

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار –
عنابة

Faculté : Sciences de l'ingénierat
Département : Génie Mécanique
Domaine : Sciences et technologie
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Fabrication mécanique et productique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**Etude de l'impact de l'eau de mer polluée par une huile à usage marin
et des carburants sur une résine polyester pour la construction
navale**

Présenté par :

Amina Bougueffa

Encadrant : Menail Younes Grade MCA

Université d'Annaba

Jury de Soutenance :

Rahmaoui Zakaria	Dr	Université Annaba	Président
Menail Younes	Dr	Université Annaba	Encadrant
Benchiheub Slimane	Dr	Université Annaba	Co-encadrant

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

Avant de faire de quelconques développements au sujet de cette expérience Professionnelle, il apparait opportun de débiter ce mémoire par des remerciements aux Personnes qui m'ont beaucoup aidé au cours de ce travail.

Nous tenons à la fin de ce travail à remercier **ALLAH** le tout puissant De nous avoir donné la foi, le courage et la volonté pour accomplir ce mémoire.

« On dit souvent que le trajet est aussi important que la destination »

Les années d'étude nous ont permis de bien comprendre la signification de cette Phrase toute simple. Ce parcours, en effet, ne s'est pas réalisé sans défis et sans Soulever de nombreuses questions pour lesquelles les réponses nécessitent de longues Heures de travail.

Je remercie infiniment Dr. **Menail Younes** Mon de mémoire.

Je remercie de nous avoir encadrés, orienté, aidé et conseillé, compréhension Et gentillesse durant tout le long de notre mémoire.

Nous remercions tous nos enseignants sans exception pour leurs aides et leurs Encouragements, durant notre période d'étude.

Monsieur le président, les membres de jury qui ont par leur présence notre honorer Afin d'évaluer cette recherche.

Nous tenons à remercier aussi l'Université "**Badji Mokhtar Annaba**" de nous donner l'opportunité de vivre une expérience nouvelle et passionnante.

À tous les stagiaires, pour leur compagnie, leur joie de vivre et pour tous les bons Moments passés ensemble. Leur présence a été l'occasion pour nous d'échanger sur Des sujets d'études.

Nous voudrions exprimer notre reconnaissance et nous remerciments les plus Sincères à toutes les personnes qui ont eu la gentillesse de nous prodiguer soutien, Critiques, suggestions et encouragements pour l'accomplissement du présent travail

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail qui a été fait grâce à Dieu :

À mes chers parents :

Sources de mes joies, secrets de ma force

Vous serez toujours le modèle

Papa, dans ta détermination, ta force et ton honnêteté

Maman dans ta bonté, ta patience et ton dévouement pour us

Merci pour tous vos sacrifices

Merci d'être tout simplement mes parents

Je vous dois ce succès ;

À mes sœurs ;

À tous mes amis ;

À tous mes collègues de la section "**Fabrication mécanique**" promotion **2023** ;
À tous mes professeurs de département de Génie Mécanique et tous les enseignants

Qui ont m'apprentis pendant mon étude ;

Et enfin à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation
De ce travail

Sommaire

Table des matières

Mémoire	1
Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master	1
Remerciements	2
DEDICACE.....	3
Sommaire	4
INTRODUCTION GENERALE :.....	1
Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites	1
I.1. Introduction :	3
I.2. Définition :	3
□ Grande diffusion :	3
□ Hautes performances :	3
I. 3. Les constituants :	3
I. 3.1. Le renfort :.....	4
I.3.1.1 Fibres de verre	5
I.3.1.2 Fibres de carbone	5
I.3.1.3 Fibres aramides	5
1.3.2.Fibres céramiques.....	6
I.3.2.1 Caractéristiques mécaniques des fibres :	6
I.3-3.La matrice :	8
b) Résines thermoplastiques	9
c) Résines thermostables	9
I.4. LES CHARGES :	10
I.4.1. LES CHARGES RENFORCANTE :	10
I.4.1.1. Charges sphériques :.....	10
I.4.1.2. Les microbilles de verre creuses :	10
I.4.1.3. Charges non sphériques :	10
I.5. LES CHARGES NON RENFORCANTE :	11
I.5.1. Charge ignifugeante :	11
I.5.2. Charge conductrice et antistatiques :.....	11
I.5.3. Lubrifiants et agent de démoulage :	12
I.5.4. Pigments et colorants :	12
I.5.5. Agent anti retrait :	12
I.5.6. Agent anti ultraviolets :	12
I.6. Procédés d'élaborations :	12

I.6.1. Moulage au contact :	12
I.6.2. Moulage par projection simultanée :	13
I.6.3. Moulage sous vide :	14
I.6.4. Moulage par projection de résine :	14
I.6.5. Moulage par centrifugation :	15
I.6.6. Structure des matériaux composites :	15
I.6.7. Les monocouches :	16
I.6.8. Les Stratifiés :	16
I.6.9. Sandwichs :	17
I.6.10. Les domaines d'utilisation :	17
Chapitre2 : Les résines polyesters :	18
II. Polyester :	19
II.1. Définition de polyester :	19
II.2. Propriétés de polyester :	19
II.3. Application de polystyrène insaturé :	19
II.4. Polyester insaturé :	20
II.4.1. Généralités :	20
II.4.2. Elaboration des polyesters insaturés :	20
II.4.3. Les principaux types de résines polyesters insaturés :	21
II.4.3.1. Résines orthophtaliques :	21
II.4.3.2. Résines iso phtaliques :	21
II.4.3.3. Résines au méthyl méthacrylate :	22
II.4.3.4. Résines téréphtaliques :	22
II.4.3.5. Résines au comportement au feu amélioré :	22
II.4.3.6. Résines bas retrait ou low profile :	22
II.4.4.7. Résines assouplissantes :	22
II.4.5. Copolymérisation des résines de polyesters insaturées :	22
II.5. Fibre de verre :	24
II.5.1 La naissance du verre :	25
II.5.2. Le fibrage :	26
II.5.3. Le finissage :	27
II.5.4. Un produit plurifonctionnel :	27
II.5.5. Résistance mécanique :	27
Chapitre 3 : Les caractéristiques Des milieux :	31
III.1 Les caractéristiques de l'eau salée (l'eau de mer) :	34
III.1.1 Les compositions :	34
III.1.2. Autres caractéristiques :	35
III.2. Les caractéristiques de L'eau distillée :	36
III.3. Mazout (Le fioul) :	38

III.3.1. Caractéristiques	38
III.3.2Utilisation :	38
III.4 Gasoline (Essence) :	39
III.4.1. Les caractéristiques	39
III.4.2.Caractéristiques du gasoline :	40
III.4.3.Impact de gasoline avec l'eau de mer sur les résines polyesters :	40
III.6.L'huile marine total neptuna :	40
III.6.1 Les caractéristiques :	40
III.6.2.Protection contre l'usure : L'huile Total Neptuna est formulée avec des additifs qui protègent le moteur contre l'usure et prolongent sa durée de vie.	41
III.6.3 Stabilité thermique : La stabilité thermique de l'huile Total Neptuna lui permet de résister aux hautes températures générées par les moteurs marins.	41
III.6.2.L'impact de l'huile marine totale neptuna Sur les composites verre-polyester :	41
IV Méthode de travail :	49
IV.1 Préparation de la plaque polyester :	49
IV .2.La deuxième étape :	49
IV.3 La troisième étape :	50
IV.3.1. Préparation des milieux :	50
IV.3.1.2.Les milieux (100%) : En ajoute dans la boite 100 ml de chaque milieu et trois éprouvettes de la résine polyester.	53
IV.3.1.3.Les milieux pollués mixtes : en ajoute dans chaque boite 50 % eau salee+50 ml de chaque milieu et trois éprouvettes.	53
IV.4. Les mesures réalisées :	53
IV.5. Résultat et discussion :	54
IV.7. ESSAIS DE DURETE :	61
IV.7.1. Essai de la dureté Rockwell (HR) :	61
IV.7.1.1. Définition :	61
IV.7.1.2. Principe :	62
IV.7.1.3. Application :	62
IV.8.2 Essai Brinell :	64
IV.8.2.1 Principe :	64
IV.8.3. Conditions d'essai :	66
IV.9. Etude microscopique :	67
CONCLUSION GENERALE :	69

Liste des Figures :

Figure 1 : Matériau composite [2].	4
--	---

Figure 2 : Types de renfort [1].....	4
Figure 3 : renforts unidirectionnels (UD).....	7
Figure 4 : renforts Toile ou taffetas	7
Figure 5 : renforts Serge.....	7
Figure 6 : renforts Satin.....	8
Figure 7 : Différentes familles de matrice [5]	9
Figure 8 : Principe du moulage au contact [2].....	12
Figure 9 : Principe du moulage par projection simultanée.	13
Figure 10 : Moulage sous vide [2]	14
Figure 11 : Principe de moulage par injection de résine [2].....	15
Figure 12 : Principe de moulage par centrifugation [1].....	15
Figure 13 : Composite monocouche.....	16
Figure 14 : Plaque stratifiée.	16
Figure 15 : Composite sandwich.....	17
Figure 16 : Fibre de verre.....	25
Figure 17 : Schéma d'élaboration des fibres de verre [3]	26
Figure 18 : Eau salée.....	34
Figure 19 : L'eau distillée.....	37
Figure 20 : Huile Marine.....	41
Figure 21 : les éprouvettes des résines polyester utilisée.	49
Figure 22 : la préparation des milieux.	50
Figure 23 : les éprouvettes dans les milieux.....	53
Figure 24 : Balance électrique.....	53
Figure 27 : Absorption D'eau salée	56
Figure 33 : Absorption d'eau salée+ mazoute	59
Figure 46 : Microscope optique.....	67

Liste Des tableaux :

Tableau 1: Caractéristiques mécaniques des fibres [1].	6
Tableau 2 : Les avantages et les inconvénients du moulage sous vide.	14
Tableau 3: Avantages et inconvénients de résines polyesters insaturés.....	20
Tableau 4: Les caractéristiques mécaniques générales des résines époxydes	23
Tableau 5: caractéristiques pour le polypropylène et le polyamide	24
Tableau 6: Caractéristiques mécaniques du verre E mesurées sur filaments	27
Tableau 7: Contrainte à la rupture mesurée sur mono filament et fils de base.....	28
Tableau 8: Caractéristiques à la rupture déduite d'un composite UD verre/époxy	28
Tableau 9: Les compositions de l'eau de mer	35
Tableau 10: la composition élémentaire du fioul.....	38
Tableau 11: les dimensions des éprouvettes.....	50
Tableau 12: les poids des éprouvettes	51
Tableau 13: L'absorption (%) de chaque milieu.....	52

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

L'utilisation des matériaux composites dans la construction navale commence à prendre beaucoup d'ampleur. Ces matériaux remplacent efficacement le bois et les métaux et cela grâce à leurs caractéristiques. L'étude d'impact du milieu marin et de la pollution marine, sur les composites verre-polyester, les plus utilisés, pour des raisons économiques, s'avère être indispensable, pour augmenter la durée de vie de ces derniers.

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

I.1. Introduction :

Les matériaux composites sont des matériaux à hautes performances mécaniques, façonnables à volonté au gré du concepteur et donc doué d'un potentiel illimité.

Les matériaux composites se développent aujourd'hui dans pratiquement tous les domaines et sont à l'origine de formidables challenges dans diverses réalisations de haute technologie [2].

I.2. Définition :

Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux matériaux de natures différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément.

On distingue deux types de composites [2] [4] :

Grande diffusion :

Les matériaux composites à grande diffusion offrent des avantages essentiels, qui sont :
Optimisation des coûts par diminution des prix de revient, sa composition de polyester avec des fibres de verre longues ou courtes (sous forme de mat ou tissu) et la simplicité du principe du matériau (moulage par contact, SMC et injection).

Hautes performances :

Les matériaux composites à hautes performances sont utilisés dans le domaine d'aéronautique où le besoin d'une grande performance déduite des hautes valeurs ajoutées. Les renforts sont plutôt des fibres longues. Le taux de renfort est supérieur à 50%.

Ces composites sont élaborés par les procédures suivantes :

- drapage autoclave, enroulement filamentaire, RTM.
- beaucoup de procédés encore manuels.

I. 3. Les constituants :

En général les constituants principaux d'un matériau composite sont :

- La matrice.
- Le renfort
- Les charges et les additifs

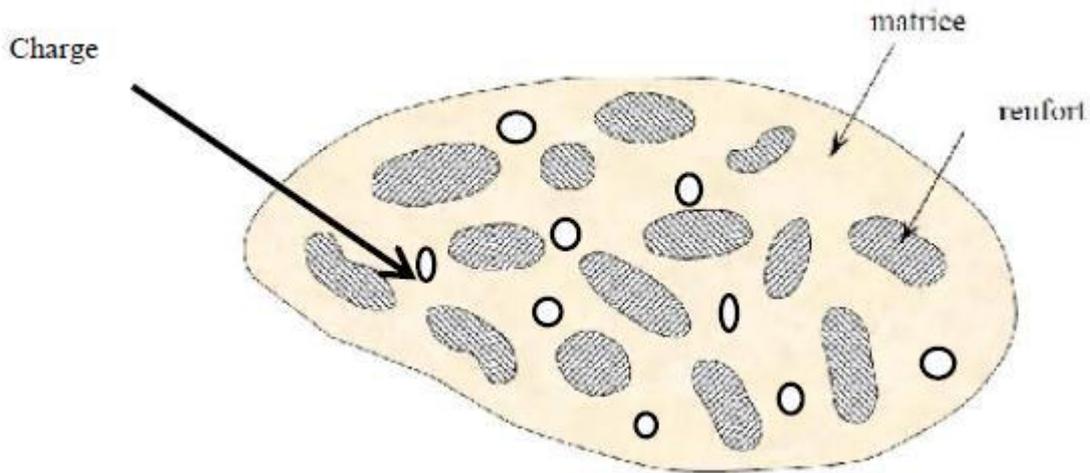


Figure 1 : Matériau composite [2].

I .3.1. Le renfort :

Les renforts assurent les propriétés mécaniques du matériau composite et un grand nombre de fibres sont disponibles sur le marché en fonction des coûts de revient recherchés pour la structure réalisée. Les renforts constitués de fibres se présentent sous les formes suivantes :

- Linéique (fils, mèches)
- Tissus surfaciques (tissus, mats)
- Multidirectionnelle (tresse, tissus complexes, tissage tri directionnel ou plus).

La classification des types de renforts couramment rencontrés est indiquée sur la figure 1[3].

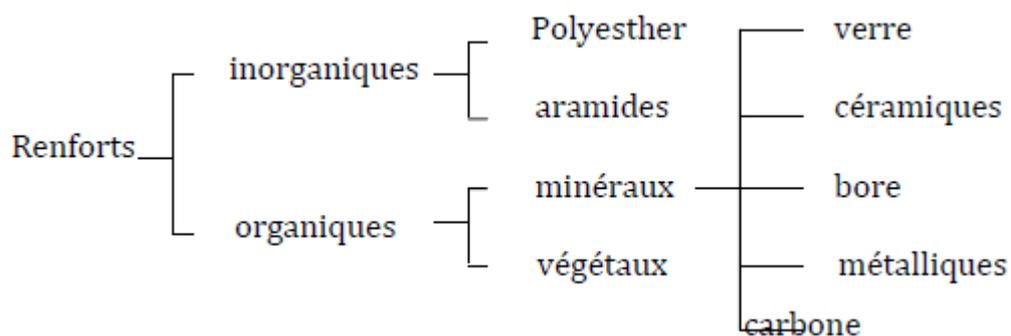


Figure 2 : Types de renfort [1].

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

I.3.1.1 Fibres de verre

Les fibres de verre ont un excellent rapport performance-prix qui les placent de loin au premier rang des renforts utilisés actuellement dans la construction de structures composites [1].



Elles constituent le renfort essentiel des composites de grande diffusion. Elle est obtenue à partir de sable (silice) et d'additifs (alumine, carbonate de chaux, magnésie, oxyde de bore). On distingue trois types de fibres [3] :

E : pour les composites de grande diffusion et les applications courantes ;

R : pour les composites de hautes performances ;

D : pour la fabrication de circuits imprimés (propriétés diélectriques).

I.3.1.2 Fibres de carbone

Les fibres de carbone ont de très fortes propriétés mécaniques et sont élaborées {partir d'un polymère de base, appelé précurseur actuellement, les fibres *précurseurs* utilisées sont des *fibres acryliques* élaborées à partir, du polyacryl nitrique (PAN). La qualité des fibres de carbone finales dépend fortement des qualités du précurseur [1].



Le principe d'élaboration est de faire subir aux fibres acryliques une décomposition thermique sans fusion des fibres aboutissant à une graphitassions. Le brai qui est un résidu de raffinerie issu du pétrole ou de la houille est également utilisé pour produire des fibres de carbone.

C'est la fibre la plus utilisées dans les applications de hautes performances. Elle est obtenue par carbonisation de la fibre de PAN (Polyacrylonitrile). Selon la température de combustion, on distingue deux types de fibres [3] :

* fibres haute résistance (HR) : pour une combustion de 1000 à 1500 °C ;

* fibres haut module (HM) : pour une température de combustion de 1800 à 2000 °C.

I.3.1.3 Fibres aramides

Les fibres aramides ont des propriétés mécaniques élevées en traction comme les carbones mais leurs résistances à la compression est faible. La faible tenue mécanique en compression est généralement attribuée à une mauvaise adhérence des fibres à la matrice dans le matériau composite. Pour y remédier, des ensimages des fibres peuvent être utilisé. L'utilisation de composites {fibres hybrides permet également de remédier aux faiblesses des

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

composites à fibres aramides. Des renforts hybrides de type verre-kevlar ou carbone-kevlar sont largement utilisés dans le domaine des loisirs (ski, raquette de tennis) [1].



Quelques exemples de fibres aramides : KEVLAR (Dupont de mours, TWARON (Akzo, Allemagne-Hollande), TECHNORA (Teijin, Japon).

