

## **SOMMAIRE**

**REMERCIEMENTS**

**SOMMAIRE**

**LISTES DES FIGURES**

**LISTE DES ABREVIATIONS**

**SYMBOLES**

**NOTATIONS ET UNITES**

**LISTE DES TABLEAUX**

**LISTE DES DIAGRAMMES**

**INTRODUCTION**

### **Partie I : ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES**

Chapitre I : LES MATERIAUX COMPOSITES.....	2
Chapitre II : GENERALITES SUR LES FIBRES DE VERRE.....	8
Chapitre III : RESINES ET CATALYSEURS.....	16
Chapitre IV : LE GELCOAT.....	26

### **Partie II : ETUDES EXPERIMENTALES**

Chapitre VI : LES DIFFERENTS ESSAIS REALISES AU LABORATOIRE .....	32
---	----

### **Partie II : ETUDES TECHNIQUES**

Chapitre V : LA STRATIFICATION.....	45
Chapitre VII : FABRICATION D'UNE COQUE DE PISCINE EN POLYESTER.....	63
Chapitre VIII : EVALUATION DU COUT DE FABRICATION.....	71
Chapitre IX : ACCESSOIRES ET ENTRETIEN DE LA PISCINE.....	74

**CONCLUSION**

**BIBLIOGRAPHIE**

**ANNEXE**

**TABLE DES MATIERES**

## LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1: résine polyester accélérée en 5kg, 25kg et 220kg</i> .....	18
<i>Figure 2: résine de coulée en 220kg</i> .....	18
<i>Figure 3 : quantité de catalyseurs selon ses conditionnements</i> .....	25
<i>Figure 4: tableau des valeurs des contraintes</i> .....	32
<i>Figure 5: fixation de l'échantillon</i> .....	32
<i>Figure 6: vue d'ensemble de l'appareil</i> .....	33
<i>Figure 7: gros marteau</i> .....	34
<i>Figure 8 : tableau des valeurs</i> .....	34
<i>Figure 9 : emplacement de l'échantillon</i> .....	35
<i>Figure 10: appareil entier</i> .....	35
<i>Figure 11 : plateau</i> .....	36
<i>Figure 12: le piston</i> .....	36
<i>Figure 13 : poils long en 110 mm, référence 101</i> .....	51
<i>Figure 14: poils ras en 110 mm, référence 105</i> .....	51
<i>Figure 15:monture radiateur clipsable</i> .....	52
<i>Figure 16:debulleur polypropylène à manche plastique</i> .....	52
<i>Figure 17 : debulleur rondelles métalliques à manche plastique</i> .....	52
<i>Figure 18 : debulleur ressort à manche en bois</i> .....	52
<i>Figure 19: Eprouvette 500ml Référence DSW 0.5</i> .....	53
<i>Figure 20: chiffon d'essuyage</i> .....	53
<i>Figure 21: disque de polissage</i> .....	54
<i>Figure 22: Les rouleaux de papier à découper</i> .....	54

<i>Figure 23: types de cales à démouler</i> .....	55
<i>Figure 24: cale à 4 lames inox</i> .....	55
<i>Figure 25: lunette masque</i> .....	56
<i>Figure 26: masque moldex</i> .....	56
<i>Figure 27 : Demi-masque à cartouche</i> .....	57
<i>Figure 28: Référence 921</i> .....	57
<i>Figure 29 : gans de référence 1370</i> .....	57
<i>Figure 30 : roving</i> .....	58
<i>Figure 31: mat de verre</i> .....	58
<i>Figure 32 : Cire finish KARE, boite de 412 gr avec tampon applicateur</i> .....	58
<i>Figure 33: application de la couche de gelcoat avec un pinceau</i> .....	68
<i>Figure 34 : pose des mats 300g/m<sup>2</sup></i> .....	68
<i>Figure 35 : pose des roving 450g/m<sup>2</sup></i> .....	69
<i>Figure 36: Projection du stratifil</i> .....	70
<i>Figure 37: Renfort latéraux</i> .....	71
<i>Figure38: schéma de circuit de la filtration d'une piscine</i> .....	76
<i>Figure 39: dispositifs de traitement automatique</i> .....	82

## LISTE DES ABREVIATIONS

*CMO* : *Composites à matrice organiques* ;

*CMC* : *Composites à matrice céramique* :

*CMM* : *Composites à matrice métallique*;

*GRP* : *Glass-Reinforced Plastic*

*ISO* : *Isophtalique*

*UV* : *Ultra-Violet*

*PVC* : *Polyvinyles de Chlorure*

*PMEC* : *Peroxyde de méthylethylcétone*

*Max* : *Maximum*

*PU* : *Prix Unitaire*

*Aq* : *aqueuses*

$e_i$  : *épaisseur initiale*

$e_f$  : *épaisseur finale*.

## SYMBOLES

$Na_2O$  : Oxyde de sodium

$K_2O$  : Oxyde de potassium

$SiO_2$  : Silice

$Al_2O_3$  : Alumine

$CaO$  : Chaux

$MgO$  : Magnesie

$Na_2CO_3$  : Carbonate de sodium

$B_2O_3$  : Oxyde de bore

$Fe_2O_3$  : Oxyde ferrique

$TiO_2$  : Oxyde de titane

$ZrO_2$  : Oxyde de zircon

$H_2O_2$  : eau oxygénée

$Fe^{3+}$  : ions ferreux

## NOTATIONS ET UNITES

% : pourcentage

$kT/an$  : kilotonne par an

$^{\circ}C$  : degrés Celsius

MPa.s : Megapascals seconde

MPa : Megapascals

kg : kilogramme

ml : millilitre

nm : nanomètre

mm : millimètre

g : gramme

cm : centimètre

mg : milligramme

$\mu$  : micron

$g/m^2$  : grammes par mètre-carré

$m^2$  : mètre-carré

daN : décaNewton

$\sigma$  : contrainte

h : heure

Ar : ariary

$m/h$  : mètre par heure

$m^3/h$  : mètre-cube par heure

TTC : Tous Taxes Comprises

HT : Hors Taxe

TVA : Taux des Valeurs Annuels

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 exemple de polyester insaturé .....	4
Tableau 2 Différents types de verres textiles.....	8
Tableau 3 Exemples de compositions verrières pour la fibre de renforcement .....	13
Tableau 4 caractéristiques de la résine .....	16
Tableau 5 propriétés mécaniques de la résine .....	17
Tableau 6 propriété et avantage du gelcoat .....	26
Tableau 7 caractéristique du gelcoat à l'état liquide .....	27
Tableau 8 caractéristique du gelcoat à l'état polymerisé .....	27
Tableau 9 Résultats de l'essai de flexion de l'échantillon 1 .....	38
Tableau 10 Résultats de l'essai de flexion de l'échantillon 2 .....	38
Tableau 11 Résultats de l'essai de flexion de l'échantillon 3 .....	39
Tableau 12 résultats de l'essai de résilience .....	43
Tableau 13 recherche de la vitesse et de la masse pour la rupture au choc .....	43
Tableau 14: Masse volumique pour C1 18/25.....	44
Tableau 15: Masse volumique pour C2 15/20.....	44
Tableau 16 correspondance entre volume et épaisseur de la couche .....	46
Tableau 17 relation entre profondeur et pression .....	49
Tableau 18 poids de résine et ses taux de catalyseurs respectifs à ajouter .....	59
Tableau 19 grammage de fibre et épaisseur respectifs obtenus .....	62
Tableau 20 les types de matériaux et ses applications respectives.....	67
Tableau 21 les prix unitaires de chaque matériaux utilisés.....	73
Tableau 22 devis des matériaux pour l'échantillon.....	74
Tableau 23 devis de fabrication de la piscine en polyester.....	74
Tableau 24 volumes de la pièce et ses coûts respectifs.....	75

## **LISTE DES DIAGRAMMES**

<i>Diagramme 1: matrice organique fréquemment utilisées.....</i>	3
<i>Diagramme 2:Différentes sortes de renfort selon leur nature.....</i>	5
<i>Diagramme 3: histogramme des grammages et leurs épaisseurs respectifs.....</i>	62

## **LISTE DES COURBES**

<i>Courbe 1 : influence du taux de renfort sur la contrainte à la rupture.....</i>	40
<i>Courbe 2 : influence de la durée de pression sur la contrainte à la rupture.....</i>	41
<i>Courbe 3 : influence du taux de charge sur la contrainte à la rupture.....</i>	42
<i>Courbe 4 variation des épaisseurs de la couche en fonction du volume.....</i>	47
<i>Courbe 5: proportion entre pression et profondeur.....</i>	49
<i>Courbe 6: coût de fabrication en fonction du volume.....</i>	75

## INTRODUCTION GENERALE [20]

Depuis très longtemps les fibres existent tel que les cotons qui auront pu être connu par des égyptiens. Autrefois à la vue de chaque individu (habillement et décoration intérieur), elles se dissimulent aujourd’hui dans les murs pour les isoler, les matériaux pour les renforcer, les câbles pour les transmettre la lumière ou des données. Elles sont omniprésentes dans notre environnement.

Les matériaux à bases de fibres, dont certains sont très anciens, sont utilisés dans des activités de plus en plus nombreuses et diversifiées. Certaines fibres présentent des dangers importants pour la santé des personnes et notamment de celle qui les mettent en œuvre.

A nos jours, la fabrication d'une pièce en coque de polyester renforcé par la fibre de verre devient très intéressante grâce aux avantages, confort et fiabilité, qu'elles apportent pour les usagers.

Comme dans notre cas, on s'intéresse sur la fabrication d'une coque de piscine en polyester renforcé par la fibre de verre. L'ouvrage se divise en trois parties, dont on commence par l'étude bibliographique, suivi par des études expérimentales et se termine par les études techniques.

**PARTIE I :**

# **ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## Chapitre 1 LES MATERIAUX COMPOSITES

### 1.1.Les familles des matériaux

[1] et [2]

En générale on peut regrouper les matériaux en cinq grandes familles :

- ❖ Les matériaux minéraux ;
- ❖ Les métaux et alliages ;
- ❖ Les polymères ;
- ❖ Les matériaux naturels ;
- ❖ Les matériaux composites.

### 1.2.Définition d'un matériau composite

[1]

Un matériau composite peut être défini comme un mélange de plusieurs matériaux de même nature ou d'origines différentes dont les propriétés sont supérieures à celles des matériaux initiaux. C'est un matériau formé par des arrangements de fibres, les renforts, qui sont noyés dans une matrice ayant une propriété mécanique plus faible.

Il y a aussi d'autres produits qui participent dans la fabrication d'un mélange de composite comme les charges et les additifs.

D'une façon générale, un matériau composite est constitué par :

- ❖ Matrice
- ❖ Renfort
- ❖ Charges
- ❖ Additifs

### 1.3.Types de composites

Selon la nature de la matrice, on distingue 4 groupes de composites :

- ❖ Les composites à matrice organique (CMO) ;
- ❖ Les composites à matrice céramique (CMC) ;
- ❖ Les composites à matrice métallique (CMM) ;
- ❖ Les composites hybrides.

## 1.4. Les constituants d'un matériau composite

### 1.4.1. La Matrice

Pour un matériau composite, la matrice est principalement une résine qui peut être de deux natures possibles et cela suivant son origine : naturelle et synthétique. Elle a pour principaux rôles de lier les fibres entre elles en préservant leur orientation dans le matériau composite, d'assurer le transfert des sollicitations vers les fibres, de protéger les renforts contre les agressions mécaniques et le milieu extérieur au composite.

#### a. Les différents types de matrice

On distingue deux types de matrices selon leurs origines :

- ❖ Naturelles
- ❖ Artificielles ou synthétiques

#### b. Résine d'origine naturelle

Dans cette catégorie, on distingue :

- ❖ Les résines : ils désignent des composés insolubles à l'eau, mais solubles dans les hydrocarbures, des alcools ou des huiles ;
- ❖ Les oléorésines : ce sont des mélanges variés d'essences et de résines, de consistance molle ou semi-liquide, partiellement volatils et entraînables par la vapeur d'eau ;
- ❖ Les gommes-résines.

#### c. Résines d'origine synthétique

Elles constituent les matrices organiques et dominent le domaine des polymères. Elles sont formées par les résines thermoplastiques, les résines thermodurcissables et les résines élastomères.

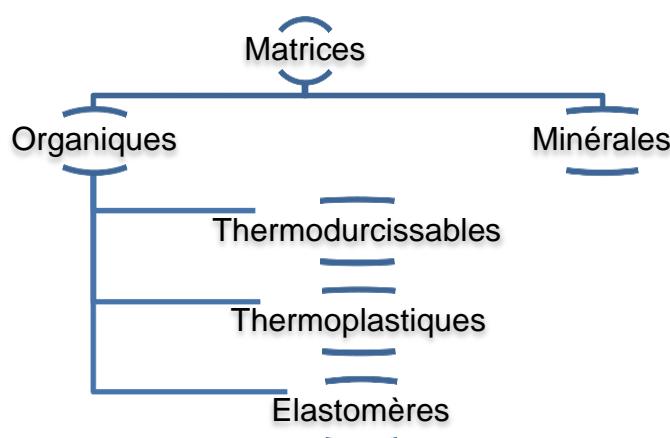


Diagramme 1: matrice organique fréquemment utilisées

### 1.4.2. Les polyesters insaturés

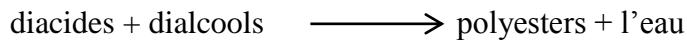
[1] et [2] et [17]

Les polyesters insaturés sont des thermodurcissables.

#### a. Obtention des polyesters

Ils sont obtenus par :

- ❖ Réaction de condensation : à la suite de la réaction, on obtient des polyesters et de l'eau.



- ❖ Réaction d'addition (résine époxyde + acide acrylique ou acide méthacrylique) : il en résulte des vinylesters.

Le tableau ci-dessous montre les types de polymères et ses réactions chimiques correspondantes.

*Tableau 1 exemple de polyester insaturé*

Polymères	Réactifs	Réactions chimiques
Résines polyesters insaturées condensées	Polyols, acides dicarboxyliques insaturés	Polycondensation
Vinylesters	Résines époxydes, acides acryliques et méthacryliques	Polyaddition
Polyesters allyliques	Alcool allylique, acides phtaliques	Estérification

*Source « archives matériaux composites »*

#### b. Copolymérisation de la résine polyester

La résine polyester est rarement utilisée, mais exige l'ajout de certaines substances chimiques. On parle alors de copolymérisation.

- ❖ La catalyse classique : les ingrédients catalytiques sont employés à faible proportion ; généralement, ce sont les peroxydes qui sont les plus utilisés ;
- ❖ Les résines pré-accélérées et promotorisées : ce sont les fabricants qui conditionnent la résine sous forme préaccélérée ou promotorisée pour éviter d'éventuelles erreurs de l'opérateur. La polymérisation se fait à température ambiante et ne nécessite aucune recuisson du fait de sa forte exothermie ;
- ❖ Durcissement maximum : dans de nombreux cas, pour limiter le taux de styrène libre qui pourrait influencer grandement les propriétés du produit final, on a fréquemment besoin de recourir à une recuisson supplémentaire.

### c. Les différentes familles de polyester

On peut citer quatre sortes de résine polyester :

- ❖ Orthophthaliques : à un prix plus bas, ils se prêtent moins bien aux intempéries ;
- ❖ Isophthaliques : le prix est plus élevé que les orthophthaliques, mais ils ont une bonne tenue aux intempéries notamment à l'humidité ainsi qu'à divers réactifs ;
- ❖ Chlorés : responsable de l'autoextinguibilité ;
- ❖ Bisphénols : bonnes caractéristiques chimiques et thermiques.

#### 1.4.3. Renfort

[1] et [14]

Ils constituent un des principaux composants du matériau composite. Ils jouent principalement le rôle d'armature . Ils augmentent la propriété mécanique d'un matériau composite.

##### a. Différentes catégories de fibre :

Les fibres se diffèrentient selon leurs origines.

Le diagramme suivant présente les fibres en fonction de leur nature.

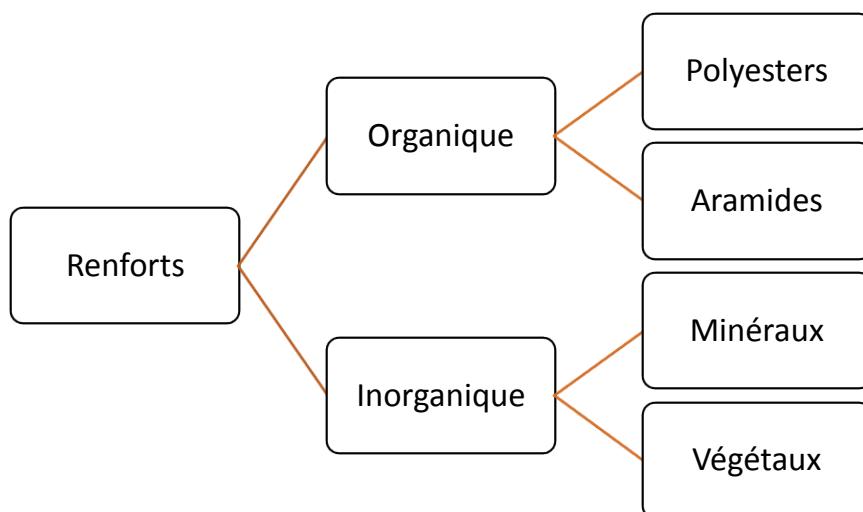


Diagramme 2: différentes sortes de renforts selon leur nature

##### b. Architecture des fibres

[12] et [14]

Les fibres sont incorporées dans le composite sous forme de renforts. L'architecture de ces renforts conditionne les propriétés du produit final. L'architecture désigne un ensemble de fibres. Elle représente souvent l'aspect des fibres dans le domaine commercial.

Sous forme commerciale, les fibres se présentent sous trois formes :

❖ Ensembles linéaires

Par linéaire, on fait référence à un fils ou à une mèche. Effectivement, pour pouvoir constituer un ensemble linéaire, il est nécessaire de les regrouper parce qu'une fibre de verre, par exemple, a un diamètre de quelques microns.

Ces différents fils possèdent plusieurs formes : fil de base, fil simple, fil retors, fil câblé, mèche, stratifil, whiskers ou fibres courtes.

❖ Ensembles surfaciques

Ils peuvent être obtenus par des ensembles linéaires continus. Il existe deux types d'ensembles surfaciques : les mats et les tissus.

➤ *Les mats :*

Ce sont des nappes de filaments, de fils discontinus ou de fils de base, coupés ou continus, présentées sous forme d'une bande enroulée.

➤ *Les tissus*

Ils sont obtenus par tissage de fils, stratifils ou mèches ; réalisés manuellement ou sur un métier à tisser. Un tissu est composé d'une chaîne et d'une trame. Une chaîne se définit comme un ensemble de plan de fils parallèles dans le sens de la longueur du tissu alors qu'une trame, un ensemble de fils s'entrecroisant avec les fils de chaîne.

❖ Ensembles multidirectionnels :

Pour les multidirectionnels, on distingue la tresse et les autres tissages (forme conique, ogivale, etc.).

## 1.5. Autres composants

### 1.5.1. Le gelcoat

[8]

Le gelcoat joue des rôles internes et externes. Il est à noter en particulier sa faculté à fournir la teinte et l'aspect et à isoler le stratifié du milieu extérieur.

Une large gamme de gelcoat existe se distinguant par leur couleur et leur rôle.

Après ajout de catalyseur à raison de 1 à 3 % au catalyseur, son application peut se faire au pinceau ou au pistolet.

### **1.5.2.Les agents de démoulage**

Ils constituent premièrement une surface intermédiaire entre le matériau composite et le moule, ils permettent d'éviter l'adhésion entre le gelcoat et le moule.

Comme agent de démoulage, on peut citer :

- ❖ Cires.
- ❖ Films :

### **1.5.3.Les charges et additifs**

Ce sont des produits ajoutés aux deux constituants de base dans des proportions de quelques dizaines de pourcentages dans le cas des charges et seulement quelques pour cent pour les additifs.

Apres les avoir cités, on va voir ensuite les détails de tous ces constituants de matériaux composites ainsi que sa technologie de mise en œuvre.

## Chapitre 2 GENERALITES SUR LES FIBRES DE VERRE

### 2.1.Définition d'une fibre de verre

[13]

La fibre de verre est un filament de verre. Par extension de ce filament, les matériaux composites renforcés issu de cette fibre sont aussi appelés fibre de verre.

### 2.2.Différents types

Il y a eu, dans le passé, des études sur de nombreux types de verre dans le but d'associer à leurs caractéristiques de renforcement (caractéristiques mécaniques) d'autres caractéristiques spécifiques, techniques ou économiques. Ne sont parvenus au stade de la production industrielle que les types de verre cités, avec leurs caractéristiques principales, dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 Différents types de verres textiles

[13]

Type	Indications générales
E	À usage général ; bonnes propriétés électriques
D	Hautes propriétés diélectriques
A	Haute teneur en alcali
C	Résistance chimique
S	Haute résistance mécanique
R	Haute résistance mécanique
AR	Résistant en milieu basique
E-CR	Pour usage en milieu acide

Source : « les types de verres » dans la technique de l'ingénieur

#### a. Verres E :

Ce sont des borosilicates d'alumine à très faible teneur en oxydes de métaux alcalins (moins de 1 % en  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ). Développés initialement pour leurs bonnes propriétés électriques d'isolation, ils ont vu leur production et leur emploi ensuite généralisés en raison de leur relative facilité de fibrage, de leurs bonnes propriétés mécaniques et de leur coût modéré. Ils constituent le renfort par excellence de tous les matériaux composites à matrices organiques.

À ce jour, ils représentent plus de 96% du marché mondial des fibres de verre de renforcement, estimé en 1994 à environ 1 350 kT/an. Les autres types de verre n'en restent pas moins très importants par les propriétés spécifiques qu'ils apportent et les développements techniques qu'ils commencent à permettre.

#### **b. Verres D :**

Ces verres sont composés essentiellement de silice et de borates alcalins, dotés de très bonnes propriétés diélectriques.

Développés pour les applications électroniques à très hautes performances, par exemple les radômes pour avions militaires, leur usage tend à s'étendre à d'autres applications telles que les circuits imprimés de hautes performances.

#### **c. Verres A :**

Leur taux élevé d'oxydes de métaux alcalins conduit à une température de fusion plus faible. Il en résulte aussi de mauvaises propriétés diélectriques dues à leur sensibilité à l'eau.

Ces verres ne sont plus utilisés aujourd'hui que pour certaines qualités de voile de surface.

#### **d. Verres C :**

Ce sont des borosilicates de calcium et d'alumine à teneur moyenne en oxydes de métaux alcalins (10 % en  $\text{Na}_2\text{O}$ ). Leur forte teneur en silice (jusqu'à 65 %) leur confère une meilleure tenue que les verres E dans les ambiances chimiques et particulièrement dans les milieux acides.

