



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
La République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur & la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
Université Abdel Hamid IBN Badis – Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الهندسة الميكانيكية
Département de Génie Mécanique



N° d'ordre : M...../GM/2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Thème

Etude du comportement mécanique du composite à fibre de verre et résine renforcée par micro particules

Présenté par :

- ❖ HAMED ESSEDDIK BEKKI
- ❖ HALIMA BOUZID

Soutenu le 10/07 / 2019 devant le jury composé de :

Président	Dr. M. SAHNOUNE	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	Dr. S. E. BENKABOUCHE	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	Mme. H. CHENNINE	Université de Mostaganem UMAB
Encadreur	Pr. D. OUINAS	Université de Mostaganem UMAB

Année Universitaire : 2018 / 2019

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon mémoire.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur Mr Djamel Ouinas Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé, conseillé. Pour son aide. Ses conseils avisés et sa supervision éclairée tout au long de la rédaction du mémoire.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'université de Mostaganem UMAB.

Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été la pour moi. Je remercie mes très chers amis (es) pour leurs encouragements, je remercie mes amis(es) qui ont toujours été la pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes :

Mr. Abderrahman Rachid

Mr. Zelmat Yacine

MemeChenineNawel

A tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude

NOTATIONS

ρ	masse volumique (kg/m^3)
σ_{cis}	résistance au cisaillement (MPa)
σ_{com}	résistance en compression (MPa)
σ_f^R	contrainte à la rupture en flexion (MPa)
σ_t^R	contrainte à la rupture en traction (MPa)
σ_u	contrainte à la rupture (MPa)
E_f	module d'élasticité en flexion (GPa)
E_T	module d'élasticité en traction (GPa)
E	module de Young (GPa)
ε_f^R	allongement à la rupture en flexion (%)
$\varepsilon_T^R(\%)$	allongement à la rupture en traction (%)
T_f	température de fléchissement ($^{\circ}\text{C}$)
F_{bc}	force maximale en traction (kN)
R_{bc}	résistance maximale en traction (MPa)
F_{sc}	force de rupture (kN)
R_{sc}	résistance à la rupture (MPa)
F_{pc}	force maximale d'élasticité (kN)
R_{pc}	résistance maximale d'élasticité (MPa)
F_{tc}	la force initiale (kN)
R_{tc}	la résistance initiale (MPa)

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I GENERALITES SUR LES MATERIAUX COMPOSITES	
I.1. Introduction	2
I.2. Les constituants.....	3
I.2.1. Le sable.....	3
I.2.3. Les fibres	6
I.3. Diffusion de la résine micro-chargée.....	7
I.4. La machine a traction :une machine à test universel fabriqué par l'entreprise chinoise Jinan Testing Equipment en 2013 d'une capacité de 100 kN.	7
CHAPITRE II ESSAIS ET RESULTATS	
II.1. Procédé d'élaboration des plaques	8
Principe 1 : Mélange manuel	8
II.2. Préparation des plaques et éprouvettes	8
II.2.1. Positionnement de la fibre	8
II.2.2. Mélange résine - sable.....	8
II.3. Essais sur des éprouvettes sans sable et sans entailles	21
II.4. Eprouvettes sans sable, avec une entaille de diamètre D=1mm	23
II.5. Eprouvettes sans sable, avec une entaille de diamètre D=2mm	24
II.6. Eprouvettes sans sable, avec une entaille de diamètre D=4mm	26
II.7. Eprouvettes avec 5% de sable,sans entailles.....	27
II.8. Eprouvettes à 5% de sable et avec entaille de diamètre D=1mm	28
II.9. Eprouvettes à 5% de sable, avec entaille de diamètre D=2mm.....	30
II.10. Eprouvettes à 5% de sable, avec entaille de diamètre D=4mm.....	31
II.11. Eprouvettes avec 25% de sable, sans entaille	32
II.12. Eprouvettes à 25% de sable, avec entaille de diamètre D=1mm.....	33
II.13. Eprouvettes à 25% de sable, avec entaille de diamètre D=2mm.....	34
II.14. Eprouvettes avec 25% de sable, avec trou de diamètre D=4mm	35
CONCLUSION.....	37

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I.1. CARACTERISTIQUE DES RESINES	5
TABLEAU I.2. CARACTERISTIQUE DES FIBRES.....	7
TABLEAU II.1. TAUX DE LA FIBRE .LA RESINE.LE DURCISSEUR, ET LE NOMBRE DE COUCHE .	9
TABLEAU II.2. REPRESENTE LE TAUX DE LA RESINE LE SABLE ET LE DURCISSEUR.	12
TABLEAU II. 3. TAUX D'ABSORPTION D'EAU PERIODIQUE DE 2 JR.....	15
TABLEAU II.4. DIMENSIONS DES EPROUVETTES	20

LISTE DES ORGANIGRAMMES

ORGANIGRAMME 1. ETAPES POUR LA REALISATION DU COMPOSITE A RESINE MICRO CHARGEE.....	2
ORGANIGRAMME2. TYPES DE RESINES.....	4
ORGANIGRAMME 3. DIFFERENTS TYPES DE RENFORTS.....	6

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Sable de mer avant broyage.....	03
Figure I-2 : sable après le broyage.....	03
Figure I-3 : passoire de sable.....	04
Figure I-4 : Broyeur Retsch de type BB100mangan 1999.....	04
Figure I-5 : Résine de type polyesters et le durcisseur M50.....	05
Figure I-6 : Les types de fibre.....	06
Figure I-7 : Machine a traction de type wdw-100.....	07
Figure II-1 : Etapes de préparation de la plaque.....	09
Figure II-2 : les plaques après séchage.....	09
Figure II-3 : Description des éprouvettes de l'essai de traction.....	10

Figure II-4 : Le moule à éprouvettes.....	12
Figure II-5 : Perçage des éprouvettes à différents diamètres.....	13
Figure II-6 : La mise des éprouvettes sous l'eau de mer.....	14
Figure II-7 : Teneur en eau des éprouvettes en résine sans sable et sans entaille.....	15
Figure II-8 : Teneur en eau des éprouvettes en résine sans entaille avec 5% du sable.....	16
Figure II-9 : Teneur en eau des éprouvettes en résine sans entaille avec 12,5% du sable.....	16
Figure II-10 : Teneur en eau des éprouvettes en résine sans entaille avec 25% du sable.....	17
Figure II-11 : Teneur en eau des éprouvettes en résine sans sable avec entaille de (1mm)	17
Figure II-12 : Teneur en eau des éprouvettes en résine avec 5% de sable en présence d'entaille de (1mm).....	18
Figure II-13 :Teneur en eau des éprouvettes en résine avec 12,5% de sable en présence d'entaille de (1mm).....	18
Figure II-14 : Teneur en eau des éprouvettes en résine avec 25% de sable en présence d'entaille de (1mm.).....	18
Figure II-15 : a. Matériau non immergé dans l'eau ,b. Matériau immergé 5 jours (120 heures), c,Matériau immergé 10 jours (240 heures) dans l'eau dans l'eau.....	19
Figure II-16 : Machine de traction.	19
Figure II-17 : Traction sur une éprouvette testée sans trous (cassée)	21
Figure II-18 : Traction sur une éprouvette avec un trou de diamètres (1,2 et 4mm).	21
Figure II-19 : Variation de la charge en fonction du temps.....	22
Figure II-20 : Variation de la charge en fonction de l'allongement.....	22
Figure II-21 : Variation de la contrainte en fonction de la déformation.....	22
Figure II-22 : Variation de la charge en fonction du temps avec entaille de (1mm).....	23
Figure II-23 : Variation de la charge en fonction de l'allongement avec entaille de (1mm)....	24
Figure II-24 : Variation de la contrainte en fonction de la déformation avec entaille de (1mm)	24
Figure II-25 : Variation de la charge en fonction du temps avec entaille de (2mm).....	25

Figure II.26 : Variation de la charge en fonction de l'allongement avec entaille de (2mm)...	25
Figure II-27 : Variation de la contrainte en fonction de la déformation avec entaille de(2mm)	25
Figure II-28 : Variation de la charge en fonction du temps avec entaille de (4mm).....	26
Figure II-29 : Variation de la charge en fonction de l'allongement avec entaille de (4mm)...	26
Figure II-30 : Variation de la contrainte en fonction de la déformation avec entaille de (4mm)	27
Figure II-31 : Variation de la charge en fonction du temps avec 5% du sable.....	27
Figure II-32 : Variation de la charge en fonction de l'allongement avec 5% du sable.....	28
Figure II-33 : Variation de la contrainte en fonction de la déformation avec 5% du sable ...	28
Figure II-34 : Variation de la charge en fonction du temps avec 5% du sable et une entaille de (1mm).....	29
Figure II-35 : Variation de la charge en fonction de l'allongement avec 5% du sable et une entaille de (1mm).....	29
Figure II-36 : Variation de la contrainte en fonction de la déformation avec 5% du sable une entaille de (1mm).....	29
Figure II-37 : Variation de la charge en fonction du temps avec 5% du sable et une entaille de (2mm).....	30
Figure II-38 : Variation de la charge en fonction de l'allongement avec 5% du sable et une entaille de (2mm).....	30
Figure II-39: Variation de la contrainte en fonction de la déformation avec 5% du sable une entaille de (2mm).....	31
Figure II-40 : Variation de la charge en fonction du temps avec 5% du sable et une entaille de (4mm).....	31

Figure II-41: Variation de la charge en fonction de l'allongement avec 5% du sable et une entaille de (4mm).....	32
Figure II-42 : Variation de la contrainte en fonction de la déformation avec 5% du sable une entaille de (4mm)	32
Figure II-43: de la charge en fonction de temps avec 25% du sable.....	32
Figure II-44 : Variation de la charge en fonction de l'allongement avec 25% du sable.....	33
Figure II-45 : Variation de la contrainte en fonction de la déformation avec 25% du sable...33	
Figure II-46 : Variation de la charge en fonction du temps avec 25% du sable et une entaille de (1mm).....	33
Figure II-47 : Variation de la charge en fonction de l'allongement avec 25% du sable et une entaille de (1mm).....	34
Figure II-48 : Variation de la contrainte en fonction de la déformation avec 25% du sable une entaille de (1mm)	34
Figure II-49 :Variation de la charge en fonction du temps avec 25% du sable et une entaille de (2mm)	34
Figure II-50 : Variation de la charge en fonction de l'allongement avec 25% du sable et une entaille de (2mm).....	35
Figure II-51 : Variation de la contrainte en fonction de la déformation avec 25% du sable une entaille de (2mm).....	35
Figure II-52 : Variation de la charge en fonction de l'allongement avec 25% du sable et une entaille de (4mm).....	35
Figure II-53 : Variation de la charge en fonction de l'allongement avec 25% du sable et une entaille de (4mm).....	36
Figure II-54 : Variation de la contrainte en fonction de la déformation avec 25% du sable une entaille de (4mm).....	36

Résumé

A l'heure actuelle, la maîtrise du comportement mécanique de matériaux et de structures en composites sous différentes sollicitations constitue un champ de recherche vaste et complexe. Elle est la préoccupation majeure de plusieurs secteurs de l'industrie notamment le transport ou la défense. La modélisation des différents phénomènes physiques caractéristiques du comportement d'un matériau composite subissant une déformation joue un rôle primordial dans le dimensionnement des structures.

Les travaux entrepris dans ce travail sont une contribution à l'étude de la fonctionnalisation des composites à renfort continu et matrice thermoplastique renforcée. La fonctionnalisation s'est faite par micro charges de sable. Le couvre toutes les étapes de mise en œuvre, et de caractérisation ainsi que l'exploitation de la fonctionnalisation dans le suivi de l'état de santé de ces composites.

L'influence des micro charges, des entailles circulaires et l'effet de l'absorption de l'eau de mer sur les propriétés des composites ont été déterminés.