1.3.2. Fibres céramiques

Les matériaux composites de type céramiques sont souvent constitués de renforts et de matrice en céramique. Les fibres sont élaborées par dépôt chimique en phase vapeur sur un fil support. Ces fibres sont rencontrées dans des applications où la température est très élevée entre 500°C et 2000°C. Ces matériaux sont utilisés Souvent appelée KEVLAR®, la fibre d'aramide est issue de la chimie des polyamides aromatiques. Il est possible de trouver deux types de fibres d'aramide de rigidités différentes :

- * les fibres bas module : utilisées pour les câbles et les gilets pare-balles ;
- * les fibre haute module : employées dans le renforcement pour les composites hautes performances [3].

1.3.2.1 Caractéristiques mécaniques des fibres :

Il existe différents types de fibres. Elles peuvent être scindées en deux groupes, les fibres à haut module et les fibres à haute résistance. Les fibres à haut module ont une résistance faible et celles à forte résistance ont un module faible.

Tableau 1: Caractéristiques mécaniques des fibres [1].

	1440	2,5	3620	124
Kevlar49				
Verre E	2580	3,5	3450	69

Architecture des renforts :

Il existe différentes géométries et textures de renforts

➤ Les unidirectionnels (UD) :

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

Dans une nappe UD, les fibres sont assemblées parallèlement les unes par rapport aux autres à l'aide d'une trame très légère. Taux de déséquilibre très grand.

Les tissus se composent de fils de chaîne et de trames perpendiculaires entre eux. Le mode d'entrecroisement ou armure les caractérise

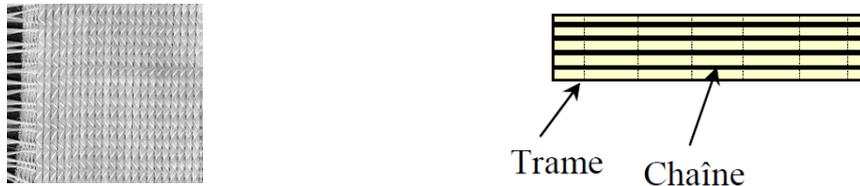


Figure 3 : renforts unidirectionnels (UD)

Toile ou taffetas : Chaque fil de chaîne passe dessus puis dessous chaque fil de trame, et réciproquement. Le tissu présente une bonne planéité et une relative rigidité, mais est peu déformable pour la mise en œuvre. Les nombreux entrecroisements successifs génèrent un embuvage important et réduisent les propriétés mécaniques.

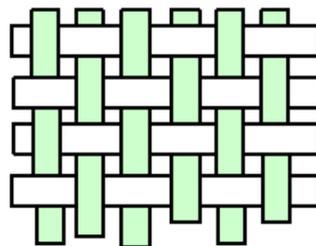


Figure 4 : renforts Toile ou taffetas

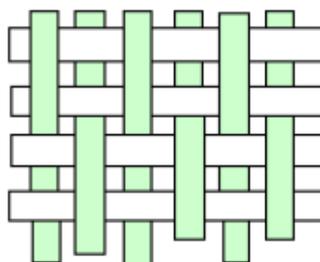


Figure 5 : renforts Serge

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

- **Serge** : Chaque fil de chaîne flotte au-dessus de plusieurs (n) fils de trame et chaque fil de trame flotte au-dessus de (m) fils de chaîne. Armure de plus grande souplesse que le taffetas ayant une bonne densité de fils. Ci-contre, un sergé 2/2.
- **Satin** : Chaque fil de chaîne flotte au-dessus de plusieurs (n-1) fils de trame et réciproquement. Ces tissus ont des aspects différents de chaque côté. Ces tissus sont assez souples et adaptés à la mise en forme de pièces à surfaces complexes. Ce type de tissus présente une forte masse spécifique

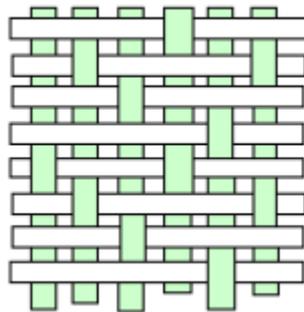


Figure 6 : renforts Satin

I.3-3. La matrice :

La matrice est l'élément qui lie et maintient les fibres. Elle répartit les efforts (résistance à la compression ou à la flexion) et assure la protection chimique des fibres.

La classification des types de matrices couramment rencontrées est donnée sur la figure (I-4)

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

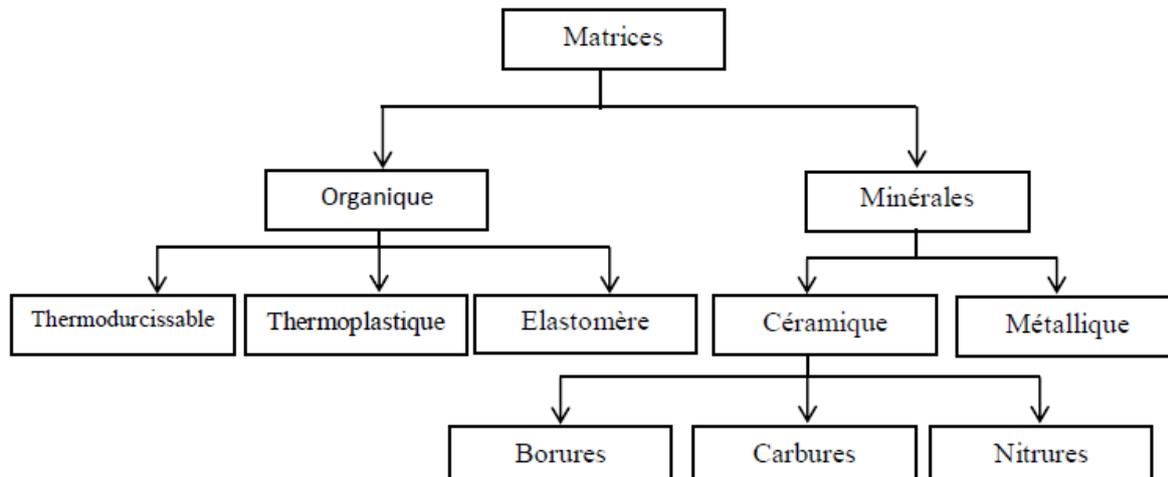


Figure 7 : Différentes familles de matrice [5]

Les résines les plus employées dans les matériaux composites sont les résines thermodurcissables et les résines thermoplastiques

a) - Résines thermodurcissables

Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées (traitement thermique ou physico-chimique). Ces résines ont donc la particularité de ne pouvoir être mises en forme qu'une seule fois. Les principales résines thermodurcissables utilisées dans la mise en œuvre des matériaux composites sont par ordre décroissant en tonnage : les résines polyesters insaturées, les résines de condensation, les résines époxydes.

b) Résines thermoplastiques

Ce sont des polymères pouvant être alternativement ramollis par chauffage et durcis par refroidissement dans un intervalle de température spécifique du polymère étudié. Les résines thermoplastiques présentent l'aptitude à l'état ramolli, de se mouler aisément par Plasticité [2].

c) Résines thermostables

Ce sont des polymères présentant des caractéristiques mécaniques stables sous des Pressions et des températures élevées (>200°C) appliquées de façon continue. Cette propriété est mesurée en déterminant la température que peut supporter la résine durant 2000h sans perdre la moitié de ses caractéristiques mécaniques. [2]

- LES CHARGES ET ADDITIFS :

Ce sont des produits qu'on incorpore aux résines soit pour améliorer leurs caractéristiques physiques et mécaniques soit pour réduire leurs couts et faciliter leurs mises en forme, cette

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

quantité des produits ajoutés varient de :

- quelque dizaine de % pour les charges
- à quelque % et moins pour les additifs

I.4. LES CHARGES :

I.4.1. LES CHARGES RENFORCANTES :

Ayant pour rôle principale l'amélioration des caractéristiques de la résine on les classe selon leurs formes géométriques en :

- charges sphériques
- charges non sphériques

I.4.1.1. Charges sphériques :

La forme sphérique des charges évite la concentration des contraintes et donc diminue la susceptibilité à la fissuration de la matrice par rapport à des charges non sphériques.

Ces charges se présentent généralement sous forme de sphères pleines ou creuses d'un diamètre de 10 à 150 μm appelées microbilles ou microsphères.

Elles peuvent être en verre, en Carbone, ou en époxyde, phénolique, polystyrène, etc.

I.4.1.2. Les microbilles de verre creuses :

Représentant plus de 99% des charges sphériques utilisées, leur principal avantage est une masse volumique très faible (100 à 400 Kg/m^3), contribuant à l'augmentation du Module spécifique de la résine chargée et de sa tenue en compression.

Souvent incorporées à des résines polyesters ou époxydes, ils sont limités à des mises en forme de basse pression à cause de la résistance à l'écrasement des sphères creuses.

Leurs avantages essentiels sont :

- Diminution de la masse volumique
- Augmentation du module d'élasticité
- l'amélioration de la tenue en compression

A l'encontre des microbilles de verre creuses les microbilles de verre pleines sont :

Une masse volumique forte (2500 Kg/m^3)

- prix plus faible
- possibilité de mise en forme avec les résines à pression élevée

I.4.1.3. Charges non sphériques :

On citera comme exemple le MICA, étant le plus utilisé. De dimension allant de 100 à 500 μm , Il est incorporé sous formes d'écaillés d'épaisseur de 1 à 20 μm qu'on ajoute aux résines thermoplastiques et thermodurcissables pour les applications électriques ou électroniques.

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

I.5. LES CHARGES NON RENFORCANTE :

Les charges non renforçantes ont pour rôle soit :

- diminuer le cout des résines
- conserver les performances des résines
- améliorer certaines propriétés des résines

Charge de faible cout :

D'origines minérales extraites des roches à de faible cout, l'incorporation de ces charges nous donnent une augmentation de :

- Masse volumique de la matrice
- Module d'élasticité
- Dureté
- Viscosité

Stabilité dimensionnelle et une diminution du prix

- résistance à la traction et à la flexion

On citera pour principale charge

- :-Les carbonates : craies, calcaires (CaCO_3), ce sont les charges les plus utilisées.
- Les silicates : talc, kaolin, etc.
- Les silices, obtenues par broyage et tamisage de sable de quartz.

I.5.1. Charge ignifugeante :

Ces charges ont pour rôle principale d'empêcher les phénomènes de combustion.

Parmi les charges utilisées dans les thermdurçissables nous citons :

- l'hydrate d'alumine le plus utilisé dans les thermdurçissables
- l'oxyde d'antimoine.

I.5.2. Charge conductrice et antistatiques :

La nécessité d'utiliser un élément conducteur pour les résines organiques qui sont des Isolants thermiques et électriques.

Les principales charges sont :

- les poudres ou pailles métalliques : cuivre, fer, aluminium, etc.
- les microbilles de verre métallisées (cuivre, argent)
- les particules de carbones (noir de carbone)
- les filaments métalliques

LES ADDITIFS :

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

Les additifs se trouvent en faible quantité (quelques % et moins) et intervient comme :

I.5.3. Lubrifiants et agent de démoulage :

-Leur principale objectif est de faciliter le façonnage des résines et de diminuer leurs adhérences aux moules et aux mandrins.

I.5.4. Pigments et colorants :

Se présentant sous formes de poudres ou de paillettes, Ils sont obtenus à partir d'oxydes ou de sels métalliques.

Les colorants sont des composés organiques solubles dans un solvant adapté leur emploi est limité, du fait d'une mauvaise tenue chimique et thermique

I.5.5. Agent anti retrait :

Les « low profile » et les « lowshrink » sont des produits spécifiques qu'on ajoute pour diminuer et annuler les retraits résultant des polymérisations des résines du au diminution des distances interatomiques du monomère initiales.

Ces produits améliorent également l'écoulement de la matière dans certaines techniques de moulage.

Ils sont des produits à base de thermoplastiques ou d'élastomères se présentant sous formes de poudre ou en solution dans des styrènes.

I.5.6. Agent anti ultraviolets :

Ils protègent les résines de l'action des rayons ultra-violet contenus dans les rayons solaires, absorbant ces rayonnements, ils évitent toute détérioration de la résine par rupture de liaison atomique ou par passage à un état excité qui favorise l'oxydation.

I.6. Procédés d'élaborations :

La plupart des méthodes de mise en œuvre consistent à élaborer les pièces en matériaux composites par couches successives comportant matrice et renfort [2].

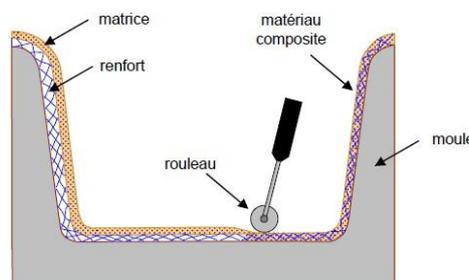


Figure 8 : Principe du moulage au contact [2].

I.6.1. Moulage au contact :

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

– Principe [5]

Procédé manuel pour la réalisation de pièces à partir de résines thermodurcissables, à température ambiante et sans pression. Les renforts sont déposés sur le moule et imprégnés de résine liquide, accélérée et catalysée. Après durcissement de la résine, la pièce est démoulée et détournée.

I.6.2. Moulage par projection simultanée :

– Principe [5]

Procédé manuel ou robotisé permettant la réalisation de pièces à partir de résines thermodurcissables à température ambiante et sans pression. Les matières premières sont mises en œuvre à l'aide d'une machine dite "de projection" comprenant :

- Un dispositif de coupe - projection du renfort (fibre)
- Un ou deux pistolets projetant simultanément la résine

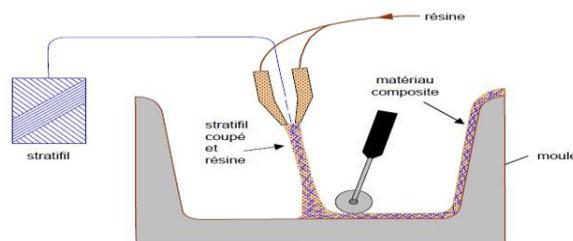


Figure 9 : Principe du moulage par projection simultanée.

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

I.6.3. Moulage sous vide :

– Principe [5]

Le moulage sous vide s'effectue entre moule et contre moule rigide, semi-rigide ou souple suivant la technologie de mise en œuvre.

Le renfort est placé à l'intérieur du moule ; la résine catalysée est versée sur le renfort.

On utilise la pression qui s'exerce sur le moule lors de la mise sous vide pour répartir la résine et imprégner le renfort.

La résine peut également être injectée par l'aspiration consécutive au vide.

Le tableau suivant représente les avantages et les inconvénients du moulage sous vide :

Tableau 2 : Les avantages et les inconvénients du moulage sous vide.

Avantages	Limites
➤ Deux faces lisses éventuellement gel-coatés.	- Possibilité de forme plus réduite qu'au contact - Mise au point parfois difficile.
➤ Qualité constante	
➤ Bonne cadence de production	
➤ Nécessite peu de surface	
➤ Investissement très modéré (moule, pompes à vide)	
➤ Bonnes conditions de travail et d'hygiène.	

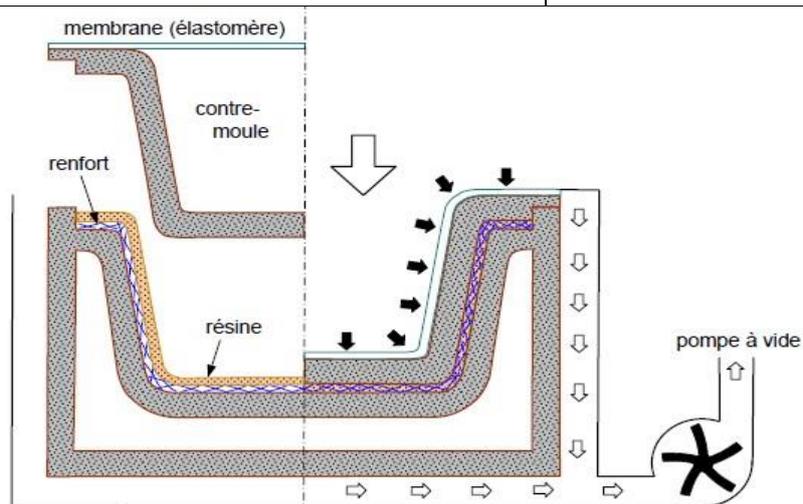


Figure 10 : Moulage sous vide [2]

I.6.4. Moulage par projection de résine :

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

– Principe :

Le moulage par injection de résine RTM (Résine Transfert Molding).

Une nappe de fibre (tissus, mats) est déposée dans un moule fermé étanche et la résine est injectée à basse pression.

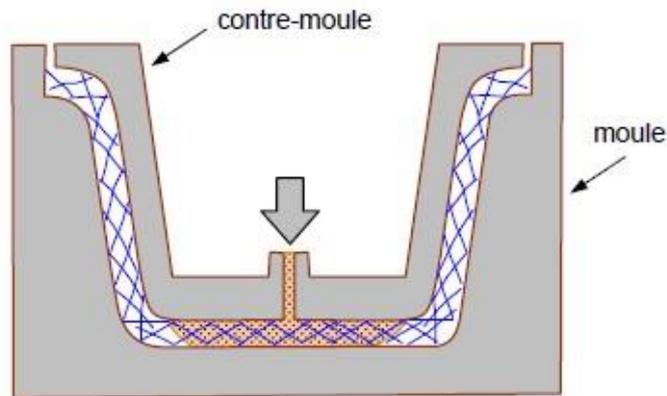


Figure 11 : Principe de moulage par injection de résine [2].

I.6.5. Moulage par centrifugation

– Principe : [5]

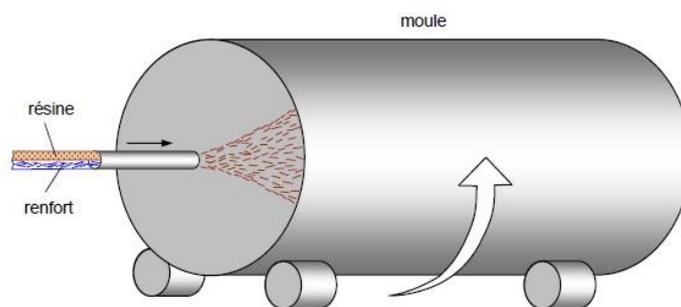


Figure 12 : Principe de moulage par centrifugation [1].

