

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ferhat Abbas Sétif 1
Institut : Optique et Mécanique de Précision
Département : Mécanique
Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Optique et Mécanique de Précision
Spécialité : Mécanique des Matériaux

Mémoire de Master

Optimisation d'un revêtement composite coppercoat

Présenté par : **Mlle Benredjem Amani**

Dirigé par : **Dr Mouhoubi Sabira**

Soutenu devant le jury :

Président : Dr Chergui Fouzia

Examineur : Pr Osmani Hocine

Soutenue le : 29 /06 /2022

Abstract

The effect of biofouling on the hulls of ships is one of the major problems resulting from the immersion of materials in the marine environment, one of the remedies for this phenomenon is the use of "antifouling-antifouling" paints based on copper. An antifouling is an antifouling paint which releases toxins (biocides) in order to slow down the development of algae and shells on the hull of the boat.

The main objective of this work; it is the optimization of an antifouling coating based on two types of resin: polyester and acrylic, heavily loaded with copper powder. The elaboration is done in two main stages; where wooden substrates (oak and beech) were prepared, and also a jute/polyester composite material was developed for use as a substrate and to carry out a study close to maritime reality. Then, 4 different mixtures of antifouling paint were prepared by varying the type of resin and the copper content.

In order to identify the different characteristics of the antifouling paint produced, in particular the surface condition, the adhesion and the hardness of the coating; a comparative study was carried out with different tests: the adhesion test, the wear test, measurement of the roughness, observation of the surface condition, measurement of the micro-hardness and the study distribution of copper grains.

All the results show that mixture 3 of the antifouling paint, which is based on acrylic resin with a high copper content, is the best antifouling mixture. The latter represents a good surface condition (less rough), good wear resistance and better hardness.

Liste des figures :

Fig. I. 1 : Elaboration d'un bateau en matériaux composites	4
Fig. I. 2 : Tissu de jute (8)	6
Fig. I. 3 : Processus de croissance de bio-encrassement marin(13)	9
Fig. I. 4 : Biofouling sur la coque du navire : moules déposées à la surface (13).....	9
Fig. I. 5 : Oxyde de cuivre (16).	12
Fig. II. 1 : Plaques en bois ; (a) : hêtre (b) : chêne	14
Fig. II. 2 : a) Presse à chaud (CARVER.3856-460), tissu de jute : (b) avant pressage et (c) après pressage	16
Fig. II. 3 : Préparation des stratifiés.....	17
Fig. II. 4 : Dispositif créateur du vide (lors de la réticulation)	17
Fig. II. 5 : Une plaque composite élaborée.....	18
Fig. II. 6 : Préparation des substrats	18
Fig. II. 7 : Préparation des mélanges	19
Fig. II. 8 : Application du revêtement(a) Pistolet utilisé (b et c) coppercoat avant et après le durcissement.	20
Fig. II. 9 : (a): polisseuse ; (b): échantillons avant et après polissage	21
Fig. II. 10 : Granulomètre laser HORIBA	21
Fig. II. 11 : Machine de traction Zwick/Roell	22
Fig. II. 12 : Eprouvette type 1 de traction.....	22
Fig. II. 13: Eprouvette type 2 de traction.....	23
Fig. II. 14 : Montage de l'essai d'usure	23
Fig. II. 15 : Schéma démonstratif du dispositif d'usure utilisé	24
Fig. II. 16 : profilomètre optique KLA Tencor	24
Fig. II. 17: profilomètre TAYLOR HOBSON	25
Fig. II. 18 : microscope optique OXION- Euromex.....	26
Fig. II. 19: Micro-duromètre Qness Q30M	26
Fig. III. 1 : répartition granulométrique de la poudre de cuivre	27
Fig. III. 2 : Exemples de quelques mélanges mal choisis (défectueux)	28
Fig. III. 3: Lames de verre pulvérisées.	29

Liste des figures :