Sous forme de voiles, ils sont utilisés comme couche superficielle de renfort dans la barrière anticorrosion des pièces de génie chimique en composite ; sous forme de tissus, ils entrent dans la réalisation de bacs pour accumulateurs.

#### **e. Verres R et S :**

Ce sont des verres à hautes teneurs en silice et en alumine, pour lesquels il n'y a aucun apport d'oxyde de bore ou de métaux alcalins. L'absence de ces composants entraîne des conditions d'élaboration et de fibrage plus difficiles ainsi que des coûts plus élevés. Ils se distinguent des verres E par de meilleures propriétés mécaniques dont :

❖ leur résistance en traction et leur module d'élasticité sont respectivement 30 % et 20 % plus élevés.

❖ Leur masse volumique est légèrement inférieure.

❖ Ils possèdent également une meilleure tenue en température que les verres E, ainsi qu'une meilleure résistance chimique (en milieu acide).

Initialement utilisés dans les industries aérospatiales, ils y sont largement concurrencés par les fibres de carbone et d'aramides. Ils y conservent cependant une place, ainsi que dans l'armement, et se développent dans des applications industrielles performantes (bouteilles de gaz comprimés, porteurs pour câbles optiques, pales de rotor pour hélicoptères, blindages pour véhicules militaires, etc.) ou en remplacement de l'amiante dans les organes antifriction.

#### **f. Verres AR :**

Leur particularité est une teneur élevée en oxyde de zirconium (16 à 20 %). Ils sont dits alcalis-résistants.

Ces verres ont été mis au point pour le renforcement du ciment (les verres précédemment cités étant tous plus ou moins attaqués en milieux basiques). Les verres AR commencent à connaître pour cette application un développement industriel notable.

#### **g. Verre E-CR :**

Comme le verre E, il s'agit d'un verre à base de silicate de calcium et d'alumine, à très faible teneur en oxydes de métaux alcalins ( $Na_2O + K_2O$ ) ; la différence essentielle réside dans l'absence d'oxyde de bore.

Il en résulte des propriétés mécaniques identiques à celles des verres E et des propriétés électriques tout à fait comparables. Par contre, sa résistance aux acides s'en trouve fortement améliorée, ce qui en fait un verre particulièrement adapté aux applications de stratifiés composites nécessitant une bonne résistance à la corrosion sous contrainte dans un environnement acide.

### **2.3. Propriétés de la fibre de verre**

La fibre de verre est intéressante à plus d'un titre. Ainsi elle permet des réductions de poids en améliorant les performances, pour un prix compétitif : on peut en faire une fabrication en séries. Elle permet par exemple un allègement des structures d'environ 30 %

par rapport à l'acier. Parmi les autres propriétés, citons l'inertie chimique, la résistance aux chocs, l'isolation, ...

La mesure des propriétés des fibres de verre de renforcement est un problème assez complexe, qui nécessite quelques commentaires préalables.

**a.** Certaines propriétés, qui ne sont pas mesurables directement sur filaments mais sur le verre en masse, ne prennent pas en compte différentes transformations liées au fibrage et les valeurs trouvées sont donc à considérer comme approchées.

**b.** Certaines caractéristiques, évaluées sur filaments, peuvent varier en fonction du diamètre du filament mesuré.

**c.** Les propriétés peuvent être mesurées à différents stades :

❖ directement à la sortie de l'outil de fibrage (filière) avant ensimage ; c'est ce qu'on appelle propriétés sur les filaments vierges ;

❖ sur des produits intermédiaires ou commerciaux (fils, stratifils, etc.,) ou encore sur des filaments prélevés à partir de ceux-ci ; les valeurs trouvées intègrent alors l'influence de tous les paramètres de production et de manipulation ;

❖ enfin, au niveau de l'usage final, c'est-à-dire sur le composite (en ramenant les valeurs à la seule section de verre concernée) ; dans ce cas, les valeurs trouvées intègrent en plus l'influence des paramètres de moulage et les propriétés de la matrice.

**d.** Les méthodes et les conditions de mesure des propriétés des fibres de faibles diamètres ont une influence beaucoup plus grande sur les résultats que pour les matériaux en masse.

Par conséquent, toute indication chiffrée de caractéristique n'a de valeur que rapportée à un énoncé précis de toutes les conditions opératoires et, bien entendu, les comparaisons n'ont de sens que pour des conditions identiques.

## 2.4. Autres caractéristiques et propriétés de la fibre de verre [11]

### a. Résistance chimique

Grace à la présence de la résine, un composant d'une matière composite résiste à la corrosion chimique. Les résines couramment utilisées, selon l'importance, sont:

- orthophtalique;
- isophtalique;
- vinylester.

Les matériaux composites en fibre de verre, suivant la typologie de résine choisie, peuvent être utilisés pour faire face à plusieurs types d'environnements qui vont des simples agressions de la nature à celles de milieux hautement corrosifs.

#### **b. Résistance mécanique**

Les fibres de verre sont les composants d'une matière composite qui fournissent la résistance mécanique au produit. Les fibres de verre couramment utilisées sont

- ❖ fibres continues unidirectionnelles;
- ❖ matériaux multidirectionnels à fils continus;
- ❖ voiles synthétiques superficiels.

#### **c. Légereté**

Le poids spécifique des composites en fibre de verre (environ  $1,75 \text{ kg/dm}^3$ ) facilite la manutention et l'installation du produit et sollicite moins les structures porteuses.

#### **d. Maintenance réduite**

Grâce aux caractéristiques intrinsèques de la fibre de verre, les matériaux composites n'ont pas besoin de maintenance particulière même après de nombreuses années d'applications extrêmes. Cela aboutit automatiquement dans le temps à une économie financière.

#### **e. Isolation électrique**

La fibre de verre est une matière non-conductrice d'électricité et les matériaux composés obtenus sont donc idéaux dans les applications pour lesquelles l'utilisation de matériaux métalliques nécessiterait une "mise à la terre" coûteuse. Dans certaines applications, le produit doit être conducteur, dans ces cas on utilise alors un additif spécial dans la résine pour donner cette caractéristique au composite.

### **2.5. Procédés d'obtention de la fibre de verre**

**[13]**

#### **2.5.1. Matières premières**

Plusieurs types de compositions verrières sont utilisés comme matières premières, en fonction de l'usage spécifique qu'il sera fait de la fibre. Pour les fibres de renforcement, les principaux verres utilisés sont les suivants :

*Tableau 3 Exemples de compositions verrières pour la fibre de renforcement*

Composition	Verre de type E	Verre de type C	Verre de type AR
SiO <sub>2</sub>	53-55 %	60-65 %	61 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14-15 %	3,5- 6 %	-
CaO	17-23 %	14 %	5 %
MgO	1 %	3 %	-
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,8 %	10 %	17 %
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0-8 %	5 %	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3 %	0,5 %	0,3 %
TiO <sub>2</sub>	0,5 %	-	-
ZrO <sub>2</sub>	-	-	10 %

*Source : « les types de verres » dans la technique de l'ingénieur*

On utilise également le bore pour abaisser la température de fusion et la fluidité du mélange, ce qui améliore le filage.

### 2.5.2. Procédé de fabrication

[12]

Comme toute fabrication de matériau, le procédé de fabrication de la fibre de verre se déroule en cinq étapes principales :

#### a. Affinage à 1 500 °C

La composition est chauffée ; elle devient visqueuse (vers 800 °C), puis liquide, et finalement se vitrifie. À 1 500 °C, elle est homogène, et les dernières bulles et impuretés disparaissent.

#### b. Filage par étirement

Le verre en fusion se transforme en filament en étant étiré à grande vitesse ; la filature des filaments s'apparente en fait à la filature textile classique pour produire un fil. Ce fil de verre se bobine ensuite autour d'une broche.

#### c. Ensimage

L'étirage et le bobinage n'ont pas suffisamment d'effet pour rassembler durablement les centaines de filaments en un fil (le verre est trop lisse pour s'agglomérer). L'ensimage consiste à ajouter un revêtement protecteur pour permettre l'agglomération des filaments et faciliter l'intégration dans les polymères.

**d. Finition**

Les fils sont ensuite bobinés ou coupés selon les finalités.

**e. Séchage**

Les fils sont finalement séchés à des températures 600 à 700°C.

**2.6. Usages****[11]**

La fibre de verre trouve des applications en renforcement, isolation et optique. La première application est de loin la plus importante : la fibre de verre est alors utilisée pour renforcer les bétons ou les polymères en vue de fabriquer des matériaux composites. Ceux-ci sont alors capables de se substituer à l'acier ou au carton. Le matériau composite résultant, connu sous le nom de *Glass-Reinforced Plastic* (GRP) souvent appelé « fibre de verre » en langage courant.

**2.6.1. En renforcement**

Dans la plupart des cas c'est-à-dire 90%, la fibre de verre est utilisée comme armature dans des matériaux composites à résine généralement thermodurcissables, polyester, vinylester ou encore époxy (« fibre de verre époxy »).

Dans ces matériaux, comme pour le béton armé, les deux matériaux se complètent, compensant les faiblesses de l'autre. Les fibres apportent la résistance en traction alors que la matrice leur permet de supporter des charges de compression. On utilise soit le moulage au contact, soit le moulage par compression dans la plupart des cas. Mais avec l'arrivée des nouvelles machines ainsi que des nouvelles normes concernant la santé, des nouveaux moyens de mise en œuvre apparaissent. Dans les deux cas précédent, l'utilisation de moules requiert l'utilisation d'un modèle. Dans le moulage au contact, le tissu (par exemple) de fibre de verre est posé au fond du moule suivi de l'ajout de la résine, puis un rouleau comprime le tout. L'opération est répétée autant de fois que nécessaire pour obtenir l'épaisseur souhaitée. Le moulage par compression utilise un moule et un contre-moule chauffés (pour accélérer la polymérisation). Une presse hydraulique assure une bonne répartition de la résine et des fibres de verre, tout comme leur compression. La fibre de verre est également utilisée dans les techniques de réhabilitation sans tranchées des canalisations (réparation de l'intérieur), où la canalisation existante sert de coffrage à la fibre de verre imprégnée de résine.

### **2.6.2. En isolation**

Depuis la montée en puissance des politiques d'économie énergétique, la fibre, par ses qualités d'isolation, est un partenaire obligé. Pour ce cas, la fabrication est menée par collage des fibres grâce à une résine synthétique. Le produit fini aura la forme de panneaux rigides ou de matelas souples pour protéger murs et plafonds, ou encore la forme de coquilles pour isoler les tuyaux.

### **2.6.3. En optique**

Les fibres de verres, grâce à leur souplesse, leur transparence et leur excellente capacité de transmission de la lumière, sont jointes en faisceau et utilisées comme fibres optiques. L'utilisation est certainement l'endoscopie : un canal permet d'éclairer, par exemple les bronches, tandis qu'un autre canal renvoie la lumière réfléchie sur les bronches au praticien (ou à un support informatique).

### **2.6.4. En télécommunication**

On peut également l'utiliser dans les applications en télécommunications, comme en traduisant le signal utile sans impulsions électriques, mais avec des impulsions lumineuses. Mais les grandes distances exigent une pureté et une résistance mécanique parfaites, sans quoi une grande dispersion de la lumière conduit à une perte du message.

## Chapitre 3 RESINES ET CATALYSEURS

### 3.1. RESINES

[1] et [7]

Afin de répondre aux exigences croissantes en matériaux, l'industrie des matériaux composites ne cesse de rechercher des solutions durables aux propriétés techniques élevées pour des applications de plus en plus exigeantes. Derrière cette volonté d'innovation continue et un large éventail de solutions pour différents procédés d'applications, se trouve la gamme de produits de première qualité de résines polyesters insaturées et de résines vinylesters de DSM Composite Resins .

Assistée par des centres d'excellence dévoués, DSM Composite Resins offre des résines de première qualité pour toutes les méthodes de procédés d'applications.

#### 3.1.1. Caractéristiques de la résine à l'état liquide

[7] et [18]

Tableau 4 caractéristiques de la résine

Propriétés	Unités	Valeurs	Normes
Résistance à la traction	MPa	65	ISO527-1993
Module d'élasticité en traction	MPa	2050	ISO527-1993
Allongement à la rupture	%	3.7	ISO527-1993
Résistance à la flexion	MPa	110	ISO178-2001
Module d'élasticité en flexion	MPa	3800	ISO178-2001
Flèche	mm	6.6	ISO178-2001
Résistance aux chocs	mJ/mm <sup>2</sup>	11	
Dureté		40	ASTM D 2583-87
Absorption d'eau 24h à 23°C	mg/cm <sup>3</sup>	60	ISO/R 62-1980
Tenu en température	°C	104	ISO 75-1993

### 3.1.2. Propriétés mécaniques

Tableau 5 propriétés mécaniques de la résine

Propriétés	Unités	Valeurs	Normes
Viscosité à 25°C	MPa.s	500-700	2460-001
Densité	g/cm <sup>3</sup>	1.08	2100-001
Indice d'acide	mg <sub>KOH</sub> /g	8-16	2000-001
Teneur en styrène	% poids	41-45	2230-001
Point éclair	°C	35	ASTM D 3278-95
Réactivité à 25°C sur 100g + 1% BM50 (PMMEC)			
Temps de gel	minutes	26-32	2160-020
Temps de polymérisation	minutes	38-45	
Pic exothermique	°C	200-220	
Stabilité au stockage	mois	6	G180

Les résines polyesters sont des produits inflammables car elles contiennent du styrène (point éclair = 31°C). Elles peuvent exister sous diverses formes: Préaccélérées, thixotropées, promotorisées, chargées, colorées etc...

Avec les résines on peut fabriqué:

- ❖ les gelcoats ou polyesters de surface qui constituent la partie visible d'un stratifié polyester.
- ❖ Les topcoats sont des gelcoats de finition (contenant de la paraffine) et sont appliqués en dernier.
- ❖ Les colles polyesters (chargées ou fibrées).

### 3.1.3. Les différents types de résines

[7] et [18]

#### a. Résine orthophtalique

Les orthophtaliques sont les plus couramment utilisées, elles sont faciles à mettre en œuvre.

C'est la résine standard pour tout type de pièce, pouvant se travailler au contact ou en projection. Généralement utilisée en version thixotropée accélérée.

Les résines orthophtaliques sont disponibles en 1kg, 5kg, 25kg, 220 kg.

### b. Résine isophthalique

Les ISO offrent une meilleure tenue en milieu humide (bateau) et un meilleur vieillissement. Les isophthaliques ont une tenue à l'eau excellente (sanitaires) ainsi qu'une très bonne stabilité aux ultraviolets.

Résine ayant une bonne résistance mécanique et une bonne tenue à l'hydrolyse, pouvant se travailler au contact ou en projection. Particulièrement recommandée pour la fabrication de piscine ou de coque de bateau. Généralement utilisée en version thixotropée accélérée.

Les résines isophthaliques sont disponibles en 1kg, 5kg, 25kg et 220 kg



Figure 1 résine polyester accélérée en 5kg, 25kg et 220kg

### c. Résine de coulée

Résine utilisée pour la production de béton, de résine notamment dans la fabrication de pièces sanitaires, généralement en version ortho.

Les résines de coulées sont disponibles uniquement en : 220 kg



Figure2: résine de coulée en 220kg

#### **d. Résine vinylester**

Les vinylesters ont une excellente résistance chimique (fabrication des cuves pour le stockage des produits chimiques).

Résine à forte résistance chimique, plusieurs références disponibles : choix selon les contraintes de la pièce ou du chantier.

Les résines vinylesters sont disponibles en 5kg, 25kg et 205 kg

#### **e. Résine époxy**

Résine à forte résistance mécanique et thermique ainsi qu'une bonne résistance chimique.

Utilisée, selon les références, pour :

- ❖ la fabrication de pièces associées à divers renforts ;
- ❖ la réalisation de sols avec ou sans charges ;
- ❖ la réalisation de masse de coulée translucide ou opaque avec ou sans charges.

Les résines époxy sont disponibles en 1.5kg, 7kg, 30kg et 240 kg

#### **3.1.4. Les additifs**

**[16] , [20] et [21]**

Les additifs sont des produits destinés à améliorer les caractéristiques des résines polyesters. Chaque additif a un rôle bien précis et il est important de les incorporer un à un dans la résine sous agitation.

On peut distinguer 2 sortes d'additifs:

##### **a. Les accélérateurs et promoteurs**

L'accélérateur est nécessaire dans tous les cas pour le durcissement de la résine. En trop grande quantité, il provoque un verdissement des gelcoats blancs lors de leur durcissement.

Les promoteurs permettent d'activer le durcissement. L'inhibiteur allonge le temps de gel des résines.

Il existe des additifs permettant de stabiliser la durée de vie des systèmes contenant des promoteurs ou de limiter l'exothermie des résines trop réactives.

##### **b. Les agents améliorant les caractéristiques du produit final**

- ❖ Les anti-mousses : pour évacuer les bulles d'air formées lors de l'agitation ;
- ❖ Le styrène paraffiné : utilisé dans les topcoats ou gelcoats finition afin d'éviter le poissant (collant) ;

- ❖ Agent anti-UV : améliore la stabilité aux rayons du soleil ;
- ❖ Révélateur de catalyse bleu : par décoloration, permet au client de suivre la répartition du catalyseur ;
- ❖ Démouleur interne : additif incorporé dans le gelcoat pour faciliter le démouleur.

### 3.1.5. Les solvants

Les solvants sont des produits très volatiles, c'est-à-dire qu'ils s'évaporent facilement à l'air ambiant. Ils sont surtout inflammables.

Les principaux utilisés sont :

- ❖ le styrène ;
- ❖ l'acétone.

Le plus employé est le styrène qui permet de régler la viscosité et l'extrait sec de notre produit final. Les résines polyesters pures contiennent déjà de 25 à 40% de styrène.

L'acétone est ajouté en complément du styrène dans les gelcoats " pistolet ". Il diminue la viscosité mais ne se retrouve pas dans le produit final (film de gelcoat) car il s'évapore lors de la projection et lors du séchage. Le chlorure de méthylène est utilisé pour le nettoyage de matériel très encrassé (robinet, vannes, pistolet, haut de cuve etc...) car il dissout le polyester.

Les solvants cités ci-dessus font partie de règles très strictes au niveau des précautions à prendre lors de leur utilisation.

### 3.1.6. Les charges

Les charges, ajoutées aux résines polyesters, permettent:

- ❖ d'augmenter la viscosité pour des applications en surfaces verticales ;
- ❖ de diminuer le retrait des résines ;
- ❖ d'améliorer certaines propriétés (abrasion, dureté) ;
- ❖ de diminuer le prix de revient ;
- ❖ d'augmenter la résistance à la combustion (classement feu/fumées).

### 3.1.7. Les pigments

La pâte pigmentaire est obtenue par le broyage de pigments (organiques ou minéraux) dans une résine sans monomères ou styrénée. La concentration des pâtes est déterminée par la quantité de pigment broyé dans la résine.

## 3.2. CATALYSEUR

### 3.2.1. Définitions

[4]

Un catalyseur est une espèce chimique qui permet d'augmenter la vitesse d'une réaction chimique mais qui ne figure pas dans l'équation de la réaction. Une réaction dont la vitesse est contrôlée par la présence d'un catalyseur est dite catalysée.

### 3.2.2. Les différents types de catalyse

[5]

#### a. Catalyse hétérogène

Une catalyse est dite hétérogène si le catalyseur n'appartient pas à la même phase que les réactifs : dans ce cas la réaction se déroule à la surface du catalyseur; elle est d'autant plus rapide que la surface de contact du catalyseur avec les réactifs est importante.

Lorsque le catalyseur est solide et les réactifs gazeux ou en solution aqueuse, on parle de catalyse hétérogène.

Exemple : la catalyse hétérogène de la décomposition de l'eau oxygénée par le platine. Dans l'industrie pour augmenter la surface du catalyseur, on l'utilise sous forme très divisée ( poudre, mousse, fils très fins, ... ) le platine solide catalyse la dismutation du peroxyde d'hydrogène en solution aqueuse. Il s'agit d'une catalyse hétérogène.

En catalyse hétérogène, la surface du catalyseur en contact avec les réactifs joue un rôle essentiel, car c'est au niveau de cette surface que les entités chimiques vont interagir. La surface en contact avec les réactifs est appelée surface active. En catalyse hétérogène, l'efficacité d'un catalyseur est d'autant plus grande que sa surface active est élevée. Pour augmenter la surface d'un catalyseur, on l'utilise souvent sous une forme très divisée: poudre, mousse ou fils très fins tissés sous forme de toile.

#### b. Catalyse homogène

Une catalyse est dite homogène si le catalyseur appartient à la même phase que les réactifs. Dans ce cas la réaction se déroule dans tout le volume occupé par le système ; elle est d'autant plus rapide que la concentration en catalyseur est élevée

Exemple : la catalyse de décomposition de l'eau oxygénée par les ions fer (III),  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ . La réaction de dismutation d' $\text{H}_2\text{O}_2$  en solution aqueuse est catalysée par les ions fer (III) en solution aqueuse. Il s'agit d'une catalyse homogène. La vitesse de réaction augmente quand la concentration en catalyseur croît.

### c. Catalyse enzymatique

Une catalyse est dite enzymatique si le catalyseur est une enzyme. Une enzyme est le plus souvent une protéine, c'est à dire une molécule constituée d'un enchaînement d'acides aminés : les enzymes présentent des cavités, appelées sites actifs dans lesquels les réactifs se fixent pour réagir.

La catalyse enzymatique est d'autant plus efficace que le nombre de sites actifs est élevé.

Exemple : la catalyse enzymatique de décomposition de l'eau oxygénée par la catalase, enzyme présente dans le sang et contenant des sites actifs où l'espèce active est le fer sous forme d'ions.

Les enzymes sont des catalyseurs très puissants, que l'on trouve dans les milieux biologiques.

### 3.2.3. Caractéristiques générales de la catalyse [4]

#### a. Quantité utile de catalyseur

Le catalyseur n'apparaît pas dans l'équation de la réaction qu'il catalyse. Il participe à la réaction mais n'est pas consommé. Il suffit donc d'une petite quantité de catalyseur pour transformer une grande quantité de réactifs.

#### b. Spécificité d'un catalyseur

Un catalyseur donné ne catalyse pas n'importe quel type de réaction. On dit qu'un catalyseur est spécifique d'un type de réaction.

Les enzymes ont une action doublement spécifique:

- ❖ elles ne catalysent qu'un seul type de réaction;
- ❖ elles sont spécifiques d'un réactif donné (le substrat).

La chaîne moléculaire d'une enzyme est repliée sur elle-même selon une géométrie bien précise. Cette forme intervient dans l'acte catalytique en ménageant une région particulière de l'enzyme où se déroule la réaction: le site actif. Le substrat ne se fixe dans le site actif que si sa forme s'adapte parfaitement à celle du site actif, ce qui permet d'interpréter la spécificité observée.