Procédé de moulage limité aux enveloppes cylindriques. Le renfort (fibres longues coupées) et la résine sont déposés dans un moule cylindrique chauffé tournant à grande Vitesse.

I.6.6. Structure des matériaux composites :

Les structures des matériaux composites peuvent être classées en trois types :

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

- Les monocouches
- Les stratifié
- Les sandwiches

I.6.7. Les monocouches :

Les monocouches sont les éléments de base des structures composites. Des fibres unidirectionnelles placées dans le plan médian sont emprisonnées dans une matrice polymère. Ils sont caractérisés par le type de renfort utilisé : des fibres longues (unidirectionnelles ou non), courtes, sous forme de tissus, de rubans [7]

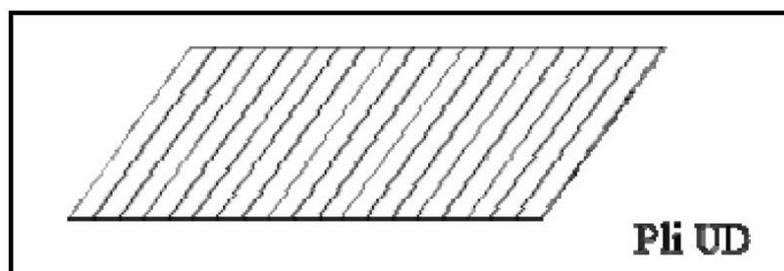


Figure 13 : Composite monocouche.

I.6.8. Les Stratifiés :

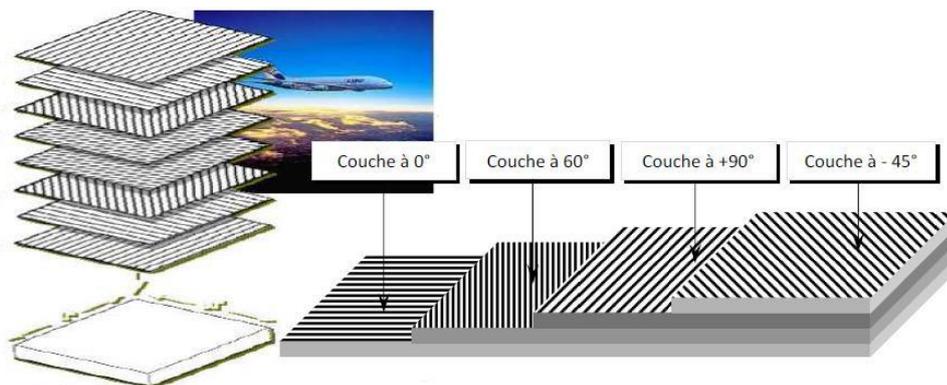


Figure 14 : Plaque stratifiée.

On appelle stratifier un matériau composé d'un ensemble ordonné de couches d'orientation et d'épaisseur données, constituées de divers matériaux (figure I-13). Une couche

Chapitre I : Généralités sur les matériaux composites

d'un stratifié est souvent appelée une strate. Le type de stratifié est défini généralement par sa séquence d'empilement, information qui fournit de manière synthétique l'orientation des diverses couches d'un stratifié. L'avantage que présentent les composites stratifiés est de permettre de créer des matériaux aux propriétés mécaniques orientées de manière optimale afin de mieux répondre aux sollicitations de la structure [7]

I.6.9. Sandwichs :

Les structures composites subissant des sollicitations de type flexion ou torsion sont généralement construites en matériaux sandwichs. Une structure sandwich est composée d'une âme et de deux peaux en matériaux composites. L'assemblage est réalisé par collage à l'aide d'une résine compatible avec les matériaux en présence. Les âmes les plus utilisées sont de type nid d'abeilles, âme ondulée ou mousse. Les peaux sont généralement constituées de structures stratifiées. Une âme nid d'abeilles est présentée sur la figure II.12.

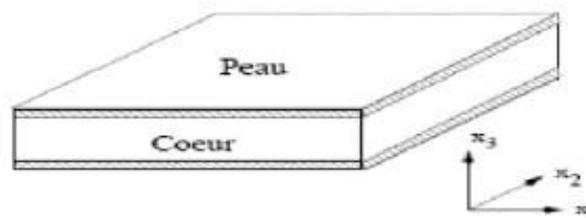


Figure 15 : Composite sandwich.

I.6.10. Les domaines d'utilisation :

Les matériaux composites de nos jours prennent une place prépondérante dans différents domaines :

- Électricité et électronique,
- Bâtiment et travaux publics,
- Transports routiers, ferroviaires, maritimes, aériens et spatiaux (notamment militaire,)
- Santé (instrumentation médicale),

[7].

Chapitre2 :

Les résines

polyesters

II. Polyester :

II.1. Définition de polyester :

Les résines polyesters insaturés (UP) sont des copolymères dont la mise en œuvre conduit à des matériaux réticulés thermodurcissables (infusibles et insolubles).[53] Les polyesters insaturés conventionnels (à usage général), sont produits par réaction du propylène glycol avec un mélange d'anhydride maléique et phtalique. La molécule du polymère qui en résulte contient des liaisons doubles (C=C), appelées aussi liaisons insaturées, d'où le nom de polyester insaturé. On peut ajouter divers monomères insaturés du type vinyle comme agents de réticulation, afin de convertir le polyester en résine thermodurcissable.

La résine polyester est également très prisé pour son faible coût (1.2 USD/Kg), et sa disponibilité en grande quantité. Une fois produite, la résine est vendue industriellement sous forme de mélange visqueux (environ 0.2 Pa.s)

II.2. Propriétés de polyester :

a) Propriétés électriques et thermiques : Les polyesters insaturés présentent d'excellentes propriétés d'isolant électriques, ils sont inflammables mais peuvent être rendus auto-extinguibles par addition de charges. Ils présentent une bonne tenue à la température jusqu'à 130C°.

b) Mise en œuvre : Les polystyrènes insaturés caractérisent par la facilité de manipulation, rapidité de réticulation sans formation des produits volatiles, et une faible coloration.

d) Propriétés chimiques : Les polystyrènes insaturés ont une résistance limitée à la dégradation chimique, la résistance aux agents chimiques

II.3. Application de polystyrène insaturé :

Les applications des résines thermodurcissables à base de polystyrène insaturé sont nombreuses, on peut citer entre autres

- Ces résines sont utilisées renforcés par fibre de verre pour la fabrication d'article divers (coque de bateau, carrosseries de véhicule, citernes...), dans le domaine de bâtiment (plaques planes et ondulées, profilés translucides ou opaques, pour couverture ou bardage, éléments de façade)
- Conduites de produits chimiques.
- Dans le domaine du transport, les applications des polyesters comprennent des pièces et des carrosseries d'automobiles, des cabines de camion.

Chapitre2 : Les résines polyesters

II.4. Polyester insaturé

II.4.1. Généralités

Une résine polyester insaturé est utilisée dans le cadre de ce travail. Ce type de résine appartient à la classe des polymères thermodurcissables. Les polyesters insaturés sont d'un usage relativement ancien (1950), essentiellement dans le bâtiment (moulage au contact). Ils ont connu un renouveau important à partir de 1980, en particulier au niveau des formulations et de la fiabilité des procédés grâce au développement de technologies industrielles de moulage par injection et par compression dans l'industrie automobile [29]. Ce sont actuellement, de loin, les matières plastiques les plus utilisées dans les matériaux composites renforcés. Elles rentrent dans la fabrication de 95% des composites thermodurcis renforcés. Les formulations des résines de polyesters sont nombreuses afin de répondre à des besoins très variés. Pour la mise en œuvre, elles doivent posséder une viscosité adaptée et une compatibilité suffisante (mouillabilité) pour bien imprégner les renforts. Ces paramètres sont des propriétés physiques qui dépendent directement de la composition et de la structure chimique de la résine (masse moléculaire, fonctionnalité chimique...etc.). Autrement dit, les formulations doivent être adaptées au type de procédé de transformation, à la complexité de la pièce à mouler et au temps de cycle désiré

Le tableau ci-dessous regroupe quelques avantages et inconvénients de la résine polyester insaturé.

Tableau 3: Avantages et inconvénients de résines polyesters insaturés

Avantages	Inconvénient
Bonne accroche sur fibres de verre translucidité	Inflammabilité (mauvaise tenue au feu, fumée) Exotherme élevée (microfissures néfastes)
Durcissement assez rapide sans élimination de produits secondaires Bonne résistance chimique	Retrait au moulage important (6 à15 %) Résistance à la fatigue assez faible
Mise en œuvre facile Tenue en température (> 150 °C)	Durée de conservation en pot limitée Émission de styrène

II.4.2. Elaboration des polyesters insaturés :

Les résines polyesters insaturés sont obtenues en faisant réagir, en général, des polyacides ou anhydrides d'acide dont l'un au moins est insaturé avec un diol ou un mélange de diols [10]. On fabrique d'abord un polyester insaturé proprement dit, par estérification condensation de diols (Figure II.1). On dilue ensuite ce polyester dans un monomère, on se trouve alors en

Chapitre2 : Les résines polyesters

possession d'une résine de polyester insaturé.

II.4.3. Les principaux types de résines polyesters insaturés :

Il existe plusieurs types de résines polyesters insaturés, la différence entre elles réside dans le procédé de leur obtention, leurs constituants et leurs caractéristiques mécaniques (G. CHRETIEN).

II.4.3.1. Résines orthophtaliques :

Ce sont des résines d'usage général basées sur un mélange d'anhydrides phtaliques (saturés) et d'anhydrides maléiques (insaturés) estérifiés par du propylène glycol. L'association d'anhydrides saturés et d'anhydrides insaturés permet de contrôler le degré de réticulation lors du durcissement. Par conséquent, la rigidité de la résine qui résulte de ce mélange peut être contrôlée par le rapport molaire maléique/phtalique qui peut varier de 2 pour 1 à 1 pour 2.

Les résines semi-rigides sont utilisées pour l'industrie nautique, les piscines, les réservoirs d'eau, le bâtiment...etc.

Les résines rigides sont utilisées dans les prés imprégnés et les vernis. Quelques avantages de ces résines :

- prix avantageux,
- réseau de distribution bien organisé, facile à obtenir,
- manipulation et mise en œuvre simples, facile à mélanger (Pâte BPO accélérée aux amines ou Durcisseur PMEC accéléré au cobalt),
- temps de durcissement court (durée de vie entre 15 min et 1 heure, en fonction du type de résine et du durcisseur)
- retrait de la résine pure 7 à 9 % en volume (environ 2 % dans chaque direction : les fibres ont une action anti-retrait dans le stratifié).

II.4.3.2. Résines iso phtaliques :

Les résines UP iso phtaliques utilisent des acides iso phtaliques (contrairement aux acides ortho phtaliques dans le cas des UP ortho phtaliques). Il en résulte des résines plus chères que les résines UP ortho mais de qualité supérieure.

Les résines UP iso phtaliques ont une bonne résistance mécanique, chimique et thermique que les résines ortho.

Quelques avantages :

- résistance mécanique plus élevée,
- meilleure résistance à l'eau,
- résistance élevée aux rayons UV,

Chapitre2 : Les résines polyesters

- manipulation aisée, facile à mélanger (accélérateur au cobalt/ durcisseur P MEC),
- très bon rapport qualité/prix,
- retrait moindre comparé à la résine ortho phtalique.

II.4.3.3. Résines au méthyl méthacrylate :

Dans ces résines, une partie du styrène est remplacé par du méthyl méthacrylate. Ces résines sont formulées pour être résistantes aux conditions climatiques et absorber les rayons UV sans jaunissement. Par conséquent, ces résines sont utilisées comme gel coat et dans les applications externes. Notons que plus le taux de méthyl méthacrylate augmente, plus la couleur du stratifié tend vers la transparence.

II.4.3.4. Résines téréphtaliques :

Elles présentent, par rapport aux résines iso phtaliques, les avantages suivants :

- tenue chimique supérieure à température élevée ;
- meilleur comportement à l'égard des produits pétroliers.

II.4.3.5. Résines au comportement au feu amélioré :

- **Résines de type ATCP** (anhydride tétrachlorophtalique) : résines colorées, présentent un mauvais comportement aux UV (jaunissement important des stratifiés)
- **Résines de type HET** : elles sont utilisées, en particulier, pour la fabrication de plaques ondulées translucides ;
- **Résines de type diol chloré ou bromé** : présentent à la fois d'excellentes caractéristiques de comportement au feu et de bonnes propriétés de résistance aux agents chimiques

II.4.3.6. Résines bas retrait ou low profile :

Les résines polyesters insaturés (UP) sont connues pour avoir un taux de retrait élevé après durcissement. Ce haut taux de retrait est considéré comme un inconvénient pour la fabrication de certaines pièces composites, notamment dans l'industrie automobile. Afin de réduire le retrait des UP, on leur rajoute des polymères thermoplastiques qui sont partiellement solubles dans le styrène comme le polystyrène ou le PMMA.

II.4.4.7. Résines assouplissantes :

Afin d'obtenir des résines plus flexibles que peuvent le permettre les résines ortho phtaliques du cas précédent, on remplace l'anhydride ortho phtalique par des acides adipiques. D'autre part, on remplace le polypropylène glycol par du propylène glycol, ce qui apporte plus de flexibilité.

II.4.5. Copolymérisation des résines de polyesters insaturées :

Les producteurs de résines fournissent aux transformateurs des systèmes liquides. Le transformateur, en utilisant des procédés de transformation variés, fait de ces liquides des objets

Chapitre2 : Les résines polyesters

solides en provoquant la copolymérisation radicalaire du monomère (en général le styrène) avec les doubles liaisons du pré polymère ; il en résulte une structure tridimensionnelle de chaînes polyesters liées par des petites chaînes polystyrène (3 à 5 motifs en général) . La réaction de copolymérisation est déclenchée par un système catalytique, dont le choix, fonction du procédé utilisé (rôle de la température), est l'une des bases de la technicité de ces produits.

Les résines polyesters sont des polyesters insaturés en solution dans un monomère qui agit au moment de la copolymérisation comme agent de réticulation. La figure ci-dessous illustre le cycle de polymérisation d'une résine polyester insaturé.

Tableau 4: Les caractéristiques mécaniques générales des résines époxydes

Masse volumique	1 100 à 1 500 kg/m ³ 3 à 5 GPa
Module d'élasticité en traction	60 à 80 MPa
Contrainte à la rupture en traction	100 à 150 MPa
Contrainte à la rupture en	
Allongement à la rupture	2 à 5 %
Résistance au cisaillement	30 à 50 MPa
Température de fléchissement sous charge	290 °C

Parmi les avantages des résines époxydes, nous retiendrons :

De bonnes propriétés mécaniques (en traction, flexion, compression, choc, fluage, etc.) supérieures à celles des polyesters,

Une bonne tenue aux températures élevées : jusqu'à 150 °C à 190 °C en continu ;

Une excellente résistance chimique,

Un faible retrait au moulage (de 0,5 à 1 %),

Une très bonne mouillabilité des renforts,

Une excellente adhérence aux matériaux métalliques.

Parmi les inconvénients, nous citerons :

Un temps de polymérisation long,

Un coût élevé,

La nécessité de prendre des précautions lors de la mise en œuvre,

Une sensibilité à la fissuration.

Les résines thermoplastiques :

La famille des résines thermoplastiques (on parle de "plastiques") est très vaste, et peut être séparée en plastiques de grande diffusion et plastiques techniques (ou techno polymères).

Les plastiques de grande diffusion sont mis en œuvre soit par injection pour obtenir des objets

Chapitre2 : Les résines polyester

moulés, soit par extrusion pour obtenir des films, des plaques, des tubes, des profilés, etc.

Les plastiques techniques sont généralement mis en œuvre par injection.

Parmi les résines thermoplastiques, nous citerons : le polychlorure de vinyle (PVC), le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène, le polyamide, le polycarbonate, etc. L'intérêt des thermoplastiques réside dans leur faible coût, résultant à la fois de matières premières disponibles et des procédés de fabrication (injection, extrusion). Toutefois, ce faible coût est lié à des propriétés mécaniques et thermomécaniques faibles.

Tableau 5: caractéristiques pour le polypropylène et le polyamide

	Polypropylène	Polyamide
Masse volumique (kg/m ³)	900	1 140
Contrainte à la rupture (MPa)	20–35	60–85
Module d'élasticité (GPa)	1,1–1,4	1,2–2,0
Température de déformation (°C)	4	5
Fléchissement sous charge (°C)	50–60	65–100

Résines thermostables :

Ce sont des polymères présentant des caractéristiques mécaniques stables sous des pressions et des températures élevées (>200°C) appliquées de façon continue. Cette propriété est mesurée en déterminant la température que peut supporter la résine durant 2000h sans perdre la moitié de ses caractéristiques mécanique

II.5. Fibre de verre :

La fibre de verre dans le marché des composites

La fibre de verre représente dans les composites un marché global estimé à plus de 7 Milliards de dollars.

Sur ces 30 dernières années, la demande a augmenté de 5 % couplée à une

Augmentation de la capacité de production de 3 % : 1 millions de Tonnes de fibres de verre en 1981 pour 4.3 millions de Tonnes aujourd'hui

Chapitre2 : Les résines polyesters

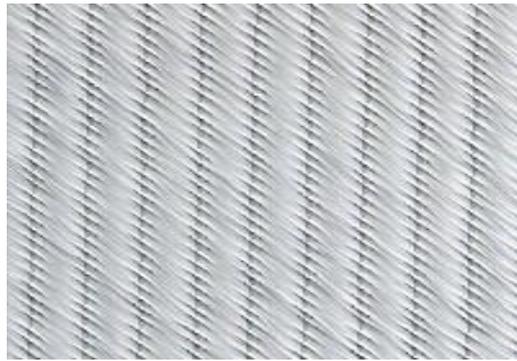


Figure 16 : Fibre de verre

Les principaux marchés pour les composites renforcés de fibres de verre sont le bâtiment et la construction (32 w%), l'automobile et les transports (28 %), l'industrie (21%), la communication, l'électrique, l'électronique, les sports et loisirs (11 %) ainsi que l'énergie éolienne (8 %).