Mots clés : *Entaille circulaire, sollicitations, micro-charges de particules de sable, composites stratifiés.*

Abstract

At present, the control of the mechanical behavior of materials and structures in composites under different solicitations constitutes a vast and complex field of research. It is the major concern of many sectors of the industry including transportation or defense. The modeling of the different physical phenomena characteristic of the behavior of a composite material undergoing deformation plays a primordial role in the dimensioning of the structures.

The work undertaken in this work is a contribution to the study of the functionalisation of composites with continuous reinforcement and reinforced thermoplastic matrix. The functionalisation was done by micro sand loads. It covers all stages of implementation and characterization as well as the exploitation of functionalisation in monitoring the health status of these composites.

The influence of micro charges, circular cuts and the effect of seawater absorption on the properties of the composites were determined.

Key words: *Circular notch, stresses, micro-charges of sand particles, laminated composites materials.*

ملخص

في الوقت الحاضر ، يشكل التحكم في السلوك الميكانيكي للمواد والهياكل في المركبات تحت طلبات مختلفة مجالاً واسعاً ومعدّداً من الأبحاث. هذا هو الشاغل الرئيسي للعديد من قطاعات الصناعة بما في ذلك النقل أو الدفاع. يلعب نمذجة الظواهر الفيزيائية المختلفة المميّزة لسلوك مادة مركبة تمر تشوهاً دوراً أساسياً في أبعاد البنى.

يُعد العمل المنجز في هذا العمل بمثابة مساهمة في دراسة إضفاء الصبغة الوظيفية على المركبات ذات التعزيز المستمر ومصفوفة البلاستيك الحراري المقوى. تم القيام به من قبل الأحمال الرملية الصغيرة. ويغطي جميع مراحل التنفيذ والتوصيف وكذلك استغلال الوظيفية في رصد الحالة الصحية لهذه المركبات.

تم تحديد تأثير الشحنات الجزئية والتخفيضات الدائرية وتأثير امتصاص مياه البحر على خصائص المركبات.

الكلمات المفتاحية: الشق الدائري ، الضغوط ، الشحنات الدقيقة لجزيئات الرمل ، المواد المركبة .

Introduction générale

Au cours de ces dernières années, la part des matériaux composites dans l'industrie mondiale ne cesse d'augmenter, en bénéficiant d'une croissance rapide et régulière, soutenue en particulier par la diversité des applications (aéronautique, transport ferroviaire, navale, automobile, spatial ...).

Les composites disposent d'atouts importants par rapport aux matériaux traditionnels (alliages métalliques). Ils apportent de nombreux avantages fonctionnels : légèreté, résistance mécanique et chimique, maintenance réduite, liberté de formes. Ils permettent d'augmenter la durée de vie de certains équipements grâce à leurs propriétés mécaniques et chimiques. Ils contribuent au renforcement de la sécurité grâce à une meilleure tenue aux chocs et au feu. Ils offrent une meilleure isolation thermique ou phonique et, pour certains d'entre eux, une bonne isolation électrique. Ils enrichissent aussi les possibilités de conception en permettant d'alléger des structures et de réaliser des formes complexes, aptes à remplir plusieurs fonctions, dans chacun des marchés d'applications.

Ce travail est une approche qui consiste à réaliser une structure en composite à base de renforts classiques (fibres de verre) et d'une résine thermodurcissable chargée avec des microparticules de sable broyé. Les contraintes seront de préserver la tenue mécanique et d'utiliser un procédé de mise en œuvre classique comme le RTM-Eco ou LRI.

Cette étude comprend deux chapitres :

Le premier chapitre est une étude bibliographique qui donne une vision sur les polymères, les différentes charges employées. Le deuxième chapitre portera sur la mise en œuvre des plaques en composites à fibre de verre et de la résine micro-chargée. Le terme micro-chargé est retenu par rapport à la taille micrométrique des particules élémentaires du sable après broyage.

L'objectif est d'étudier le comportement mécanique d'un matériau composite à base de fibres de verre par l'injection d'une résine thermodurcissable chargée de microparticules de sable.

Un procédé de mise en œuvre est utilisé : LRI et le RTM-Eco. La résine à injecter sera obtenue par la dispersion des micro-charges de sable avant la phase d'injection. La dispersion du sable dans la matrice, où nous allons étudier l'effet du dispositif de mélangeage et des paramètres de mise en œuvre sur l'état de dispersion et la morphologie finale du sable. Par ailleurs, nous avons procédé à la fabrication des matériaux composites à moule fermé par voie liquide: L'infusion de résine sous moule flexible.

La dernière partie est consacrée à la caractérisation du composite à résine micro-chargée en terme d'efficacité de résistance après l'immersion dans l'eau de mer. Des mesures de poids et des essais de traction seront réalisés.

Nous terminons notre travail par une conclusion.

CHAPITRE I
GENERALITES SUR LES MATERIAUX
COMPOSITES

I.1. Introduction

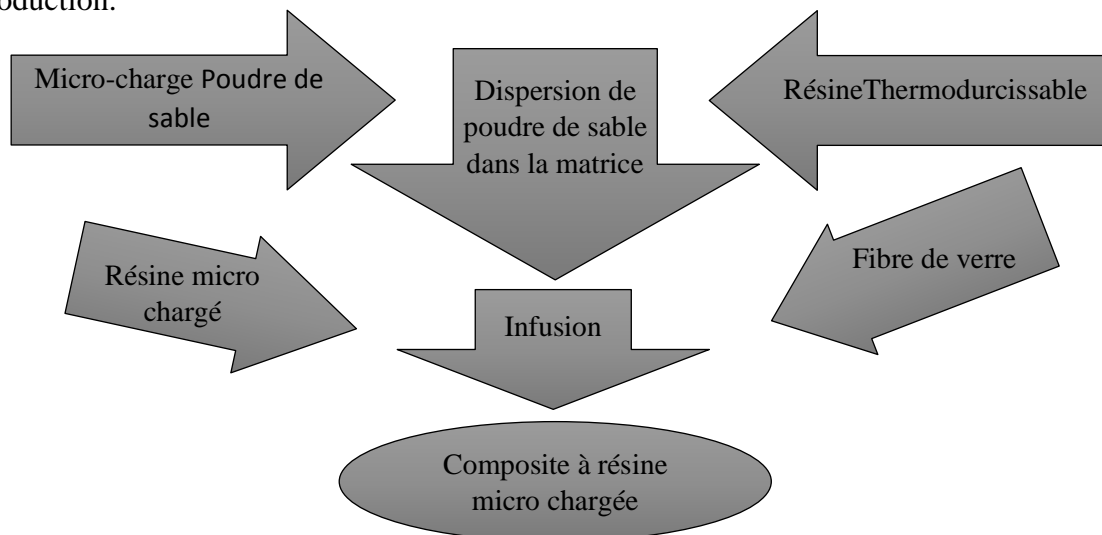
Le matériau composite est constitué d'une matrice et d'un renfort composé (de fibres) est montré comme matériau souvent utilisé dans la production des pièces dans n'importe quel domaine, l'aérospatial, les bateaux et l'automobile.

La matrice est composée d'une résine (polyester, époxyde, etc.) et des charges. Cependant pour réduire le CO2 le marché demande des matériaux plus écologiques.

Cette étude est pour réaliser ce type de matériaux une fois sans sable et une fois avec, par des phases différentes à résine micro-chargées

Il existe trois procédés de fabrication, le premier est basé sur l'infusion, le deuxième sur le RTM-éco et le troisième sur le moulage. La résine mise est réalisée par la dispersion du sable dans la matrice, cette étape est essentielle pour la réalisation d'un tel composite. Deux protocoles de mélangeage seront employés : un mélangeage à mains et un mélangeage à l'aide d'une perceuse, le meilleur protocole avec des paramètres de mise en œuvre configuré sera retenu. Ce choix est basé sur des critères différents comme la dispersion du sable, la quantité du sable est exprimée en taux volumique par rapport au volume de la résine, ce type de mixage matrice-renfort dépend des contraintes imposées : performance mécanique élevée, tenue en température, coût et la résistance à la corrosion etc...

Le terme micro chargé est retenu par rapport à la taille micrométrique des particules élémentaires de la poudre de sable. Luttons pour un matériau amélioré et un bas coût de production.



Organigramme 1. Etapes pour la réalisation du Composite à résine micro chargée

Dans notre étude, on présente seulement l'influence de l'eau de mer sur des éprouvettes en composite immergées. On souhaite comprendre la cinétique de la diffusion de l'eau dans le matériau dans le but de prédire la dégradation des propriétés mécaniques de notre composite à température ambiante

I.2. Les constituants

I.2.1. Le sable

Un matériau granulaire composé de petites graines provenant d'une dégradation d'un matériau brute disant :

- Minérale (roches)
- Organique (coquilles)

La taille des grains de sable est comprise entre 0,063 et 2 mm leur masse volumique qui vaut 1300 kg/m^3 . La masse volumique du sable est comprise entre 1,4 et 1,7 tonnes/m³



Figure I. 1. Sable de mer avant broyage

Le broyeur disponible au sein du laboratoire de Génie Civil permet de réduire la taille des grains de sable à $150 \mu\text{m}$ comme illustré sur la photographie (Voir Fig.I.4)



Figure I. 2. Sable après le broyage

Plusieurs étapes de filtration sont nécessaires pour obtenir la taille des grains de sable désirée.



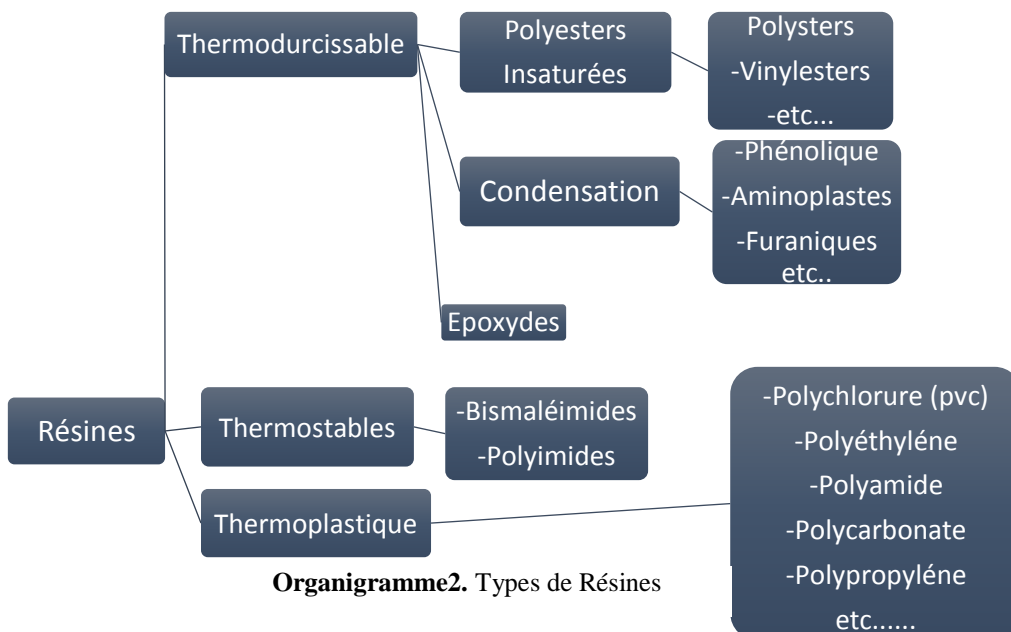
Figure I. 3. Filtreur de sable



Figure I. 4. Broyeur Retsch de type BB100mangan 1999

I.2.2. Résine

La matrice contient des propriétés mécaniques élevées elle ne peut être utilisée ou formée qu'une seule fois.



