des polymères (2005),
- [7] : J. NKONGO, mémoire, les polymères dans l'industrie, université de DOUALA Cameroun 2005.
- [8] : Jean-Claude LAOUT, Ancien responsable du service « Peintures » des Laboratoires Wolff (Lyon), Elaboration des polymères P46
- [9] : P. GRABDO, P. PASTEUR, peinture et vernis, Ed Hermann, Paris, (1966).
- [10] : Jean-Claude LAOUT, Physico-chimie et matières pulvérulentes, Ancien responsable du service « Peintures » des Laboratoires Wolff (Lyon), Elaboration des polymères (2005), P38
- [11] : Jean-Claude LAOUT, Mise en œuvre des polymères utilisés, Ancien responsable du service « Peintures » des Laboratoires Wolff (Lyon), Elaboration des polymères (2005), P45
- [12] : <https://www.onip.com/types-de-peintures/>
- [13] : Jean-Claude LAOUT, Mise en œuvre des polymères utilisés, Ancien responsable du service « Peintures » des Laboratoires Wolff (Lyon), Elaboration des polymères (2005), P48
- [14] : Jean-Claude LAOUT, Mise en œuvre des polymères utilisés, Ancien responsable du service « Peintures » des Laboratoires Wolff (Lyon), Elaboration des polymères (2005), P47
- [15] : la fiche technique de la résine d'acétate de vinyle, d'éthylène et chlorure de vinyle, WACKER (30.07.2020) Munich, Germany
- [16] : la fiche technique de la résine d'acétate de vinyle, d'éthylène et chlorure de vinyle, WACKER (30.07.2020) Munich, Germany

- [17] : Dispersion et poudres polymères pour les revêtements architecturaux, résistance au feu sans additif
- [18] : la fiche technique de la résine d'acétate de vinyle, d'éthylène et chlorure de vinyle, WACKER (30.07.2020) Munich, Germany
- [19] : Dispersion et poudres polymères pour les revêtements architecturaux, résistance au feu sans additif
- [20] : SOLID RESINS – CLEAR ADVANTAGES FOR YOUR APPLICATION
- [21] : RODOLPHE LEBRETON, MICHEL ECUYER, THIERRY PORTAZ.
Peintures en solvants : Composition, risques toxicologiques, mesures de prévention, INRS, ED 971, Paris 2005. PP.1-20
- [22] : Jean-Claude LAOUT, Physico-chimie et matières pulvérulentes, Ancien responsable du service « Peintures » des Laboratoires Wolff (Lyon), Elaboration des polymères P38
- [23] : RODOLPHE LEBRETON, MICHEL ECUYER, THIERRY PORTAZ.
Peintures en solvants : Composition, risques toxicologiques, mesures de prévention, INRS, ED 971, Paris 2005. PP.1-20,
- [24] : B. PEPIN. Société de couleurs Zinciques (D.I.Tome XIX. N° 202, juin 1972).
- [25] : Fiche technique de Dioxyde de Titane n°291 (2013)
- [26] : P. GRAND OU, P. PASTOR. Les peintures et les vernis, les constituants : liants, solvants, plastifiants, pigments, colorants, charges, adjuvants. Ed. HERRMANN, Paris 1966. PP 9-50.
- [27] : wyart (d.). – colorants liquides à base de dispersions pigmentaires. [am 3 235]. Traité plastiques et composites (2001).
- [28] : le neindre (b.). – viscosité. Définitions et dispositifs de mesure. [k 478] traité constantes physico-chimiques (2004).
- [29] : de lanty (p.). – paramètre de solubilité. 18p., Sté Rhône Poulenc, centre de recherches d'Aubervilliers (1993).
- [30] : Poster de Laboratoire de production de l'entreprise EURL ROMANI COLOR (à partir de catalogue des appareils utilisé)
- [31] : Tego journal- Degussa.
- [32] : Science et Surface - Centre Scientifique Auguste Moiroux - Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier FTIR, 24/08/2015
- [34] : CH.Rachide, optimisation du taux de monomère libre dans une réaction de polymérisation mémoire de master 60-61 (2019)
- [35] : Poster de laboratoire de recherche Analyses Fonctionnelles des Procédés Chimiques de l'Université SAAD DHALAB de Blida 1