La fabrication de la fibre de verre fait appel à trois grandes technologies : **verrière, textile et chimique.**

II.5.1 La naissance du verre :

La fibre de verre est élaborée à partir des matières premières traditionnelles nécessaires à la fabrication du verre : silice, chaux, alumine, magnésie... Celles-ci proviennent de carrières soigneusement sélectionnées pour la pureté de leurs gisements et la constance de composition des veines d'extraction.

L'un des gisements les plus purs pour la clématite par exemple (espèce minérale formée de borate hydraté de calcium), se trouve en Turquie, dans la région de Balikesir.

À ces constituants de base s'ajoutent, suivant les types de verre, des doses extrêmement précises de certains oxydes. L'ensemble est appelé « composition ».

Broyée très finement et malaxée pour fournir un mélange homogène, puis introduite dans un four de fusion en réfractaires, la composition passe progressivement à l'état liquide. La température du four se situe aux alentours des 1550°C (cas du verre E : dénomination historique pour le premier type de verre de par ses caractéristiques électriques particulières)

Chapitre2 : Les résines polyesters

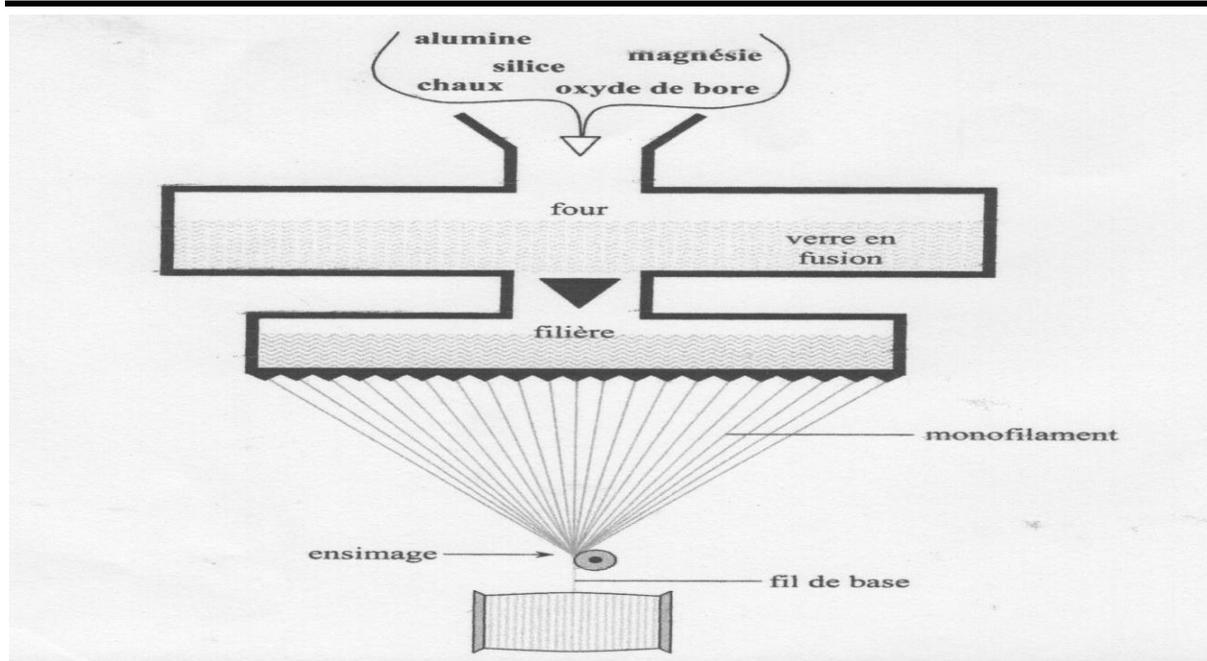
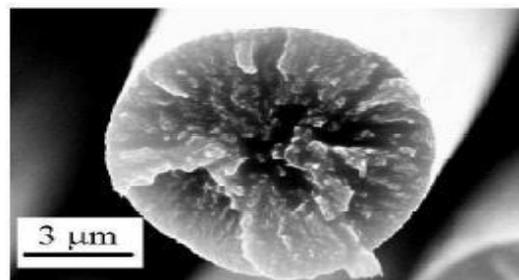


Figure 17 : Schéma d'élaboration des fibres de verre [3]

II.5.2. Le fibrage :

Par l'effet de la gravité, le verre sortant du four à très haute température alimente des filières en alliage de platine-rhodium, chauffées par effet joule à des températures de 1250 à 1300°C, et présentant un fonds percé de plusieurs centaines d'orifices d'un à deux millimètres de diamètre.

Le fibrage du verre est effectué par **étirage** à grande vitesse du verre en fusion s'écoulant des orifices, et donnant naissance à autant de filaments : de 50 à plusieurs milliers. Ces filaments continus sont définis par leur diamètre : de 5 à 30 micromètres selon leurs applications ultérieures.



Observation micrographique de fibres[

Fibre de verre à l'échelle microscopique L'ensimage : immédiatement après la phase d'étirage et avant d'être réunis pour former le fil de base, les filaments sont revêtus d'une dispersion aqueuse de composés généralement organiques, appelée « ensimage ».

Cet ensimage assure la cohésion des filaments constitutifs du fil et la protection du fil de

Chapitre2 : Les résines polyesters

l'abrasion, tout en lui conférant les propriétés indispensables de compatibilité entre le verre et la matrice afin d'obtenir les meilleures caractéristiques du composite.

L'ensimage apporte aussi le glissant des fils, leurs raideurs, les propriétés, antistatiques, son niveau et sa vitesse de solubilisation dans la matrice.

II.5.3. Le finissage :

Le fil de verre entre ensuite dans la partie finale de sa transformation, celle du finissage : textile ou plastique selon l'utilisation finale.

. On distingue trois types de fibres :

E : pour les composites de grande diffusion et les applications courantes ;

R : pour les composites hautes performances ;

D : pour la fabrication de circuits imprimés (propriétés diélectriques).

II.5.4. Un produit plurifonctionnel

La fibre de verre est une fibre intéressante à plus d'un titre. Elle permet de réduire le poids des matériaux, tout en améliorant leurs performances, et ce pour un prix compétitif. Dans la construction par exemple, ce renfort a permis d'alléger les structures d'environ 30 % par rapport à l'acier.

Ces caractéristiques lui confèrent de remarquables propriétés qui font d'elle le renfort de choix dans les matériaux composites. Citons ici quelques-unes de ses propriétés

II.5.5. Résistance mécanique :

La fibre de verre a une résistance spécifique (résistance Traction/masse volumique) supérieure à celle de l'acier.

Le ratio élevé résistance au poids de la fibre de verre en fait un matériau supérieur dans les applications où une résistance importante et un poids minimum sont nécessaires.

Sous forme textile, la résistance peut être unidirectionnelle ou bidirectionnelle, ce qui permet la flexibilité en termes de conception et de coût.

Tableau 6: Caractéristiques mécaniques du verre E mesurées sur filaments

Caractéristiques		Verre E	Verre R
Masse volumique	kg/m ³	2600	2550
Module d'Young	GPa	73	86
Contrainte à la rupture	MPa	3400	4400

Chapitre2 : Les résines polyesters

Allongement la rupture	%	4,4	5,2
Coefficient de poisson		0,22	–

Tableau 7: Contrainte à la rupture mesurée sur mono filament et fils de base

	Verre E	Verre R
Monofilament prélevé à la sortie de la filière	3400	4400
Monofilament prélevé sur fil silionne industriel	2000-2400	3600
Fil silionne industriel comportant un grand nombre de filaments	1200-1550	1700-2000

Tableau 8: Caractéristiques à la rupture déduite d'un composite UD verre/époxy

		Verre E	Verre R
Contrainte à la rupture	(MPa)	2400-2600	3000-3600
Allongement a la rupture	(%)	3,4	4

Résistance chimique : La plupart des produits chimiques ont peu ou pas d'effets sur la fibre de verre. Les fibres textiles de verre inorganique ne moisit pas, ne pourrait pas et ne se détériorent pas.

Les fibres de verre sont affectées par les acides phosphoriques hydrologiques chauds et les substances fortement alcalines
 Caractéristique électrique : Même sous faible épaisseur, la fibre de verre est un excellent isolant électrique. Cette caractéristique ainsi que sa résistance mécanique et sa tenue en température ont été à la base des premières applications de la fibre de verre.

La fibre de verre est un excellent matériau pour l'isolation électrique. La combinaison des propriétés comme une faible absorption de l'humidité, une importante solidité, une grande résistance à la chaleur et une faible constante diélectrique) font des tissus en fibre de verre un matériau parfait comme renfort pour les cartes de circuit imprimé et les peintures isolantes.

Conductivité thermique : Un faible coefficient d'expansion thermique associé à des propriétés de conductivité thermique importantes fait des tissus en verre un matériau stable en termes de dimensions qui dissipe rapidement la chaleur par rapport à l'amiantée aux fibres organiques.

Incombustibilité : Matière minérale, la fibre de verre est incombustible par nature ; elle ne propage ni n'entretient la flamme et la chaleur, et ne dégage ni fumée ni produit toxique.

Chapitre2 : Les résines polyesters

La fibre de verre est un matériau inorganique et ne brûle pas ou soutient la combustion.

Elle conserve environ 25 % de sa résistance initiale à 540°C (1000°F).

Stabilité dimensionnelle : La fibre de verre est un matériau d'ingénierie aux dimensions stables.

La fibre de verre ne s'étire et ne rétrécit pas après exposition à des températures extrêmement élevées ou basses. L'élongation maximum du verre « E » à la rupture est de 4,8 % avec une récupération élastique de 100 % en cas de tension proche de son point de rupture

. Résistance à l'humidité : Les fibres de verre n'absorbent pas l'humidité et ne changent pas physiquement ou chimiquement si elles sont exposées à l'eau.

Imputrescibilité : La fibre de verre ne pourrait pas, ne subit aucune altération et est insensible à l'action des insectes et des rongeurs et bien d'autres encore...

Un produit plurisectoriel

Comme tous les matériaux de pointe, c'est dans l'aéronautique, le sport et l'automobile de compétition que les matériaux renforcés de fibres de verre ont fait leur première apparition. Ils ont notamment permis de meilleures performances dans les domaines du saut à la perche ou des courses nautiques. Aujourd'hui, la fibre de verre est principalement utilisée dans les domaines suivants :

Les moyens de transports : pièces de carrosserie comme les pare-chocs, embrayages et assimilés, courroies de distribution, pièces mécaniques de structure qui ne rouillent pas grâce à la fibre de verre, TGV, pièces d'avions comme les planchers, pales d'hélicoptères, coques des bateaux, kayaks...

L'électricité et l'électronique : circuits imprimés, renforts pour câbles...

Les sports et loisirs : perches d'athlétisme, skis, planches de surf, raquettes...

Les équipements industriels : cuves de stockage ou silo à grains dans l'Agroalimentaire meules, isolation thermique, filtration, renfort de rubans adhésifs...

Par ailleurs, les fibres de verres, grâce à leur souplesse, leur transparence et leur excellente capacité de transmission de la lumière, sont employées comme fibres optiques dans le domaine médical (endoscopie) et dans le domaine des télécommunications où la fibre optique est une technologie d'avenir.

Les caractéristiques mécaniques de références sont données à partir de mesures effectuées sur mono filaments ala sortie de la filière.

La versatilité du verre sous forme de fibre constitue un matériau textile industriel unique.

La fibre de verre sous forme de tissu constitue une excellente combinaison de propriétés en termes de solidité et de résistance au feu. Une large gamme de tailles de fils et de nombreuses options de tissage offre un nombre énorme de concepts potentiels permettant à l'utilisateur final

Chapitre2 : Les résines polyesters

de choisir la meilleure association de performance matérielle, d'économie et de flexibilité.

Chapitre 3 : Les caractéristiques Des milieux

III.1 Les caractéristiques de l'eau salée (l'eau de mer) :

L'eau de mer est l'eau salée des mers et des océans de la Terre. On dit qu'elle est « salée » parce qu'elle contient des substances dissoutes, les sels, constitués d'ions, principalement des ions halogénures comme l'ion chlorure et des ions alcalins comme l'ion sodium. On trouve 30 à 40 g de sels dissous pour 1 kg d'eau de mer. L'eau salée s'oppose à l'eau douce, qui contient moins de 1 g de sels dissous par kilogramme. La masse volumique de l'eau de mer à la surface est d'environ 1,025 g/ml, supérieure de 2,5 % à celle de l'eau douce (1 g/ml) à cause de la masse du sel et de l'électrostriction.

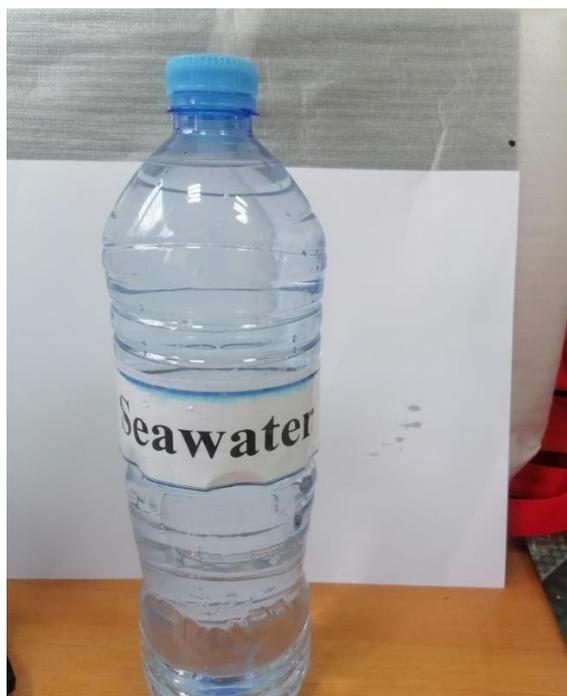


Figure 18 : Eau salée

Salinité moyenne des océans², exprimée en PSU, c'est-à-dire en grammes de sel par kilogramme d'eau de mer.

Les océans et mers occupent un volume estimé à 1 338 millions de km³, ce qui représente 96,5 % des réserves d'eau présentes à la surface de la Terre³. Ce volume n'inclut pas les eaux souterraines (aquifères), dont environ 85 % sont salées à différents degrés.

III.1.1 Les compositions :

L'eau de mer est composée d'eau et de sels, ainsi que de diverses substances en faible quantité. Si plus des deux tiers des 92 éléments chimiques naturels sont présents dans l'eau de mer, la plupart le sont en faible quantité et difficilement décelables.

La salinité est un des paramètres les plus importants de l'eau de mer, et désigne la teneur en sels dissous. La salinité moyenne des océans est de 35 g/l, et reste généralement comprise entre 30 g/l (Atlantique Nord) et 40 g/l (mer Rouge)⁷. Les mers intérieures ou assimilées ont une salinité supérieure, parce que

Chapitre 3 : Les caractéristiques des milieux

l'évaporation y concentre le sel. Les exceptions concernent donc des mers fermées ou semi-fermées, comme pour les valeurs extrêmes de 6 g/l dans les eaux de surface de la mer Baltique et 275 g/l dans la mer Morte. La mer ouverte la plus salée est la mer Rouge.

La grande particularité de l'eau de mer est que les proportions relatives de ses constituants sont sensiblement constantes (c'est-à-dire indépendantes de la salinité) ; cette propriété a été établie par le chimiste allemand William Dietmar, et permet de considérer l'eau de mer comme une solution de onze constituants majeurs dans de l'eau pure, à savoir, par ordre décroissant d'importance, le chlorure, l'ion sodium, le sulfate, l'ion magnésium, l'ion calcium, l'ion potassium, le bicarbonate, le bromure, l'acide borique, le carbonate et le fluorure. La loi de Dietmar permet ainsi de déterminer la salinité de l'eau de mer par une seule mesure : de la concentration d'un de ces constituants (par exemple, Cl^-) ou d'une des propriétés physiques de l'eau de mer à une température donnée (comme la densité relative, l'indice de réfraction ou la conductivité).

Les deux principaux ions sont Na^+ et Cl^- , qui en s'associant forment le chlorure de sodium principal constituant du « sel marin », que l'on extrait dans les marais salants pour obtenir du sel alimentaire.

Les gaz dissous comprennent principalement : 64 % d'azote, 34 % d'oxygène, 1,8 % de dioxyde de carbone (soit 60 fois la proportion de ce gaz dans l'atmosphère terrestre).

L'« odeur de mer » est due, selon Andrew Johnston (université d'East Anglia), au sulfure de diméthyle (DMS)⁸. Il serait plus précis de dire que le DMS est un composant de l'odeur de la mer, un autre étant les phéromones (dictyoptères) de certaines algues.

Tableau 9: Les compositions de l'eau de mer

Éléments	% en masse	Éléments	% en masse
Oxygène (O)	85,84	Soufre (S)	0,0905
Hydrogène (H)	10,82	Calcium (Ca)	0,041
Chlore (Cl)	1,935	Potassium (K)	0,040
Sodium (Na)	1,078	Brome (Br)	0,0067
Magnésium (Mg)	0,1284	Carbone (C)	0,00245

III.1.2. Autres caractéristiques :

La masse volumique de l'eau de mer en surface varie de 1 020 à 1 029 kg/m³, selon la température et la salinité. En profondeur, dans les océans, la haute pression peut augmenter la masse volumique jusqu'à des valeurs de l'ordre de 1 050 kg/m³. L'eau de mer, comme la plupart des liquides, est quasiment incompressible. Toutefois, si l'eau était vraiment incompressible, le niveau des océans serait 30 m plus haut qu'il n'est en réalité¹¹.