### c. Influence sur l'état d'équilibre

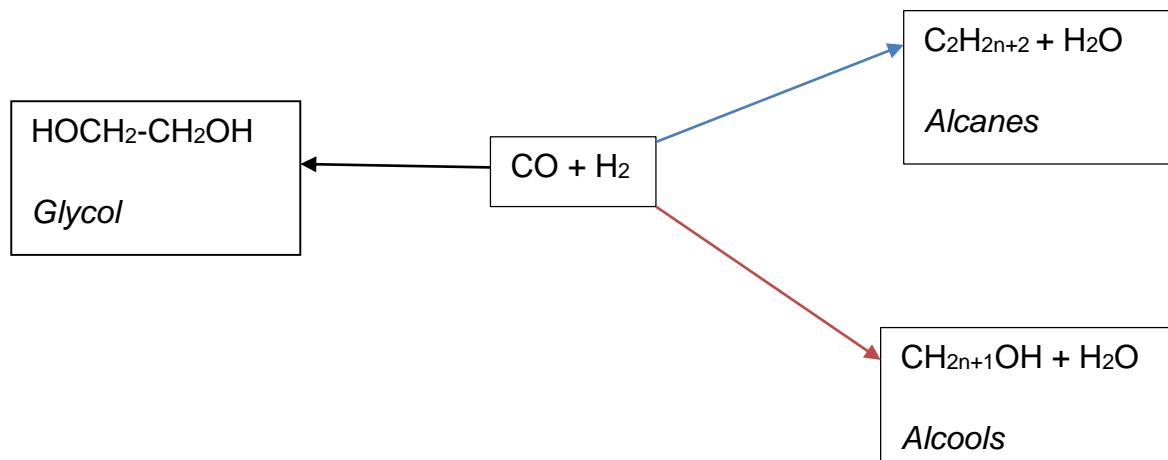
Lorsqu'une transformation conduit à un état d'équilibre, le catalyseur accélère de la même façon les réactions directe et inverse. Il ne modifie donc pas l'état d'équilibre du système.

#### 3.2.4. Sélectivité des catalyseurs

[5]

La sélectivité d'un catalyseur est la propriété qui traduit son aptitude à orienter l'évolution du système lorsque plusieurs réactions sont possibles : par un choix judicieux du catalyseur, le chimiste peut donc décider de la nature de la transformation qui va faire évoluer un système.

La figure ci-contre montre 3 évolutions possibles du système chimique  $(CO(g) + H_2(g))$  en présence de divers catalyseurs.



La sélectivité d'un catalyseur est la propriété qui traduit son aptitude à orienter l'évolution du système lorsque plusieurs réactions sont possibles : par un choix judicieux du catalyseur, le chimiste peut donc décider de la nature de la transformation qui va faire évoluer un système.

Un catalyseur est sélectif : son action est spécifique, ce qui signifie qu'il accélère préférentiellement une des réactions possibles au détriment des autres.

Un catalyseur est dite sélectif si son action est spécifique, ce qui signifie qu'il accélère préférentiellement une des réactions possibles au détriment des autres.

Il est très rare que la transformation d'un système chimique puisse être décrite par une réaction chimique unique. Lorsque plusieurs réactions ont lieu simultanément, un catalyseur

peut accroître la vitesse de l'une d'entre elles de façon sélective. Quand plusieurs réactions ont lieu simultanément, la sélectivité d'un catalyseur traduit son aptitude à privilégier une réaction donnée en augmentant sa vitesse.

**Remarque** concernant l'importance de la sélectivité d'un catalyseur

- ❖ Dans l'industrie la sélectivité permet d'augmenter l'éventail des produits d'une transformation ;
- ❖ En biologie, les enzymes sont des catalyseurs très sélectifs en raison de leurs structures spatiales: seuls des réactifs de forme adaptée pourront se fixer sur le site actif d'une enzyme donnée pour réagir, ce qui explique la sélectivité des enzymes.

### 3.2.5. Importance économique de la catalyse [3]

La plupart des procédés de synthèse industriels utilisent des catalyseurs. En augmentant la vitesse des réactions et en minimisant l'importance des réactions secondaires indésirables, l'utilisation d'un catalyseur permet d'abaisser les coûts de production.

### 3.2.6. Mode d'action d'un catalyseur

Contrairement aux deux facteurs cinétiques température et concentration qui agissent sur la probabilité de chocs efficaces entre entités réactives, le catalyseur est un facteur cinétique qui modifie le mécanisme réactionnel de la réaction, c'est à dire la nature des étapes permettant de passer des réactifs aux produits, en les rendant plus rapides.

### 3.2.7. Exemple de catalyseurs

Ils sont indispensables au durcissement des résines polyester et vinylester, gelcoats, colles polyester et apprêt polyester.

- ❖ peroxyde de méthylethylcétone

Conditionnement: disponible en 30ml, 125ml, 250ml, 500 ml ou en 1kg, 5kg et 30 kg.

- ❖ peroxyde d'acéthylacétone : disponible en 30 kg
- ❖ Peroxyde de méthyléthyle-cétone
- ❖ Peroxyde de méthylisobutyl-cétone
- ❖ Peroxyde de cyclohexanone
- ❖ Hydroperoxyde de cumène
- ❖ Peroxyde de benzoyle
- ❖ Peroctoate de butyle tertiaire

❖ Perbenzoate de butyle tertiaire



Figure 3 : quantité de catalyseurs selon ses conditionnements

## Chapitre 4 LE GELCOAT

### 4.1. Définitions

[6]

Les gelcoats sont des résines spéciales teintées, destinée à apporter l'étanchéité et l'esthétique aux pièces moulées et aux revêtements stratifiés. Un gelcoat (manteau de gel) est un matériau à base de résine thermodurcissable, utilisé pour fournir une haute finition de la surface visible d'un matériau composite souvent composé de fibres variées.

### 4.2. Caractérisation

Ils sont à base de résines polyester non saturées. Ils ne contiennent pas de paraffine et durcissent sous forme de surfaces totalement non adhérentes.

#### a. Propriétés et Avantages

[8]

*Tableau 6 propriété et avantage du gelcoat*

Propriétés	Avantages
Résine de base isophthalique	Excellent résistance à l'hydrolyse
Sans charge	Excellent brillance initiale et rétention de brillance
Produit phare dans la Marine	Sécurité des performances à long terme

#### b. Variantes

Le gelcoat est également disponible en version de finition sous la référence **CRYSTIC TOPCOAT 65 PA X.**

#### c. Formulation

Le gelcoat doit pouvoir atteindre la température ambiante (18-20°C) avant d'être mis en œuvre.

Le produit ne nécessite que l'ajout du catalyseur pour commencer sa polymérisation. Nous conseillons l'utilisation d'un catalyseur de type M (ou de type Butanox M50). Le taux de catalyseur conseillé est de 2% en poids.

#### d. Temps de gel

La quantité de catalyseur et la température contrôlent le temps de gel. A 20°C, le temps de gel pour 100 parties de gelcoat et de 2 parties de catalyseur M est de 9 à 11 minutes.

### e. Caractéristiques

#### ➤ A l'état liquide

Tableau 7 caractéristique du gelcoat à l'état liquide

Viscosité à 25°C	350 – 600 dPa
Densité à 25°C	1.15 – 1.35
Stabilité à l'abri de la lumière à 20°C	3 mois

#### ➤ A l'état polymérisé, résine de base

Tableau 8 caractéristique du gelcoat à l'état polymérisé

Température de déformation	75°C
Allongement à la rupture	3%
Résistance à la traction	75MPa

### f. Emballage

Le gelcoat est livré en *bidons de 25 kg* net et en fûts à ouverture totale non consignés de 200 kg net.

### g. Hygiène et sécurité

Les mesures de protection les plus importantes sont :

- stockage convenable ;
- bonne rotation des stocks ;
- ventilation des locaux adaptée
- extraction locale lorsque la concentration des vapeurs est élevée ;
- bon entretien des locaux ;
- utilisation de masque si projection ou travail en espace confiné ou renfermé ;
- personnel informé et compétent.

### h. Points à surveiller

Au-dessus d'un certain niveau, les vapeurs de solvants ou de monomère peuvent présenter des risques pour la santé et pour la sécurité. Pour la sécurité les risques principaux sont le feu et l'explosion. Pour la santé les risques viennent de l'accumulation de vapeurs dans les ateliers lorsque celle-ci dépasse les valeurs limites d'exposition.

Les symptômes d'une surexposition aux vapeurs sont :

- gorge sèche et irritée

- toux
- maux de tête
- somnolence

Les gelcoats, comme leurs émanations, peuvent créer des irritations de la peau chez les personnes sensibles.

#### 4.3. Application

[6] et [8]

Utilisé comme gelcoat (résine à couche fine, vernis d'apprêt) et topcoat (couche d'apprêt, vernis final), ce produit convient aux résines polyester et particulièrement aux résines époxy pour les stratifiés.

Nos gelcoats ne conviennent que dans une certaine mesure à des applications exigeant une résistance de plusieurs années aux intempéries ou soumises à une charge d'eau permanente. Le gelcoat UP T3 PU sans couche de vernis finale ne se prête pas à une application extérieure. La coloration de nos gelcoats est réalisée au moyen de pâtes de couleurs polyester que l'on trouve dans le commerce.

#### 4.4. Stockage

[10]

Les gelcoats UP type SF 30, T 30, T 35 et T3 PU sont livrés à l'état préaccéléré. Les gelcoats, durcisseurs et diluants peuvent être stockés:

- ❖ à une température en-dessous de + 10° C: environ 6 mois
- ❖ à des températures plus de 10 à 20° C: pendant 3 à 4 mois.

Les gelcoats sont également livrables avec une formulation pour climat tropical (non accéléré), ce qui augmente la durée de stockage d'environ 6 mois pour des températures de 20 à 30 °C. Avant la mise en œuvre du gelcoat 'tropicalisé', il faut y ajouter un accélérateur au cobalt.

#### 4.5. Mise en œuvre

[6]

Il est recommandé d'appliquer les gelcoats au jet (pistolet à air, buse 2 - 3 mm, pression 3 - 5 bar, ou Airless avec buse et pression en fonction de la taille de l'objet). L'enduction au moyen d'un pinceau ou d'un rouleau/d'une raclette est également possible. La formule thixotropique des gelcoats permet l'application d'une couche humide (épaisseur environ 0,5 mm) sur des surfaces verticales.

Les températures optimales de mise en œuvre se situent entre 20 et 25 °C. Des températures inférieures entraînent une forte augmentation de la viscosité (mise en œuvre plus

difficile) et des températures supérieures réduisent le temps d'utilisation (à 30 °C, le temps d'utilisation est diminué de moitié).

Le temps d'évaporation entre les différentes projections est estimé de 5 à 10 minutes. Si la couche inférieure commence à gélifier, il y a risque de « formation de peau d'éléphant », c'est-à-dire la couche gélifiante est attaquée par le styrène de la nouvelle couche appliquée. La couche inférieure gonfle, et est détruite de manière irréparable.

**Remarque :**

- ❖ **Temps d'utilisation:** environ 30 à 45 minutes (100 g à 20 °C sans ajout de diluant) ;
- ❖ **Temps de gélification:** environ 100 à 150 minutes (selon la température et l'épaisseur de couche) ;
- ❖ **Non adhésion:** après environ 2 à 4 heures ;
- ❖ **Charge admissible:** après 5 à 6 heures (charge légère) durcissement complet à température ambiante après 2 à 3 jours.

#### 4.5.1. Mélanges

##### a. Pour des applications standard

Pour l'application standard, les mélanges doivent respecter les proportions comme suit :

- ❖ 100 parts de poids de gelcoat UP type SF 30, T 30, T 35, T 3 PU
- ❖ 10 parts de poids de durcisseur SF 10
- ❖ Allant jusqu'à 10 parts de poids de diluant SF (utiliser toujours la quantité minimale de diluant possible).

**Important :**

La formule thixotrope des gelcoats permet d'appliquer des couches humides d'une épaisseur maximum de 0,5 mm sur des surfaces verticales. Il peut s'avérer nécessaire d'appliquer les gelcoats en plusieurs opérations.

L'épaisseur maximale de la couche par opération ne doit pas dépasser 0,1 mm. Entre les différentes opérations, il faut observer un temps d'évaporation suffisamment long (environ 5 à 10 minutes) afin d'assurer que les solvants peuvent s'échapper entièrement de la couche appliquée avant la gélification.

##### b. Pour des couches plus épaisses (par exemple scellement de fissures)

Dans ce cas, les proportions des mélanges sont :

- ❖ 100 parts de poids de gelcoat UP type SF 30, T 30, T 35, T 3 PU
- ❖ 1,5 - 2 parts de poids de durcisseur SF 2

- ❖ jusqu'à 5 parts de poids de diluant SF (travailler toujours sans diluant, si possible).

#### **4.5.2. Application en tant que topcoat**

Les gelcoats UP type SF 30, T 30 et T 35 conviennent comme topcoat (couche d'apprêt, vernis de couchage) pour les stratifiés en polyester et en époxy.

Lors de l'application de gelcoat sur de la résine époxy, celle-ci doit être complètement durcie. Le cas échéant, il peut se présenter des groupes d'amines encore libres qui retardent ou empêchent le procédé de durcissement. Pour obtenir une bonne adhérence, le support doit être sec, propre et légèrement poncé.

Pour éviter des transitions lors du vernissage, la surface doit être poncée avec du papier-émeri de granulation 240 ou supérieure. Pour les réfections, il faut toujours appliquer la même charge de gelcoat afin d'éviter des variations de teinte. Dans le cas d'une nouvelle enduction de gelcoat sur une surface de gelcoat durcie (thermotraitée), on distinguera une légère variation de teinte après le durcissement initial. Cette variation de teinte disparaîtra automatiquement après le durcissement complet de la dernière couche appliquée.

Pour des travaux de retouche mineurs, on appliquera la méthode de travail suivante: ajouter 10% de solvant et 10% de durcisseur au gelcoat UP et mélanger le tout. En complément, diluer avec environ 10 à 30% d'acétone ou d'acétate d'éthyle (les solvants doivent être chimiquement purs). Ce mélange très liquide peut ensuite être appliqué au moyen d'une buse fine (0,5 à 0,8 mm). Important: les solvants rajoutés doivent s'évaporer de la couche appliquée avant la gélification.

Ensuite, on procédera à l'application des couches consécutives « humide sur humide ». Le temps d'utilisation peut être rallongé d'environ 50 à 60 minutes en ajoutant un supplément de 10 à 30% de solvant. Avant le polissage, il est nécessaire d'effectuer un ponçage humide avec du papier-émeri de granulation 1000 ou, mieux encore, de 2000.

Après avoir étudié les matériaux utilisées, on va voir la suite comment obtenir des pièces à partir de la technologie de mise en œuvre de la stratification.

**PARTIE II :**

**ETUDES EXPERIMENTALES**

## Chapitre 5 LES DIFFERENTS ESSAIS REALISES AU LABORATOIRE

On a réalisée plusieurs types d'essais pour l'échantillon de la stratification au sein du laboratoire du bloc technique d'Ankatso, dont :

- ❖ Essai de traction : pour déterminer les contraintes de rupture lors des tractions ;
- ❖ Essai au choc : permet de savoir les contraintes minimales pour briser la pièce ;
- ❖ Essai de compression : permet de savoir la résistance et la dureté de la pièce.

### 5.1. Essai de traction :

L'appareil utilisé lors de cet essai est un dispositif calibré à 12000daN comprenant :

- ❖ *Tableau d'affichage des valeurs*



Figure 4 : tableau des valeurs des contraintes

- ❖ *Les ports de fixations d'échantillon*



Figure 5 : fixation de l'échantillon



Figure 6:vue d'ensemble de l'appareil

Dans cet essai, l'appareil utilisé est calibré à 12000daN.

### 5.1.1. Manipulation

La pièce d'essai a pour dimension :

- ❖ Longueur : 12cm
- ❖ Largeur : 3cm

La pièce est fixée de part et d'autre de ses deux extrémités afin d'éviter sa mobilité lors de la réalisation de l'essai.

Elle est placée entre deux pistons qui servent à tirer la pièce jusqu'à sa rupture.

Lors du démarrage de l'appareil, les deux pistons tire la pièce et provoque l'allongement et ne rompt qu'à une certaine valeur indiquée par l'aiguille du tableau d'affichage de la valeur correspondante.

Dans cet essai on refait trois fois dont la première et la deuxième ont les même dimensions (épaisseur = 3.5mm) mais la troisième diffère par son épaisseur (épaisseur=3.2mm).

### 5.1.2. Résultats et constatation

Après avoir effectué la première et le deuxième essai, on observe que l'aiguille indique les mêmes valeurs des contraintes  $\sigma = 880$  daN.

Pour la troisième, l'aiguille montre que sa contrainte est de  $\sigma = 760$  daN, on observe une légère diminution de la valeur de la contrainte.

### 5.1.3. Interprétation

Lors de l'essai de traction les pièces de même dimension ont les mêmes contraintes observes, tandis que des pièces qui ont des épaisseurs différents ont des contraintes différentes.

### 5.1.4. Conclusion

On peut en déduire que les contraintes des pièces en traction diffère par leur épaisseur (même longueur, même largeur).

## 5.2. Essai au choc

Dans cet essai on utilise un appareil calibré à 30 daN comprenant :

- ❖ *Un gros marteau*

Il est en contact direct avec la surface de l'échantillon, cela permet de le casser.



Figure 7: gros marteau

- ❖ *Un tableau de valeur*

Ce tableau indique la valeur de la contrainte de l'échantillon pour chaque essai;



Figure 8 : tableau des valeurs

- ❖ *Un emplacement de la pièce.*



*Figure 9 : emplacement de l'échantillon*

- ❖ *Ensemble de l'appareil*



*Figure 10: appareil entier*

La pièce d'essai a pour dimension :

- ❖ Longueur : 12cm
- ❖ Largeur : 3cm

### 5.2.1. Manipulation

La pièce est placée sur un plateau de fonte dur et lourde qui sert à supporter le choc et être utilisé comme appui de la pièce puis on met en marche l'appareil.

### 5.2.2. Résultats et constatation

Après avoir fait la manipulation, l'aiguille montre que la pièce est cassée à une valeur de la contrainte  $\sigma = 1\text{daN}$ .

### 5.2.3. Interprétation

Lors de l'essai au choc, les pièces doivent être rigides et dur sur les faces, dans le but de déterminer sa dureté et sa résistance lors du contact avec l'extérieur.

### 5.2.4. Conclusion

Le gelcoat est la couche qui supporte mieux le choc venant de l'extérieur grâce à sa bonne résistance.

### 5.3. Essai de compression

L'essai consiste à comprimer la pièce entre un piston (mobile) et un plateau immobile (fixe). L'appareil utilisé est calibré à 12000 daN.

On a utilisé un appareil comprenant :

- ❖ Le plateau où on met la pièce ;



Figure 11 : plateau

- ❖ Un piston qui comprime la pièce.



Figure 12: le piston

### 5.3.1. Manipulation

La pièce d'essai a pour dimension :

- ❖ Longueur 4cm ;
- ❖ Largeur 4cm ;
- ❖ Epaisseur 3.5mm.

La pièce a été placée sur le plateau, sans fixation. Démarrer l'appareil et le piston commence à comprimer.

### 5.3.2. Résultats et constatation

Dans le tableau de valeur, on observe que l'aiguille ne cesse de se déplacer en atteignant le fond du calibre, alors que l'appareil tourne encore.

### 5.3.3. Interprétation

Etant donné que la pièce à pour épaisseur initiale  $e_i = 3.5\text{mm}$ , après sa compression son épaisseur finale devient  $e_f = 3\text{mm}$ .

On voit que la pièce est légèrement comprimée avec un rétrécissement de 0.5mm, sans oublier que l'appareil tourne encore.

### 5.3.4. Conclusion

On peut dire que l'appareil de compression calibrée à 12000daN ne peut pas définir la valeur de la compression de cette pièce d'essai car sa résistance est largement supérieure à la valeur calibrée.

## 5.4. Propriété du composite

La distance entre les appuis, qui est aussi la distance entre les lattes, est de l'ordre de 12cm.

### 5.4.1. Résultats de l'essai 1, de l'essai 2, de l'essai 3 :

#### a. Essai 1 :

Nous présentons les résultats de l'essai de flexion de trois échantillons dans le tableau suivant pour la recherche du taux de renfort maximal.

Tableau 9 Résultats de l'essai de flexion de l'échantillon 1

Eprouvette	Essai	Charge de rupture [N]	Contrainte à la rupture en flexion [MPa]	Flèche [mm]
C <sub>1</sub> 4/11	N° 1	70	7	
	N°2	30	3	
	N°3	120	12	
	Moyenne	73	7,3	
C <sub>1</sub> 11/18	N° 1	90	9	12
	N°2	90	9	12
	N°3	90	9	13
	Moyenne	90	9	12,3
C <sub>1</sub> 18/25	N° 1	140	14	13,5
	N°2	130	13	14
	N°3	120	12	13
	Moyenne	130	13	13,5

Source : Auteur

### b. Essai 2 :

On essaiera de déterminer le temps optimum pour la pression.