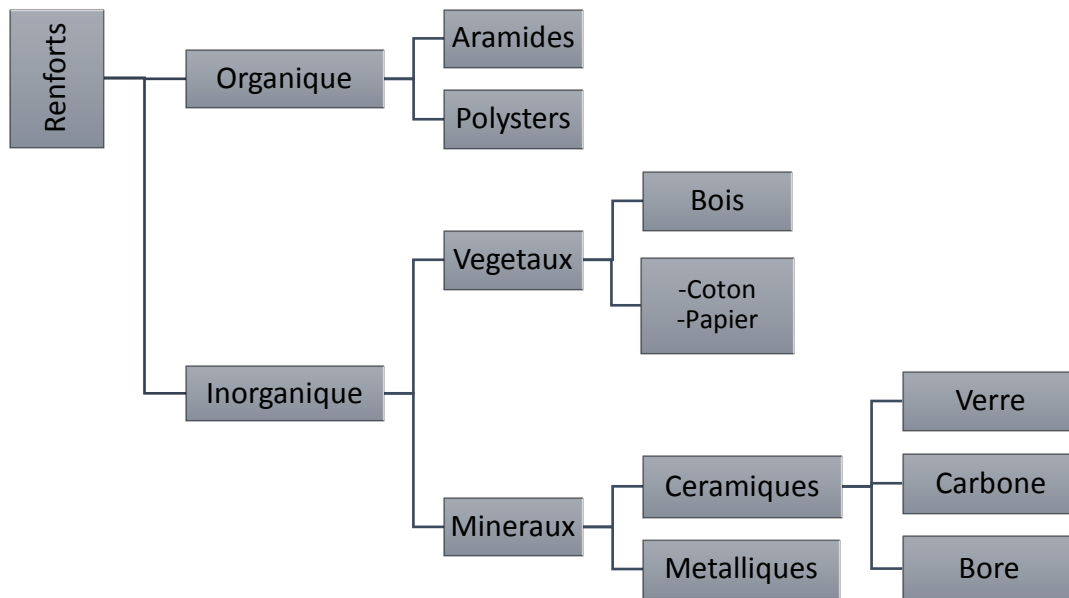
La résine adoptée dans cette thèse est une résine polyester préACCThixo, celle-ci appartient à la classe des polymères thermodurcissable à hautes performances et des teneurs faibles avec une densité de l'ordre 1,03. En ajoutant à cette résine un durcisseur de type M50, la température monte et un réseau tridimensionnel de monomères se réalise.



Figure I. 5. Résine de type polyesters et le durcisseur M50

	T_f (°C)	P (kg/m ³)	ε_T^R (%)	ε_f^R (%)	σ_t^R (MPa)	σ_f^R (MPa)	E_T (GPa)	E_f (GPa)	σ_{com} (MPa)	σ_{cis} (MPa)
Polyesters	60 à 100	1140	2 à 5	7 à 9	50 à 85	90 à 130	2,8 à 3,6	3 à 4,5	90 à 200	10 à 20
Phénolique	120	1200	2,5		40	90		3	90	
Epoxyde	290	1100 à 1500	2 à 5		60 à 80	100 à 150	3 à 5		250	30 à 50
Polyamide	65 à 100	1140	/		60 à 85		1,2 à 2,5		/	
polypropylène	900	1200	/		20 à 35		1,1 à 1,4		/	

Tableau I.1. Caractéristique des résines



Organigramme 3. Différents types de renf

I.2.3. Les fibres

Les fibres sont des matériaux de renfort qui donnent aux composites leurs caractéristiques mécaniques élevées tels que sa rigidité, la résistance à la rupture, la dureté etc. En permettant aussi l'amélioration des propriétés : le comportement thermique, la tenue en température et au feu, ainsi que sa résistance à l'abrasion, la fraction volumique du matériau composite est comprise entre 0,3 et 0,7

Les renforts fibres s'exposent sous diverses formes : Linéique, Tissu superficique, Multidirectionnelle

Parmi ceux-là, on a utilisé celle de verre avec son rapport qui le classe au premier rang des renforts utilisé actuellement précisément la unidirectionnelle avec un grammage de $1000\text{g}/\text{m}^2$



Figure I. 6. Représentation des types de fibres de verre

Fibres de	Module E(GPa)	Contrainte a la rupture σ_u (MPa)	Masse volumique ρ (kg/m ³)	Module spécifique E/ ρ (MNm/kg)	Contrainte spécifique σ_u/ ρ (kN m/kg)
Verre-E	72,4	3500	2540	28,5	1380
Verre-S	85,5	4600	2480	34 ,5	1850
Carbone à -haut module	390	2100	1900	205	1100
-contrainte élevés	240	3500	1850	130	1890
Kevlar(aramide)	130	2800	1500	87	1870
bore	385	2800	2630	146	1100

Tableau I.2. Caractéristique des fibres

I.3. Diffusion de la résine micro-chargée

Les principaux points de l'élaboration des composites à résine micro-chargée concernant la propagation des charges (poudre de sable) dans la matrice (résine) est le contrôle de sa rhéologie d'une résine chargée. Cependant le taux de sable dans les matériaux étudiés est calculé en volume par rapport à la quantité de la résine, il varie de 5% à 25%.

D'une manière générale, les essais de traction permettent de quantifier certaines propriétés mécaniques, telles que le module d'élasticité, la résistance maximale ou la contrainte et l'allongement à la rupture en traction. Ils permettent de déterminer qualitativement si un matériau est fragile ou ductile, rigide ou souple.

I.4. La machine a traction : une machine à test universel fabriqué par l'entreprise chinoise Jinan Testing Equipment en 2013 d'une capacité de 100 kN.



Figure I. 7.Machine a traction de type wdw-100

Chapitre 2

Essais et résultats

II.1. Procédé d'élaboration des plaques

Principe 1 : Mélange manuel

Vu le manque total du matériel on était obligé de mélanger à la main à l'aide d'une spatule en bois dans un Bol, pendant 10 min, en versant la poudre du sable peu à peu et en mélangeant en même temps.

Principe 2 : Mélange à l'aide d'une perceuse

La mise en œuvre de la résine chargée a été réalisée par une agitation mécanique, du composé de sable et la résine qui sont mélangés pendant 5 min à l'aide d'une perceuse tournante, à une vitesse de 1000 tr/min après l'ajout de la masse nécessaire de durcisseur, puis pendant 5 min ensuite la solution sera versée dans un moule en silicone en laissant sécher à une température ambiante pour quelques heures.

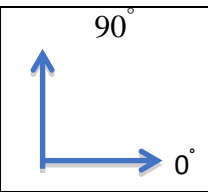
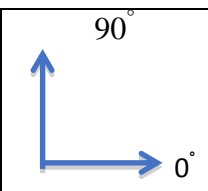
II.2. Préparation des plaques et éprouvettes

II.2.1. Positionnement de la fibre

Le positionnement des fibres sera suivant les orientations des angles 0° , 45° , 90° , -45°

II.2.2. Mélange résine - sable

Le sable sera ajouté d'une façon régulière jusqu'à qu'il sera complètement dispersé sur toute la résine puis rajouter le catalyseur et mélanger spontanément pour les 4 phases suivantes : sans sable, sable a (5%, 12,5%, 25%) de la résine.

Plaque : 01	[$90^\circ/0^\circ/90^\circ$] _s			
	Poids Kg	Pourcentage %	6 couches	
Fibre	1,912	60		
Résine	1,275	40		
Durcisseur	0,01275	1		
Plaque : 02	[UD 0°]			
	Poids Kg	Pourcentage %	6 couches	
Fibre	1,977	60		
Résine	1,318	40		
Durcisseur	0,1318	1		
Plaque : 03	[$90^\circ/-45^\circ/45^\circ/90^\circ/0^\circ$] _s			

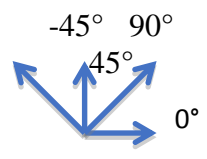
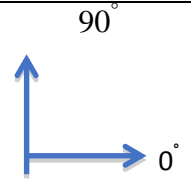
	Poids Kg	Pourcentage %	10 couches	
Fibre	3,312	68,55		
Résine	1,519	31,45		
Durcisseur		1		
Plaque : 04	[UD 0°]			
	Poids Kg	Pourcentage %	6 couches	
Fibre	1,745	65		
Résine	9,3961	35		
Durcisseur	0,094	1		

Tableau II. 1. Taux de la fibre, la résine le durcisseur et le nombre de couches

Le mélange sera éparpillé sur l'ensemble des fibres, couche par couche à l'aide d'un pinceau comme montré sur la figure II.11, puis le matériau est couvert d'un plastique pour éliminer tout contact avec l'air. (Figure II.11).



Figure II.1. Les étapes de préparation de la plaque

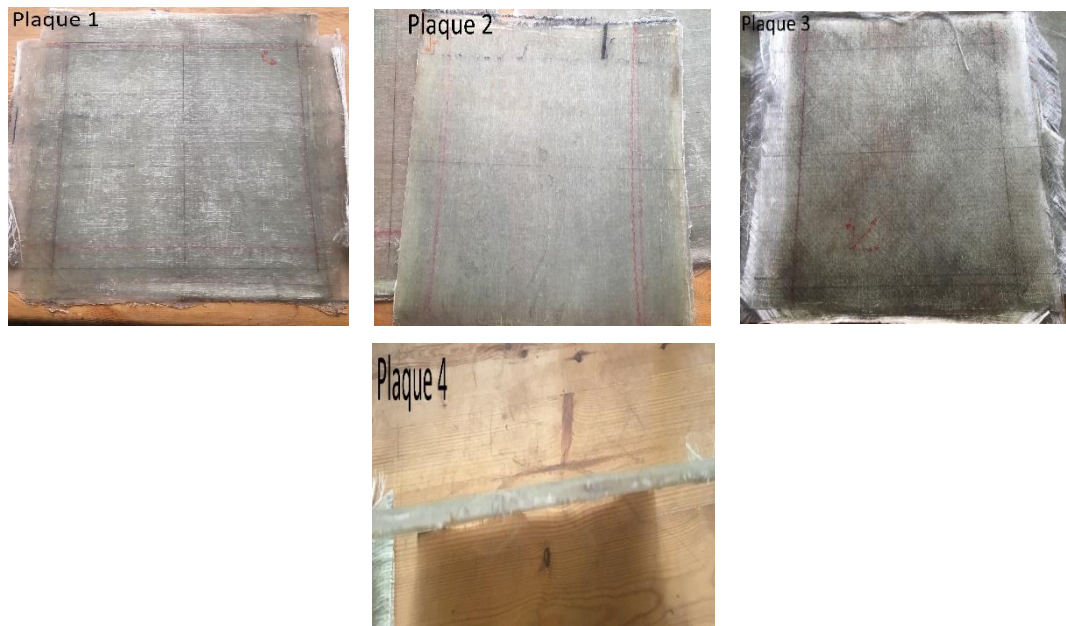


Figure II. 2. Plaque après séchage

La poursuite des essais dans ce cas a été abandonnée, suite au problème d'absence d'une machine à disque diamanté pour découpage des plaques. Donc Le mélange sera versé dans un moule en silicone et laissé sécher à température ambiante.

Les éprouvettes testées ont une forme haltère, respectant la norme ISO (294-1) de dimensions (150, 10, 4) mm³. La figure II. 3 montre les dimensions et la forme des éprouvettes de l'étude.