Le pH varie entre 7,5 et 8,4, pour une moyenne de l'ordre de 8,2.

La vitesse du son dans l'eau varie avec la température de l'eau et la pression, elle est donc sensible aux thermoclines ; elle est de l'ordre de 1 500 m/s.

III.2. Les caractéristiques de L'eau distillée :

Le terme eau distillée est un terme générique recouvrant plusieurs méthodes de purification de l'eau qui contient généralement :

Des gaz dissous ;

Des sels minéraux ;

Des composés organiques ;

Des composés biologiques (bactéries, virus, etc.).

La différence de préparation doit être faite selon le contexte. L'eau distillée gèle à 0 °C comme l'eau du robinet.

L'eau distillée est une eau purifiée préparée par distillation^{2,3} d'eau potable. Le procédé permet de retirer en quasi-totalité, selon la qualité de celui-ci, sels minéraux et organismes⁴ que l'on pourrait retrouver dans l'eau de source ou l'eau du robinet.

Elle est d'ordinaire considérée comme de l'eau pure, bien que ce ne soit pas le cas. En effet, même si en principe, la température d'évaporation peut laisser imaginer une séparation nette entre la phase liquide et la phase gazeuse des corps, le diagramme des phases permet toujours la présence d'une phase gazeuse, même en dessous de la température d'évaporation (voir aussi pression de vapeur). De plus, l'agitation moléculaire engendrée pour forcer l'évaporation est toujours susceptible d'emporter avec elle des impuretés légères qui vont contaminer de distillat et sans précautions particulières, des gaz atmosphériques vont rapidement s'y dissoudre à nouveau. On peut éventuellement procéder à plusieurs distillations successives afin d'améliorer certains aspects du traitement.

Le pH de l'eau distillée est théoriquement de 7, cependant, il est extrêmement instable car l'ajout de très faibles quantités d'ions peut le changer de façon importante. Pour cette raison, laissé à l'air libre et à température ambiante, le pH de l'eau distillée est d'environ 5,4⁵ car du CO₂ s'y dissout et se combine

avec l'eau pour former de l'acide carbonique ($\text{CO}_2 \text{ (aq)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \text{ (aq)}$). Les autres gaz atmosphériques conservent leur forme usuelle.

La conductivité électrique de l'eau distillée est proche de celle de l'eau pure : quasiment nulle

Eau déminéralisée ou déionisée Dans toute une série d'applications on a besoin d'une eau qui ne contienne pas d'impuretés ionisées qui vont influencer son comportement électrique (dans une batterie au plomb, par exemple) ou peuvent laisser des dépôts importants si l'eau est évaporée (p.e. dans un fer à repasser). On trouve dans le commerce des eaux dites déminéralisées qui peuvent néanmoins contenir des résidus non polaires tels que des impuretés organiques ou des bactéries. Il est très commun de parler d'eau distillée dans ce cas de figure mais cette utilisation est impropre.

Chapitre 3 : Les caractéristiques des milieux



Figure 19 : L'eau distillée

Eau douce :

Dans un certain nombre de cas où l'eau n'a pas besoin d'être pure, mais où les impuretés de l'eau sont susceptibles de former des précipités, il peut être intéressant d'éliminer autant que possible les cations bivalents (possédant deux charges positives, généralement calcium ou magnésium). On utilise alors des méthodes d'échange d'ions pour remplacer ces cations par des ions sodium ou potassium qui sont, eux, monovalents et précipitent moins facilement.

Eau milli-Q

L'eau appelée milli-Q (marque déposée par la société Millipore Corporation) est une eau purifiée par un système de filtres/résines/membranes et dont la résistivité est de $18,2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$, c'est-à-dire la même que l'eau ultra-purifiée contenant des gaz mono-atomiques (hélium, néon, xénon, etc.). Cette eau est par exemple utilisée en biologie et en biochimie de façon à pouvoir contrôler exactement la concentration des ions présents qui sont rajoutés à cette eau « pure ».

L'impact de l'eau distillée avec l'eau de mer sur les polyesters :

L'eau distillée et l'eau de mer ont des propriétés très différentes qui peuvent affecter les tissus en polyester de différentes manières.

L'eau distillée est très pure, ce qui signifie qu'elle ne contient pas de minéraux, de sel ou d'autres contaminants. En revanche, l'eau de mer contient une grande quantité de sel et d'autres minéraux.

Si un tissu en polyester est exposé à de l'eau distillée, cela ne devrait pas causer de dommages, car l'eau distillée est très douce et ne réagit pas avec le polyester. Cependant, si le tissu en polyester est exposé à de l'eau de mer, le sel et les minéraux contenus dans l'eau peuvent pénétrer dans le tissu et causer des dommages.

Le sel peut également corroder les fibres de polyester, ce qui peut entraîner une diminution de la résistance et de la durabilité du tissu. Les minéraux dans l'eau de mer peuvent également affecter la couleur du tissu en polyester, le faisant décolorer ou ternir.

En résumé, l'eau distillée ne devrait pas avoir d'impact négatif sur le polyester, tandis que l'eau de mer

peut causer des dommages et affecter la durabilité et l'apparence du tissu en polyester.

III.3. Mazout (Le fioul) :

III.3.1. Caractéristiques

Le fioul est issu du raffinage du pétrole et ses caractéristiques sont proches de celles du gazole. Il est issu des coupes (ou fractions) moyennes de pétrole d'où sont extraits notamment le kérosène, le gazole mais aussi le fioul domestique qui servira in fine à chauffer les habitations.

La composition moléculaire du fioul est très variée et dépend de l'origine du pétrole dont il est issu. Toutefois,

Tableau 10: la composition élémentaire du fioul.

	Fraction massique %
Carbone	86,5
Hydrogène	13,3
Soufre	<0,2
Azote	50-400ppm
Oxygène	Traces

Son pouvoir calorifique inférieur (PCI) est d'environ 12 kilowattheures par kilogramme (kWh/kg), c'est-à-dire qu'un kilogramme de fioul procure au mieux 12 kilowattheures d'énergie en brûlant, compte tenu des pertes dues à la vaporisation de l'eau dans les fumées.

Son pouvoir calorifique supérieur (PCS) est d'environ 12,8 kWh/kg.

Le fioul domestique est vendu au litre. Avec une densité de 0,84 à 10 °C, cela donne, à 11,86 kWh/kg, un pouvoir calorifique théorique de 9,96 kWh/L. Le rendement PCI des chaudières variant entre 75 et 95 %, l'énergie récupérée est de 7,5 à 9,462 kWh/L.

Ses caractéristiques le différencient du gazole sur quelques points importants comme l'indice de cétane (40 contre 51).

III.3.2 Utilisation :

Camion livrant du fioul pour usage domestique ou industriel en Caroline du Nord, 1945.

Le fioul peut être utilisé dans des moteurs Diesel et dans des chaudières. Les différents types de chaudières utilisées pour la combustion du fioul sont notamment la chaudière fioul basse température et la chaudière fioul à condensation ; cette dernière diffère de la première de par son fonctionnement, elle récupère l'énergie de condensation de la vapeur d'eau dégagée lors de la combustion du fioul. La vapeur d'eau contenue dans les fumées libère de la chaleur lors de sa condensation pour chauffer l'eau de retour du circuit de chauffage¹¹.

Chapitre 3 : Les caractéristiques des milieux

Les caractéristiques du fioul étant très proches de celles du gazole font que ces deux produits peuvent techniquement être utilisés par les mêmes dispositifs.

Cadre légal en France

Articles connexes : Fioul domestique en France et Prix du fioul en France.

En France, l'utilisation du fioul domestique est restreinte au chauffage domestique et industriel. Il est différencié du gazole par une taxation inférieure, et du gazole non routier qui a une teneur inférieure en soufre. Un colorant rose est ajouté au fioul domestique (FOD) pour rendre plus difficile une utilisation frauduleuse communément appelée « rouler au rouge » ainsi que des marqueurs chimiques invisibles, mais détectables en cas de contrôle. De plus, ce fioul appelé « gros rouge » peut s'avérer inadapté aux moteurs modernes¹².

Lors des pics de pollution de l'air, les préfets peuvent imposer à certaines entreprises de changer de fioul pour utiliser un fioul désulfuré qui acidifiera moins l'air et les pluies.

Divers

Le fioul est une huile ; il est donc constitué de molécules apolaires. Plus léger que l'eau, le fioul domestique forme un film à sa surface au lieu de se mélanger à celle-ci ; cela est dû au fait que la molécule d'eau est une molécule polaire.

Il est possible de trouver dans le commerce des fiouls de qualité supérieure dont les caractéristiques améliorées dépassent largement les normes administratives (forte réduction des fumées et suies, résistance au froid, améliorants de combustion, additifs biocides et antibactériens, etc.)

Fioul et pollution aux particules fines

Particules en suspension.

III.4 Gasoline (Essence) :

III.4.1. Les caractéristiques

Gasoline, également connu sous le nom d'essence, est un carburant liquide utilisé dans les moteurs à combustion interne. C'est l'un des carburants les plus couramment utilisés dans le monde, principalement pour les voitures, les motocyclettes, les bateaux et les tondeuses à gazon.

Le gasoline est obtenu à partir de la distillation du pétrole brut, un processus qui sépare le pétrole en différentes fractions en fonction de leur point d'ébullition. Le gasoline est une fraction légère, qui est distillée à des températures comprises entre 90°C et 215°C.

Le gasoline est principalement composé d'hydrocarbures, qui sont des molécules constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène. Les hydrocarbures les plus couramment utilisés dans le gasoline sont l'octane et l'isooctane, qui sont des composés chimiques qui brûlent facilement et régulièrement.

Le gasoline est classé en fonction de son indice d'octane, qui mesure la capacité du carburant à résister à l'auto-allumage lorsqu'il est comprimé dans le moteur. Plus l'indice d'octane est élevé, plus le gasoline est résistant à l'auto-allumage et plus il peut être utilisé dans les moteurs à haute compression.

Il existe différents types de gasoline, tels que le gasoline ordinaire, le gasoline super et le gasoline

Chapitre 3 : Les caractéristiques des milieux

premium, qui ont des indices d'octane différents et sont utilisés pour différents types de moteurs et de véhicules.

III.4.2. Caractéristiques du gasoline :

Indice d'octane : L'indice d'octane est une mesure de la résistance du gasoline à l'auto-allumage lorsqu'il est comprimé dans le moteur. Plus l'indice d'octane est élevé, plus le gasoline est résistant à l'auto-allumage. Les indices d'octane courants pour le gasoline sont 87, 89, 91 et 93.

Densité : La densité du gasoline est une mesure de sa masse volumique. Le gasoline est moins dense que l'eau et sa densité peut varier en fonction de sa composition. En général, la densité du gasoline est d'environ 0,75 à 0,80 kg/litre.

Teneur en soufre : Le gasoline peut contenir du soufre, qui est un polluant atmosphérique. Les réglementations environnementales limitent généralement la teneur en soufre du gasoline à des niveaux très faibles.

III.4.3. Impact de gasoline avec l'eau de mer sur les résines polyesters :

Le gasoline peut avoir un impact négatif sur les matériaux en polyester lorsqu'il entre en contact avec de l'eau de mer. Les polyesters sont des polymères synthétiques utilisés pour fabriquer des bateaux, des réservoirs et d'autres produits. Lorsque le gasoline est répandu dans l'eau de mer, il peut se dissoudre et se répandre rapidement, créant une nappe d'hydrocarbures à la surface de l'eau. Cette nappe peut être difficile à nettoyer et peut causer des dommages importants à l'environnement marin.

Lorsque le gasoline entre en contact avec les matériaux en polyester, il peut causer plusieurs types de dommages, notamment :

Gonflement et déformation : Le gasoline peut causer le gonflement et la déformation des matériaux en polyester en raison de sa nature solvante. Le gasoline peut dissoudre les résines de polyester et altérer la structure moléculaire du matériau.

Perte de résistance : Le gasoline peut causer une perte de résistance dans les matériaux en polyester. Les résines de polyester peuvent être dissoutes par le gasoline, ce qui affaiblit le matériau et le rend plus susceptible de se briser ou de se déchirer.

Décoloration : Le gasoline peut également causer la décoloration des matériaux en polyester. Les hydrocarbures du gasoline peuvent pénétrer les pores du matériau et altérer sa couleur.

Dans l'ensemble, l'impact du gasoline avec l'eau de mer sur les matériaux en polyester peut être important et peut nécessiter des mesures de nettoyage et de restauration coûteuses pour minimiser les dommages environnementaux et économiques.

III.6. L'huile marine total neptuna :

III.6.1 Les caractéristiques :

Chapitre 3 : Les caractéristiques des milieux

Les L'huile marine Total Neptuna est une huile moteur spécialement conçue pour les moteurs marins fonctionnant dans des environnements marins difficiles.



Figure 20 : Huile Marine

III.6.2. Protection contre l'usure : L'huile Total Neptuna est formulée avec des additifs qui protègent le moteur contre l'usure et prolongent sa durée de vie.

Résistance à la corrosion : Cette huile est résistante à la corrosion causée par l'eau salée, ce qui permet de maintenir le moteur en bon état de fonctionnement.

III.6.3 Stabilité thermique : La stabilité thermique de l'huile Total Neptuna lui permet de résister aux hautes températures générées par les moteurs marins.

Faible teneur en cendres : L'huile Total Neptuna a une faible teneur en cendres, ce qui réduit la formation de dépôts et la nécessité de nettoyer régulièrement le moteur.

Protection contre la formation de mousse : Les additifs spéciaux dans cette huile empêchent la formation de mousse, ce qui peut endommager le moteur et réduire ses performances.

Conforme aux normes environnementales : L'huile Total Neptuna est conforme aux normes environnementales en vigueur, notamment en ce qui concerne les émissions de

C gaz à effet de serre et les rejets de polluants dans l'eau.

En résumé, l'huile marine Total Neptuna est une huile moteur hautement performante, conçue pour répondre aux besoins spécifiques des moteurs marins fonctionnant dans des environnements difficiles

Gonflement de la résine : Certains solvants contenus dans les huiles marines peuvent pénétrer la matrice en résine polyester et provoquer un gonflement de celle-ci. Cela peut entraîner une dégradation de la résine et une diminution des propriétés mécaniques du composite.

III.6.2.L'impact de l'huile marine totale neptuna Sur les composites verre-polyester :

L'huile marine Totale Neptuna est un produit d'entretien et de lubrification utilisé dans le secteur

Chapitre 3 : Les caractéristiques des milieux

maritime. Il est important de noter que l'impact spécifique de cette huile sur les composites verre-polyester peut dépendre de plusieurs facteurs, tels que la durée d'exposition, la concentration du produit, les conditions environnementales, etc. Cependant, je peux vous fournir quelques informations générales sur l'interaction entre les huiles marines et les composites verre-polyester.

Les composites verre-polyester sont constitués d'une matrice en résine polyester renforcée de fibres de verre. Les propriétés mécaniques et la durabilité de ces composites dépendent de l'intégrité de la matrice de résine.

Les huiles marines peuvent potentiellement affecter les composites verre-polyester de plusieurs manières :

: Les huiles marines peuvent modifier les propriétés thermiques du

Composite. L'exposition à des températures élevées peut entraîner une dégradation de la résine et une perte de résistance mécanique.

Corrosion des fibres de verre : Certains composants des huiles marines peuvent avoir un effet Corrosif sur les fibres de verre. Cela peut entraîner une réduction de la résistance des fibres et une diminution des performances globales du composite.

Chapitre4 :

Partie expérimentale

IV Méthode de travail :

IV.1 Préparation de la plaque polyester :

Pour préparer la plaque polyester en première ajoute le polyester liquide et deuxième ajouter le catalyseur et le durcisseur pour faire une plaque solide (polymérisation de polyester) en suite nous le mettons dans l'air pendant certain temps après un jour en couper la plaque pour faire les échantillons d'absorption et la dureté et le microscope.



Figure 21 : les éprouvettes des résines polyester utilisée.

IV .2.La deuxième étape :

Immerger des éprouvettes en résine polyester iso phtalique dans différentes milieux, eau distillée, eau salée, huile marine, mazout, essence.

Il y a aussi des milieux pollués mixtes (eau salée +huile, eau salée mazoute, eau salée +essence).

IV.3 La troisième étape :

IV.3.1. Préparation des milieux :



Figure 22 : la préparation des milieux.