Tableau 10 Résultats de l'essai de flexion de l'échantillon 2

Eprouvette	Essai	Charge de rupture [N]	Contrainte à la rupture en flexion [MPa]	Flèche [mm]
1h	Min	100	10	12
	Max	120	12	12
2h	Min	125	12,5	14
	Max	135	13,5	15
3h	Min	120	12	16
	Max	125	12,5	14

Source : Auteur

**c. Essai 3 :**

Nous obtenons le tableau suivant illustrant les résultats de l'essai 3

*Tableau 11 Résultats de l'essai de flexion pour l'échantillon 3*

Eprouvette	Essai	Charge de rupture [N]	Contrainte à la rupture en flexion [Mpa]	Flèche [mm]
C <sub>2</sub> 5/10	N° 1	100	10	11
	N°2	115	11,5	11
	N°3	120	12	12
	Moyenne	111,7	11,2	11,3
C <sub>2</sub> 10/15	N° 1	105	10,5	12
	N°2	130	13	10
	N°3	145	14,5	9
	Moyenne	126,7	12,8	10,3

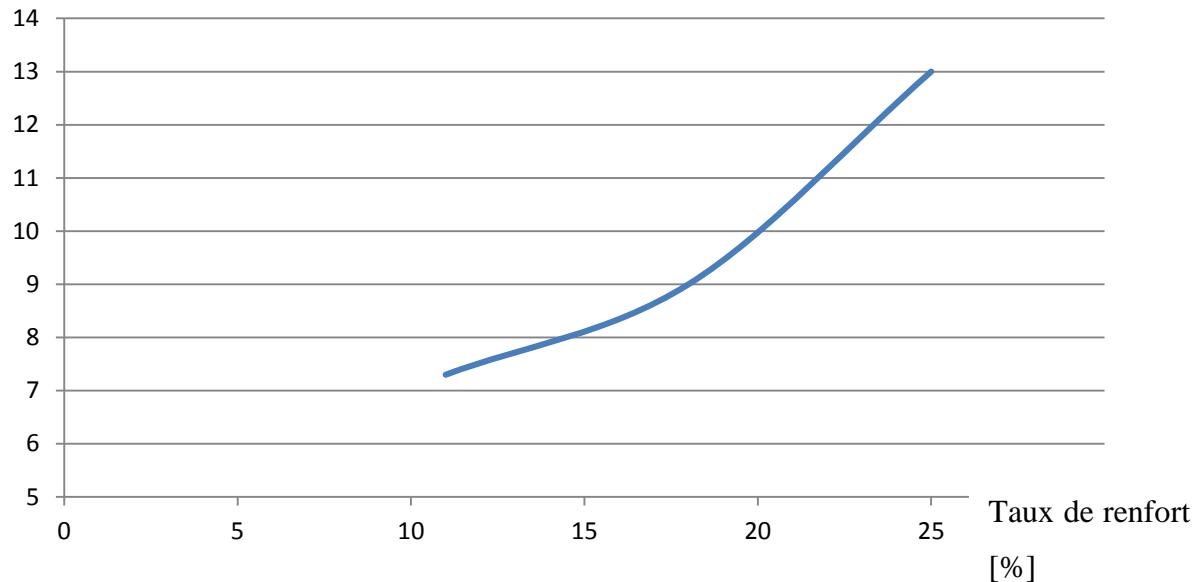
*Source : Auteur*

**5.4.2. Interprétation des résultats :**

Pour mieux expliciter les résultats , on commencera par tracer des courbes exprimant la moyenne des contraintes à la ruptures pour les essais 1 et les essais 3, et les contraintes à la rupture minimale pour les essai 2.

### a. Essai 1

Contraintes à la rupture [MPa]



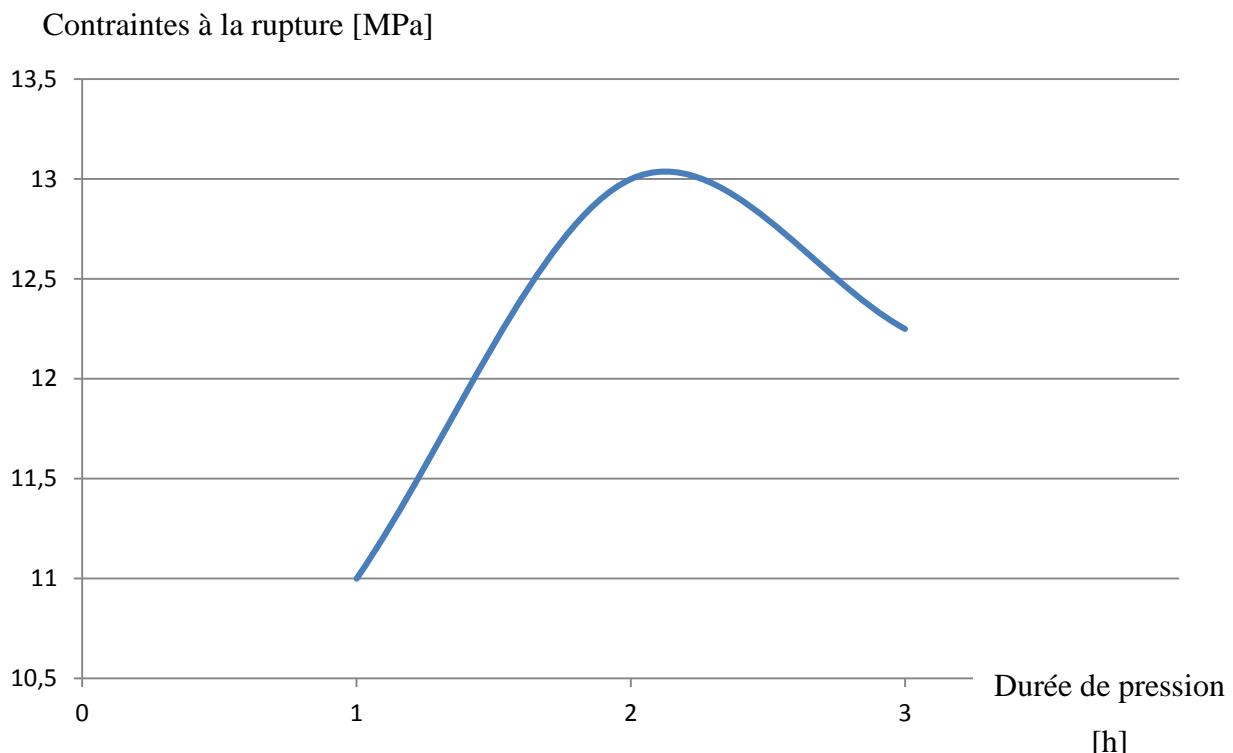
*Courbe 1: influence du taux de renfort sur les contraintes à la rupture*

La présente courbe nous indique que l'augmentation de la contrainte de flexion est proportionnelle au taux de renfort. En effet, l'essai de flexion qui est encore un essai de traction par flexion soumet les fibres en traction, les fibres qui possèdent une résistance en traction élevée.

Ce qui nous montre que l'éprouvette C<sub>1</sub> 18/25 présente le meilleur résultat pour un taux de charge compris entre 18 et 25 % en volume.

**b. Essai 2 :**

A partir des valeurs ci-dessus, nous obtenons la courbe :

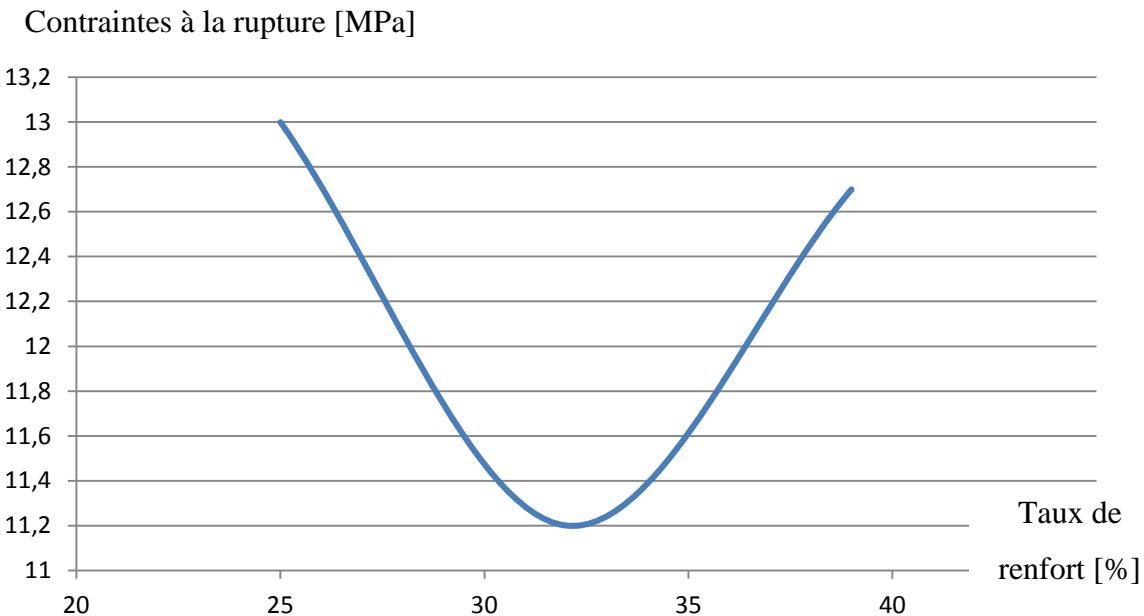


*Courbe 2:influence de la durée de pression sur la contrainte à la rupture*

La courbe présente une valeur maximale pour deux heures de pression. Comme on le sait, la réaction de polymérisation de la résine polyester se traduit par une forte exothermie. Et des essais menés ont montré que c'est environ au bout de ces deux heures que le composite achève sa gélification caractérisée par la fin de l'exothermie.

**c. Essai 3 :**

Etudions maintenant l'effet de l'ajout de charge sur le comportement du composite en flexion.



*Courbe 3:influence du taux de charge sur la contrainte à la rupture*

D'un point de vue général, l'ajout de charge diminue un peu la contrainte à la rupture en flexion. On pourrait expliquer cela par le fait de remplacer une certaine quantité de la résine par la charge à savoir le sable siliceux. En prenant par exemple, le cas C<sub>2</sub> 10/15, la différence, du point de vue de la contrainte, entre le composite non chargé et chargé est assez faible puisqu'elle est de l'ordre de 2%.

## 5.5. Choix de la formulation pour la réalisation de la coque composite

Les essais 1et 3 nous amènent donc à conclure que la formulation optimale pour la mise en œuvre de la coque composite est C<sub>2</sub> 10/15 à savoir :

$$18 < v_f < 25$$

$$15 < v_c < 20$$

### 5.5.1. Essais mécaniques pour la formulation optimale

#### a. Essais au choc par méthode de Charpy :

La dimension des éprouvettes pour les essais a été de 6cm× 3cm ×0,6cm. On a réalisé 3 essais pour chaque formulation. On obtient alors les résultats suivants :

Tableau 12 résultats de l'essai de résilience

Formulation	Résilience K $10^4[\text{J/m}^2]$
$C_1 18/25$	4,44
	3,88
	4,44
$C_2 15/20$	4,44
	3,33
	4,44

Source : Auteur

En utilisant les valeurs minimales de la résilience, soit  $3,88\text{J/m}^2$  pour  $C_1 18/25$  et  $3,33\text{J/m}^2$  pour  $C_2 15/20$ , on a essayé de rechercher des correspondances entre ces valeurs :

Tableau 13 recherche de la vitesse et de la masse pour la rupture au choc

	$C_1 18/25$	$C_2 15/20$
Section d'une coque	0,0476	
Travail pour la rupture [J]	1847	1585

Source : Auteur

### b. Tests d'usinabilité :

L'usinabilité concerne le perçage, l'ébavurage, et le sciage.

Les tests réalisées ont montré que les composites à formulation  $C_{18/25}$  et  $C_{15/20}$  sont usinables.

#### 5.5.2. Caractéristiques physiques de la coque

##### a. Etat de surface

Les surfaces sont brillantes et leurs états de rugosités dépendent entièrement de l'état du moule.

##### b. Masse volumique

Elle s'obtient par l'application de formule suivante :

$$\rho_{comp} = \frac{m_{comp}}{V_{comp}}$$

Pour déterminer la masse volumique, on utilisera alors les deux éprouvettes  $C_1$  18/25 et  $C_2$  15/20.

Notons que le volume des éprouvettes (2 éprouvettes) est de :

$$V_{\text{comp}} = 60 \text{ mL}$$

Nous obtenons alors les deux tableaux suivants :

Tableau 14 Masse volumique pour  $C_1$  18/25

Echantillon	Masse [g]	Masse volumique [g/cm <sup>3</sup> ]
N°1	74	1,23
N°2	69	1,15
N°3	71	1,18

Source : Auteur

La masse volumique pour  $C_1$  18/25 est de :

$$\rho_{\text{comp}} = 1,19 \text{ g/cm}^3$$

Tableau 15 Masse volumique pour  $C_2$  15/20

Echantillon	Masse [g]	Masse volumique [g/cm <sup>3</sup> ]
N°1	83	1,38
N°2	92	1,53
N°3	95	1,58

Source : Auteur

Pour  $C_2$  15/20, la masse volumique est de :

$$\rho_{\text{comp}} = 1,50 \text{ g/cm}^3$$

c. Propriétés électriques :

Les deux formulations  $C_1$  18/25 et  $C_2$  15/20 sont des isolants électriques.

## 5.6. Expression de taux de renfort

Le taux de renforts permet de savoir le pourcentage des fibres utilisé lors de la conception de la pièce. Il peut être déterminé à partir de deux paramètres : la masse et le volume.

### 5.6.1. Taux de renfort volumique :

Supposons que le composite ne présente aucun vide ou sans porosité, on définit le taux de renfort volumique par la formule suivante :

$$\tau_f + \tau_m + \tau_{ch} = 1$$

Où :

$$\tau_f = \frac{V_f}{V_{comp}}$$

Mais encore :

$$\tau_f = \frac{\frac{m_f}{\rho_f}}{\frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_m}{\rho_m} + \frac{m_{ch}}{\rho_{ch}}}$$

$\tau_i$  : teneur volumique :  $\tau_f$  : du fibre ,  $\tau_m$  : de la matrice ,  $\tau_{ch}$  :de la charge

$\rho_i$  : masse volumique :  $\rho_f$  : du fibre ;  $\rho_m$  : de la matrice ;  $\rho_{ch}$  :de la charge

$m_i$ : masse :  $m_f$  : du fibre ;  $m_m$  : de la matrice ;  $m_{ch}$  :de la charge

$V_i$  : volume :  $V_f$  : du fibre ,  $V_m$  :de la matrice ,  $V_{ch}$  :de la charge ,  $V_{comp}$  :du composite

Avec :

$$V_{comp} = V_f + V_m + V_{ch}$$

$$m_{comp} = m_f + m_m + m_{ch}$$

### 5.6.2. Taux de renfort massique :

Le taux de renfort massique  $\Gamma_f$  peut être défini par la relation suivante :

$$\Gamma_f = \frac{V_f \cdot \rho_f}{\rho_f \cdot V_f + \rho_m \cdot V_m + \rho_{ch} \cdot V_{ch}}$$

Et :

$$\Gamma_f + \Gamma_m + \Gamma_{ch} = 1$$

### 5.6.3. La relation entre taux de renfort volumique et massique :

D'après la définition :

$$\tau_f = \frac{\frac{m_f}{\rho_f}}{\frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_m}{\rho_m} + \frac{m_{ch}}{\rho_{ch}}}$$

Et

$$\Gamma_f = \frac{V_f \cdot \rho_f}{\rho_f \cdot V_f + \rho_m \cdot V_m + \rho_{ch} \cdot V_{ch}}$$

$$\frac{\tau_f}{\Gamma_f} = \frac{\frac{V_f}{V_{comp}}}{\frac{V_f \cdot \rho_f}{V_{comp} \cdot \rho_{comp}}}$$

$$\frac{\tau_f}{\Gamma_f} = \frac{\rho_{comp}}{\rho_f}$$

On arrive à :

$$\boxed{\Gamma_f = \frac{\rho_f}{\rho_{comp}} \cdot \tau_f}$$

$\Gamma_f$  : exprimé en %

$\tau_f$  : exprimé en %

Selon cette formule, on peut déduire que la masse de renfort dépend du volume de la pièce à concevoir. On peut trouver l'épaisseur de la couche à partir du volume de renfort.

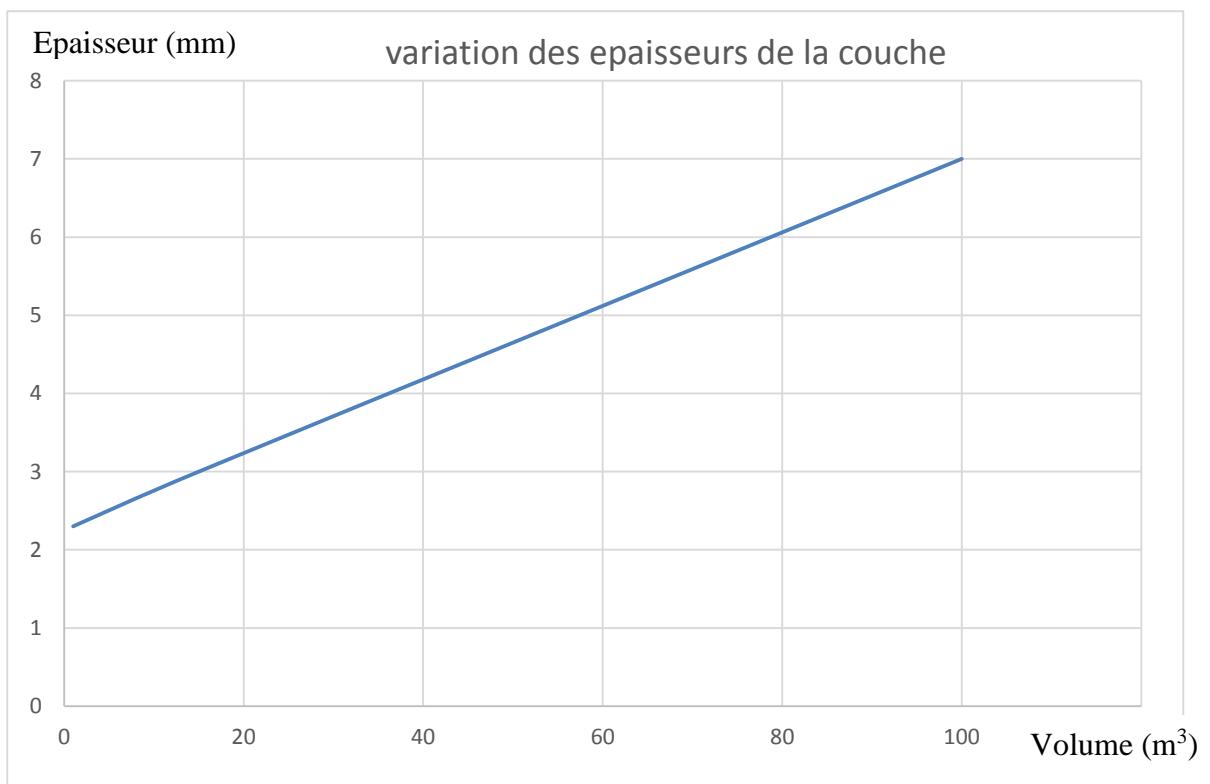
Voici quelques exemples de dimension de la pièce.

*Tableau 16 correspondance entre volume et épaisseur de la couche*

Dimension(m)	L=10	l=5	h=2	L=5	l=3	h=1	L=2	l=1	h=0.5
Volume (m <sup>3</sup> )	100			15			1		
Epaisseur de la couche (mm)		7			3			2	

*Source : Auteur*

A partir de ce tableau, on trace la courbe de variation de l'épaisseur de la couche en fonction de son volume.



*Courbe 4 variation des épaisseurs de la couche en fonction du volume*

## 5.7. Etude hydrostatique

Le but de cette étude est de déterminer l'expression de la pression hydrostatique exercée sur les surfaces de la pièce.

### a. Résultante des pressions sur des surfaces planes

Dans le cas d'une surface plane quelconque, horizontale, verticale ou inclinée dont une des faces est dans un liquide, l'autre face étant soumis à la pression atmosphérique, il existe une résultante des pressions élémentaires, que l'on désigne par poussée totale ; elle est normale à la surface et à la valeur :

$$p = \rho_e \times d \times S$$

$\rho_e$  : masse volumique de l'eau

S : aire de la surface plane

d : distance du centre de gravité de la section à la surface libre

Autrement dit, la poussée totale est égale au produit de la surface par la pression au centre de gravité de la section.

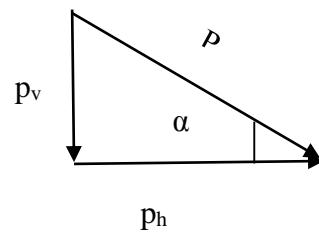
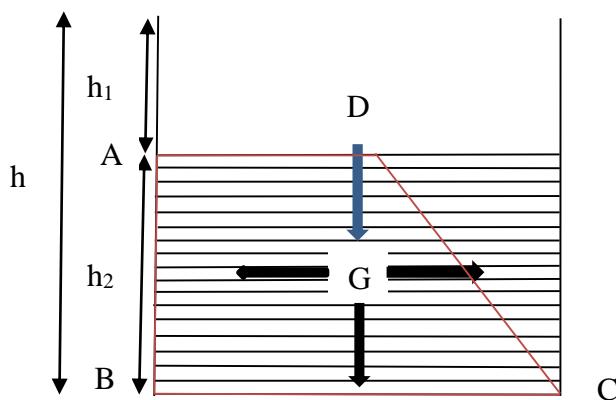
Dans le cas de la surface plane inclinée on peut écrire :

$$p = \rho_e \times d \times S \cos \alpha$$

$\alpha$  est l'angle du plan avec la verticale

### b. Résultante des pressions sur les surfaces rectangulaires ayant deux cotés horizontaux

Pour le cas des surfaces rectangulaires verticales avec deux cotés horizontaux, la distribution des pressions peut être représentée graphiquement comme suit :



$$p (p_h; p_v)$$

$p_h$  : composante horizontale ;

$p_v$  : composante verticale

$$p^2 = p_h^2 + p_v^2$$

Avec  $p_h = p \cos \alpha$

$$p_v = p \sin \alpha$$

Si la surface rectangulaire est inclinée d'un angle  $\alpha$  par rapport à la verticale, la résultante  $p$  est représenté par l'aire du trapèze ABCD.

La résultante des pressions sur une tranche de largeur unitaire est donnée par :

$$p = [(G\sigma_e/2) \times (h_2^2 - h_1^2)]$$

Avec  $h_2$ : hauteur de la partie immergée

$h_1$  : hauteur de la surface qui n'est pas en contact avec l'eau

$h$  : hauteur totale

D'après la formule, on constate que la pression sur les faces rectangulaires avec deux cotés horizontaux dépend de la variation de la profondeur.

Détermination de la pression

Dans le cas général :  $p = G\sigma_e \times h$

$$p=f(h), G\sigma_e = 1000 \text{ kg/m}^3$$

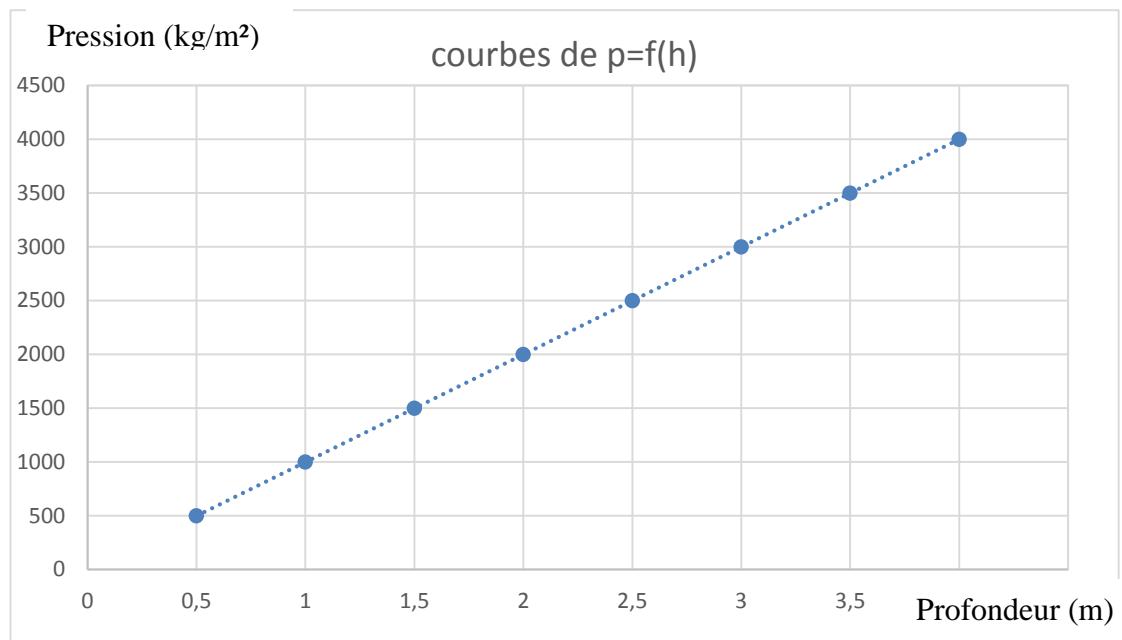
On va varier la profondeur de 0.5m à 4m, et on prélève les valeurs de la pression à tous les 0.5m.