Fig. I. 1 : Elaboration d'un bateau en matériaux composites	4
Fig. I. 2 : Tissu de jute (8)	6
Fig. I. 3 : Processus de croissance de bio-encrassement marin(13)	9
Fig. I. 4 : Biofouling sur la coque du navire : moules déposées à la surface (13).....	9
Fig. I. 5 : Oxyde de cuivre (16).	12
Fig. II. 1 : Plaques en bois ; (a) : hêtre (b) : chêne	14
Fig. II. 2 : a) Presse à chaud (CARVER.3856-460), tissu de jute : (b) avant pressage et (c) après pressage	16
Fig. II. 3 : Préparation des stratifiés.....	17
Fig. II. 4 : Dispositif créateur du vide (lors de la réticulation)	17
Fig. II. 5 : Une plaque composite élaborée.....	18
Fig. II. 6 : Préparation des substrats	18
Fig. II. 7 : Préparation des mélanges	19
Fig. II. 8 : Application du revêtement(a) Pistolet utilisé (b et c) coppercoat avant et après le durcissement.	20
Fig. II. 9 : (a): polisseuse ; (b): échantillons avant et après polissage	21
Fig. II. 10 : Granulomètre laser HORIBA	21
Fig. II. 11 : Machine de traction Zwick/Roell	22
Fig. II. 12 : Eprouvette type 1 de traction.....	22
Fig. II. 13: Eprouvette type 2 de traction.....	23
Fig. II. 14 : Montage de l'essai d'usure	23
Fig. II. 15 : Schéma démonstratif du dispositif d'usure utilisé	24
Fig. II. 16 : profilomètre optique KLA Tencor	24
Fig. II. 17: profilomètre TAYLOR HOBSON	25
Fig. II. 18 : microscope optique OXION- Euromex.....	26
Fig. II. 19: Micro-duromètre Qness Q30M	26
Fig. III. 1 : répartition granulométrique de la poudre de cuivre	27
Fig. III. 2 : Exemples de quelques mélanges mal choisis (défectueux)	28
Fig. III. 3: Lames de verre pulvérisées.	29

Fig. III. 4 : Micrographies appropriés aux répartitions de grains de cuivre sur les surfaces des lames en verre.....	29
Fig. III. 5 : Exemples d'éprouvettes élaborées	30
Fig. III. 6 : Courbe de traction (force/allongement) de l'éprouvette 1	31
Fig. III. 7 : Courbe force/allongement de l'éprouvette 2.....	31
Fig. III. 8 : Eprouvettes de traction.....	32
Fig. III. 9 : Micrographie représente l'empreinte de l'indenteur pyramidal (Vickers), HV= 48,70	33
Fig. III. 10 : Observations microscopiques des débris d'usure	34
Fig. III. 11 : Observations microscopiques de la piste des 4 échantillons.....	35
Fig. III. 12 : Profil de la rugosité analysé du mélange (1) ; $R_t = 2,17 \mu m$	37
Fig. III. 13 : Profil de la rugosité analysé du mélange (2) ; $R_t = 2,42 \mu m$	37
Fig. III. 14 : Profil de la rugosité analysé du mélange (3) ; $R_t = 1,97 \mu m$	38
Fig. III. 15 : profil de la rugosité analysé du mélange (4) ; $R_t = 16,7 \mu m$	38
Fig. III. 16 : Rugosités totales moyennes de chacun des 4 mélanges antifoulings.....	38
Fig. III. 17 : Profils de rugosité des 4 mélanges antifoulings avant le polissage	40
Fig. III. 18 : Profils de rugosité des 4 mélanges antifoulings après le polissage.....	41
Fig. III. 19 : micrographies de la surface des échantillons antifouling observées en microscope optique avant et après polissage	43
Fig. III. 20 : topographies de la surface scannée en 2D et 3D des 4 mélanges par profilomètre optique	44
Fig. III. 21 : micrographies représentent l'empreinte de la bille (micro-dureté Brinell) observées en microscope optique 5X	45