Tableau 11: les dimensions des éprouvettes

Les milieux	Numéraux	Epaisseur	Largeur	Longueur
Air	82	4,5	20,6	30,4
	83	4,5	20,6	30,4
	84	4,4	20,6	29,7
Eau salée (1L)	86	4,9	20,4	30
	87	4,9	20,5	30
	88	4,6	20,3	30
Eau distillée (1L)	90	4,6	20,5	30
	91	4,8	21	30,5
	92	4,5	20,5	31
Huile (1L)	93	4,8	20,6	30
	95	4,6	20,3	30
	96	5	20,6	30
Mazout	98	4,8	21,7	30
	99	4,9	20,5	30,7
	100	4,9	21	30,1
Essence	102	4,2	20,2	29,8
	103	4,3	20,4	30,3
	104	4,4	20,5	29,4
Es+ Huile	106	4,3	20	29,9
	107	4,2	20,5	30,5
	108	4,2	21	30,1
Es+ Mazout	110	4,2	20,3	30,2
	111	4,2	20,2	30,5
	112	4,2	20	30,4
Es+ Essence	114	4,2	21	30,1
	115	4,2	20,2	29,8
	116	4,2	20,9	29,6

Tableau 12: les poids des éprouvettes

Les milieux	Numéraux	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Air	82	3,329								
	83	3,141								
	84	3,155								
Eau salée	86	3,420	3,429	3,430	3,434	3,442	3,438	3,442	3,435	
	87	3,468	3,475	3,482	3,482	3,489	3,485	3,490	3,485	
	88	3,305	3,313	3,320	3,320	3,322	3,326	3,329	3,323	
Eau distillée	90	3,350	3,361	3,369	3,373	3,380	385	3,388	3,386	
	91	3,431	3,452	3,454	3,458	3,462	3,470	3,472	3,470	
	92	3,133	3,144	3,148	3,155	3,164	3,167	3,167	3,167	
Huile	93	3,545	3,549	3,562	3,557	3,560	3,559	3,561	3,441	
	95	3,268	3,272	3,285	3,280	3,284	3,382	3,282	3,527	
	96	3,475	3,480	3,493	3,487	3,491	3,489	3,492	3,445	
Mazout	98	3,429	3,439	3,439	3,437	3,436	3,439	3,439	3,553	
	99	3,513	3,519	3,521	3,522	3,526	3,526	3,526	3,527	
	100	3,434	3,453	3,442	3,442	3,442	3,442	3,443	3,482	
Essence	102	2,955	2,961	2,963	2,963	2,962	2,966	2,967	2,969	
	103	2,988	2,995	2,999	2,996	2,999	3,000	3,001	3,002	
	104	2,998	3,009	3,009	3,006	3,006	3,009	3,010	3,010	
ES+ Huile	106	2,995	3,003	3,004	3,002	3,005	3,013	3,009	3,002	
	107	2,969	2,976	3,978	2,976	2,978	2,987	2,986	2,981	
	108	2,939	2,945	2,946	2,946	2,951	2,959	2,953	2,950	
ES+ Mazout	110	2,933	2,937	2,935	2,938	2,940	2,942	2,942	2,942	
	111	2,823	2,825	2,824	2,828	2,832	2,832	2,835	2,835	
	112	2,893	2,898	2,898	2,900	2,903	2,903	2,903	2,904	
ES+ 82Essence	114	2,803	2,814	2,816	2,818	2,820	2,820	2,824	2,823	
	115	2,883	2,894	2,894	2,897	2,898	2,898	2,899	2,902	
	116	2,813	2,822	2,823	2,826	2,828	2,827	2,829	2,830	

Chapitre 4 : Partie expérimentale

Tableau 13: L'absorption (%) de chaque milieu

Les milieux	N° : ep	% absorption							
		Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5	Semaine 6	semaine 7	Semaine 8
Eau salée	86	0,26%	0,29%	0,40%	0,64%	0,52%	0,64%	0,43%	
	87	0,20%	0,40%	0,40%	0,60%	0,49%	0,63%	0,26%	
	88	0,24%	0,45%	0,455	0,51%	0,63%	0,72%	0,54%	
Eau distillée	90	0,32%	0,56%	0,68%	0,89%	1,04%	1,13%	1,07%	
	91	0,61%	0,67%	0,78%	0,90%	1,13%	1,19%	1,13%	
	92	0,35%	0,47%	0,70%	0,98%	1,08%	1,08%	1,08%	
Huile	93	0,11%	0,47%	0,33%	0,42%	0,39%	0,45%	0,22%	
	95	0,12%	0,52%	0,36%	0,48%	0,42%	0,42%	0,12%	
	96	0,14%	0,51%	0,34%	0,46%	0,40%	0,48%	0,20%	
Mazout	98	0,29%	0,29%	0,23%	0,20%	0,29%	0,29%	0,34%	
	99	0,17%	0,22%	0,25%	0,37%	0,37%	0,37%	0,39%	
	100	0,26%	0,55%	0,23%	0,23%	0,40%	0,40%	0,32%	
Essence	102	0,20%	0,27%	0,27%	0,23%	0,37%	0,40%	0,47%	
	103	0,23%	0,36%	0,26%	0,36%	0,40%	0,43%	0,46%	
	104	0,36%	0,36%	0,26%	0,26%	0,36%	0,40%	0,40%	
ES+ Huile	106	0,23%	0,30%	0,23%	0,33%	0,60%	0,46%	0,23%	
	107	0,30%	0,30%	0,23%	0,30%	0,60%	0,57%	0,40%	
	108	0,20%	0,23%	0,23%	0,40%	0,68%	0,47%	0,37%	
ES+ Mazout	110	0,13%	0,068%	0,17%	0,23%	0,30%	0,30%	0,30%	
	111	0,070%	0,035%	0,17%	0,31%	0,31% 5	0,42%	0,42%	
	112	0,17%	0,17%	0,24%	0,34%	0,34%	0,34%	0,38	
ES+ Essence	114	0,39%	0,46%	0,53%	0,60	0,60%	0,74%	0,71%	
	115	0,38%	0,38%	0,48%	0,52%	0,52%	0,55%	0,65%	
	116	0,13%	0,35%	0,46%	0,53%	0,49%	0,56%	0,60%	



Figure 23 : les éprouvettes dans les milieux

IV.3.1.2. Les milieux (100%) : En ajoute dans la boîte 100 ml de chaque milieu et trois éprouvettes de la résine polyester.

IV.3.1.3. Les milieux pollués mixtes : en ajoute dans chaque boîte 50 % eau salée+50 ml de chaque milieu et trois éprouvettes.

Une fois la préparation de tous les milieux terminés, nous suivons la prise d'eau par les différentes éprouvettes exposées aux différents milieux et chaque semaine nous le mesurons le poids après l'absorption

IV.4. Les mesures réalisées :

L'absorption est suivie au cours du temps par mesure gravimétrique. Les réalisées sur une balance électrique. La prise de poids par absorption d'eau est calculée comme suit :



Figure 24 : Balance électrique

$$Mt(\%) = \frac{mt - mo}{MO} \cdot 100$$

- %) Ou :
- m_0 : masse initiale de l'échantillon (après un séchage)
 - m_t : mass de l'échantillon après un vieillissement
 - M_t : teneur d'absorption (en%)

IV.5. Résultat et discussion :

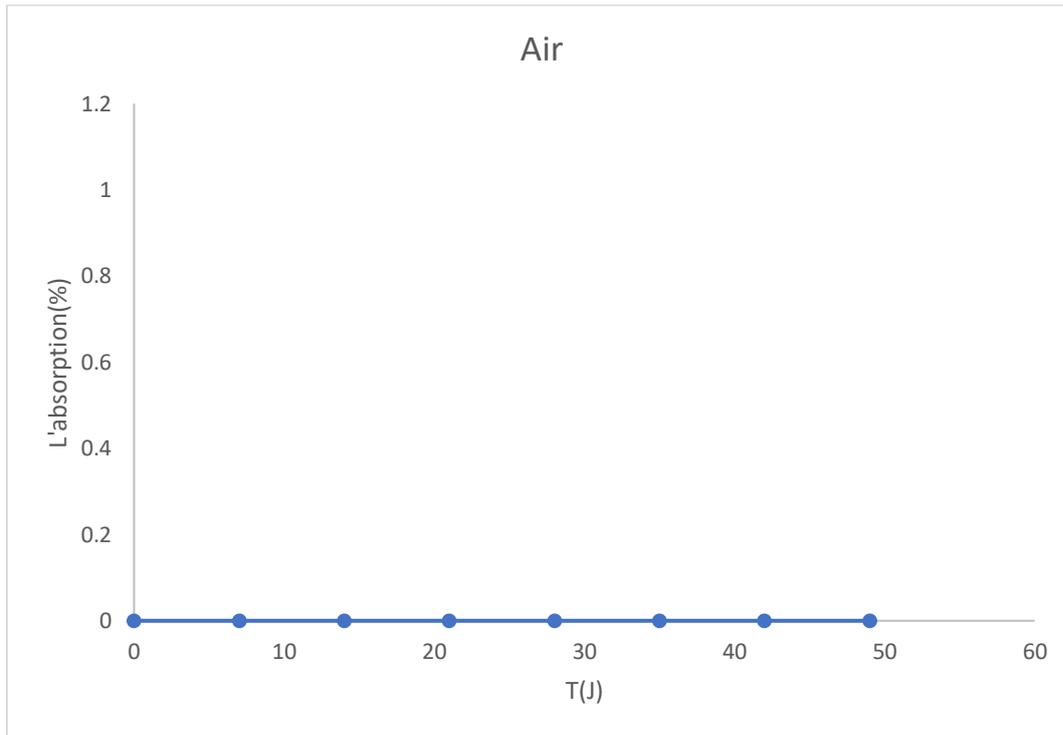


Figure25 : Absorption d'air

Il n'y a pas absorption donc il n'a pas prise de poids

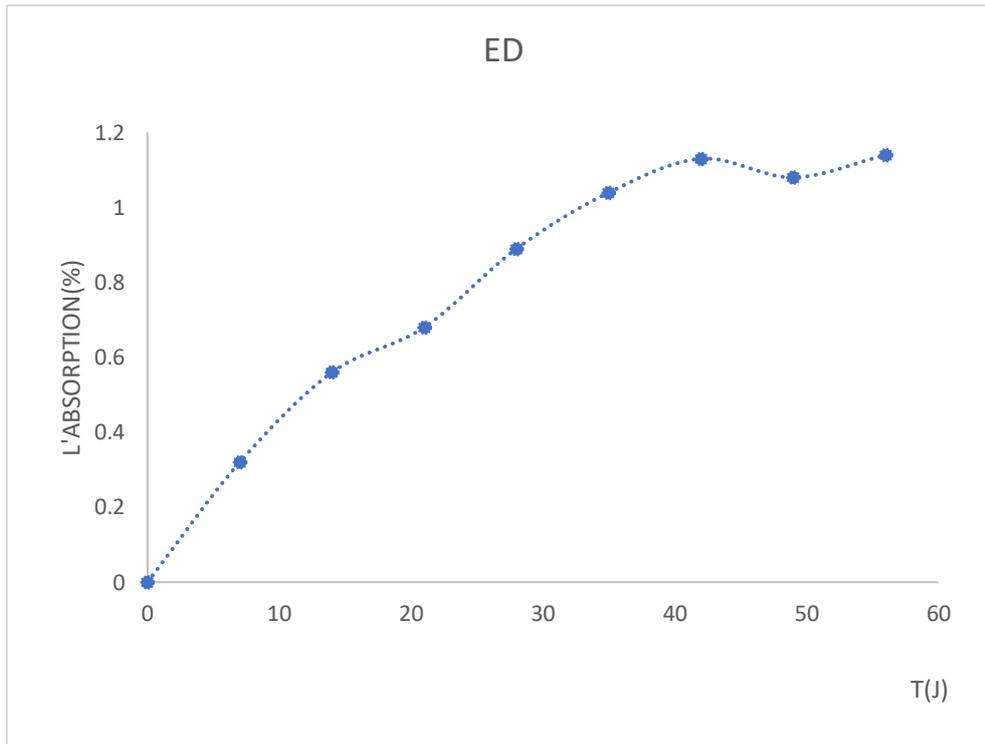


Figure 26 : Absorption d'eau distillée

Le vieillissement en eau distillée des éprouvettes en résine polyester iso phtalique montre une absorption progressive du type Fick. La prise de poids atteint son maximum à la sixième semaine, pour entamer une légère perte à la septième semaine. La prise d'eau est de l'ordre de 1%.

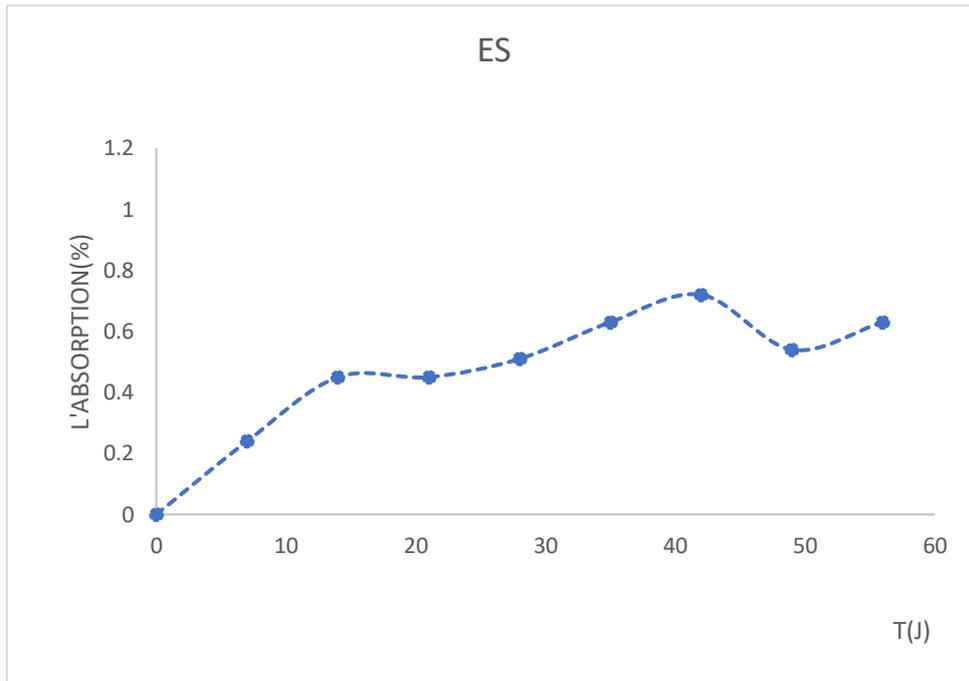


Figure 25 : Absorption D'eau salée

Le vieillissement en eau salée des éprouvettes en résine polyester iso phtalique. La prise de poids atteint son maximum à La sixième semaine, perte à la septième semaine. La prise d'eau Est de l'ordre de 0,71%.

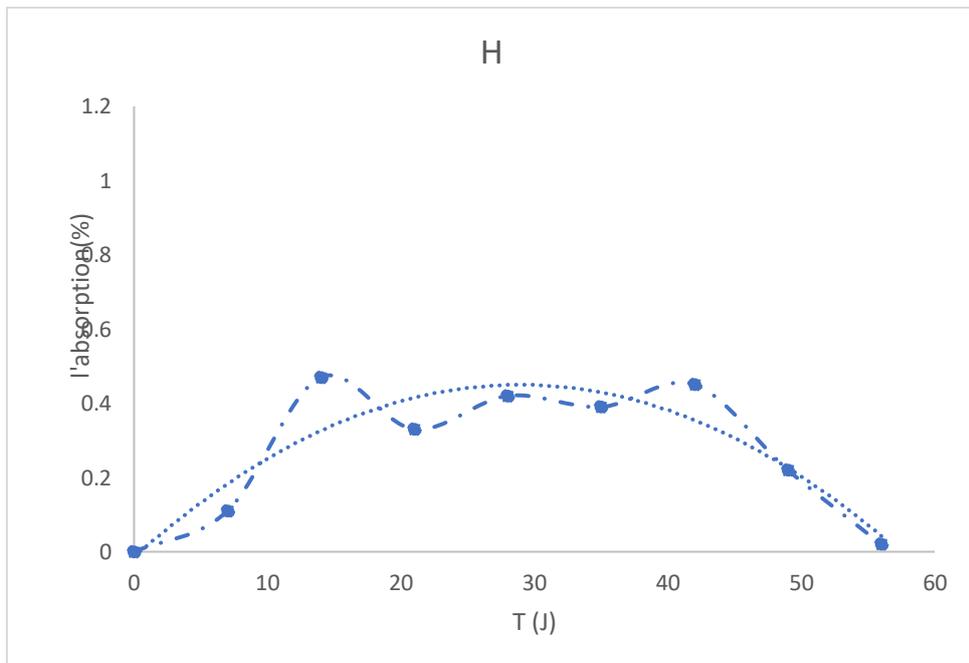


Figure 28 : d'absorption d'huile marine

Le vieillissement en huile marine des éprouvettes en résine polyester iso phtalique. En

remarquant après chaque augmentation il y a une perte de poids.

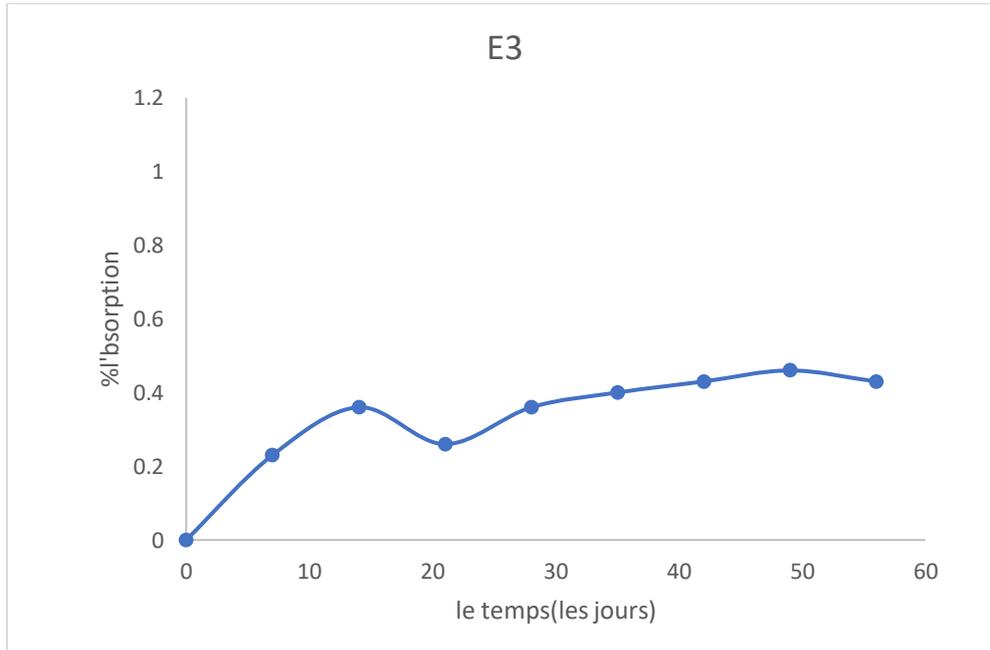


Figure 29 : Absorption d'essence

Le vieillissement en essence des éprouvettes en résine polyester iso phtalique. La courbe est caractérisée par une augmentation de la prise de poids sauf la troisième semaine il perte.