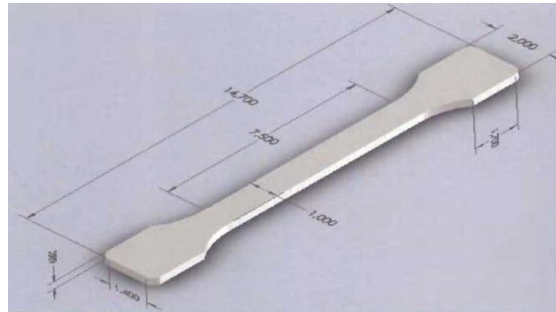


Figure II.3. Description des éprouvettes de l'essai de traction

Taux de sable à 0% par rapport à la résine		
Moulage 1		
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,1435	100
sable	0	0
Durcisseur	0,00287	2
Moulage 2		
0	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,1535	100
sable	0	0
Durcisseur	0 ,003	2
0%	Moulage 3	
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,153	100
sable	0	0
Durcisseur	0,003	2
Moulage 4		
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,155	100
sable	0	0
Durcisseur	0,0031	2

Taux de sable à 5% par rapport à la résine		
Moulage 1		
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,150	100
sable	0,0075	5
Durcisseur	0,003	2
Moulage 2		
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,167	100
sable	0,00835	5
Durcisseur	0,00334	2
Moulage 3		
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,164	100
sable	0,0082	5
Durcisseur	0,006	4
Moulage 4		
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,151	100
sable	0,007	5
Durcisseur	0,005	3,3

Taux de sable à 12,5% par rapport à la résine		
Moulage 1		
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,156	100
sable	0,019	12,5
Durcisseur	0,006	3
Moulage 2		
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,156	100
sable	0,019	12,5
Durcisseur	0,005	3,2
Moulage 3		
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,179	100
sable	0,025	12,5
Durcisseur	0,008	4,46
Moulage 4		
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,156	100
sable	0,019	12,5
Durcisseur	0,006	3,84

Taux de sable à 25% par rapport à la résine		
	Moulage 1	
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,156	100
sable	0,039	25
Durcisseur	0,005	3,2
25%	Moulage 2	
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,156	100
sable	0,039	25
Durcisseur	0,006	3,4
25%	Moulage 3	
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,156	100
sable	0,039	25
Durcisseur	0,006	3,4
25%	Moulage 4	
	Pois (kg)	Pourcentage %
Résine	0,156	100
sable	0,039	25
Durcisseur	0,005	3,2

Tableau II. 2. .Représente le taux de la résine, le sable et le durcisseur

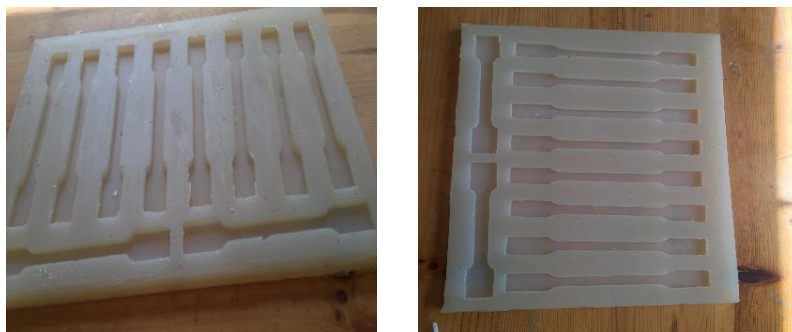


Figure II.4. Le moule à éprouvettes.

II.2.2.1. Perçage

Les éprouvettes sont percées 3 diamètre différents (1, 2,4) mm comme montré si dessous

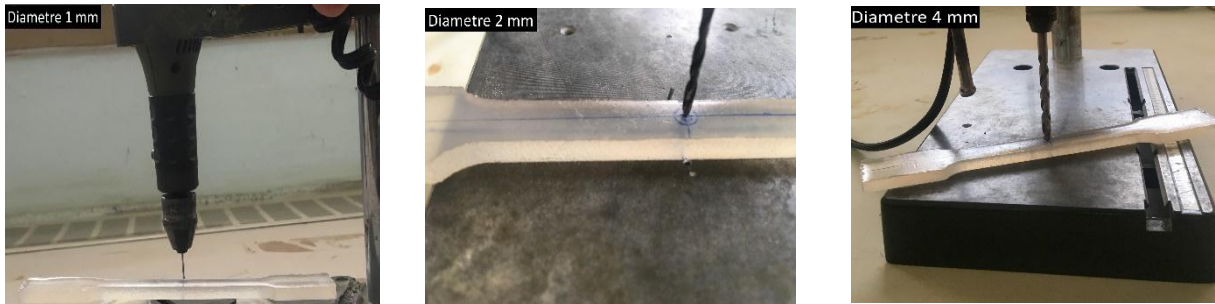


Figure II.5. Représente les différents diamètres à percer

II.2.2.2. L'immersion dans l'eau de mer (l'eau salée)

Le matériau est immergé dans l'eau de mer, il sera retiré périodiquement 1/3 d'éprouvettes chaque 5 jrs (120 heures). Ce qui nous emmène à 120 heures ,240heures ,360 heure



Figure II.6. La mise des éprouvettes dans l'eau de mer

II.2.2.3. L'absorption d'eau

Les éprouvettes sont immergées dans l'eau, et au fur et à mesure, les prises de poids seront notées chaque jour afin de calculer le taux d'absorption de l'eau et l'augmentation du poids par jour. Les prélèvements notés sont regroupés dans les tableaux ci-dessous.

		Résine sans sable									
N°	Poids avant	2ème jour		4ème jour		8ème jour		10ème jour		Après	
		(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
1	13	+0,23	+1,76	+0,42	+3,23	+0,65	+5	+0,21	+1,61	14,5	+11,6
3	13	+0,19	+2,23	+0,32	+2,46	+0,57	+4,38	+0,15	+1,23	14,3	+10,3
6	12,5	+0,3	+2,4	+0,28	+2,24	+0,68	+5,44	+0,3	+2,4	14,1	+12,48
		Résine +5% de sable									
N°	Poids avant	2ème jour		4ème jour		8ème jour		10ème jour		Après	
		(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
1	14	+0,2	+1,42	+0,38	+2,71	+0,57	+4,07	+0,1	+0,71	15,25	+8,91
2	15	+0,15	+1	+0,27	+1,8	+0,38	+2,53	+0,09	+0,6	16,09	+5,93
3	14	+0,23	+1,64	+0,15	+1,07	+0,52	+3,71	+0,21	+1,5	15,11	+7,92
		Résine +12,5% de sable									
N°	Poids avant	2ème jour		4ème jour		8ème jour		10ème jour		Après	
		(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
2	16	+0,15	+0,93	+0,21	+1,31	+0,43	+2,68	+0,09	+0,56	16,88	+5,49
5	16	+0,18	+1,12	+0,19	+1,18	+0,39	+2,43	+0,07	+0,43	16,83	+5,16
6	15	+0,23	+1,53	+0,25	+1,66	+0,5	+3,33	+0,1	+0,66	16,08	+7,18
		Résine +25 % de sable									
N°	Poids avant	2ème jour		4ème jour		8ème jour		10ème jour		Après	
		(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
1	18	+0,09	+0,5	+0,13	+0,72	+0,37	+2,05	+0,05	+0,27	18,64	+3,54
4	17,5	+0,15	+0,85	+0,14	+0,8	+0,28	+1,6	+0,09	+0,51	18,16	+3,76
9	18	+0,18	+1	+0,22	+1,22	+0,42	+2,33	+0,15	+0,83	18,97	+5,38

		Résine sans sable avec trou de diamètre D =1mm									
N°	Poids avant	2ème jour		4ème jour		8ème jour		10ème jour		Après	
		(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
3	13	+0,21	+1,92	+0,3	+1,3	+0,52	+4	+0,18	+1,38	14,21	+8,6
4	13,5	+0,23	+1,70	+0,28	+2,07	+0,45	+3,33	+0,09	+0,66	14,55	+7,76
7	13,5	+0,19	+1,4	+0,2	+1,48	+0,38	+2,81	+0,15	+1,11	14,42	+6,8
		Résine +5% de sable avec trou de diamètre D =1mm									
N°	Poids avant	2ème jour		4ème jour		8ème jour		10ème jour		Après	
		(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
2	13	+0,18	+1,38	+0,31	+2,38	+0,42	+3,33	+0,09	+0,69	14	+7,68
4	16	+0,09	+0,56	+0,2	+1,25	+0,29	+1,81	+0,05	+0,31	16,63	+3,93

6	13	+0,12	+0,92	+0,09	+0,69	+0,45	+3,46	+0,19	+1,46	13,85	+6,53
Résine +12,5% de sable avec trou de diamètre D =1mm											
N°	Poids avant	2ème jour		4ème jour		8ème jour		10ème jour		Après	
		(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
2	17	+0,09	+0,52	+0,18	+1,05	+0,32	+1,88	+0,07	+0,41	17,66	+3,86
4	18	+0,1	+0,55	+0,15	+0,83	+0,29	+0,61	+0,05	+0,27	18,59	+2,26
5	16,5	+0,15	+0,90	+0,19	+1,15	+0,23	+1,39	+0,09	+0,54	17,16	+3,98
Résine +25 %de sable avec trou de diamètre D =1mm											
N°	Poids avant	2ème jour		4ème jour		8ème jour		10ème jour		Après	
		(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
3	17	+0,05	+0,29	+0,12	+0,7	+0,28	+1,64	+0,03	+0,17	17,48	+2,8
6	18	+0,09	+0,5	+0,18	+1	+0,24	+1,33	+0,08	+0,44	18,59	+3,27
8	16,5	+0,15	+0,9	+0,19	+1,51	+0,37	+2,24	+0,11	+0,66	17,32	+5,31

Tableau II. 3. Taux d'absorption d'eau,périodique de 2 jr

Les figures II.7-II.10 montrent l'évolution de la teneur en eau de mer des éprouvettes sans entailles en fonction des jours d'immersion. La figure II.7 montre que le taux d'absorption d'eau est maximal de 3.5% pendant la sixième journée. Au-delà nous remarquons une baisse significative. À première vue on peut distinguer deux phases dans le mécanisme d'absorption, une première partie, pseudo linéaire caractérisée par un coefficient de diffusion qui traduit la vitesse à laquelle le matériau absorbe les particules d'eau. La deuxième phase constitue une étape de stabilité ou le matériau atteint une certaine saturation.

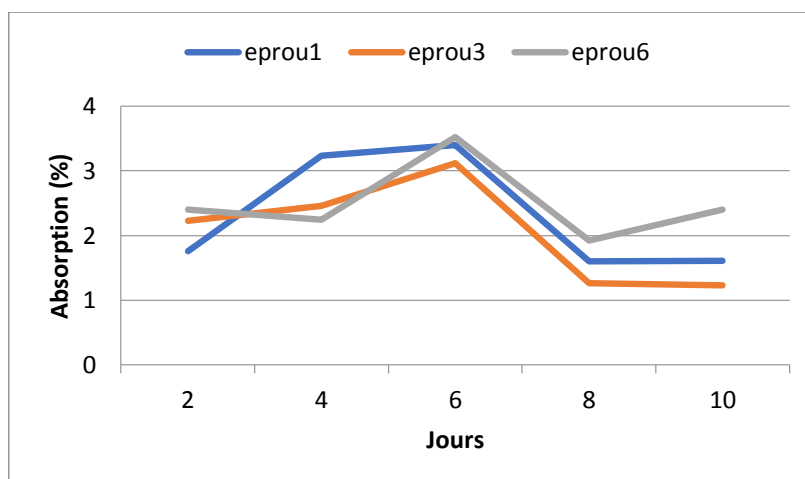


Figure II.7. Teneur en eau des éprouvettes en résine sans sable et sans entaille.

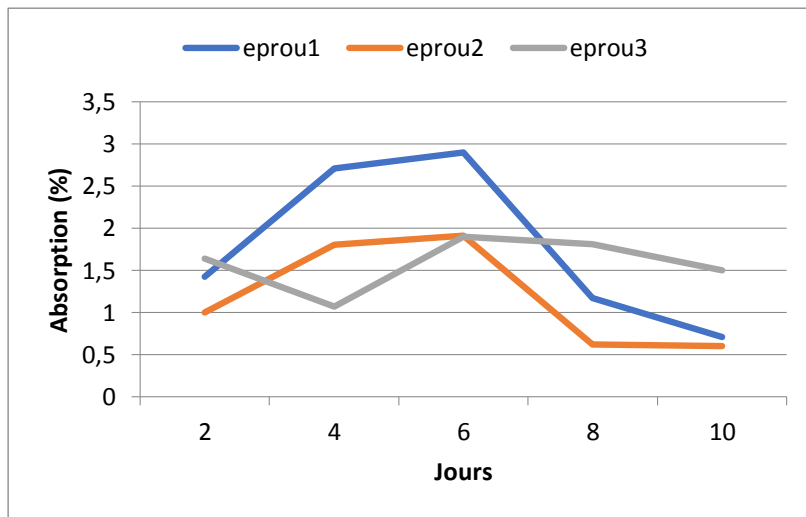


Figure II.8. Teneur en eau des éprouvettes en résine sans entaille avec 5% du sable.