Liste des tableaux :

Tab. I. 1 : Caractéristiques des résines thermodurcissables (11).....	7
Tab. II. 1: Quelques propriétés des bois utilisés (18)(19).....	15
Tab. II. 2: Composition des différents mélanges appliqués.....	18
Tab III. 1: les résultats des masses et les pertes de masse des 4 échantillons mesurées	34
Tab III. 2 : les résultats de largeur de la piste des 4 échantillons mesurée à l'aide de microscope optique.....	35
Tab III. 3: résultats de calcul	36
Tab III. 4: résultats des taux d'usure calculés	36
Tab III. 5: tableau représente les valeurs de rugosité totale des 4 mélanges avant et après polissage	42
Tab III. 6: résultats de la micro-dureté Brinell des 4 mélanges antifoulings.....	46

Résumé :

L'effet des biosalissures sur les coques des navires constitue l'un des problèmes majeurs résultant de l'immersion de matériaux dans le milieu marin, l'un des remèdes à ce phénomène est l'utilisation des peintures « antifouling-antisalissures » à base de cuivre. Un antifouling est une peinture antisalissure qui libère des toxines (biocides) afin de ralentir le développement d'algues et de coquillages sur la carène du bateau.

L'objectif principal de ce travail ; c'est l'optimisation d'un revêtement antifouling basé sur deux types de résine : polyester et acrylique, fortement chargé de la poudre de cuivre. L'élaboration est faite en deux étapes principales ; où on a préparé des substrats en bois (chêne et hêtre), et également élaboré un matériau composite jute/polyester pour l'utilisé comme substrat et pour réaliser une étude proche à la réalité maritime. Puis, on a préparé 4 mélanges différents de la peinture antifouling en variant le type de résine et le taux de cuivre.

Afin d'identifier les différentes caractéristique de la peinture antifouling élaborée notamment l'état de surface, l'adhésion et la dureté du revêtement ; on a effectué une étude comparative avec des différents teste : l'essai d'adhérence, l'essai d'usure, mesure de la rugosité, l'observation de l'état de surface, mesure de la micro-dureté et l'étude de répartition des grains de cuivre.

L'ensemble des résultats montre que le mélange 3 de la peinture antifouling qui est basé sur la résine acrylique avec un taux de cuivre élevé, soit le meilleur mélange antifouling. Ce dernier représente un bon état de surface (moins rugueuse), une bonne résistance à l'usure et une dureté meilleure.

Abstract

The effect of biofouling on the hulls of ships is one of the major problems resulting from the immersion of materials in the marine environment, one of the remedies for this phenomenon is the use of "antifouling-antifouling" paints based on copper. An antifouling is an antifouling paint which releases toxins (biocides) in order to slow down the development of algae and shells on the hull of the boat.

The main objective of this work; it is the optimization of an antifouling coating based on two types of resin: polyester and acrylic, heavily loaded with copper powder. The elaboration is done in two main stages; where wooden substrates (oak and beech) were prepared, and also a jute/polyester composite material was developed for use as a substrate and to carry out a study close to maritime reality. Then, 4 different mixtures of antifouling paint were prepared by varying the type of resin and the copper content.

In order to identify the different characteristics of the antifouling paint produced, in particular the surface condition, the adhesion and the hardness of the coating; a comparative study was carried out with different tests: the adhesion test, the wear test, measurement of the roughness, observation of the surface condition, measurement of the micro-hardness and the study distribution of copper grains.

All the results show that mixture 3 of the antifouling paint, which is based on acrylic resin with a high copper content, is the best antifouling mixture. The latter represents a good surface condition (less rough), good wear resistance and better hardness.