*Tableau 17 relation entre profondeur et pression*

Profondeur $h(m)$	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
Pression ( $\text{kg/m}^2$ )	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000

D'après ce tableau on peut constater que, plus la pièce est profonde, plus la pression augmente.

La courbe suivante montre la variation de la pression en fonction de la profondeur.



*Courbe 5: proportion entre pression et profondeur*

PARTIE III :  
ETUDE TECHNIQUE

## Chapitre 6 LA STRATIFICATION

Pour la technologie de mise en œuvre, nous suggérons une stratification comme méthode de fabrication d'une coque de piscine en polyester.

### 6.1. Définition de la stratification

[9]

La stratification est le procédé de base de construction ou de réparation navale. Elle s'effectue généralement par couches de fibres de verre tissées ou imprégnées de résine. Ces couches de fibres constituent des strates d'où le nom de stratification.

La stratification est efficace pour effectuer des opérations telles que : rehausser un tableau arrière, réparer une partie endommagée de la coque, construire une structure supplémentaire à bord du bateau. C'est une opération facile à réaliser.

Avant toutes choses, il est nécessaire de savoir quelques matériels et matériaux utilisés pour la stratification.

### 6.2. Les matériels utilisés pour la stratification

[9] et [23]

#### 6.2.1. Le gelcoateuse

C'est un pistolet qui sert à épandre le gelcoat, et les stratifils (résine et fibre projetées en même temps) dans toute la surface nécessaire de la moule pour obtenir la pièce à fabriquer.

#### 6.2.2. Les ébulleurs

Ce sont des outils à rouleau manuel qui a pour rôle d'enlever les bulles d'air dans les strates (pour éviter la porosité des couches), afin d'obtenir une bonne adhérence entre deux couches successives.

##### a. Rouleau enducteurs

- ❖ Manchon patte de lapin clipsable :



Figure 13 : poils ras en 110 mm, référence 105



Figure 14 : poils long en 110 mm, référence 101

- ❖ Monture radiateur clipsable : manche plastique.



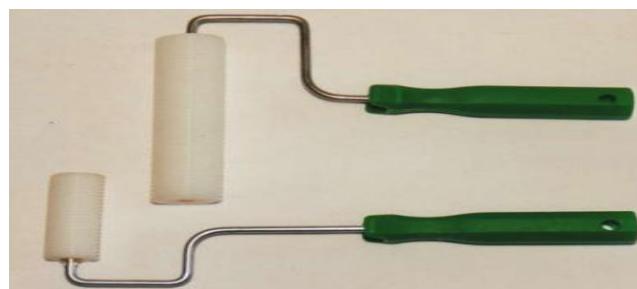
*Figure 15 : monture radiateur clipsable*

En 110mm :

Longueur 40cm – Référence 110

Longueur 24cm – Référence 24078

#### b. Rouleaux debulleurs



*Figure 16 : debulleur polypropylène à manche plastique*



*Figure 17 : debulleur rondelles métalliques à manche plastique*



*Figure 18 : debulleur ressort à manche en bois*

Le debulleur ressort à manche en bois est préconisé pour les pièces de forme concave ou convexe.

### 6.2.3. Doseur du catalyseur

[21]

Ce sont des matériels qui a pour but de préciser le dosage des catalyseurs utilisés.



Figure 19: Eprouvette 500ml , Référence DSW 0.5

### 6.2.4. Pinceau

Référence 1561 - Manche mince bois naturel, soie pure, qualité standard

Disponible en 20, 30, 40, 50, 60, 70 et 80mm

### 6.2.5. Chiffon

C'est un matériel qui sert à nettoyer la moule ou la pièce en cours de fabrication.

#### a. Chiffon de LUSTRAGE RESTISOFT

Référence 11401

Pour moule ou pièce.

Chiffon antistatique, ne peluche pas.



Figure 20: chiffon d'essuyage

**b. Disque de polissage***Figure 21: disque de polissage*

Un disque à véritable peau mouton avec lien de serrage :

- Diamètre 130 - Référence DP15,
- Diamètre 180 - Référence DP18,
- Diamètre 200 - Référence DP20.

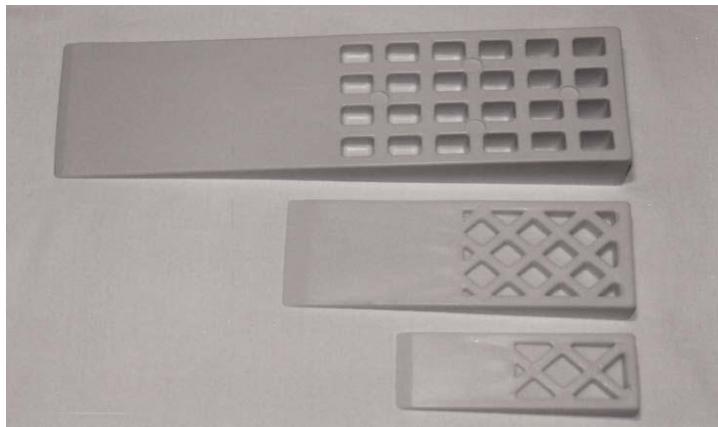
**6.2.6. Papier abrasifs**

Il sert à gratter les bavures après chaque couche (fibre + résine) jusqu'à obtenir une surface lisse pour permettre la bonne cohésion entre la dernière couche et la couche suivante.

*Figure 22: Les rouleaux de papier à découper*

### 6.2.7. Les cales

❖ Cale à démouler : dure blanche



Grande 25 x 8cm

Moyenne 14,5 x 5,7cm

Petite 10 x 4cm

Figure 23: types de cales à démouler

❖ Cales de mastiquage

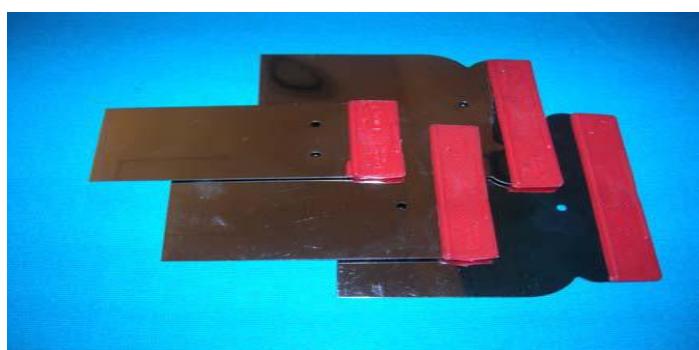


Figure 24: cale à 4 lames inox

### 6.3. Matériels de sécurité individuels

[22]

Lors de la phase de mise en œuvre, il est nécessaire de sécurisé et de protéger notre corps, cela nécessite le port des matériels individuels.

#### 6.3.1. Combinaison polypropylène Référence PO106

Avec cagoule - Serrages élastiques aux poignets, à la taille et aux chevilles. Fermeture à glissière. Taille S, M, L, XL, XXL

Le polypropylène est un matériau léger et solide. En été, elle peut être utilisée pour diminuer le phénomène de transpiration.

### 6.3.2. Lunettes Masque

Référence LULASCAR



Figure 25 : lunette masque

Les lunettes masque LASCAR sont à ventilation indirecte obturable. La monture souple est en PVC, et sa large visière est à effet anti-reflet. L'écran polycarbonate, panoramique est adapté au port de lunettes de vue et au demi-masque respiratoire (protection à 99.9% des UV).

### 6.3.3. Masque MOLDEX Référence M621

Les masques filtrants doivent être utilisés pour protéger leur utilisateur des particules solides, des fumées et des aérosols dont la phase liquide est l'eau et l'huile. Ces masques répondent aux exigences du test de charge de 120mg pour les aérosols solides et liquides (brouillards d'huile).



Figure 26: masque moldex

### 6.3.4. Demi-masque à CARTOUCHE Référence MRC1C

Demi-masque nu en caoutchouc avec lanières élastiques, prévu pour 2 galettes filtrantes vendues séparément



Figure 27 : Demi-masque à cartouche

### 6.3.5. Les gants

- Référence 921 - Gant latex bleu clair sur support jersey, longueur 30cm.



Figure 28 : Référence 921

- Référence 1370 - Boîte de 100 gants vinyle poudré



Figure 29 : gants de référence

## 6.4. Les matériaux utilisés pour la stratification [20] et [23]

### 6.4.1. Résine

**Pour le résine on distingue deux types :**

- Polyesters
- Vinylesters

### 6.4.2. Gelcoats

Il y a plusieurs types de gelcoats pour la stratification, à savoir : gelcoat isophtalique, gelcoat orthophtalique, gelcoat iso/ortho, gelcoat vinyylester, gelcoat ponçable, gelcoat pour moule.

### 6.4.3. Fibre de verre

Pour le cas des fibres, on peut citer :

- mat de verre,
- tissu de verre,
- voile ;
- roving

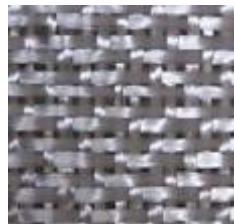


Figure 30 roving



Figure 31 mat de verre

### 6.4.4. La cire

Elle assure le non adhérence de la moule et de la pièce autrement dit facilite le démoulage.



Figure 32 : Cire finish KARE, boîte de 412 g avec tampon applicateur

#### 6.4.5. Les catalyseurs

[3]

Le catalyseur (ou durcisseur) est indispensable à la résine polyester pour polymériser (ou durcir). Le pourcentage recommandé à incorporer dans la résine doit être respecté pour réaliser un travail dans de bonnes conditions et obtenir des pièces convenables.

##### Rappels de sécurité

- Le catalyseur est un produit qu'il faut manipuler avec précaution.
- Ne pas fumer en présence de catalyseur, résines polyesters et tout produits associés.
- Ne jamais mélanger directement le catalyseur avec l'accélérateur sous peine de réaction violente.
- Si possible stocker les quantités nécessaires à la réalisation de ou des pièces mais ne pas stocker le catalyseur en trop grande quantité. Ne jamais verser du catalyseur non utilisé dans son emballage d'origine. Ne prendre que la quantité nécessaire.
- Ne pas transférer le catalyseur dans n'importe quel récipient (pas de métal). Utiliser des récipients en polypropylène ou polyéthylène.
- Porter des lunettes pour éviter les projections dans les yeux et des gants pour éviter tout contact avec la peau. (se reporter aux fiches de données de sécurité des produits pour plus de renseignements).
- Le catalyseur doit être utilisé sans être diluer ;
- Le stockage du catalyseur se fait à température inférieure ou égale à la température recommandée par le fabricant, à l'abri des sources de chaleur et du soleil.

Le taux ou pourcentage de catalyseur peut varier de 1 à 3%. Le tableau ci-dessous montre les correspondances en volume.

*Tableau 18 poids de résine et ses taux de catalyseurs respectifs à ajouter*

Poids de résine						
Volume de catalyseur à ajouter (ml)	50g	100g	250g	500g	1kg	5kg
1%	0.5	1	2.5	5	10	50
2%	1	2	5	10	20	100
3%	1.5	3	7.5	15	30	150

Source : Madagascar Chimie Industrie

Parmi les catalyseurs, on distingue :

- Le peroxyde de méthylethylcétone (PMEC)

Conditionnement : disponible en 30 ml, 125 ml, 250ml, 500 ml, 1kg, 5kg, 30 kg ;

- Le peroxyde d'acethylacetone

Conditionnement : uniquement en 30 kg

## 6.5. La présentation du gelcoat

[8]

Le gelcoat est la partie visible, colorée et lisse du stratifié. Il est toujours appliqué en premier dans un moule à l'aide d'un pinceau, d'un rouleau ou au pistolet à gravité. Le gelcoat est formulé à base de résine polyester additionnée de pigments et de divers produits qui définissent les propriétés telles que ; le temps de gel, le temps de séchage mais aussi le démoulage ou la résistance aux ultra-violets.

Pour assurer une protection optimum du stratifié contre l'usure et les intempéries, la couche de gelcoat doit avoir une épaisseur de 500 à 600  $\mu$  (possibilité de contrôler cette épaisseur grâce aux jauge d'épaisseur pour film humide). Une épaisseur trop faible ne permet pas une bonne polymérisation du gelcoat et forme une protection trop fine du stratifié (notamment si la pièce est en contact de l'eau). Une épaisseur trop importante peut occasionner des fissurations ou porosités.

Les gelcoats pinceaux peuvent être dilués avec du styrène pour être appliqués au pistolet. Cependant, il existe des versions prêtes à l'emploi qui n'ont pas besoin d'être diluées. (Attention : ces versions « pistolet » ne peuvent pas être appliquées au pinceau).

Les gelcoats durcissent à l'aide d'un catalyseur PMEC (peroxyde de méthyle éthyle cétone) à raison de 2%. Le respect des quantités est important car un taux trop faible de catalyseur peut entraîner une sous polymérisation et favoriser l'apparition de frisures (peau de crocodile). Trop de catalyseur réduit le temps de travail et, au-delà de 4%, on risque également des problèmes de polymérisation. La température idéale de travail se situe entre 15 et 20°C. En dessous de 15°C, le froid ralenti la polymérisation. Au-dessus de 20°C, le temps de travail est nettement diminué. Pour que le gelcoat polymérisé convenablement, l'idéal est de travailler dans une ambiance peu humide, aérée et ventilée. La durée de conservation des gelcoats est de 3 mois mais peut être prolongée si les bidons sont stockés convenablement.

### Conditions de stockage

Les bidons contenant du gelcoat doivent être bien refermés après utilisation pour éviter toute évaporation des solvants. Le stockage idéal se fait à température inférieure à 25°C à l'écart des sources de chaleur et du soleil.

Les gelcoats polyesters sont soumis à la réglementation en vigueur pour les produits inflammables.

## 6.6. Le topcoat ou gelcoat finition [6] et [8]

Comme leur nom l'indique, ils sont appliqués par-dessus le stratifié (en dernier). Ce sont des gelcoats qui contiennent de la paraffine pour éliminer le « poissant » lors du séchage. Le topcoat imperméabilise le stratifié. Cette technique de finition est très répandue dans la fabrication des piscines, des bassins, des planchers de camions et autres diverses applications. Le topcoat se travaille comme les gelcoats.

## 6.7. Le stratifié [9]

Plusieurs techniques de moulage sont connues en fonction du nombre de pièces à produire et de la taille de celles-ci.

Le moulage au contact est la technique la plus répandue et la moins onéreuse (moins couteuse).

Cependant, d'autres techniques industrielles sont indissociables aujourd'hui de la production de certaines pièces :

- ❖ Infusion sous vide
- ❖ Enroulement filamentaire
- ❖ Pultrusion
- ❖ Compression

La réalisation du stratifié consiste à appliquer simultanément des couches de résine polyester et de fibre de verre que l'on appelle « mat ». Pour des pièces demandant des caractéristiques chimiques et mécaniques plus importantes, on utilisera d'autres résines (vinylester, époxy) et des tissus roving ou des complexe (alternance de mat et de tissus roving).

Le mat se présente sous forme de rouleau. Il existe différents grammages en commençant par le voile de surface qui est principalement utilisé pour obtenir des pièces sans marquage de fibre et surtout pour éviter d'avoir des bulles derrière le gelcoat. Ensuite il y a le mat 100g/m<sup>2</sup>, 300g/m<sup>2</sup>, 450g/m<sup>2</sup> et 600g/m<sup>2</sup>. Les plus utilisés sont les mats 300 et 450g/m<sup>2</sup>.

Le mat est un agglomérat de fibres de verre coupées qui sont assemblées entre elles sans orientation particulière par un liant émulsion.

La résine polyester dissout ce liant permettant aux fibres d'épouser parfaitement la forme du moule. Lorsque le liant est une poudre, c'est pour des applications particulières de type résistance chimique ou résistance à l'osmose et pour les pièces translucides.

Le roving est deux fois plus résistant en traction et en flexion. Existe en grammage  $300\text{g/m}^2$  et  $500\text{g/m}^2$ , il se présente sous forme de rouleau. Il faut alterner un mat entre deux roving pour éviter le délamination.

Pour la réalisation d'un stratifié on suit la procédure suivante

### 5.7.1. Préparation du mat

Découper à l'aide d'un cutter ou de ciseaux les différentes couches de mat qui vont être appliquées en fonction des dimensions de la pièce. On commencera toujours par le mat le plus fin pour finir par le mat le plus épais.

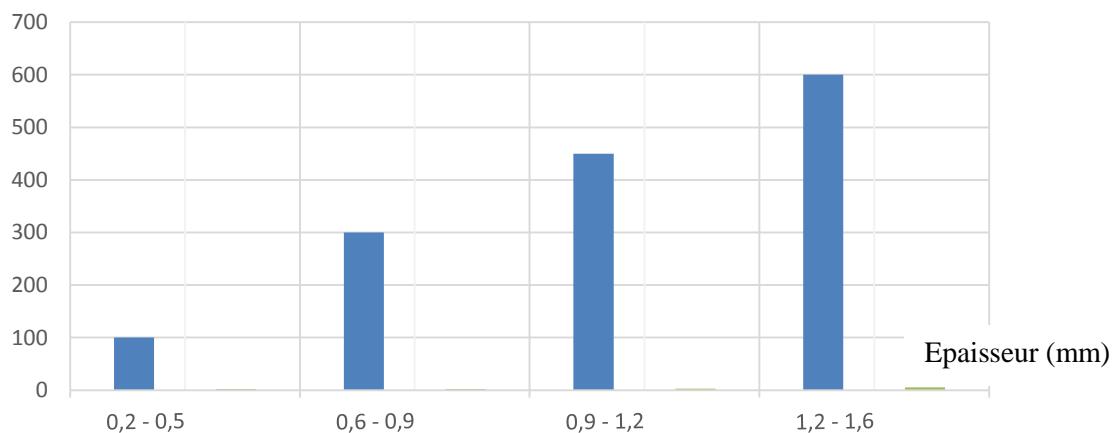
Pour déterminer l'épaisseur finale de votre pièce, voici un petit tableau récapitulatif et très utile

*Tableau 19 grammage de fibre et épaisseur respectifs obtenus*

Grammage	$100\text{g/m}^2$	$300\text{g/m}^2$	$450\text{g/m}^2$	$600\text{g/m}^2$
Epaisseur d'une couche verre + résine	0.2 à 0.5mm	0.6 à 0.9mm	0.9 à 1.2mm	1.2 à 1.6mm

*Source : Auteur*

Grammage ( $\text{g/m}^2$ ) variation des épaisseurs selon les grammages



*Diagramme 3: histogramme des grammages et leurs épaisseurs respectifs*

### 5.7.2. Préparation de la résine polyester

La résine polyester doit être à température entre 15 et 20°C. Il est préférable de mélanger la résine avant utilisation (à l'aide d'un mélangeur manuel).

Il est inutile de préparer trop de résine à la fois car le temps de travail est relativement cours et, avant d'avoir acquis une certaine expérience, il est préférable de procéder par étape.

La quantité idéale à préparer en résine est de 2kg ce qui correspond environ à une surface de 1 à 1.5m<sup>2</sup> à imprégner. La règle générale pour la préparation de la résine consiste à peser le mat et de multiplier par 2.5 , pour avoir le poids de résine.

Exemple :

Le poids de mat est de 0.900kg, le poids de résine à préparer sera de :  $0.9 \times 2.5 = 2.25\text{kg}$ .

Pour les grandes pièces, le poids total de mat indique la quantité totale de résine qu'il faut prévoir à l'achat. La préparation de la résine avec le catalyseur se fait ensuite par petite quantité comme expliqué précédemment.

Pour la préparation de la résine, nous fournissons des récipients de diverses contenances en polypropylène (pots à anse, cuvettes, seaux etc...) permettant ainsi un dosage précis.

La résine est catalysée avec un catalyseur de type PMEC comme pour le gelcoat. Le taux de catalyseur conseillé est de 2% mais peut varier de 1 à 3% en fonction des conditions d'utilisation. Ne jamais faire un faible dosage ni de forte dosage de catalyseur sur une résine, car cela entraîne des problèmes de polymérisation.

Le dosage du catalyseur se fait à l'aide d'une éprouvette graduée ou d'un doseur manuel très pratique et sécurisant, car il évite les projections de catalyseur grâce à son couvercle .

Verser le catalyseur dans la résine et mélanger à l'aide d'un mélangeur manuel (il faudra ensuite plonger ce mélangeur manuel dans de l'acétone pour le nettoyer). Mélanger pendant une bonne minute. La résine change légèrement de couleur.

### 5.7.3. Stratification

[23]

Appliquer une couche de résine à l'aide d'un pinceau ou d'un rouleau directement sur le gelcoat. Mettre le mat le plus fin (un voile de surface est recommandé), lorsque l'on recherche à faire une pièce de belle aspect, sans marquage de fibre, imprégner le mat suivit de résine et débudder. Le débudding consiste à chasser l'air du stratifié à l'aide d'un rouleau débudder. Il en existe plusieurs sortes adaptées à chaque type de pièce (voir rouleaux débudders). Le débudding permet également de consolider les couches de mat entre elles. Un bon débudding permet de dissoudre le liant et de rendre

translucide la couche de mat. On peut ainsi vérifier en croisant les passages du rouleau débulleur qu'il ne reste pas d'air dans le stratifié.

Opérer de la même manière pour toutes les couches du stratifié. Chaque couche doit être imprégnée de résine et débullée.

Si la pièce possède des angles, il est préférable de « casser » le mat ou de préparer des bandes de mat qui formeront cet angle. En effet, si l'angle est trop marqué, il sera difficile d'enlever l'air piégé sous le mat. Si des bandelettes sont découpées, les possibilités d'évacuer l'air sont ainsi plus nombreuses.

## Chapitre 7 FABRICATION D'UNE COQUE DE PISCINE EN POLYESTER

### 7.1.Les différents types de structure de piscine [21] ; [A] et [B]

On peut maintenant concevoir une piscine avec différents matériaux, tel que le bois, le polyester ainsi que le béton. On peut obtenir divers avantages pour chaque modèle, mais chacun possède également leurs méthodes d'installation, de montage et d'entretien également. Donc, afin de bien faire son choix sur le produit, il faut avant tout bien comprendre et connaître tous les avantages et inconvénients que peuvent procurer chaque type de structure.