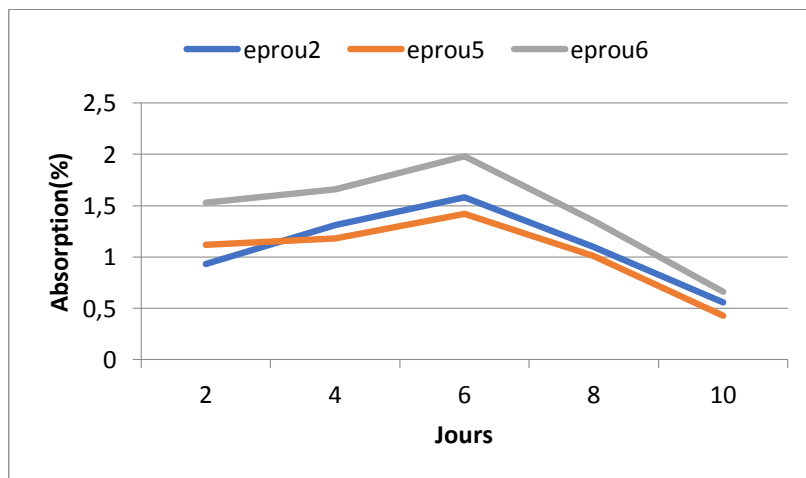


Figure II.9. Teneur en eau des éprouvettes en résine sans entaille avec 12.5% du sable.

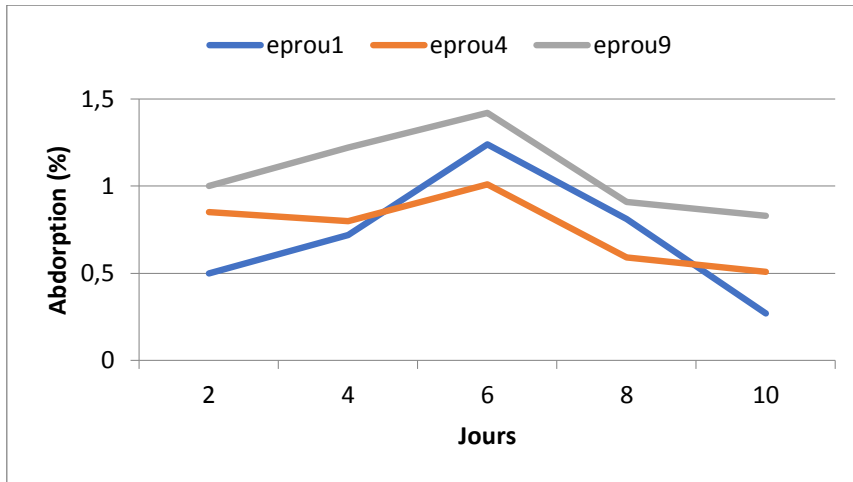


Figure II.10. Teneur en eau des éprouvettes en résine sans entaille avec 25% du sable.

Il est à remarquer que le taux d'absorption est réduit au fur et à mesure que le taux de sable augmente, respectivement de 5%, 12.5% et 25 %.

Les figures II.11-II.14 montrent l'évolution de la teneur en eau de mer des éprouvettes avec une entaille de diamètre $D=1\text{mm}$ en fonction des jours d'immersion dans l'eau de mer. La figure II.11 montre que le taux d'absorption d'eau est maximal de 3% pendant la sixième journée. Au-delà nous remarquons une baisse significative au dixième jour.

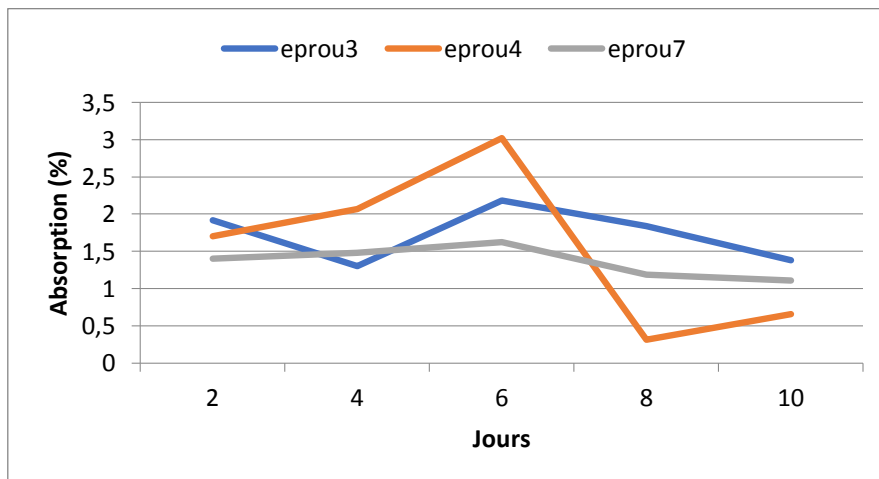


Figure II.11. Teneur en eau des éprouvettes en résine sans sable avec entaille de 1mm.

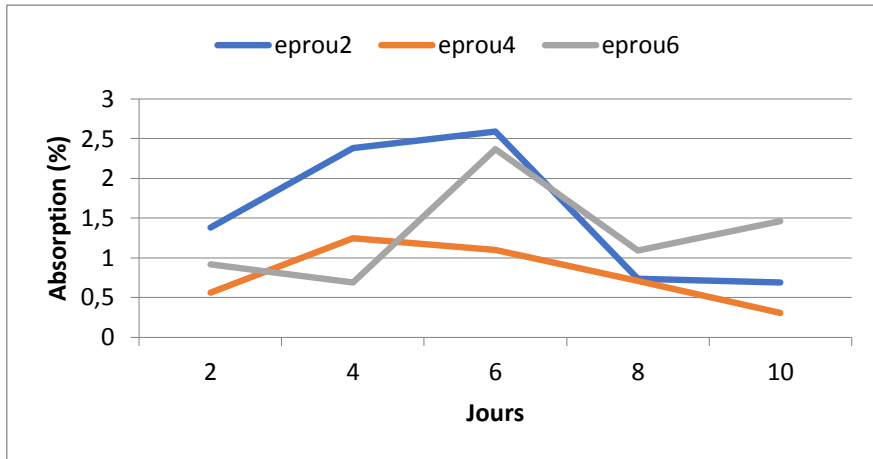


Figure II. 12. Teneur en eau des éprouvettes en résine avec 5% de sable en présence d'entaille de 1mm.

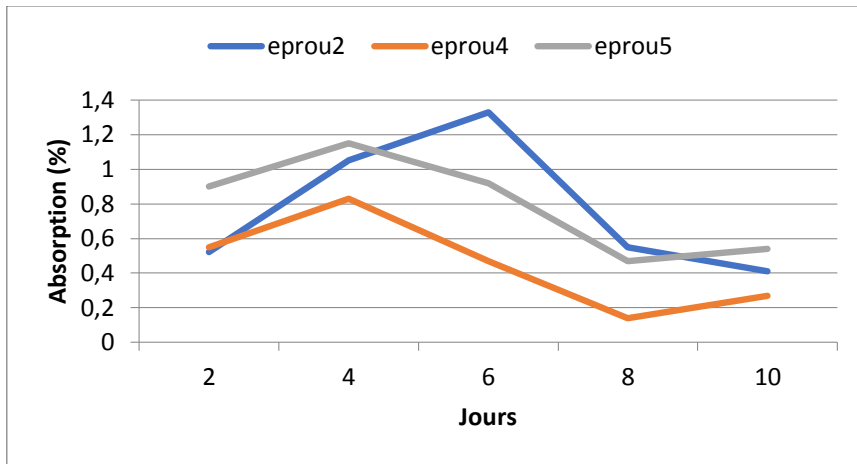


Figure II.13. Teneur en eau des éprouvettes en résine avec 12.5% de sable en présence d'entaille de 1mm.

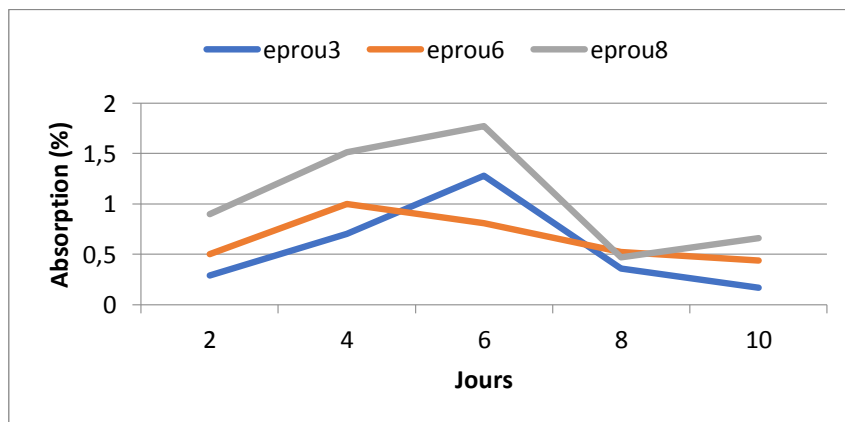


Figure II.14. Teneur en eau des éprouvettes en résine avec 25% de sable en présence d'entaille de 1mm.

IL est à remarquer que le taux d'absorption est réduit au fur et à mesure que le taux de sable augmente, respectivement de 5%, 12.5% et 25 % et la présence de diamètre de 1mm n'a pas un effet clair en comparaison avec des éprouvettes non entaillées.



Figure II.15. Eprouvettes : a : non immergé dans l'eau..., b : immergé 5 jours (120 heures) dans l'eau et c : immergé 10 jours (240 heures) dans l'eau.

Les essais de traction ont été réalisés en utilisant une machine de traction de type Jinan Testing Equipment représentée sur la figure (II.16), équipée d'une cellule de charge d'une capacité maximale de 100 KN. Plusieurs paramètres peuvent être acquis simultanément (temps, charge appliquée, déformation). Les éprouvettes ont été placées entre les mors de la machine de traction tout en prenant soin de bien les aligner verticalement.

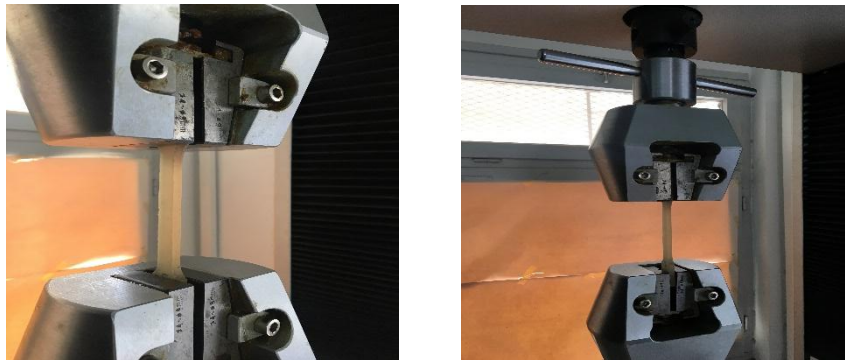


Figure II.16. Machine de traction

Les essais de traction simple ont été menés à température ambiante sur des éprouvettes avec et sans renfort, immergés et non. Un pilotage en déplacement est fait à une vitesse d'avance constante 1 mm/min pour toutes les éprouvettes.