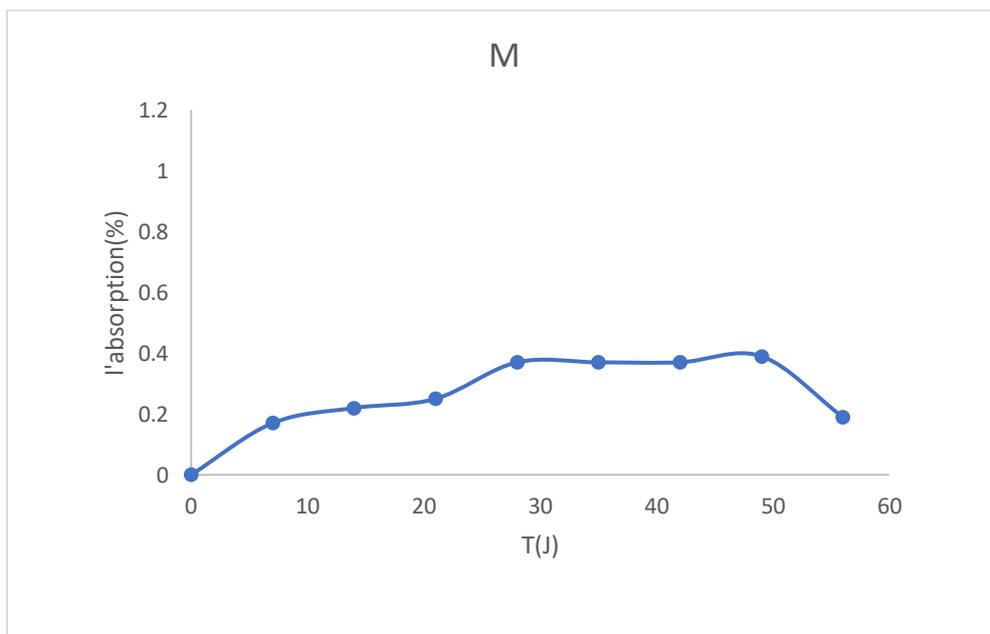


Figure30 : Absorption d'mazout

Remarques : En remarquant qu'il y a une stabilisation de poids après une augmentation

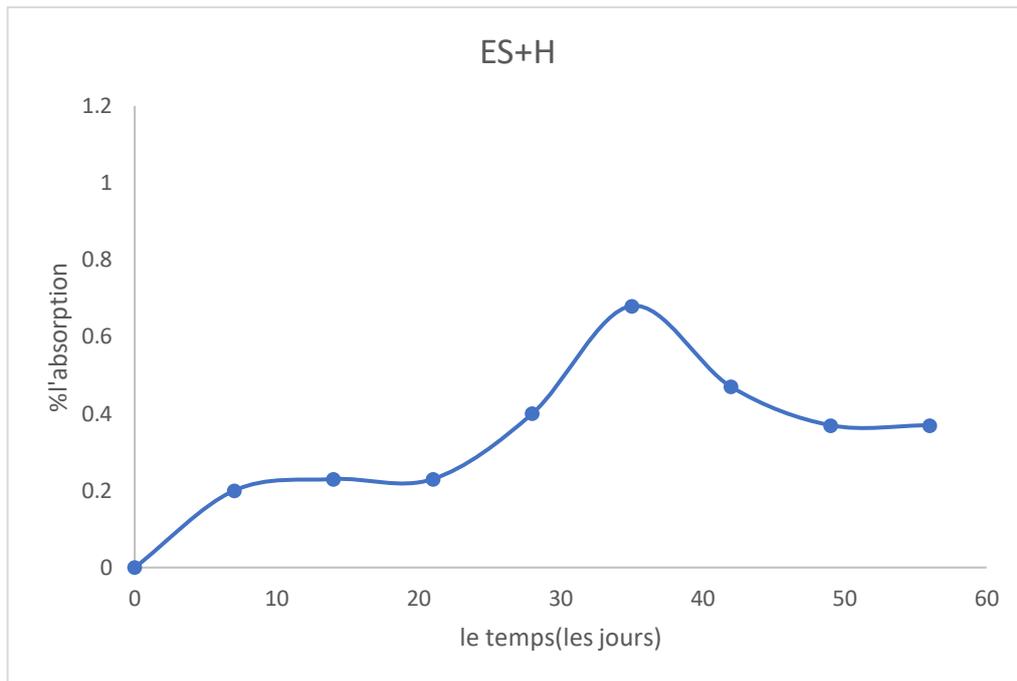


Figure (31) : Absorption d'eau salée+ huile

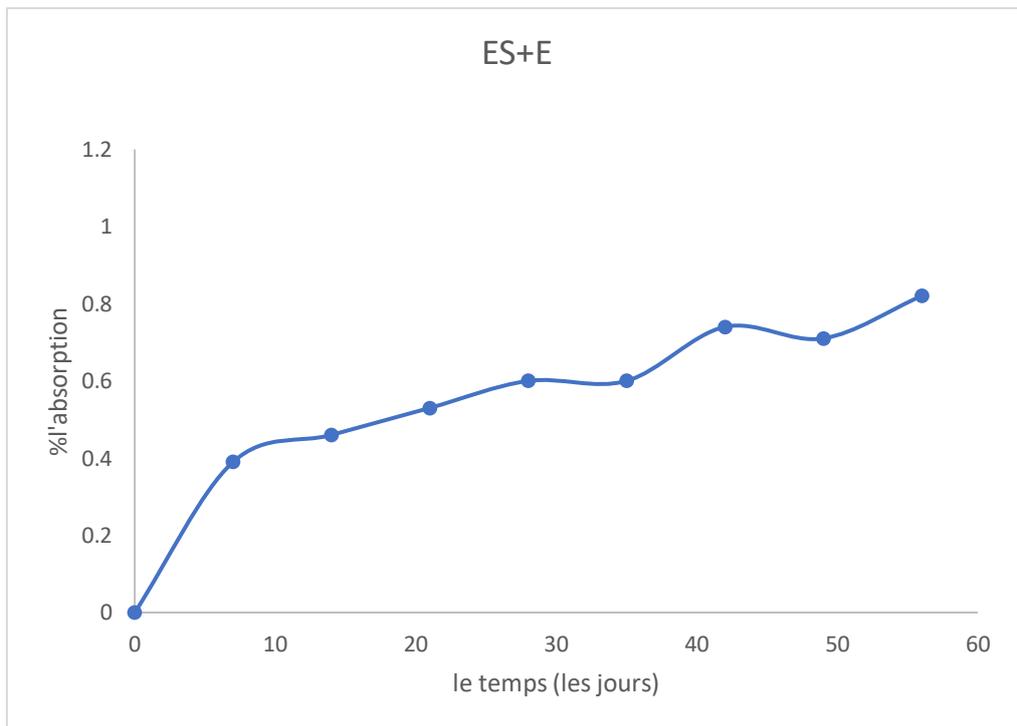


Figure 32 : Absorption d'eau salée +essence

Remarques : une augmentation dans toutes les semaines à part la septième semaine il y a une perte

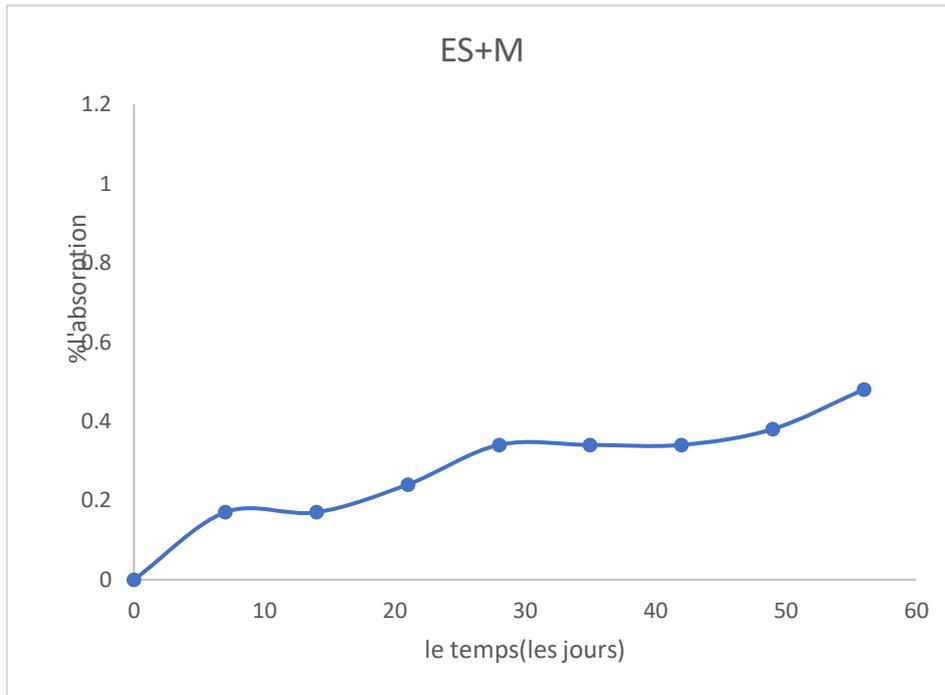


Figure 263 : Absorption d'eau salée+ mazout

Nous remarquons une augmentation dans les 3 premier semaines avec stabilité dans les 3 semaines suivantes mais elle a de nouveau augmenté a la septième et la huitième semaine.

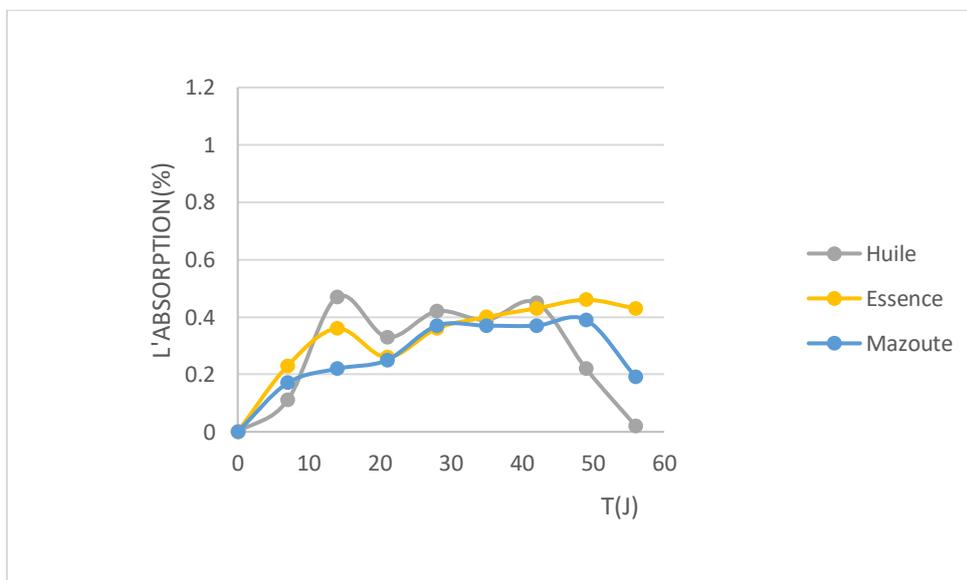


Figure 34 : Absorption les milieux pollués (mazout, essence, huile).

Remarques : En comparant les 3 milieux nous concluons que l'huile est l'élément qui a le plus impact sur la résine.

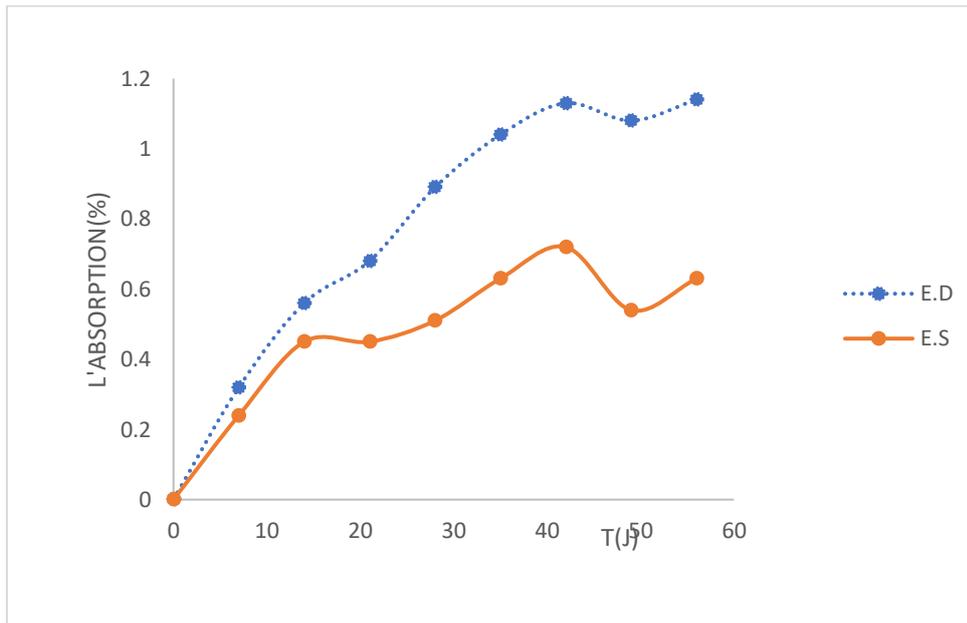


Figure 35 : Courbe d'absorption en comparaison l'eau salée et l'eau distillée

Remarques : Par comparaison, on note que l'eau distillée a plus grand impact que l'eau salée

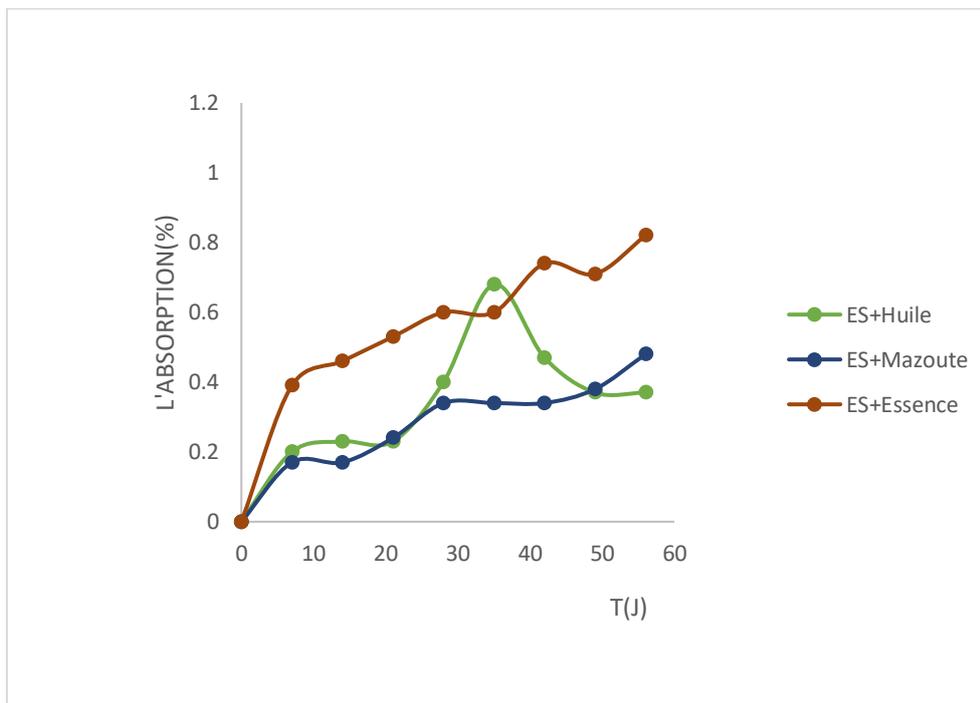


Figure 36 : Courbe d'absorption en comparaison les milieux mixtes (Eau Salée +Mazout, Eau Salée+ Huile, Eau Salée+ Essence).

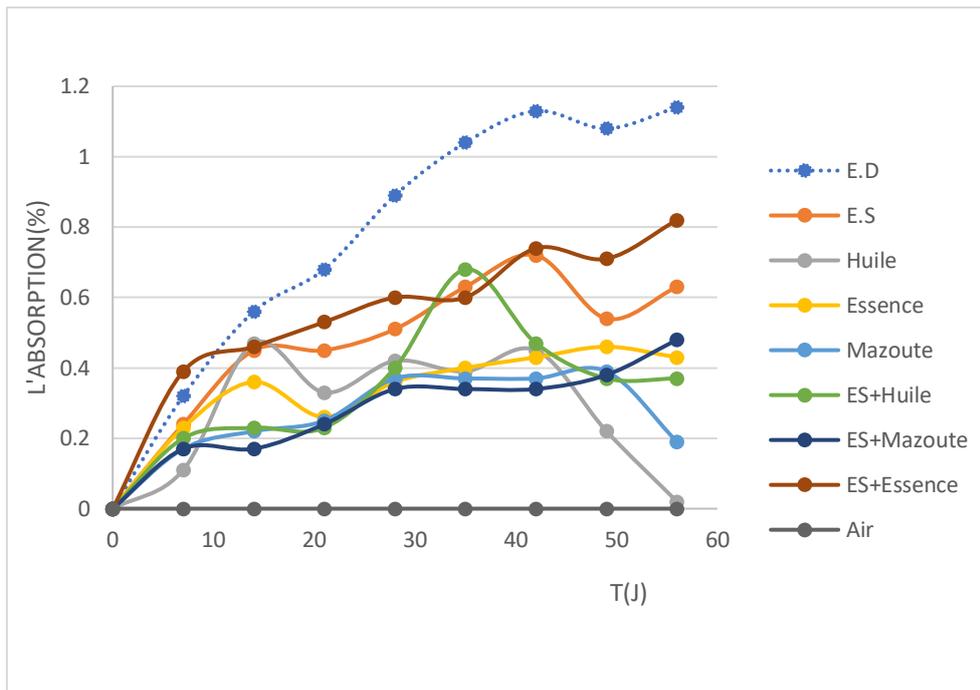


Figure 37 : Courbe d'absorption en comparaison tous les milieux utilisés

Remarques : en rassemblant toutes les courbes des milieux on remarque que l'eau distillée est la plus influente sur la prise de poids de l'éprouvette de résine.