Liste des figures :

Fig. I. 1 : Elaboration d'un bateau en matériaux composites	4
Fig. I. 2 : Tissu de jute (8)	6
Fig. I. 3 : Processus de croissance de bio-encrassement marin(13)	9
Fig. I. 4 : Biofouling sur la coque du navire : moules déposées à la surface (13).....	9
Fig. I. 5 : Oxyde de cuivre (16).	12
Fig. II. 1 : Plaques en bois ; (a) : hêtre (b) : chêne	14
Fig. II. 2 : a) Presse à chaud (CARVER.3856-460), tissu de jute : (b) avant pressage et (c) après pressage	16
Fig. II. 3 : Préparation des stratifiés.....	17
Fig. II. 4 : Dispositif créateur du vide (lors de la réticulation)	17
Fig. II. 5 : Une plaque composite élaborée.....	18
Fig. II. 6 : Préparation des substrats	18
Fig. II. 7 : Préparation des mélanges	19
Fig. II. 8 : Application du revêtement(a) Pistolet utilisé (b et c) coppercoat avant et après le durcissement.	20
Fig. II. 9 : (a): polisseuse ; (b): échantillons avant et après polissage	21
Fig. II. 10 : Granulomètre laser HORIBA	21
Fig. II. 11 : Machine de traction Zwick/Roell	22
Fig. II. 12 : Eprouvette type 1 de traction.....	22
Fig. II. 13: Eprouvette type 2 de traction.....	23
Fig. II. 14 : Montage de l'essai d'usure	23
Fig. II. 15 : Schéma démonstratif du dispositif d'usure utilisé	24
Fig. II. 16 : profilomètre optique KLA Tencor	24
Fig. II. 17: profilomètre TAYLOR HOBSON	25
Fig. II. 18 : microscope optique OXION- Euromex.....	26
Fig. II. 19: Micro-duromètre Qness Q30M	26
Fig. III. 1 : répartition granulométrique de la poudre de cuivre	27
Fig. III. 2 : Exemples de quelques mélanges mal choisis (défectueux)	28
Fig. III. 3: Lames de verre pulvérisées.	29

Liste des figures :

Fig. I. 1 : Elaboration d'un bateau en matériaux composites	4
Fig. I. 2 : Tissu de jute (8)	6
Fig. I. 3 : Processus de croissance de bio-encrassement marin(13)	9
Fig. I. 4 : Biofouling sur la coque du navire : moules déposées à la surface (13).....	9
Fig. I. 5 : Oxyde de cuivre (16).	12
Fig. II. 1 : Plaques en bois ; (a) : hêtre (b) : chêne	14
Fig. II. 2 : a) Presse à chaud (CARVER.3856-460), tissu de jute : (b) avant pressage et (c) après pressage	16
Fig. II. 3 : Préparation des stratifiés.....	17
Fig. II. 4 : Dispositif créateur du vide (lors de la réticulation)	17
Fig. II. 5 : Une plaque composite élaborée.....	18
Fig. II. 6 : Préparation des substrats	18
Fig. II. 7 : Préparation des mélanges	19
Fig. II. 8 : Application du revêtement(a) Pistolet utilisé (b et c) coppercoat avant et après le durcissement.	20
Fig. II. 9 : (a): polisseuse ; (b): échantillons avant et après polissage	21
Fig. II. 10 : Granulomètre laser HORIBA	21
Fig. II. 11 : Machine de traction Zwick/Roell	22
Fig. II. 12 : Eprouvette type 1 de traction.....	22
Fig. II. 13: Eprouvette type 2 de traction.....	23
Fig. II. 14 : Montage de l'essai d'usure	23
Fig. II. 15 : Schéma démonstratif du dispositif d'usure utilisé	24
Fig. II. 16 : profilomètre optique KLA Tencor	24
Fig. II. 17: profilomètre TAYLOR HOBSON	25
Fig. II. 18 : microscope optique OXION- Euromex.....	26
Fig. II. 19: Micro-duromètre Qness Q30M	26
Fig. III. 1 : répartition granulométrique de la poudre de cuivre	27
Fig. III. 2 : Exemples de quelques mélanges mal choisis (défectueux)	28
Fig. III. 3: Lames de verre pulvérisées.	29