Sans sable 10 jrs sous l'eau				
Diamètre Ø (mm)	Epaisseur : e (mm)	Largeur l (mm)	Longueur L (mm)	La section S (mm ²)
Sans trou	5,3	10,4	89,3	55,12
	5,4	11	88,2	59,4
	5,2	10,2	90	53,04
Ø= 1mm	5,2	11,1	89,6	57,72
	5,2	11,2	88,1	58,24
	5,3	10,9	88,6	57,77
Ø=2mm	5,3	10,8	89,1	57,24
	5,6	11	89,2	61,6
	5,5	11,1	89,6	61,05
Ø=4mm	5,2	10,8	88,4	56,16
	5,3	10,8	89	57,24
	5,3	10,9	88,4	57,77

Avec sable 5% 10 jrs sous l'eau				
Diamètre Ø (mm)	Epaisseur e (mm)	Largeur l(mm)	Longueur L(mm)	La section S (mm ²)
Sans trou	5,3	10,8	88	57,24
	5,2	10,9	87,6	56,16
	5,3	10,9	88,1	57,77
Ø= 1mm	5,9	10,7	87,2	63,13
	5,3	10,9	90	57,77
	5,7	10,8	90	58,32
Ø= 2mm	5,4	10,9	88,9	58,86
	5,3	11,3	88,4	59,89
	5,2	11,1	87,6	57,72
Ø= 4mm	5,1	10,8	89,2	55,08
	5,2	10,9	90	56,68
	5,1	11,1	88,8	56,61

Avec sable 25% 10 jrs sous l'eau				
Diamètre Ø (mm)	Epaisseur e (mm)	Largeur l(mm)	Longueur L(mm)	La section S (mm ²)
Sans trou	5,8	10,8	87	56,16
	5,2	11,1	88	57,72
	5,4	11	90	59,4
Ø= 1mm	5,3	11,2	89,9	58,83
	5,8	10,7	90	62,06
	5,3	10,7	91	56,71
Ø= 2 mm	5,5	10,9	89,4	59,95
	5,8	11,4	90	66,12
	5,2	10,8	91	56,16
Ø= 4mm	5	11,1	89,6	55,5
	5,3	10,8	89,9	57,24

Tableau II.4. Dimensions des éprouvettes.



Figure II.17. Traction sur une éprouvette testée sans trous (cassée).

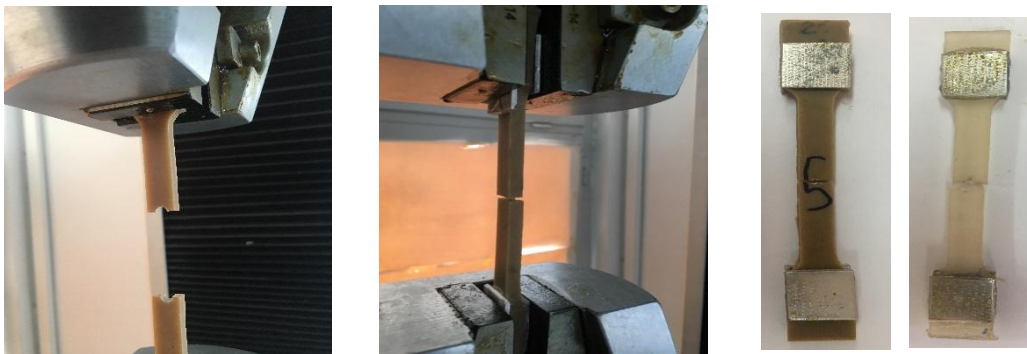


Figure II.18. Traction sur des éprouvettes avec des trous de diamètres (1, 2 et 4mm).

II.3. Essais sur des éprouvettes sans sable et sans entailles

La figure II. 19. montre l'évolution de la charge en fonction du temps de l'essai de traction sur des éprouvettes non renforcées et sans entaille. La contrainte de traction augmente en fonction du temps jusqu'à une valeur maximale variant de 1 à 1.2 MPa. Au-delà de cette valeur, nous remarquons une chute rapide indiquant la perte de rigidité et par conséquent la rupture de l'éprouvette.

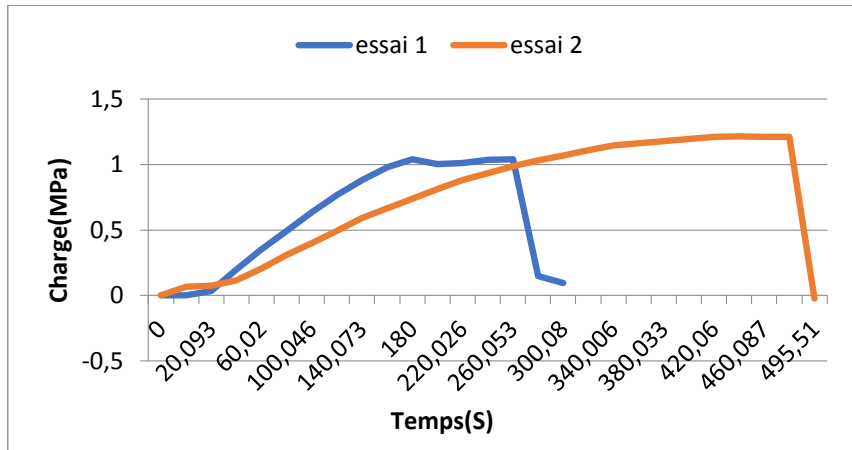


Figure II.19. Variation de la charge en fonction du temps

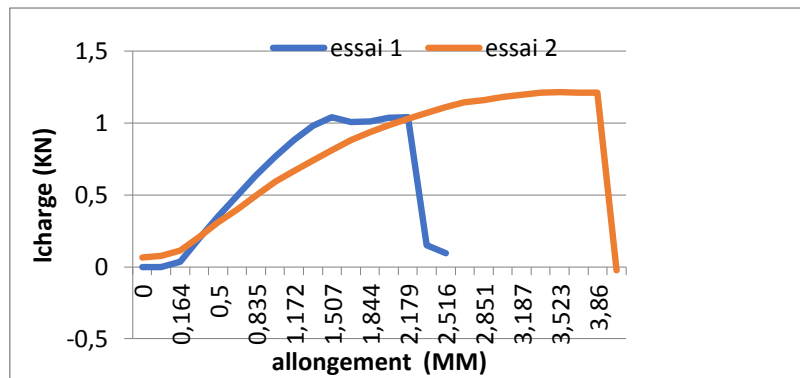


Figure II.20. Variation de la charge en fonction de l'allongement.

Le comportement est similaire pour le tracé de la charge en fonction de l'allongement (Figure II. 20).

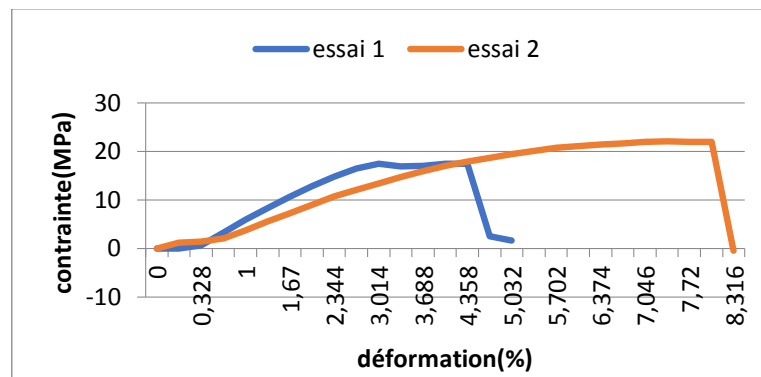


Figure II.21. Variation de la contrainte en fonction de la déformation

L'analyse des résultats est faite en se basant sur l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation, montrée sur la figure II. 21. Le comportement du matériau passe par plusieurs étapes.

- 1) Une première phase élastique linéaire jusqu'au point caractérisé par un module élastique E,
- 2) Une deuxième phase où la courbe perd sa linéarité initiale traduisant le passage du matériau dans la phase viscoélastique.
- 3) La phase caractérisée par l'apparition d'une striction correspondant à une chute et une perte de la rigidité.

II.4. Eprouvettes sans sable, avec une entaille de diamètre D=1mm

La figure II. 22 montre l'évolution de la charge en fonction du temps, de l'essai de traction sur des éprouvettes non renforcées avec une entaille circulaire de diamètre 1mm. La charges de traction augmente en fonction du temps jusqu'à une valeur maximale variant de 1 à 0.4 MPa. Au-delà de cette dernière valeur, nous remarquons une chute rapide indiquant la perte de rigidité et par conséquent la rupture de l'éprouvette. Alors dans la seconde éprouvette, elle passe par un palier long avant que la charge baisse. Les mêmes constatations sont faites sur les figures (II. 23 et II. 34).

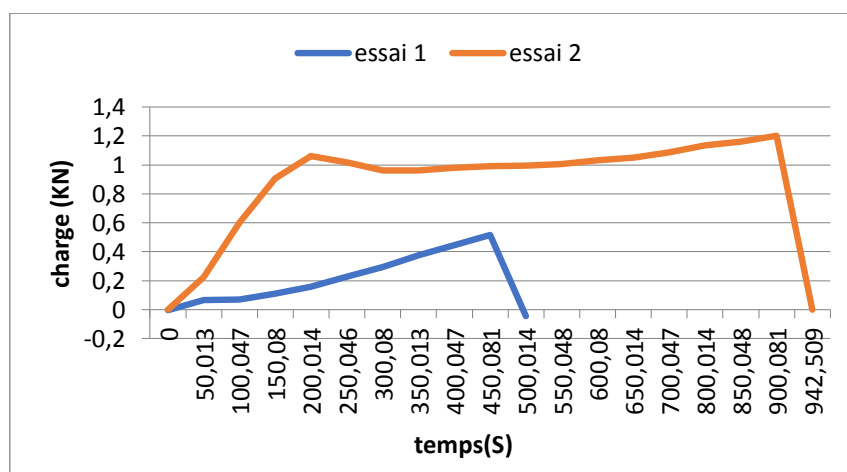


Figure II.22. Variation de la charge en fonction du temps.

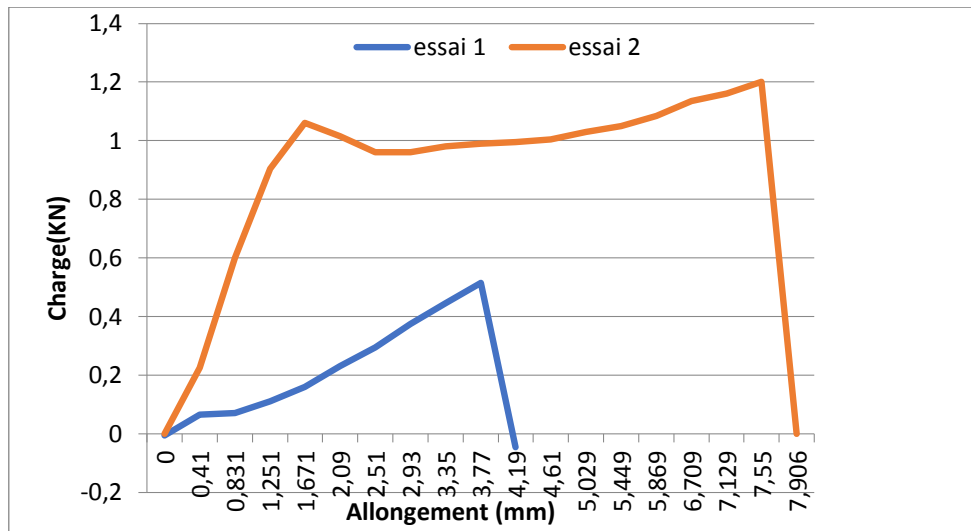


Figure II.23. Variation de la charge de traction en fonction de l'allongement

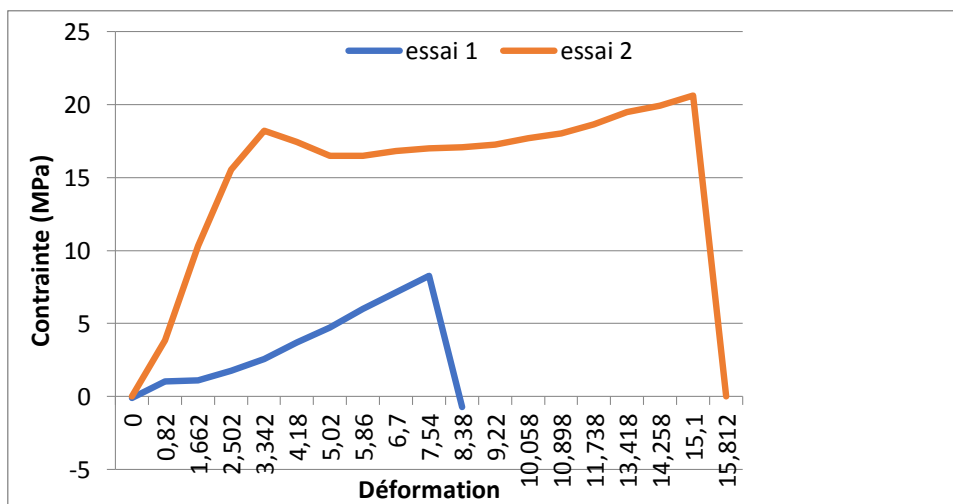


Figure II.24. Variation de la contrainte en fonction de la déformation

II.5. Eprouvettes sans sable, avec une entaille de diamètre D=2mm

La figure II. 25. montre l'évolution de la contrainte en fonction du temps de l'essai de traction sur des éprouvettes non renforcées avec une entaille circulaire de diamètre 2mm. La charge de traction augmente en fonction du temps jusqu'à une valeur maximale variant de 1.2 à 0.6 MPa. Au-delà de cette dernière valeur, nous remarquons une chute remarquable indiquant la perte de rigidité et par conséquent la rupture de l'éprouvette. Alors dans la seconde éprouvette, elle passe par un palier long avant que la charge baisse. Les mêmes constatations sont faites sur les figures II. 26. et II. 27. Le diamètre de l'entaille a un effet significatif sur la perte de rigidité du matériau.