#### 7.1.1. La structure en bois

Les modèles de piscine en bois sont toujours disponibles en kit, c'est-à-dire, qu'on peut surtout découvrir comme piscine hors-sol ou encore à moitié enterrée. Comme on le connaît avec le bois, ce genre de piscine peut donc être facilement démontable, et ne nécessite pas de permis de construire. Toutefois, il est toujours utile de faire un dépôt de déclaration pour les travaux que vous allez entreprendre pour son installation, surtout si ses dimensions dépassent les 1 m en hauteur et les 20 m<sup>2</sup> en surface.

Lorsque vous vous procurer d'une piscine en bois, il y a des éléments qui sont directement accessibles avec, afin que vous puissiez bien faire votre achat, vous pouvez retrouver avec, des rails, qui sont utiles pour la descente et la montée dans la piscine, les panneaux et les supports nécessaires pour bien maintenir la stabilité, le réseau de filtration, le liner pour l'étanchéité, un pack d'entretien...

Pour les modèles de piscine hors sol en bois, on peut les découvrir sous plusieurs formes, rectangulaires ou encore octogonales. Le modèle rectangulaire peut être accessible jusqu'à 10 mètres de long, tout en étant bien renforcé, et celui en octogonale peut atteindre jusqu'à 8 mètres de diamètre.

Une piscine en bois peut atteindre une profondeur maximale de 1m30. La longévité de votre piscine en bois peut dépendre avant tout de votre assiduité à souvent l'entretenir, et peut aussi dépendre du type de bois choisi pour la conception de votre piscine.

#### 7.1.2. La structure en béton

Avant de choisir ce genre de structure, il faut tout de suite se mettre en tête qu'installer une piscine en béton nécessite une installation fixe, donc, le modèle de piscine nécessite bien un permis de construire. Vous devriez également faire une déclaration de construction si votre piscine dépasse les dimensions normales, celui d'avoir plus d'un mètre de hauteur et 20m<sup>2</sup> de surface.

La conception en béton par contre et facilement personnalisable, grâce au maçonnerie, que vous pouvez réaliser plusieurs aspects décoratifs de votre piscine. Vous pouvez également obtenir une bonne capacité d'étanchéité venant de la part du produit, car en étant bien bitumé comme il faut, il ne laisse aucune surface perméable. Il ne faut non plus oublier que son installation nécessite les services d'un professionnel, afin qu'il puisse s'installer correctement et pour qu'il ne puisse connaître des défauts de conception.

### 7.1.3. La structure en polyester

[E]

Tout comme sa voisine en béton, la piscine en coque n'est non plus un modèle démontable, mais s'installe d'une manière fixe. Donc, pour pouvoir l'installer comme il faut chez vous, il vous faut vous procurer d'un permis de construire afin de pouvoir dérouler vos travaux comme il faut.

Quand on entend surtout parler de piscine en coque polyester, on fait directement référence à une piscine en fibre de verre et résine fabriquée en usine. La coque qui représente le bassin est composée de mousse sur laquelle se reposent la fibre de verre et la résine. Ce type de piscine peut également être renforcé par des supports, des poteaux rigides pour offrir à cette dernière une bonne stabilité d'installation. Afin de bien rendre solide et personnaliser cette structure, vous pouvez lui appliquer du gelcoat, cela vous aidera à bien préserver sa longévité. Son installation peut également comprendre quelques travaux d'aménagement, pour qu'aucun accès à votre propriété ne soit éliminé.

Pour notre étude, on s'intéresse sur la structure en polyester. La piscine a, pour dimension, 15m de longueur, 3m de largeur, 2.5m de profondeur.

### 7.2. Les étapes de fabrication d'une coque en polyester

[9] , [23];[C],[F]

Derrière l'appellation « coque polyester » se cachent en réalité différents processus de fabrication qui vont déterminer la qualité et la solidité réelle de la coque. Or, en fonction des fabricants, les procédés utilisés pour fabriquer une coque peuvent être très variables. C'est pourquoi la meilleure façon d'acheter une coque de qualité reste de s'intéresser de près à la façon dont elle est fabriquée.

Tout au long de la fabrication de la coque, on n'utilise que des matériaux nobles de grande qualité tels que de la résine polyester et isophthalique. La technique de la piscine coque permet de mettre en place votre piscine bien plus rapidement que lors d'une construction bétonnée.

Dans un premier temps, voyons les étapes de la fabrication d'une piscine coque bien construite.

Le revêtement composites plus communément appelé polyester est la mise en commun d'une résine (polyester), et d'un renfort (mat de verre, roving), afin d'obtenir un produit fini d'une grande résistance mécanique et chimique. Le revêtement composites ou revêtement polyester est certainement le plus valable des systèmes pour étanchéifier une piscine ; il offre beaucoup d'avantages par rapport aux autres systèmes : facile à réparer, facile à entretenir, insensible à la plupart des produits d'entretien, résistant dans le temps....

Ce système comporte la réalisation d'une membrane semi - adhérente à l'intérieur de la piscine. La membrane qui est composée de résine polyester isophthalique armé avec de la fibre de verre. L'imperméabilisation est réalisée avec une ou deux ou plus couches de gelcoat.

### 7.2.1. Le moule

[N] , [G]

#### a. La fabrication du moule

[20] et [21]

Le tableau suivant donne les matériaux utilisés et leurs applications respectifs pour la fabrication d'un moule :

*Tableau 1 les types de matériaux et ses applications respectives*

Gamme	Application
Gelcoats	
Gelcoat-Moule Pistolable	2 couches
Gelcoat-Moule Pinceau	2 couches
Résine de stratification	
Mat Emulsion CSM 150 g/m <sup>2</sup>	1 couche, laissé polymériser pendant une nuit
Renforts	
Mat Emulsion CSM 300 g/m <sup>2</sup>	6 couches
Mat Emulsion CSM 450 g/m <sup>2</sup>	4 couches
Agent démouleur	
Cire	5-7 couches

*Source : Auteur*

**b. Exemple de fabrications d'une moule****[O]**❖ Etape 1

Avant de commencer, assurez-vous que la température du gelcoat, des outils et de la zone de travail se trouve entre 15 et 25°C (dans l'idéal à 21 °C). Préparer le modèle en y appliquant de la cire en suivant la procédure recommandée par le fournisseur d'agent de démoulage. Appliquer le gelcoat en deux couches d'une épaisseur de 600 et de 800 microns (500 microns au minimum pour la première couche). On peut appliquer les gelcoats au pinceau ou au pistolet mais ils doivent être catalysés par 2% de PMEC.



Figure 33 applications de la couche de gelcoat avec un pinceau

❖ Etape 2

Après que le gelcoat a suffisamment durci, l'étape suivante consiste à appliquer la résine, catalysée à 2% de PMEC. Cette couche de gelcoat sera suivie par une couche de tissu. Il faut faire attention à ne pas piéger de l'air. Renforcer avec six couches de fibre 300 g/m<sup>2</sup> ou bien quatre couches de 450 g/m<sup>2</sup> imprégnées de résine de traitement. Faire attention à ce qu'il n'y ait aucune bulle d'air, particulièrement dans les premières couches.



Figure 34: pose des mats 300g/m<sup>2</sup>

❖ Etape 3

Le matériau stratifié deviendra blanc en atteignant son pic exotherme, après quoi il se refroidira de nouveau. Appliquer ensuite quatre couches de 450 g/m<sup>2</sup>, mouillé sur mouillé (ou bien 6 couches de 300 g/m<sup>2</sup>). Consolider minutieusement entre les couches. Si nécessaire, continuer à superposer les couches de 4 x 450 g/m<sup>2</sup> (ou de 5 mm) jusqu'à avoir obtenu l'épaisseur requise. Celle-ci dépend des exigences spécifiques du moule et de ce qu'on en attend pendant la durée de son utilisation.



Figure 35: pose des roving 450g/m<sup>2</sup>

❖ Etape 4

Dégager précautionneusement le moule après l'avoir laissé refroidir à température ambiante. Une fois que le moule est complètement durci, il faut le polir à l'aide d'un bon produit de polissage.

Après l'avoir enduit, cirer le moule avec un agent de démoulage semi-permanent.

**c. Précautions à prendre pour la réalisation de la moule**

**[H]**

Choses à faire pour fabriquer le moule parfait :

- bien remuer le gelcoat et les résines avant l'emploi ;
- utiliser 2% de PMEC pour les enduits vinylesters gélifiés pour éviter une sous-catalyse ;
- appliquer le gelcoat de 200 à 300 microns si un pistolet est utilisé, attendre deux minutes pour que l'air s'échappe avant d'appliquer une seconde couche ;
- vérifier que l'épaisseur de la couche de gelcoat est bien uniforme.

**7.2.2. Etapes de fabrication d'une coque en polyester** **[C] , [J],[K]**

La procédure à suivre pour la stratification d'une coque de piscine en polyester.

### a. Etape 1 - Revêtement de la piscine

Le gelcoat est une résine colorée. La projection du gelcoat est réalisée grâce à un « gelcoateuse » ou au pinceau.

### b. Etape 2 - Application de la résine

Découpe et pose du premier mat 350 c'est-à-dire 350g de tissu de verre par m<sup>2</sup> avec de la résine polyester. L'utilisation de la résine polyester avec de la fibre de verre permet de créer une première couche 100% étanche. On réalise ainsi un traitement préventif anti-osmose. Cette première couche de tissus mat consiste à stratifier l'intégralité du bassin d'une couche fine et homogène de fibre.

### c. Etape 3 – Ebullage

L'ébullage consiste à mélanger et plaquer, à l'aide d'un ébulleur, la résine et le tissu de verre au moule. Ce terme est fréquemment appelé "débullage". Il est nécessaire d'effectuer un ébullage après chaque étape de fabrication.

### d. Etape 4 - Moulage du bassin

Superposition de mat 450 g/m<sup>2</sup> avec de la résine isophthalique , puis projection de résine + fibre avec un pistolet spécifique.



Figure 36: Projection du stratifil

### e. Etape 5 - Rooving/Mat

Mise en place de tissus rooving pour assurer une solidité à toute épreuve (contrainte de terrain) et garder une bonne flexibilité qui est ce que l'on attend d'une coque polyester.

### f. Etape 6 - Renforts latéraux

Montage des renforts latéraux. Ces cartons en forme triangulaire (gain de rigidité) ne servent qu'à donner forme à la résine que l'on va y appliquer.



Figure 37: Renfort latéraux

Le renfort permet de garantir une solidité accrue du fond de votre bassin, toujours sans nuire à la flexibilité. Le renfort est le squelette supportant les efforts mécaniques. Il peut se présenter sous de nombreuses formes : fibres courtes (mat) ou fibres continues (tissus ou textures multidirectionnelles) en fonction de l'application envisagée. Les fibres possèdent généralement une bonne résistance à la traction mais une résistance à la compression faible.

#### g. Etape 7 - Projection finale

Projection finale en résine isophthalique pour garantir une étanchéité parfaite contre toutes les agressions extérieures.

##### 7.2.3. Les avantages de la stratification d'une piscine [23] ; [M] , [E]

- Pas de contrainte de forme.
- Un revêtement durable, facile d'entretien, très facilement réparable en cas de déchirure.
- Un choix de couleur très vaste
- Un revêtement applicable sur beaucoup de support.

##### 7.2.4. Armature en fibre de verre et résine isophthalique

- La stratification doit avoir lieu entre 12h et 24h après la pose du primaire.
- La stratification appliquée sur la couche d'accrochage s'effectue par la pose de deux couches de mat de verre 300 g/m<sup>2</sup> et de résine polyester pure isophthalique.
- Le mat de verre représente 600g/m<sup>2</sup> pour 1.5g/m<sup>2</sup> de résine.
- L'épaisseur de la stratification est de 1.7mm environ.

### 7.2.5. Ponçage et rebouchage

- Ponçage du stratifié, reprise des défauts si nécessaire.
- Aspiration et nettoyage avec de l'acétone.

### 7.2.6. Couche de finition

L'application d'un revêtement d'un gelcoat de Finition est obligatoire pour obtenir une bonne étanchéité, une bonne résistance chimique et à la corrosion maximale. Cette résistance est obtenue avec une couche de 500g/m<sup>2</sup> de gelcoat paraffiné suivit d'une application au rouleau.

### 7.2.7. Mise en eau

- La mise en eau ne pourra intervenir qu'après séchage complet du stratifié (15jours).
- En respectant ces quelques conseils la stratification de votre piscine ne devrait pas vous poser de difficultés insurmontables.

## Chapitre 8 EVALUATION DU COUT DE FABRICATION

Dans notre étude, on a pris comme référence la stratification d'une pièce qui a une surface de 1m<sup>2</sup> de l'échantillon.

On va étudier l'évaluation du coût de fabrication en trois cas :

- ❖ Le coût de fabrication de la moule ;
- ❖ Le coût de fabrication de la pièce réelle.

L'échantillon est constitué par une couche de gelcoat, deux couches de fibres alternées par la résine. La résine et gelcoat sont dosées avec du catalyseur.

### 8.1. Etudions d'abord l'échantillon

Les prix unitaires des matériaux utilisés sont résumés dans le tableau ci-dessous.

*Tableau 21 les prix unitaires de chaque matériaux utilisés*

Désignations	Unités	Quantités	P U (Ar)
Résine	Kg	1.00	10865.00
Gelcoat	Kg	1.00	15900.00
Mat (300)	m	1.00	2252.50
Roving (500)	m	1.00	4240.00
Catalyseur	Kg	1.00	21014.50
Acétone	Kg	1.00	6890.00

*Source Madagascar Chimie Industrie*

Quelques détails à savoir pour mieux préciser l'étude des quantités des matériaux et ses prix respectifs.

Le tableau ci-dessous récapitule les matériaux utilisés ainsi que leurs quantités et leurs prix respectifs (pour le détail cf. annexe V).

Tableau 22 devis des matériaux pour l'échantillon

Désignations	Unités	Quantités	P U (Ar)	Montant (Ar)
Résine	Kg	1.00	10865.00	10865.00
Gelcoat	Kg	0.802	15900.00	12751.80
Mat (300)	M	2.00	2252.50	4505.00
Roving (500)	M	2.00	4240.00	8480.00
Catalyseur	Kg	0.032	21014.50	672.50
Acétone	Kg	1.00	6890.00	6890.00
Total HT				44164.3
TVA		20%		8832.86
Net à payer(TTC)				52997.16

Source : Auteur

### 8.2.Pour la réalisation de la pièce en coque de polyester

La récapitulation de ces devis de fabrication est donnée par le tableau suivant.

Tableau 23 devis de fabrication de la piscine en polyester

Désignations	Unités	Quantités	P U (Ar)	Montant (Ar)
Résine	Kg	243.75	10865.00	2648343.75
Gelcoat	Kg	195	15900.00	3100500
Mat (300)	m	390	2252.50	878475
Roving (500)	m	390	4240.00	1653600
Catalyseur	Kg	7.8	21014.50	163913.1
Acétone	Kg	25	6890.00	172250
Total HT				8617081.85
TVA		20%		1723416.37
Net à payer(TTC)				10340498

Source : Auteur

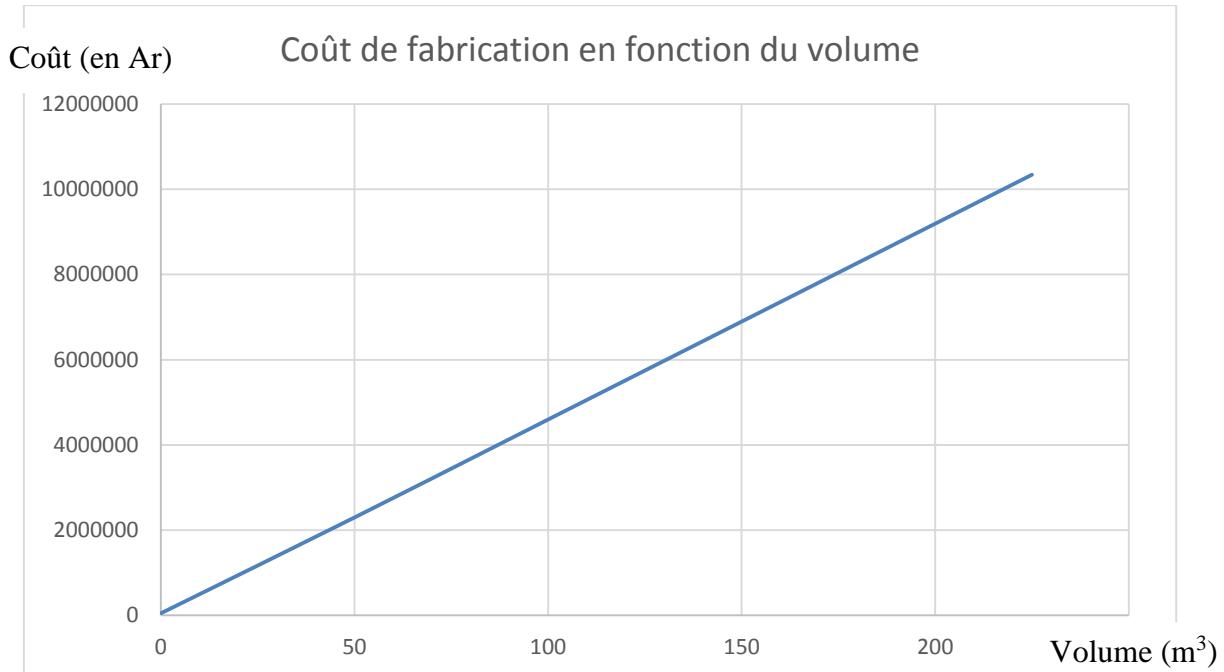
Le coût de la réalisation d'un projet de construction d'une coque de piscine en polyester renforcé par les fibres de verre de dimension longueur = 15m ; largeur = 5m ; et de profondeur = 2.5m ; d'épaisseur = 4 mm, est estimée à *dix millions trois-cent-quarante milles quatre-cent quatre-vingt-dix-huit ariary*.

Le coût de fabrication d'une pièce peut être varié en fonction de son volume ,plus le volume est grand, plus le coût augmente. Le tableau suivant nous montre la variation du coût de fabrication.

Tableau 24 volumes de la pièce et ses coûts respectifs

Volume de la pièce	0,0612	50	100	225
Coût de fabrication	52997.16	2297888	4595776	10340498

*Source : Auteur*



### *Courbe 6: coût de fabrication en fonction du volume*

## Chapitre 9 ACCESSOIRES ET ENTRETIEN DE LA PISCINE

### 9.1.Filtration piscine

[I]

Pour comprendre l'importance de la filtration d'une piscine, un chiffre suffit : le système de filtration assure 80% de la purification de l'eau, le reste étant dévolu aux produits de traitement. Mettre en place un système de filtration efficace reste donc le meilleur moyen d'assurer la qualité de l'eau de son bassin. Cependant, le principe de la filtration et sa mise en œuvre peuvent sembler complexes car ils présentent des aspects techniques qu'il n'est pas toujours facile de maîtriser au premier abord. Le but de ce dossier est de vous aider à maîtriser les aspects théoriques et pratiques de la filtration.

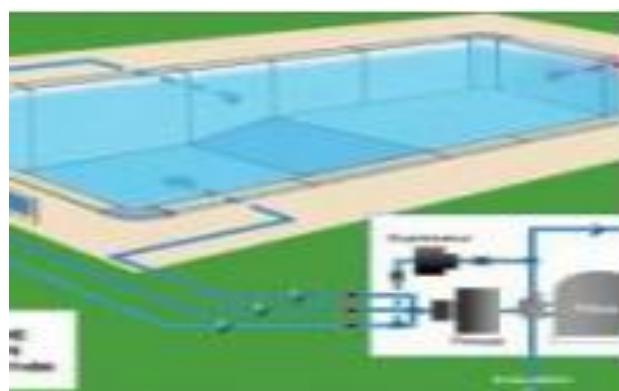


Figure 38: schéma de circuit de la filtration d'une piscine

#### 9.1.1. Fonctionnement et principe d'un système de filtration

Quelques généralités pour commencer, il existe différents systèmes de filtration : traditionnelle, autonome, intégrée qui ont chacun leurs caractéristiques. Les articles qui suivent vous permettront de vous familiariser avec le fonctionnement de ces différents dispositifs, et peut-être de faire un premier choix concernant le système le mieux adapté à votre bassin.

- Le système de filtration traditionnel
- Le fonctionnement d'un système de filtration classique
- Groupes autonomes et bloc de filtration
- Le système de filtration intégrée
- Filtres et médias filtrants

Le filtre est l'élément central du système de filtration et son choix va être déterminant pour la qualité de l'eau de votre piscine. Il existe plusieurs types de filtres qui ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients, sans oublier l'aspect financier. Nous vous présentons ici les différents types de filtre avec leurs caractéristiques.

N'oubliez pas que le choix d'un filtre constitue un compromis entre la qualité de l'eau, les contraintes techniques et le coût d'achat et d'entretien.

- Le filtre à diatomées
- Le filtre à sable
- Le filtre à cartouche
- Le filtre à poche
- Filtre à zéolite pour une efficacité supérieure au sable
- Les deux principaux médias filtrants
- Le verre recyclé, un média filtrant en devenir

### **9.1.2. Détails techniques sur la filtration**

Pour assurer la meilleure des filtrations à l'eau d'un bassin, il est indispensable de prendre en compte de nombreux paramètres techniques. Une bonne filtration ne laisse pas de place au hasard, tout doit être évalué et calculé pour une efficacité optimale. La maîtrise de ces questions peut paraître fastidieuse, mais le confort d'utilisation que vous y gagnerez en vaut largement la peine.

- Le débit de filtration
- La vitesse de filtration
- La finesse de filtration
- La durée de la filtration journalière
- La relation entre pertes de charge et pompe de piscine

### **9.1.3. Les équipements nécessaires pour une filtration efficace**

#### **[A]**

L'aspect matériel d'un système de filtration est essentiel, une bonne cohésion entre les divers éléments assurera la longévité et l'efficacité de votre installation. Il est donc important de connaître le rôle de chacun des éléments qui composent un système de filtration pour faire les bons choix et optimiser leur mise en place.

- Bien choisir sa pompe de filtration
- vannes multivoies, 5 ou 6 voies :
- Le manomètre, indicateur précieux de votre système de filtration
- Le local technique indispensable à un système traditionnel de filtration
- Les buses de refoulement

### 9.1.4. Filtration et circulation de l'eau

[H]

Sans circulation de l'eau, pas de filtration, le circuit hydraulique constitue de ce fait un point à ne pas négliger. Même si vous disposez des meilleurs équipements, une mauvaise circulation de l'eau mettra en péril l'efficacité de votre système de filtration.