Fig. III. 4 : Micrographies appropriés aux répartitions de grains de cuivre sur les surfaces des lames en verre.....	29
Fig. III. 5 : Exemples d'éprouvettes élaborées	30
Fig. III. 6 : Courbe de traction (force/allongement) de l'éprouvette 1	31
Fig. III. 7 : Courbe force/allongement de l'éprouvette 2.....	31
Fig. III. 8 : Epruvettes de traction.....	32
Fig. III. 9 : Micrographie représente l'empreinte de l'indenteur pyramidal (Vickers), HV= 48,70	33
Fig. III. 10 : Observations microscopiques des débris d'usure	34
Fig. III. 11 : Observations microscopiques de la piste des 4 échantillons.....	35
Fig. III. 12 : Profil de la rugosité analysé du mélange (1) ; $R_t = 2,17 \mu m$	37
Fig. III. 13 : Profil de la rugosité analysé du mélange (2) ; $R_t = 2,42 \mu m$	37
Fig. III. 14 : Profil de la rugosité analysé du mélange (3) ; $R_t = 1,97 \mu m$	38
Fig. III. 15 : profil de la rugosité analysé du mélange (4) ; $R_t = 16,7 \mu m$	38
Fig. III. 16 : Rugosités totales moyennes de chacun des 4 mélanges antifouling.....	38
Fig. III. 17 : Profils de rugosité des 4 mélanges antifouling avant le polissage	40
Fig. III. 18 : Profils de rugosité des 4 mélanges antifouling après le polissage.....	41
Fig. III. 19 : micrographies de la surface des échantillons antifouling observées en microscope optique avant et après polissage	43
Fig. III. 20 : topographies de la surface scannée en 2D et 3D des 4 mélanges par profilomètre optique	44
Fig. III. 21 : micrographies représentent l'empreinte de la bille (micro-dureté Brinell) observées en microscope optique 5X	45

Liste des tableaux :

Tab. I. 1 : Caractéristiques des résines thermodurcissables (11).....	7
Tab. II. 1: Quelques propriétés des bois utilisés (18)(19).....	15
Tab. II. 2: Composition des différents mélanges appliqués.....	18
Tab III. 1: les résultats des masses et les pertes de masse des 4 échantillons mesurées	34
Tab III. 2 : les résultats de largeur de la piste des 4 échantillons mesurée à l'aide de microscope optique.....	35
Tab III. 3: résultats de calculé	36
Tab III. 4: résultats des taux d'usure calculés	36
Tab III. 5: tableau représente les valeurs de rugosité totale des 4 mélanges avant et après polissage	42
Tab III. 6: résultats de la micro-dureté Brinell des 4 mélanges antifoulings.....	46