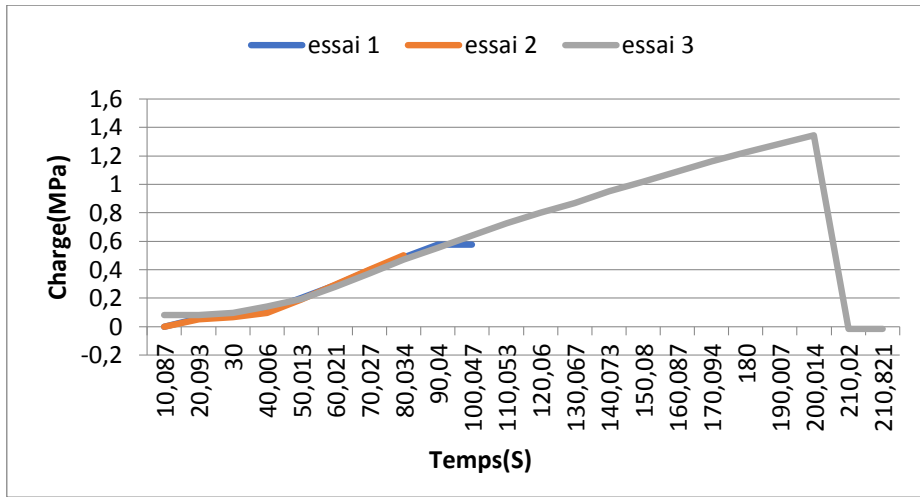


Figure II.25. Variation de la charge en fonction du temps.

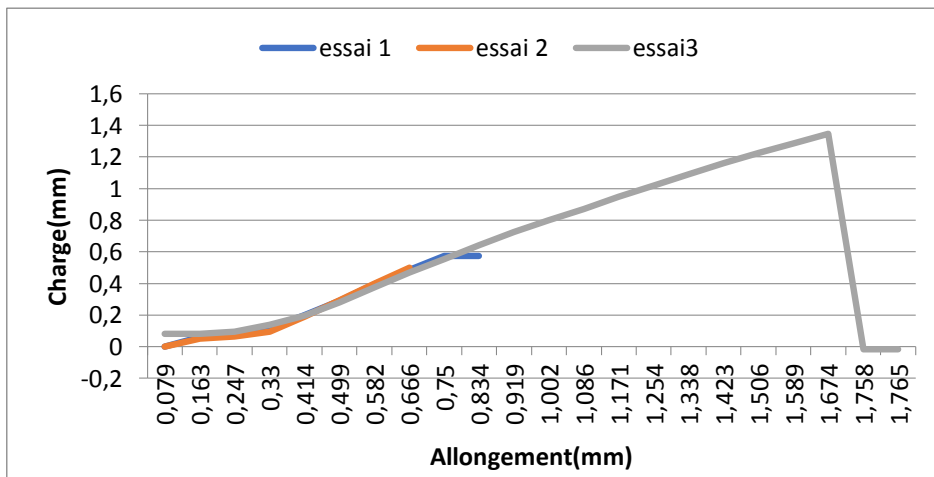


Figure II.26. Variation de la charge de traction en fonction de l'allongement.

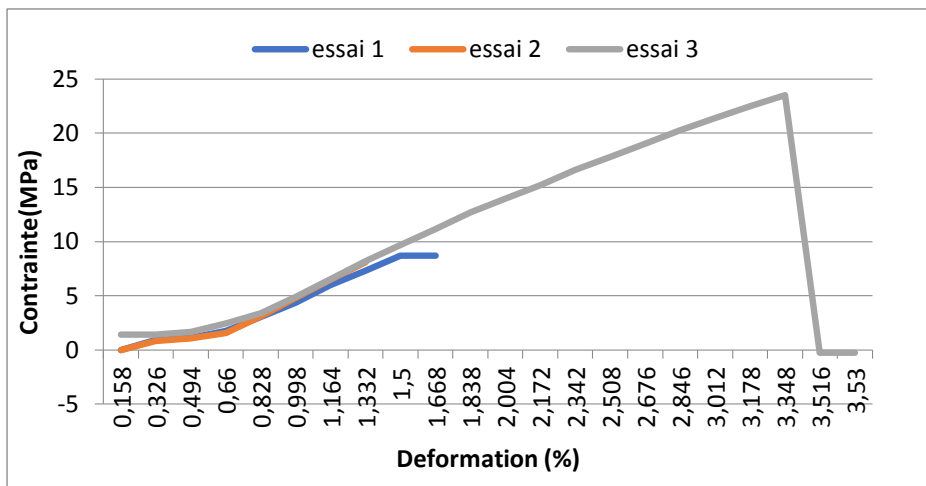


Figure II.27. Variation de la contrainte en fonction de la déformation

II.6. Eprouvettes sans sable, avec une entaille de diamètre D=4mm

La figure II. 28 illustre l'évolution de la contrainte en fonction du temps de l'essai de traction sur des éprouvettes non renforcées avec une entaille circulaire de diamètre 4mm. La charges de traction augmente en fonction du temps jusqu'à une valeur maximale variant de 0.15 MPa. Au-delà de cette valeur, nous remarquons un palier stable remarquable indiquant l'augmentation de l'allongement à 0.92mm, puis un seul maximal de 0.4 MPa suivi d'une perte de rigidité de l'éprouvette (Figure II. 29). Les mêmes constatations sont faites sur la figure II. 30. Le diamètre de l'entaille a un effet significatif sur la perte de rigidité du matériau. Il est clair que la taille du diamètre influe sur la tenue de l'éprouvette.

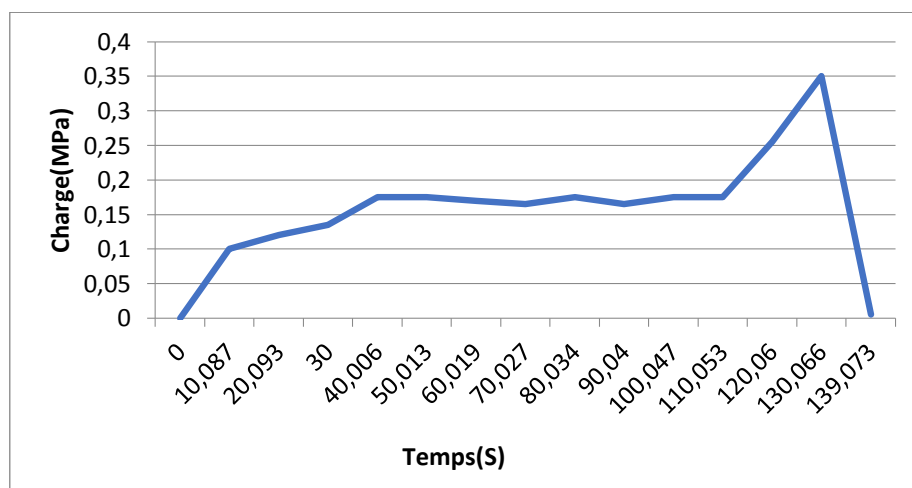


Figure II.28. Variation de la charge en fonction du temps.

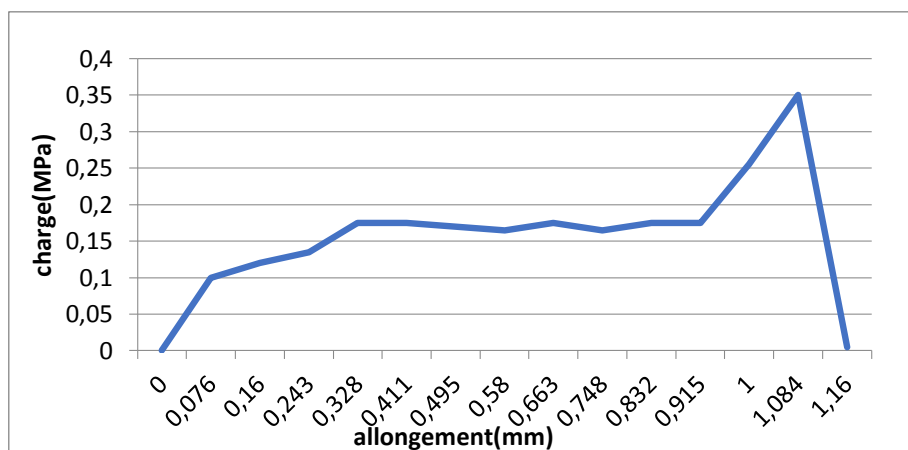


Figure II.29. Variation de la charge de traction en fonction de l'allongement.

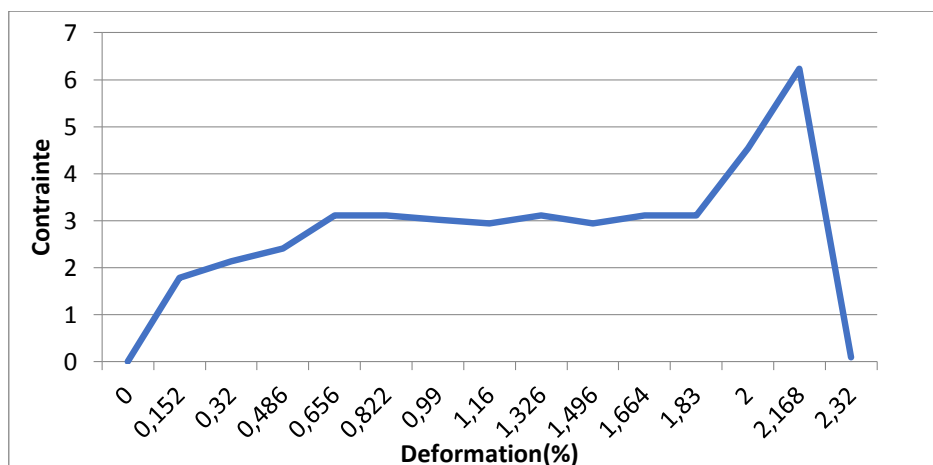


Figure II.30. Variation de la contrainte en fonction de la déformation

II.7. Eprouvettes avec 5% de sable, sans entailles

L'effet de la teneur en sable est mis en évidence sur les éprouvettes avec et sans entaille circulaire de différents diamètres.