IV.7. ESSAIS DE DURETE :

Généralités : La dureté caractérise la résistance à la déformation qu'un matériau oppose à la pénétration d'un corps dur. L'essai de dureté, qui généralement s'effectue sur des machines d'essai appelées d'uromètres, a pour but de déterminer la dureté des matériaux. C'est un moyen de contrôle non destructif utilisé dans la production pour un contrôle rapide de la qualité des produits finis car il permet d'évaluer les propriétés d'un matériau tel que sa résistance à la traction, sa ductilité et sa résistance à l'usure. Selon les normes, la dureté est exprimée comme un nombre sans dimension.

IV.7.1. Essai de la dureté Rockwell (HR) :

IV.7.1.1. Définition :

Essai de dureté Rockwell (HR) C'est l'essai de dureté le plus connu mondialement. Dans ce cas, la dureté, contrairement à Brinell et Vickers, est obtenue par lecture directe d'une longueur d'enfoncement d'un pénétrateur, bille acier ou cône diamant. Une pré-charge (F_0) permet de faire une empreinte initiale et, par-là, d'éliminer les incertitudes propres aux défauts de la surface



Figure 38 : l'appareille de la dureté Rockwell

Les essais de dureté Rockwell sont des essais de pénétration en mécanique. Il existe en fait plusieurs types de pénétrateurs qui sont constitués d'un cône en diamant ou d'une bille en acier trempé polie. Pour obtenir une valeur de dureté Rockwell, on mesure une pénétration rémanente du pénétrateur sur lequel on applique une faible charge

IV.7.1.2. Principe :

L'essai se déroule en trois phases :

Application sur le pénétrateur d'une charge initiale $F_0 = 98 \text{ N}$ (soit 10 kgf). Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur initiale I . Cette profondeur étant l'origine qui sera utilisée pour mesurer la dureté Rockwell ;

Application d'une force supplémentaire F_1 . Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur de P ; relâchement de la force F_1 et lecture de l'indicateur d'enfoncement.

IV.7.1.3. Application :

L'essai Rockwell, simple et rapide, convient pour les petites pièces et pour les hautes duretés (supérieures à 400 Brinell). La dispersion des résultats est nettement plus forte que pour l'essai

Chapitre 4 : Partie expérimentale

Brinell, et il est généralement nécessaire de prendre la moyenne de deux ou trois mesures. La pièce doit être bien assise sur son support, ce qui pose parfois des problèmes d'adaptation, et l'état de surface doit être correct (la présence de rayures donne des valeurs sous estimées.



Figure39 : les empreintes de la dureté Rockwell.

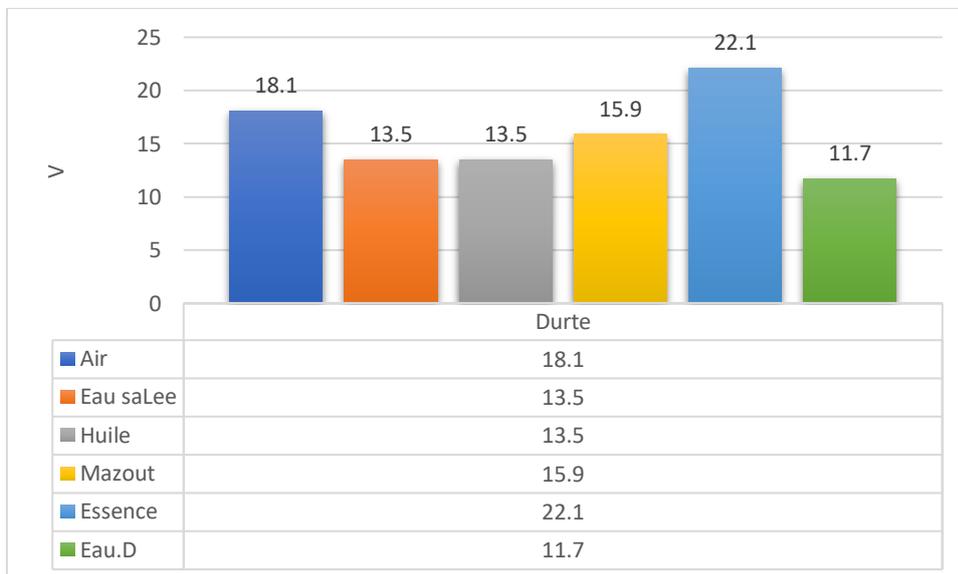


Figure 40 : la dureté de chaque milieu dans Rockwell.

IV.8.2 Essai Brinell :

IV.8.2.1 Principe :

L'essai consiste à enfoncer dans la pièce à essayer un pénétrateur, en forme de bille en acier ou en carbure de tungstène de diamètre D , sous une charge F bien déterminée, et à mesurer sur l'empreinte, laissée sur la surface après enlèvement de la charge, deux diamètres d_1 et d_2 à 90° l'un de l'autre (Fig. 1). La mesure est effectuée à l'aide d'un dispositif grossissant et d'une règle graduée tenant compte du facteur de grossissement.



Figure 41 : l'appareille de la dureté Brinell.

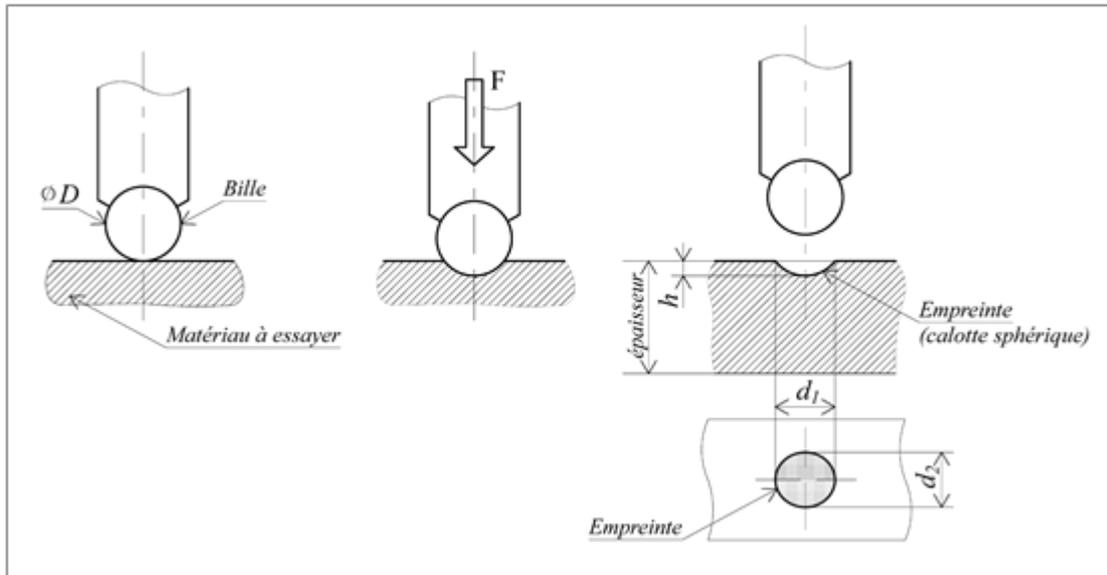


Figure 42 : Principe de l'essai Brinell

La dureté Brinell **HB** est un nombre proportionnel au rapport **F/S**, où **S** est la surface de l'empreinte.

$$\mathbf{HB} = \mathbf{Constante} \times \mathbf{F/S}$$

Avec :

Constante = $1/g = 1/9,8066 = 0,102 \text{ g}$: accélération de la pesanteur en ms^{-2} ,

F = charge d'essai en Newton (N),

S = surface de l'empreinte (calotte sphérique)

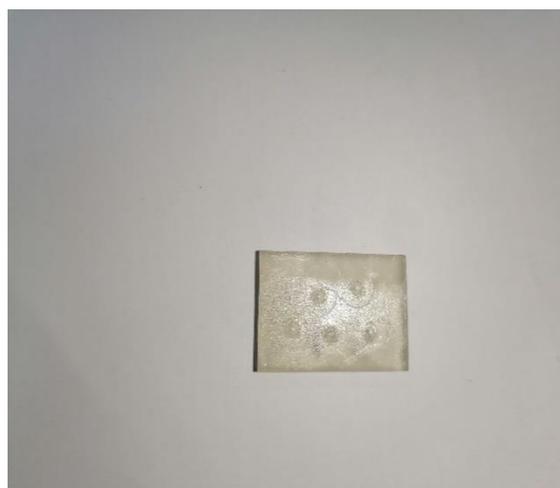


Figure 43 : les empreintes de la dureté Brinell

D = diamètre de la bille en mm = diamètre de l’empreinte = $(d_1 + d_2)/2$ en mm

Par suite la dureté Brinell est donnée par la relation suivante :

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

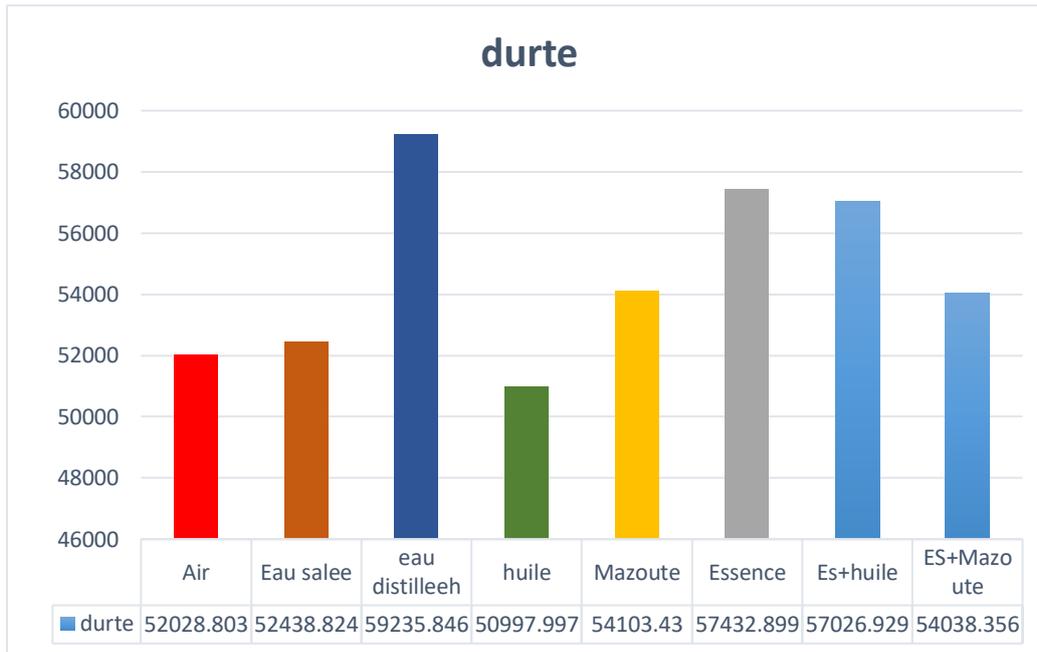


Figure 44 : la dureté de chaque milieu en Brinell

IV.8.3. Conditions d’essai :

L’essai est normalement conduit à température ambiante.

La charge est appliquée progressivement de façon à atteindre au bout d’un temps déterminé ($\cong 15$ secondes) la charge fixée, sans chocs ni vibrations, et maintenue à sa valeur finale pendant 10 à 15 secondes (dans les conditions normales c’est-à-dire avec une bille de 10mm de diamètre et sous une charge de 29430 N ou de $29430 \times 0,102 = 3000$ kgf).

On nettoie la surface pour éviter toute altération. Un état de surface de qualité permettra aussi de lire aisément le diamètre de l’empreinte.

Les charges d’essai utilisées sont normalisées. Elles doivent être choisies de telle façon que le diamètre

D'empreinte soit compris entre les valeurs $0,24D$ et $0,6D$.



Figure 45 : les empreintes de la dureté Brinell

L'épaisseur minimale de la pièce est fonction du diamètre d de l'empreinte. Elle doit être suffisante afin que la pénétration de la bille ne déforme pas la pièce. Dans le cas contraire la mesure ne sera pas fiable. A titre d'exemple, pour une bille de diamètre 10 mm, qui est celle que l'on utilisera de préférence, et d'égale à 4,0 mm, la norme donne une épaisseur minimale égale à 3,34 mm.

Deux symboles sont utilisés pour indiquer une dureté Brinell

- ✓ HBS pour l'essai effectué avec une bille en acier,
- ✓ HBW pour l'essai effectué avec une bille en carbure de tungstène.

IV.9. Etude microscopique :



Figure 276 : Microscope optique

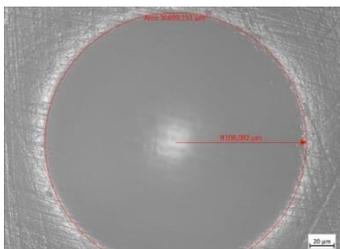


Figure 47 : Eau salée+ essence

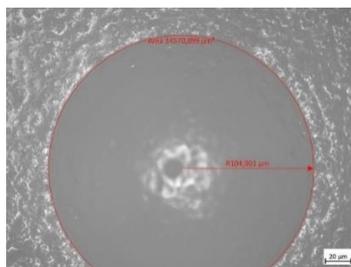


Figure 48 : Eau sal+ Mazout

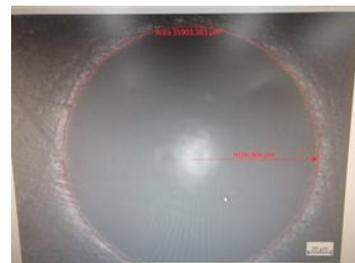


Figure 48 : Air

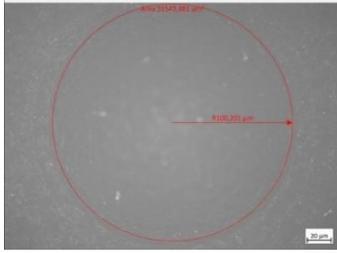


Figure 50 : Eau distillée

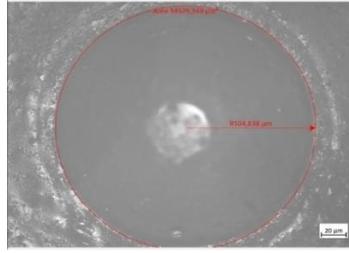


Figure 51 : Mazout

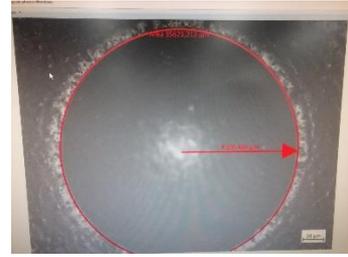


Figure 52 : Eau salée

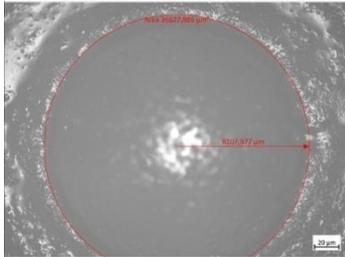


Figure 53 : Huile

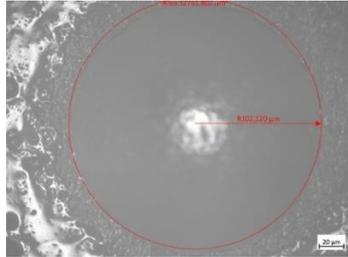


Figure 54 : salée +Huile



Figure 55 : Essence

CONCLUSIOIN GENERALE :

L'absorption d'eau polluée peut grandement affecter la résine polyester utilisée dans la construction navale. La résine de polyester est un matériau couramment utilisé en raison de sa résistance chimique et de sa durabilité. Cependant, lorsqu'il est exposé à des contaminants d'eau salée, des réactions chimiques peuvent se produire et avoir des effets indésirables sur la résine et ses performances. Premièrement, l'eau polluée peut entraîner l'absorption d'eau par la résine de polyester. Cet effet est un problème sérieux en raison de la diffusion de l'eau dans la structure de la résine et de son effet néfaste sur les propriétés mécaniques et physiques du matériau. L'absorption d'eau endommage la résine et peut provoquer des fissures, des changements dimensionnels et une perte de résistance mécanique du matériau.

Deuxièmement, l'absorption d'eau polluée peut entraîner des réactions chimiques avec les composants chimiques de la résine polyester.

Ces réactions peuvent provoquer la décomposition et généralement la détérioration de la résine. La réaction avec de l'eau contaminée peut entraîner la formation de liaisons chimiques instables dans la résine, entraînant une perte des propriétés mécaniques et de la résistance chimique du matériau et sa dureté.

Références bibliographiques

[1] **Laurent Gornet**, Généralités sur les Matériaux Composites, École Centrale de Nantes- 2011

[2] **Jean-M Berthelot** mécanique et analyse des structure 5^eédition 2012

Lavoisier Paris IBBN : 978-2-7430-14507

[3] *GLOSSAIRE DES MATERIAUX COMPOSITES – CARMA –Actualisation octobre 2006*

[4] **Nadia bahlouli** « Cours Matériaux composites /DESS Mécanique avancée et stratégie industrielle » IOST-ULP

[5] **CARMA** « Glossaire des matériaux composites » Actualisation octobre 2006

[6] **JoelCugnoni**, « Identification par recalage modal et fréquentiel des propriétés constitutives de coques en matériaux composites », Thèse, Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne, 2005.

[7] **L. Berreur, B. d. Maillard, and S. Nösperger**, "L'industrie française des matériaux

[8] guide 2016 résines polyester insaturé dans les matériaux composites, www. Risque professionnels. Ameli.fr.

[9] **A. Blaga**, Les plastiques thermodurcissables, Digeste de la Construction au Canada Division des recherches en construction, Conseil national de recherches Canada,CBD 159F ,Septembre 1975.

[10] **F. BENSADOUN**, développement et caractérisation d'un procédé de fabrication de composites et bio composites à base de nanoparticules d'argile et de résine polyester insaturée destinés à l'industrie du transport, mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise ès sciences appliquées, université de montréal (2011).