Voici les points essentiels pour maîtriser cette donnée cruciale :

- Les différents systèmes de circulation d'eau d'une piscine traditionnelle
- Les circuits hydrauliques de votre filtration
- Circulation de l'eau dans les pièces de circulation d'eau
- La circulation de l'eau d'une piscine dans les canalisations
- L'effet Venturi et la circulation d'eau

### 9.1.5. La durée de la filtration journalière d'une piscine

Pour une filtration efficace, il est nécessaire que la totalité de votre eau de piscine soit épurée. Si votre filtre traite un sixième de cette eau par heure alors il faudra compter 6 heures pour que la totalité de votre eau soit filtrée. Il n'est donc pas nécessaire de filtrer votre bassin 24 heures sur 24.

### 9.1.6. La température de l'eau influe sur les temps de filtration

La température est donc un élément essentiel à prendre en considération pour estimer les temps de filtration nécessaire.

➤ Pour une eau inférieure à 10 degrés : les micro-organismes ne peuvent pas se développer et il n'est donc pas nécessaire de procéder à une filtration. Vous pouvez presque arrêter totalement la filtration. De même pour les produits chimiques, les doses seront fortement réduites.

➤ Pour une eau de 10 à 14 degrés : la filtration nécessaire sera au maximum de deux heures par jour.

➤ Pour les environnements sans nature abondante, 1 heure par jour sera suffisante.

➤ Pour une eau de 15 à 20 degrés : un recyclage complet de votre eau de bassin est nécessaire par jour. Ce qui veut dire que le temps de filtration nécessaire passe à 6 heures par jour.

➤ Pour une eau de 21 à 24 degrés : le temps de filtration doit être au minimum de 9 heures par jour, jusqu'à 11 heures pour une eau à 24 degrés.

➤ Pour une eau à 25 degrés et plus : 12 heures de filtration par jour sont indispensables.

La température de l'eau est donc un élément clé mais il faut aussi prendre en considération le nombre de baigneur qui occupe votre piscine. Un temps de filtration supplémentaire est nécessaire en fonction de ce nombre de baigneur.

### 9.1.7. La vitesse de filtration de votre piscine

[1]

Par vitesse de filtration, il faut comprendre vitesse de circulation de l'eau dans les filtres. Vous imaginez bien que si l'eau passe à la vitesse de la lumière dans un filtre, elle ne pourra être épurée. Ce qui veut dire que plus la vitesse de circulation dans les filtres est lente et plus l'épuration sera efficace.

### 9.1.8. Le calcul de la vitesse de filtration

Ce calcul technique n'est pas simple à obtenir. Nous verrons par la suite que la vitesse de filtration dépend aussi du type de filtre. L'important dans ce contexte, c'est surtout de ralentir au maximum la vitesse de circulation de l'eau dans le filtre. Pour ce faire il est important de surdimensionner le filtre par rapport à la pompe. C'est d'ailleurs systématiquement le cas car le phénomène inverse ne permet pas de réduire la vitesse de passage de l'eau dans le filtre.

Il est important de calculer la vitesse de circulation pour déterminer le diamètre minimum nécessaire d'un filtre ainsi que ses capacités. La formule de calcul est une division entre le débit (en  $m^3/h$ ) et la surface de section autorisant le passage de l'eau en  $m^2$  :

La vitesse de la circulation d'eau est donc égale au rapport du débit et de la surface

$$V = \frac{Q}{S}$$

V : vitesse de la circulation d'eau (en  $m/h$ )

Q : débit (en  $m^3/h$ )

S : surface de la section du passage de l'eau (en  $m^2$ )

Quoiqu'il en soit cette formule n'est pas complète car elle ne prend pas en compte les caractéristiques des différents filtres. Pour un calcul plus précis il faut donc s'intéresser aux caractéristiques des filtres.

### 9.1.9. Éléments techniques des différents filtres

Pour ne pas trop nous éparpiller sur le sujet et rendre l'information utile à un plus grand nombre, nous allons nous concentrer sur les types de filtres les plus courants. Il sera donc ici question des filtres à sable, des filtres à cartouche et des filtres à diatomite.

➤ Les filtres à sable : la vitesse est de 50 m/h. Cette vitesse peut être réduite dans un environnement polluant. Dans les piscines publiques, cette vitesse est réduite à 30 m/h. Le sable qui se trouve dans le filtre doit au minimum remplir un tiers du filtre pour éviter le rejet à l'égout. Il ne doit cependant pas dépasser les deux tiers pour prévoir un éventuel décolmatage. Pour les filtres équipés d'une vanne multivoie, le débit maximum est compris entre 15 et 25 m<sup>3</sup>/h. Une vanne multivoie est un excellent moyen pour ralentir la vitesse de circulation de l'eau dans les filtres.

➤ Les filtres à diatomite : la vitesse est de 5 m/h. Le système de filtration à diatomite vous interdit d'avoir recours à la flocculation. La surface filtrante varie en fonction des éléments supports de diatomite et doit donc être précisé sur la notice d'achat.

➤ Les filtres à cartouche : la vitesse est de 2 m/h. Il faut savoir que la surface filtrante des filtres à cartouche dépend de la surface totale déployée de la cartouche.

### 9.1.10. Le débit de filtration

La cause d'une filtration inefficace peut être mise en avant par un débit de filtration trop faible. Ce débit se calcul en m<sup>3</sup>/h, c'est la pompe de votre piscine qui assure ce débit. Ceci étant, la pompe et le filtre doivent être accordés pour permettre une filtration performante. Dans tous les cas, si le débit minimum de filtration n'est pas respecté, l'eau ne sera pas suffisamment épurée. Une filtration efficace se doit donc de traiter un minimum de volume d'eau dans un temps donné.

### 9.1.11. Comment définir le débit de filtration d'une piscine ?

Toutes les piscines ne se ressemblent pas et chaque bassin possède un débit de filtration différent. C'est d'ailleurs avant tout le volume d'eau d'une piscine qui fait varier le débit minimum nécessaire pour une filtration efficace. La première chose à connaître c'est donc le volume d'eau d'une piscine. En fonction de ce volume, vous pourrez établir le débit minimum :

Calcul du débit de filtration horaire = 1/6 du volume d'eau du bassin par heure  
( $Q_{fh} = 1/6 \times V/1h$ ).

Ce n'est pas plus compliqué que cela. Avec de l'expérience, les professionnels sont capables d'ajuster le débit de filtration minimum en fonction de la situation. Par exemple, si l'environnement est très polluant, un coefficient de colmatage sera ajouté au calcul. A force d'installer des systèmes de filtration et de les ajuster, la connaissance augmente !

Une fois que le débit minimum de filtration est connu, il convient de s'assurer que la pompe puisse imprégner le rythme nécessaire. En saison chaude, l'eau doit être totalement recyclée toutes les 6 heures. Attention à bien prendre en compte les pertes de charge et ne pas surestimer la puissance de la pompe.

Comme vous vous en doutez, ce premier calcul est une version simplifiée. Il y a aussi d'autres éléments à prendre en considération. Un professionnel de la filtration se doit donc d'y regarder de plus près.

### 9.1.12. Affiner le calcul du débit horaire de filtration

Dans un premier temps, il faut aussi s'intéresser à la profondeur d'un bassin. Une piscine avec une surface d'eau conséquente mais une faible profondeur se polluera bien plus vite qu'une piscine avec une surface moindre mais une grande profondeur. Dans ce cas, le volume d'eau peut être le même pour les deux piscines mais certainement pas le débit minimum de filtration. En la matière, le volume d'eau ne fait donc pas office de référence suprême.

De plus, il faut aussi s'intéresser aux types de filtre et surtout à l'encrassement. Quand le système de filtration est neuf, pas de problème. Avec le temps et l'encrassement des filtres, le calcul du débit horaire minimum de filtration s'écarte de plus en plus de la réalité. Au final, pour un calcul plus précis vous devrez prendre en considération la profondeur.

Pour un bassin avec des profondeurs différentes, il vous suffit alors d'additionner les différents débits obtenus.

## 9.2.Traitemen~~t~~ de l'eau piscine

[L]

Le traitement de l'eau reste une étape indispensable pour garder une eau pure et préserver l'hygiène de votre bassin.

L'eau est un milieu vivant sujet à de nombreuses variations, certaines circonstances favorisent le développement de micro-organismes, l'infection par des bactéries ou des virus... Qu'il soit curatif ou préventif, un traitement efficace passe par une connaissance des paramètres de bases nécessaires à un bon équilibre de l'eau.

### 9.2.1. L'équilibre de l'eau

La condition d'un traitement optimal est de maintenir le meilleur équilibre possible à l'eau de votre bassin. Une eau équilibrée permet de garantir une efficacité maximale au produit de traitement et de limiter ainsi la quantité de produit utilisée.

- *Eau de piscine : les paramètres pour une eau équilibrée*
- *Le pH de l'eau de piscine est un paramètre essentiel*
- *Quels paramètres pour un traitement efficace de votre piscine ?*
- *Les accessoires pour analyser l'eau de votre piscine*

### 9.2.2. Les produits de traitement

[L]

Le traitement de l'eau passe par l'utilisation de produits chimiques, il en existe différentes sortes et chacun a ses spécificités. Le choix d'un produit dépend de différents facteurs et joue un rôle majeur dans les conditions d'utilisation d'une piscine.

#### a. Le chlore

Le chlore est le produit de traitement de l'eau le plus utilisé, les raisons de son succès sont évidentes : il est économique et simple d'utilisation. Mais pour un traitement au chlore efficient, encore faut-il l'utiliser dans les bonnes conditions, car c'est également un produit instable qui peut perdre beaucoup de son efficacité si les paramètres ne sont pas adéquats.

#### b. Les autres produits de traitement

Le chlore n'a pas que des qualités, et de plus en plus de propriétaires sont tenter de se tourner vers d'autres produits de traitement. Plusieurs produits de traitement alternatifs au chlore sont disponibles sur le marché et chacun a ses caractéristiques.

#### c. Les dispositifs de traitement automatique

Le traitement de l'eau oblige à manipuler des produits chimiques, ce qui n'est pas du goût de tout le monde. L'utilisation d'un dispositif de traitement automatique présente de nombreux avantages, notamment celui de diminuer nettement la quantité de produits chimiques nécessaires au traitement.



Figure 39: dispositifs de traitement automatique

- Le traitement automatique de la piscine ;
- L'ozonateur piscine : pour un traitement de l'eau écologique ;
- Le traitement de la piscine par ultraviolets.

### 9.3. Accessoires et équipements de piscine

[I]

Les accessoires pour piscine sont un vaste sujet, il en existe un large éventail, du simple gadget à l'équipement qui transformera radicalement votre bassin.

Equiper une piscine n'est pas toujours une chose évidente, de nombreux paramètres sont à prendre en compte, et il convient de choisir l'équipement le mieux adapté à votre bassin. L'objet de ce dossier est de vous proposer un tour d'horizon des accessoires et des équipements disponibles sur le marché pour vous aider à faire votre choix en toute connaissance de cause.

#### 9.3.1. L'entretien de votre piscine

Il est tout simplement essentiel de connaitre les outils qui vous permettront de faire fonctionner correctement votre bassin et de garder une eau claire.

Certains équipements sont tout simplement essentiels pour le bon fonctionnement et l'entretien de votre piscine. Il est donc indispensable de les choisir avec soin, c'est notamment le cas du local technique dont la conception est primordiale. Les accessoires d'entretien sont un point tout aussi important puisque la qualité de votre eau et la pérennité de votre bassin en dépendent :

- Les accessoires pour analyser l'eau de votre piscine ;
- Robot de piscine : le robot hydraulique à pression ;
- Robot laveur : le robot hydraulique à aspiration ;

- Robots aspirateurs : choisir un modèle adapté à son bassin.

### 9.3.2. L'accès au bassin

Si vous préférez rentrer dans l'eau progressivement plutôt que d'y sauter, vous aurez sans doute envie de vous équiper d'une échelle ou d'un escalier de piscine. Ces équipements deviennent quasiment indispensables si de jeunes enfants ou des personnes âgées font partie des utilisateurs du bassin.

- ❖ Les échelles de piscine ;
- ❖ L'escalier de piscine.

### 9.3.3. Améliorez votre piscine

Les équipements dont il est ici question peuvent changer totalement l'utilisation que vous faites de votre piscine. Le fond mobile et la plage immergée, notamment, sont bien plus que de simples équipements mais plutôt une nouvelle façon de concevoir votre piscine.

### 9.3.4. Confort et détente

[B]

Pour finir en beauté, n'oublions pas que la piscine est là pour nous donner du bon temps. Voici donc quelques articles consacrés à des accessoires dont l'unique objet est de vous aider à profiter au mieux des journées que vous passerez dans et autour de votre piscine :

- ❖ Une douche solaire pour votre piscine
- ❖ Les douches disponibles pour votre piscine
- ❖ Mettez de l'ambiance dans votre piscine
- ❖ Les accessoires de sport et les jeux pour votre piscine
- ❖ Jeux de piscine insolites et gadgets
- ❖ L'éclairage de votre piscine

### 9.3.5. En conclusion

On trouve de tout dans les accessoires pour piscine, certains sont indispensables, d'autres moins. Rappelez-vous, en tout cas, que l'essentiel est de se faire plaisir.

## CONCLUSION

La plus grande amélioration apportée à la navigation de plaisance au cours des cent dernières années est le développement de la fibre de verre et de divers autres matériaux composites utilisés pour la construction moderne.

Aujourd’hui, les matériaux composites sont arrivés à un degré d’utilisation tel qu’il ne serait plus possible de se passer de cette famille de matériaux sur les applications dans différentes domaines.

Les connaissances sur les comportements des matériaux ont fortement progressé. La maîtrise du choc est un des critères les plus difficiles techniquement à valider et à mettre au point. Il n’en reste pas moins vrai que les composites restent en position de « challenger » vis-à-vis des matériaux traditionnels.

Les progrès des procédés de fabrication ont aussi permis de réduire les coûts avec notamment l’introduction de moyens de mise en œuvre. L’introduction de méthodes de fabrication basées sur l’injection ou l’infiltation de résine dans des préformes fibreuses permettent également la réduction des coûts. Les matériaux composites sont une source constante d’amélioration des performances des structures dans des domaines où le gain de masse, la rigidité, et la résistance au choc peut se traduire directement par une augmentation des performances. L’augmentation du taux de matériau composite sur les structures est limitée aujourd’hui par la difficulté et le coût de réalisation des pièces quel que soit leurs taille.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Cours polymère II et matériaux composites de Monsieur RANARIVELO Michel
- [2] Cours polymère I de Monsieur RAKOTOARISON Simon
- [3] « *Les catalyseurs comme source* d'incendie *de véhicule automobiles* » rédigé par ERIC STAUFFER
- [4] Fiche\_cours\_catalyse.pdf, d'après la société Huizhou Invotive dans « Plastic Factory »
- [5] C14\_controles\_par\_catalyseurs.pdf, selon la société fabricant Beihai Building Material Co, Limited
- [6] « Gel\_coat\_guide.pdf », Jahre Erfahrungen, Ingenieur concepteur de piscine
- [7] Fr\_euroresins\_product\_brochures.pdf, Mr LAMARQUE de la société CIRON / POLYMIR installée à Bordeaux
- [8] Yc-gelcoat.pdf, d'après la société Tongxiang Aisen Composites Co, Ltd
- [9] Guide\_du\_stratifieur .pdf : selon *Sonic Spa Miami Whirlpool, entreprise de fabrication de piscine*
- [10] « Gelcoat-polymir vente matériaux composites », chez Aboral Piscine à Bordeaux
- [11] Eurograte fibre de verre-composants en fibre de verre-produit en vitroresine.pdf
- [12] Fibre de verre mat à fils coupés, Charles Macintosh dans « matériaux composites »
- [13] Fibre de verre de renforcement.pdf, décrite par Jim RYAN dans « Finition des modèles avec un tissu fibre de verre »
- [14] Fibre\_minerales\_artificielles\_3.pdf , François Hennebique dans « fibres artificielles »
- [15] Caracteristiques\_de\_resines\_isophthaliques.pdf, chez Aboral Piscine à Bordeaux
- [16] Les dangers de la résine et autres composants.pdf, selon la société Nanjing Tianming Fiberglass Products Co, Ltd
- [17] « Quelques\_notion\_sur\_les\_polyesters.pdf » : The Fortune Global Forum wählt Chengdu als Tagungsort 2013.
- [18] NTresine ISO.pdf, d'après la société Taian Juli Composite Materials Co, Ltd

[19] Resine.pdf d'après Patrick Woestelandt, Ingénieur ETP, président "Euro Piscines Service"

[20] « **Réalisation d'une pièce en matériaux composites dans un moule** » édité par « Yann D O B I G N A R D, 03 / 08 / 2000 »

[21] Thèse intitulé « *Influence des propriétés de la matrice sur le comportement mécanique de matériaux composites verre/polyester utilisés en construction navale de plaisance - Cas des résines polyester limitant les émissions de styrène* » présenté par **Yves Perrot** le 28 Novembre 2006.

[22] « **Equipement de protection individuel** » proposé par European Composites Industry Association (EuCIA).

[23] Entretien, la stratification.pdf, proposée par la société « Leisure Pools »

## WEBOGRAPHIE

- [A] <http://www.information-piscine.com>
- [B] <http://www.piscine.org/deco-piscine>
- [C] <http://www.star-piscine.shop.fr/etapes-fabrication>
- [D] <http://piscine-piscineetjardin.com/piscine/structure-euro-piscine.php>
- [E] <http://www.arion-piscines-polyester.com>
- [F] <http://www.information-piscine.com/piscine-coque/fabrication-coque>
- [G] <http://www.guide-piscine.fr/construire-sa-piscine/la-fibre-de-verre>
- [H] <http://www.information-piscine.com/information-pratique/filtration>
- [I] <http://www.piscine.org/accessoires-piscine/accessoires-equipements>
- [J] <http://www.ciao.fr/sr/q-piscine-en-fibre-de-verre>
- [K] <http://www.information-piscine.com/piscine/revetement-piscine>
- [L] <http://www.piscine.org/traitemen-eau/comment-traiter-eau-piscine>
- [M] <http://piscina44.fr/nos-avantages/pourquoi-excel-piscines>
- [N] <http://www.arion-piscines-polyester.com/fabrication.php>
- [O] <http://www.dilfrance.com/selection/stratification/introduction-stratification>

# ANNEXE

## Annexe 1

### 1. Caractéristiques de la catalyse

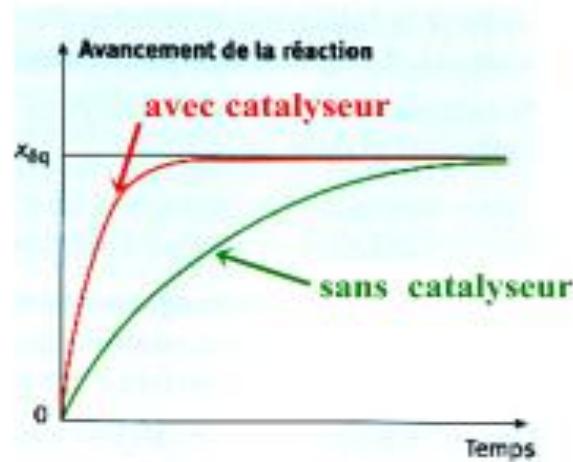


Figure 4 Influence du catalyseur sur l'évolution du système

Un catalyseur a un rôle purement cinétique :

- ❖ il ne peut modifier ni le sens de l'évolution d'un système, ni son état d'équilibre: dans le cas où deux réactions inverses coexistent, il catalyse de la même façon la réaction directe et la réaction inverse.
- ❖ il ne peut que diminuer le temps pour atteindre l'état d'équilibre.

### 2. Importance de la sélectivité d'un catalyseur

- ❖ Dans l'industrie la sélectivité permet d'augmenter l'éventail des produits d'une transformation.
- ❖ En biologie, les enzymes sont des catalyseurs très sélectifs en raison de leurs structures spatiales. Seuls des réactifs de forme adaptée pourront se fixer sur le site actif d'une enzyme donnée pour réagir, ce qui explique la sélectivité des enzymes.

### 3. Exemples des catalyses

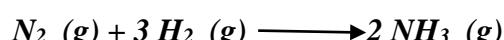
#### 3.1.Catalyse hétérogène

##### Exemple 1

La catalyse hétérogène de la décomposition de l'eau oxygénée par le platine.

##### Exemple 2

La synthèse industrielle de l'ammoniac  $\text{NH}_3$  s'effectue selon l'équation de la réaction :



La constante d'équilibre K associée est une fonction décroissante de la température, donc le taux d'avancement final également. En revanche, la vitesse des réactions directe et inverse augmente avec la température. L'équilibre est atteint plus rapidement.

L'utilisation d'un catalyseur à base de fer métallique permet de trouver un compromis et de travailler à une température de 450 °C.

### 3.2.Catalyse homogène

#### Exemple 1

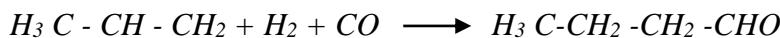
La catalyse de décomposition de l'eau oxygénée par les ions fer (III),  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ .

#### Exemple 2

La réaction d'hydroformylation des alcènes permet la préparation d'aldéhydes linéaires et ramifiés.

Un mélange d'alcène, de monoxyde de carbone et de dihydrogène est porté à une température comprise entre 120 °C et 170 °C, sous une pression de 150 bars, en présence d'un catalyseur au cobalt:  $\text{CO}_2(\text{CO})_8$

On peut ainsi préparer le butanal et le 2-méthylpropanal à partir du propène, selon les réactions d'équations:



Le produit principal est celui dont la molécule est linéaire (butanal). Le catalyseur est suffisamment sélectif pour que la production du produit secondaire ramifié soit relativement faible.

### 3.3.Catalyse enzymatique

#### Exemple 1

la catalyse enzymatique de décomposition de l'eau oxygénée par la catalase , enzyme présente dans le sang et contenant des sites actifs où l'espèce active est le fer sous forme d'ions.

#### Exemple 2

Les protéases et les amylases sont utilisées dans la fabrication de la bière ; elles jouent également le rôle d'agents détachants dans les lessives.

## Annexe 2

### **GELCOAT CRYSTIC 65 PA**

Il existe d'autre appelé gelcoat crystic 65PA, c'est un Gelcoat isophtalique, de qualité marine.

#### **1. Définition**

Le GELCOAT CRYSTIC 65 PA est un produit thixotrope à base de résine isophtalique.

Il s'applique au pinceau ou au rouleau. Le GELCOAT CRYSTIC 65 PA présente une excellente résistance à déclencher la réaction de polymérisation. Nous déconseillons vivement l'utilisation des teintes d'un bleu profond pour la réalisation de pièces au contact permanent avec l'eau, ceci pouvant entraîner une dégradation de la couleur.