19. Nos essences. *DUSERF GROUPE*. [En ligne] <https://www.ducerf.com/essences>.
20. Analyse morphologique/granulométrie/surface: Profilomètre optique. *LinkiLab*. [En ligne] <https://linkilab.fr/portfolio/profilometre-optique/>.
21. Blateyron, François. Introduction aux profilomètres à contact. *Digital Surf*. [En ligne] 2006-2022. <https://guide.digitalsurf.com/fr/guide-profilometres-a-contact.html>.
22. A, Nicolin. Développement de matériaux composites à base de résine de tanins et de renfort de fibres végétales. *thèse de doctorat*. 2014.
23. S, Mouhoubi. Comportement à la rupture du composite à fibres végétales. *thèse de doctorat, Université Sétif-1*. Sétif : s.n., 2017.
24. M, Berthelot J. *Mécanique des matériaux et structure composites*. Paris : Tec et Doc, 2005. 2-7430-0349-9 .
25. FANAEL, Amir Ershad. *CARACTÉRISATION EXPÉRIMENTALE DES ÉCOULEMENTS*. MONTRÉAL : s.n., 2012.
26. M, Chatain. Matériaux composites : présentation générale. *Techniques de l'ingénieur*. 2001, Vol. vol. AM5000.
27. Gay, Daniel. *Matériaux Composites 4ème*. s.l. : Edition Hermès, 2009.
28. Reyne, Maurice. *Technologie des composites*. Paris : Edition HERMES, 1990.
29. ABDALLAOUI Hicham, SADDEK Abdessalam. *Caractérisation et élaboration d'un matériau composite jute(déchés)/polyster*. Université Mohamed Boudiaf. M'sila : s.n., 2018/2019.
30. CHATAIN, Michel. *Matériaux composites :présentation générale*. Ingénieur de l'Institut industriel du Nord IDN.
31. Berthelot, Jean-Marie. *Mécanique des matériaux et structure composites*. Institut Supérieur des Matériaux et Mécaniques Avancés, le Mans. France : s.n.
32. Bouarissa, A. *Comportement mécanique d'un matériau fibre jute/époxy : Elaboration et caractérisation*. université de Boumerdes. 2013.
33. *Nanoparticles_in_marine_antifouling_coatings_a_cas (1).en.fr*.
34. Zoubida, ELHADJ. *Recherche de traces de composés antifouling, à base d'organostanniques, de Zn et de Cu dans les eaux littorales occidentales algériennes au moyen de bioindicateurs quantitatifs (moule et algues)*. UNIVERSITE D'ORAN. oran : s.n., 2014.
35. Dr. Fouad, GHOMARI. *SCIENCE DES MATERIAUX*. UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID.

Liste des tableaux :

Tab. I. 1 : Caractéristiques des résines thermodurcissables (11).....	7
Tab. II. 1: Quelques propriétés des bois utilisés (18)(19).....	15
Tab. II. 2: Composition des différents mélanges appliqués.....	18
Tab III. 1: les résultats des masses et les pertes de masse des 4 échantillons mesurées	34
Tab III. 2 : les résultats de largeur de la piste des 4 échantillons mesurée à l'aide de microscope optique.....	35
Tab III. 3: résultats de calculs	36
Tab III. 4: résultats des taux d'usure calculés	36
Tab III. 5: tableau représente les valeurs de rugosité totale des 4 mélanges avant et après polissage	42
Tab III. 6: résultats de la micro-dureté Brinell des 4 mélanges antifoulings.....	46

Liste des tableaux :

Tab. I. 1 : Caractéristiques des résines thermodurcissables (11).....	7
Tab. II. 1: Quelques propriétés des bois utilisés (18)(19).....	15
Tab. II. 2: Composition des différents mélanges appliqués.....	18
Tab III. 1: les résultats des masses et les pertes de masse des 4 échantillons mesurées	34
Tab III. 2 : les résultats de largeur de la piste des 4 échantillons mesurée à l'aide de microscope optique.....	35
Tab III. 3: résultats de calculé	36
Tab III. 4: résultats des taux d'usure calculés	36
Tab III. 5: tableau représente les valeurs de rugosité totale des 4 mélanges avant et après polissage	42
Tab III. 6: résultats de la micro-dureté Brinell des 4 mélanges antifouling.....	46

Liste des tableaux :

Tab. I. 1 : Caractéristiques des résines thermodurcissables (11).....	7
Tab. II. 1: Quelques propriétés des bois utilisés (18)(19).....	15
Tab. II. 2: Composition des différents mélanges appliqués.....	18
Tab III. 1: les résultats des masses et les pertes de masse des 4 échantillons mesurées	34
Tab III. 2 : les résultats de largeur de la piste des 4 échantillons mesurée à l'aide de microscope optique.....	35
Tab III. 3: résultats de calcul	36
Tab III. 4: résultats des taux d'usure calculés	36
Tab III. 5: tableau représente les valeurs de rugosité totale des 4 mélanges avant et après polissage	42
Tab III. 6: résultats de la micro-dureté Brinell des 4 mélanges antifouling.....	46