#### **2. Types de gelcoat UP**

##### **2.1.Gelcoat UP type SF 30**

Le gelcoat UP type SF 30 est utilisé pour la fabrication de couches de protection à haute absorption de rayons UV. La présence de fines couches suffit à bloquer tout rayonnement UV de 210 - 400 nm sur des fibres d'aramide. Le gelcoat UP SF 30 n'est livrable qu'en blanc. La structure du produit rend difficile un traitement ultérieur (par exemple : ponçage).

##### **2.2.Gelcoat UP T 30**

Le gelcoat UP T 30 est utilisé dans les domaines exigeant une surface particulièrement résistante. Les surfaces sont pratiquement résistantes à la lumière et aux intempéries. Ces produits révèlent une résistance extrême à l'abrasion. Le gelcoat UP T 30 est livré en standard en couleur transparente et blanche. La haute résistance à l'abrasion rend difficile le ponçage et le polissage des surfaces.

##### **2.3.Gelcoat UP T 35**

Le gelcoat UP T 35 est un produit à dilatation élevée spécialement développé pour l'industrie de construction de planeurs. Le pouvoir couvrant du T 35 est inférieur à celui du T 30. Le produit se distingue par des bonnes caractéristiques de ponçage et de polissage de la surface. Le gelcoat UP T 35 n'est livrable qu'en blanc.

**Annexe 3****RESINE POLYLITE ® 33411-20**

*Résine polyester Isophthalique - Applications marine et cuves*

**1. DESCRIPTION**

POLYLITE ® 33411-20 est une résine polyester pré-accélérée à base d'acide isophthalique pur, de moyenne-forte réactivité, de moyenne viscosité et diluée au styrène.

POLYLITE ® 33411-20 est recommandée pour le moulage au contact pour la fabrication de pièces sanitaires, de piscines, de diverses pièces destinées à l'activité nautique, de cuves, etc.

L' excellente tenue à l'hydrolyse de la POLYLITE ® 33411-20 permet de la préconiser en particulier pour les premières couches de stratification à la suite de gelcoats isophthaliques, en particulier dans le domaine de la construction navale.

**2. Application : Moulage au contact / Projection simultanée**

Au cours du stockage, une séparation de l'agent thixotrope peut intervenir. Avant toute utilisation il est nécessaire de bien homogénéiser la résine.

Au cours du stockage, une légère dérive du temps de gel peut apparaître. Adaptez la quantité de catalyseur pour obtenir le temps de gel souhaité.

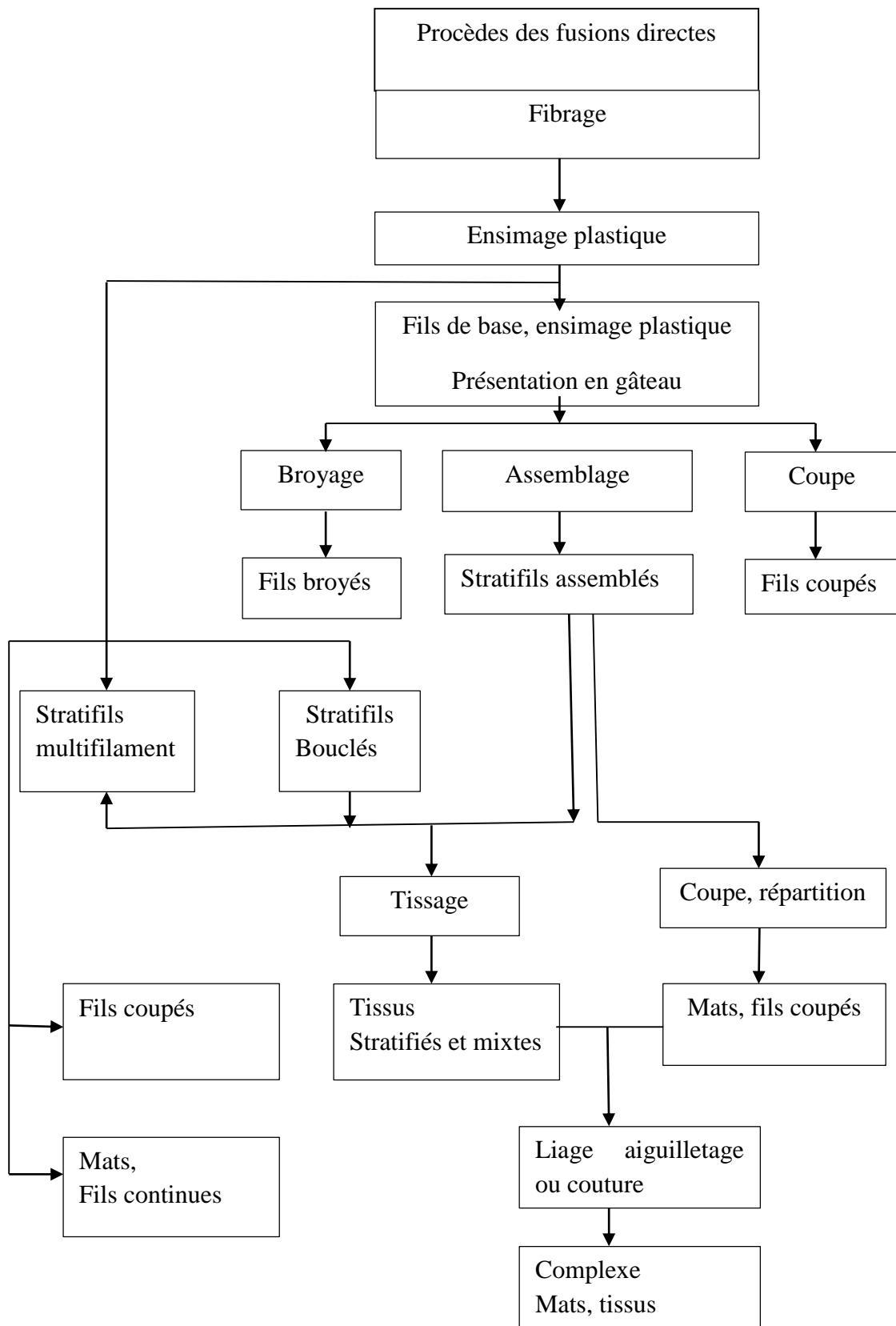
Caractéristiques	Avantages
Résine thixotropée	Possibilité d'imprégnation en paroi verticale
Excellente tenue à l'hydrolyse	Bons résultats chaque fois qu'un contact avec l'eau est demandé
Réactivité moyenne	Excellente propriétés thermomécaniques, adaptée à la fabrication d'outillage
Résine pré-accélérée	Evite les prés mélanges fastidieux et diminue le nombre des produits stockés.
Contrôles de la Production et de la Qualité	Bonne reproductibilité d'un lot à l'autre

**1.1. types de résines et ses caractéristiques respectifs**

Nom du produit	Nature chimique	Viscosité (mPa.s)	Extrait sec (%)	Allongement à la rupture (%)	Contrainte en traction (mPa)
Résine d'Usage Général					
PALATAL P 4 TV-128	Ortho	225	56,5	2	70
PALATAL P 4 TV-129	Ortho	225	55	2	70
Basses Émissions de Styrène et très Basses Émissions de Styrène					
PALATAL U541 TV-05	Ortho	205	55	2	70
PALATAL U541 TV-11	Ortho	120	52	2	70
PALATAL U570 TV-04 V	Ortho	275	55,5	2,4	80
Palatal U569 TV-03	Ortho	235	57	3,4	75
SYNOLITE 0280-I-4	ISO	330	54,5	7	50
SYNOLITE 0280-I-5	ISO	330	54,5	7	50
SYNOLITE 0288-I-2	ISO	330	54	2,6	75
SYNOLITE 0288-L-1	ISO	330	54	2,6	75
SYNOLITE 0288-T-1	ISO	350	55	2,5	75
SYNOLITE 6060-P-1	Ortho	350		2,2	56
SYNOLITE 2020-P-1	Ortho	350		2,2	56
Résines Retardantes au Feu					
SYNOLITE 2754-P-1	Ortho	165	0	2,1	90
SYNOLITE 2754-W-2	Ortho	400	-	2,2	32,6
SYNOLITE 3355-W-3	Ortho	465	-	2,8	90

## 1.2. Stockage

Afin d'assurer la stabilité maximale et conserver les propriétés optimales de nos résines, elles doivent être stockées en conteneurs fermés à une température inférieure à 25°C et à l'abri de sources de chaleur et du soleil. Les produits stockés en fûts doivent être éloignés de toutes sources de flamme ou de combustion.

**Annexe 4 : FABRICATION DES DIFFERENTES PRODUITS EN VERRE TEXTILE**

## Annexe 5

### Pour l'échantillon

#### 1. Dimension de l'échantillon

Longueur : 0.90m

Largeur : 0.40m

Profondeur : 0.17m

*Sa surface totale* est donc :

$$S = [2 \times (0.90 \times 0.17)] + [2 \times (0.40 \times 0.17)] + (0.90 \times 0.40)$$

$$S = 0.802 \text{ m}^2$$

#### 2. Quantités des matériaux utilisés

##### a. Résine

1m<sup>2</sup> de surface a besoin de 1.25kg de résine

Donc pour une surface de 0.802 m<sup>2</sup>, on a besoin de 1kg de résine

##### b. Gelcoat :

1m<sup>2</sup> de surface peut être couvrir par 1kg de gelcoat

Ainsi 0.802 m<sup>2</sup> à besoin de 0.802 kg

##### c. Les fibres :

1m<sup>2</sup> de surface a besoin de 2m de mats (300) et de 2m de roving (500).

##### d. Catalyseur :

Le catalyseur est dosé à 2% (à mélanger avec la résine, et avec le gelcoat)

Sa quantité est donc :  $(1.604 \times 2) / 100 = 0.032 \text{ kg}$

##### e. Acétone :

Il est utilisé pour le nettoyage des matériels après chaque usage. Sa quantité est estimée à 1kg.

### Pour la pièce

#### 1. Dimension de la pièce

Longueur : 15 m

Largeur : 5 m

Profondeur : 3 m.

*Elle a donc pour surface totale :*

$$S = [2 \times (15 \times 3)] + [2 \times (5 \times 3)] + (15 \times 5)$$

$$S = 195 \text{ m}^2$$

## 2. Quantités des matériaux

### a. Résine

1m<sup>2</sup> de surface peut être couvrir par 1.25kg de résine.

195 m<sup>2</sup> a besoin donc de 243.75 kg

### b. Gelcoat

1m<sup>2</sup> de surface demande 1kg

Pour 195m<sup>2</sup>, on a besoin alors de 195kg

### c. Fibre

Pour 1m<sup>2</sup> de surface, on utilise 2m de fibre

Donc pour 195 m<sup>2</sup>, on veut 390m de mats et 390m de roving.

### d. Catalyseur : dosage : 2%

100% donne 390kg ;

2% donne alors 7.8kg de catalyseurs

### e. Acétone

Pour l'acétone, on ne peut pas définir sa quantité, mais puisqu'il sert de lavage pour les matériels après chaque usage, je suppose que pour 25kg devra suffire pour ce matériaux.

## **Annexe 6**

### **TRAVAUX A FAIRE AVANT L'INSTALLATION DE LA COQUE DE PISCINE**

#### **1. Implantation**

Après avoir été renseigné sur les règles d'urbanisme en vigueur dans votre commune, il vous faudra déterminer le meilleur emplacement pour le futur bassin.

#### **2. Terrassement**

Le terrassement est une affaire de spécialiste. Il conviendra de bien respecter les dimensions et côtes du plan d'exécution.

#### **3. La pose de la structure**

Le trou, qui dépend de la forme de piscine, est fait. Il faut maintenant monter les parois verticales du futur bassin.

#### **4. Les éléments maçonnés**

Pour rigidifier la construction, il va falloir réaliser un fond et des ceintures en béton. C'est également lors de cette étape que l'on mettra en place la canalisation.

La maçonnerie comprend trois éléments :

- Le fond du bassin ;
- La ceinture périphérique basse ;
- La ceinture périphérique haute.

#### **5. La filtration**

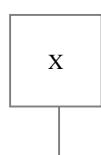
C'est l'élément vital de la piscine. C'est elle qui garantit la propreté de la piscine, même si elle doit être obligatoirement complétée par un système de traitement.

#### **6. Le liner**

Le liner est la touche finale du bassin, mais sa pose est à faire par des spécialistes

#### **7. L'aménagement des abords, l'environnement**

Avant de poser votre liner, il vous aura fallu réfléchir à l'environnement du bassin. La piscine prendra toute sa valeur grâce à une intégration pensée et réfléchie.



## Table des matières

Chapitre 1 LES MATERIAUX COMPOSITES .....	2
1.1.    Les familles des matériaux [1] et [2] .....	2
1.2.    Définition d'un matériau composite [1] .....	2
1.3.    Types de composites.....	2
1.4.    Les constituants d'un matériau composite.....	3
1.4.1.    La Matrice .....	3
1.4.2.    Les polyesters insaturés [1] et [2] et [17] .....	4
1.4.3.    Renfort [1] et [14] .....	5
1.5.    Autres composants.....	6
1.5.1.    Le gelcoat [8] .....	6
1.5.2.    Les agents de démoulage.....	7
1.5.3.    Les charges et additifs .....	7
Chapitre 2 GENERALITES SUR LES FIBRES DE VERRE .....	8
2.1.    Définition d'une fibre de verre [13] .....	8
2.2.    Différents types.....	8
2.3.    Propriétés de la fibre de verre .....	10
2.4.    Autres caractéristiques et propriétés de la fibre de verre [11].....	11
2.5.    Procédés d'obtention de la fibre de verre [13] .....	12
2.5.1.    Matières premières .....	12
2.5.2.    Procédé de fabrication [12] .....	13
2.6.    Usages [11].....	14
2.6.1.    En renforcement .....	14
2.6.2.    En isolation.....	15
2.6.3.    En optique .....	15
2.6.4.    En télécommunication.....	15
Chapitre 3 RESINES ET CATALYSEURS .....	16

3.1. RESINES [1] et [7].....	16
3.1.1. Caractéristiques de la résine à l'état liquide [7] et [18] .....	16
3.1.2. Propriétés mécaniques.....	17
3.1.3. Les différents types de résines [7] et [18] .....	17
3.1.4. Les additifs [16] , [20] et [21] .....	19
3.1.5. Les solvants .....	20
3.1.6. Les charges .....	20
3.1.7. Les pigments .....	20
<b>3.2. CATALYSEUR.....</b>	<b>21</b>
3.2.1. Définitions [4] .....	21
3.2.2. Les différents types de catalyse [5] .....	21
3.2.3. Caractéristiques générales de la catalyse [4].....	22
3.2.4. Sélectivité des catalyseurs [5] .....	23
3.2.5. Importance économique de la catalyse [3] .....	24
3.2.6. Mode d'action d'un catalyseur .....	24
3.2.7. Exemple de catalyseurs .....	24
<b>Chapitre 4 LE GELCOAT.....</b>	<b>26</b>
4.1. Définitions [6].....	26
4.2. Caractérisation .....	26
4.3. Application [6] et [8] .....	28
4.4. Stockage [10].....	28
4.5. Mise en œuvre [6].....	28
4.5.1. Mélanges .....	29
4.5.2. Application en tant que topcoat.....	30
<b>Chapitre 5 LES DIFFERENTS ESSAIS REALISES AU LABORATOIRE .....</b>	<b>32</b>
5.1. Essai de traction :.....	32
5.1.1. Manipulation .....	33

5.1.2. Résultats et constatation .....	33
5.1.3. Interprétation .....	34
5.1.4. Conclusion.....	34
5.2. Essai au choc .....	34
5.2.1. Manipulation .....	35
5.2.2. Résultats et constatation .....	35
5.2.3. Interprétation .....	36
5.2.4. Conclusion.....	36
5.3. Essai de compression.....	36
5.3.1. Manipulation .....	37
5.3.2. Résultats et constatation .....	37
5.3.3. Interprétation .....	37
5.3.4. Conclusion.....	37
5.4. Propriété du composite .....	37
5.4.1. Résultats de l'essai 1, de l'essai 2, de l'essai 3 : .....	37
5.4.2. Interprétation des résultats : .....	39
5.5. Choix de la formulation pour la réalisation de la coque composite .....	42
5.5.1. Essais mécaniques pour la formulation optimale	
a. Essais au choc par méthode de Charpy : .....	42
b. Tests d'usinabilité : .....	43
5.5.2. Caractéristiques physiques de la coque	
a. Etat de surface .....	43
b. Masse volumique .....	43
c. Propriétés électriques :.....	44
5.6. Expression de taux de renfort .....	45
5.7. Etude hydrostatique .....	48
a. Résultante des pressions sur des surfaces planes.....	48

b. Résultante des pressions sur les surfaces rectangulaires ayant deux cotés horizontaux.....	48
Chapitre 6 LA STRATIFICATION .....	52
<b>6.1.</b> Définition de la stratification [9] .....	52
<b>6.2.</b> Les matériels utilisés pour la stratification [9] et [23] .....	52
6.2.1. Le gelcoateuse .....	52
6.2.2. Les ébulleurs .....	52
6.2.3. Doseur du catalyseur [21] .....	54
6.2.4. Pinceau .....	54
6.2.5. Chiffon .....	54
6.2.6. Papier abrasifs .....	55
6.2.7. Les cales .....	56
<b>6.3.</b> Matériels de sécurité individuels [22] .....	56
6.3.1. Combinaison polypropylène Référence PO106 .....	56
6.3.2. Lunettes Masque .....	57
6.3.3. Masque MOLDEX Référence M621 .....	57
6.3.4. Demi-masque à CARTOUCHE Référence MRC1C .....	58
6.3.5. Les gans .....	58
<b>6.4.</b> Les matériaux utilisés pour la stratification [20] et [23] .....	59
6.4.1. Résine .....	59
Pour le résine on distingue deux types : .....	59
6.4.2. Gelcoats .....	59
6.4.3. Fibre de verre .....	59
6.4.4. La cire .....	59
6.4.5. Les catalyseurs [3].....	60
<b>6.5.</b> La présentation du gelcoat [8] .....	61
<b>6.6.</b> Le topcoat ou gelcoat finition [6] et [8].....	62

<b>6.7. Le stratifié [9] .....</b>	<b>62</b>
<b>Chapitre 7 FABRICATION D'UNE COQUE DE PISCINE EN POLYESTER.....</b>	<b>66</b>
7.1. Les différents types de structure de piscine [21] ; [A] et [B] .....	66
7.1.1. La structure en bois .....	66
7.1.2. La structure en béton .....	66
7.1.3. La structure en polyester [E] .....	67
7.2. Les étapes de fabrication d'une coque en polyester [9] , [23];[C],[F] .....	67
7.2.1. Le moule [N] , [G].....	68
7.2.2. Etapes de fabrication d'une coque en polyester [C] , [J],[K] .....	70
7.2.3. Les avantages de la stratification d'une piscine [23] ; [M] , [E] .....	72
7.2.4. Armature en fibre de verre et résine isophatilique .....	72
7.2.5. Ponçage et rebouchage .....	73
7.2.6. Couche de finition .....	73
7.2.7. Mise en eau.....	73
<b>Chapitre 8 EVALUATION DU COUT DE FABRICATION .....</b>	<b>74</b>
8.1. Etudions d'abord l'échantillon .....	74
8.2. Pour la réalisation de la pièce en coque de polyester .....	75
<b>Chapitre 9 ACCESSOIRES ET ENTRETIEN DE LA PISCINE.....</b>	<b>77</b>
9.1. Filtration piscine [I] .....	77
9.1.1. Fonctionnement et principe d'un système de filtration .....	77
9.1.2. Détails techniques sur la filtration.....	78
9.1.3. Les équipements nécessaires pour une filtration efficace [A].....	78
9.1.4. Filtration et circulation de l'eau [H].....	79
9.1.5. La durée de la filtration journalière d'une piscine .....	79
9.1.6. La température de l'eau influe sur les temps de filtration.....	79
9.1.7. La vitesse de filtration de votre piscine [I] .....	80
9.1.8. Le calcul de la vitesse de filtration.....	80

9.1.9. Éléments techniques des différents filtres .....	81
9.1.10. Le débit de filtration .....	81
9.1.11. Comment définir le débit de filtration d'une piscine ? .....	81
9.1.12. Affiner le calcul du débit horaire de filtration .....	82
9.2. Traitement de l'eau piscine [L] .....	82
9.2.1. L'équilibre de l'eau .....	83
9.2.2. Les produits de traitement [L] .....	83
9.3. Accessoires et équipements de piscine [I] .....	84
9.3.1. L'entretien de votre piscine .....	84
9.3.2. L'accès au bassin .....	85
9.3.3. Améliorez votre piscine .....	85
9.3.4. Confort et détente [B] .....	85
9.3.5. En conclusion .....	85
<b>CONCLUSION</b> .....	86
<b>ANNEXE</b> .....	I
ANNEXE 1 .....	II
ANNEXE 2 .....	IV
ANNEXE 3 .....	V
ANNEXE 4 .....	VII
ANNEXE 5 .....	VIII
ANNEXE 6 .....	X

**AUTEUR :** NDRAINANA Solofonomena Herizo

**TITRE DE MEMOIRE :** « Analyse de fabrication d'une coque de piscine en polyester renforcé par la fibre de verre »

**NOMBRE DE PAGES :** 85

**NOMBRES DE TABLEAUX :** 24

**NOMBRES DES FIGURES :** 39

**NOMBRE DE MOTS :** 22441

### **RESUME**

Dans la réalisation de ce présent mémoire, il est nécessaire de savoir : ce qu'on appelle matériaux composites, les matériaux et matériels utilisés lors de la stratification. Concernant la mise en œuvre des matériaux composites, il faut savoir quelles sont les étapes à suivre pour réussir la fabrication d'une pièce. Il est important aussi de savoir les quantités des matériaux nécessaires pour la réalisation d'une pièce. Les matériaux composites présente beaucoup d'avantage comme augmentation de la résistance, la rigidité, la légèreté de la pièce, mais l'inconvénient des composites est que les matériaux utilisés sont chères à cause de la production industrielle.

### **ABSTRACT**

In the realization of this present report, it is necessary to know: what is called composite materials, the materials and materials used at the time of the stratification. In the application of composite materials, it is necessary to know which are the stage to follow to make a success of the manufacture of a part. It is significant also to know the quantities of materials necessary for the realization of a part. The composite materials presents much advantage like increase in resistance, rigidity, the lightness of the part, but the disadvantage of the composites is that the materials used are expensive because of its industrial production.

**MOTS- CLES :** matériaux, stratification, résine gelcoat, catalyseur, additifs, fibre, débulleur, charge, renfort, composite, polymérisation, démoulage, piscine, coque, moule, roving, mat, filtration.

**ADRESSE DE L'AUTEUR :** lot 0906G170 Antanambao vélodrome Antsirabe