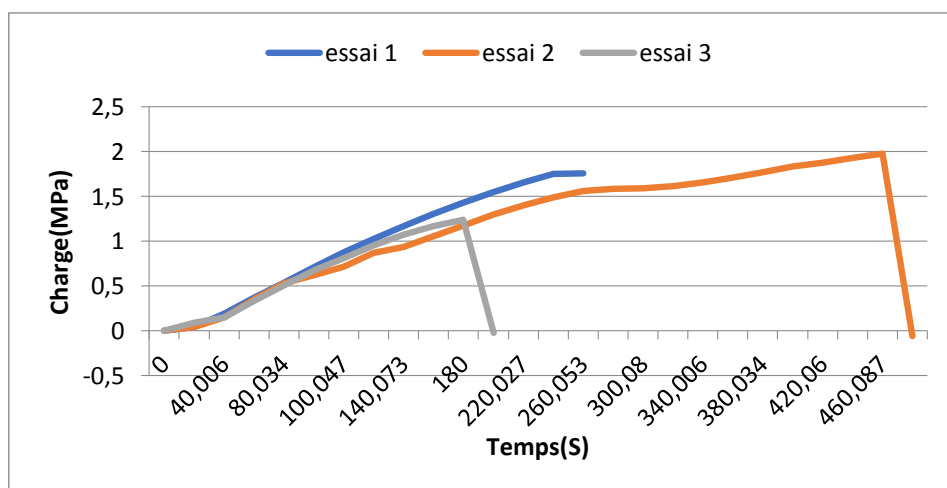


Figure II.31. Variation de la charge en fonction du temps.

La figure II. 31 indique la variation de la contrainte en fonction du temps de l'essai de traction sur des éprouvettes renforcées et sans entailles. La contrainte de traction augmente en fonction du temps jusqu'à une valeur maximale variant de 1.2 à 2 MPa. Au-delà de ces valeurs, nous constatons une baisse rapide indiquant la perte de rigidité et par conséquent la rupture de l'éprouvette. La charge maximale est améliorée par rapport aux éprouvettes non renforcées (voir II. 31, II. 32 et II. 33).

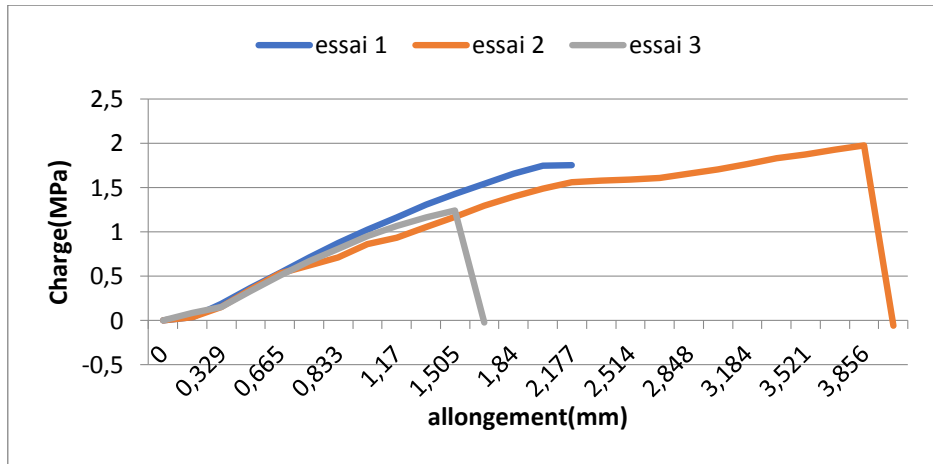


Figure II.32. Variation de la charge de traction en fonction de l'allongement.

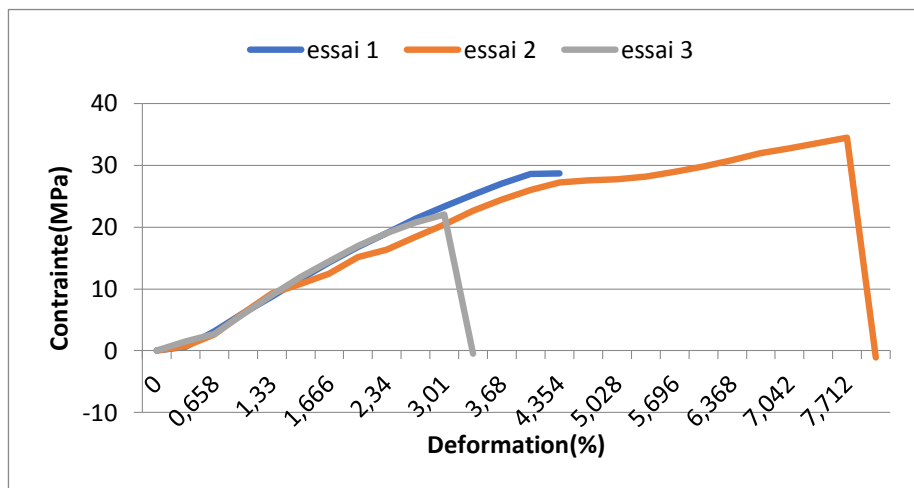


Figure II.33. Variation de la contrainte en fonction de la déformation

II.8. Eprouvettes à 5% de sable et avec entaille de diamètre D=1mm

L'effet d'entaille est illustré sur la figure II. 34, l'évolution de la contrainte en fonction du temps de l'essai de traction sur des éprouvettes renforcées avec une entaille circulaire de diamètre 1mm. La charges de traction augmente en fonction du temps jusqu'à une valeur maximale variant de 1.6 MPa. Au-delà de cette dernière valeur,

Nous remarquons une chute rapide indiquant la perte de rigidité et par conséquent la rupture de l'éprouvette. Les mêmes constatations sont faites sur les figures II. 35 et II. 36.

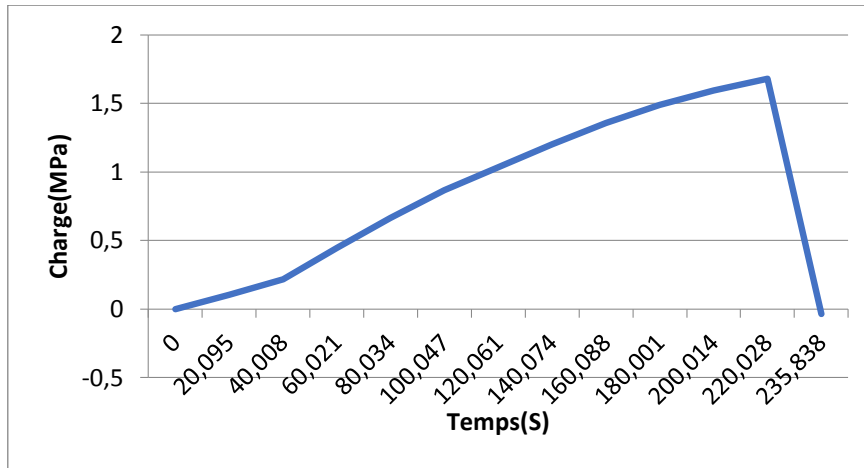


Figure II.34. Variation de la charge en fonction du temps.

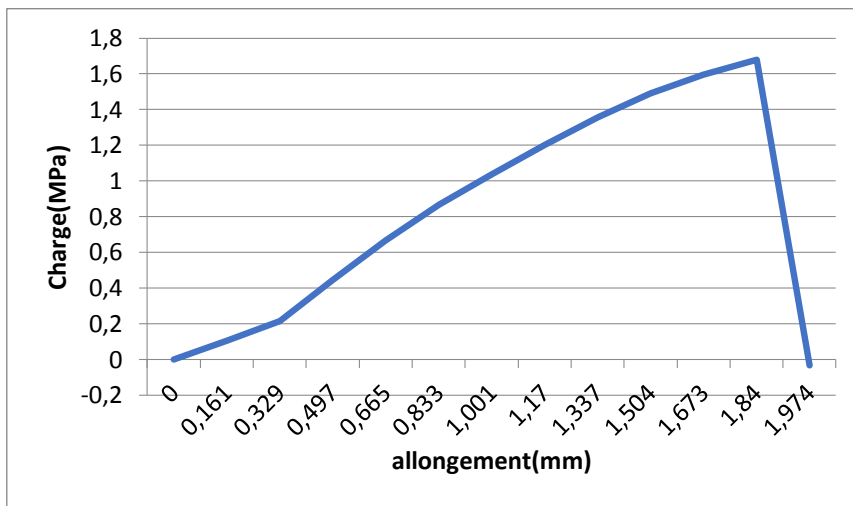


Figure II.35. Variation de la charge en fonction de l'allongement

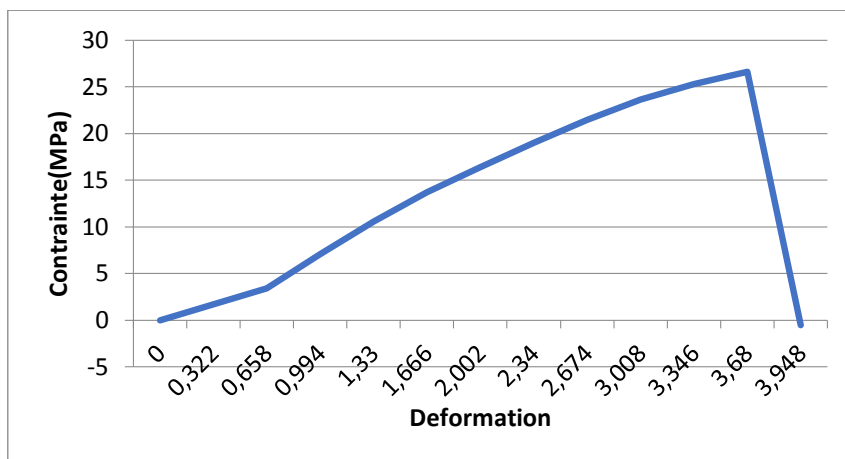


Figure II.36. Variation de la contrainte en fonction de la déformation.

II.9. Eprouvettes à 5% de sable, avec entaille de diamètre D=2mm

L'effet d'entaille est illustré sur la figure IV. 42, l'évolution de la contrainte en fonction du temps de l'essai de traction sur des éprouvettes renforcées avec une entaille circulaire de diamètre 2mm. La charges de traction augmente en fonction du temps jusqu'à une valeur maximale variant de 1.2 MPa. Au-delà de cette dernière valeur, nous remarquons une chute rapide indiquant la perte de rigidité et par conséquent la rupture de l'éprouvette. Les mêmes constatations sont faites sur les figures II. 37 et II. 38. En comparaison avec les cas précédents du diamètre de 1mm, nous remarquons le même comportement.

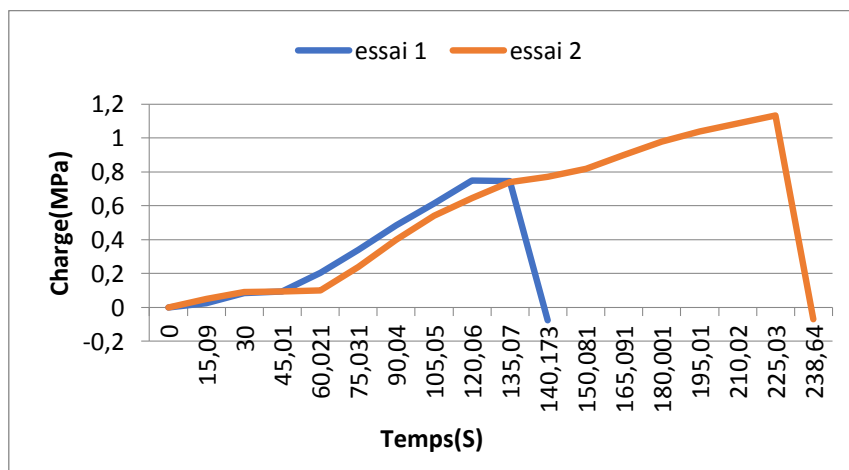


Figure II.37. Variation de la charge en fonction du temps

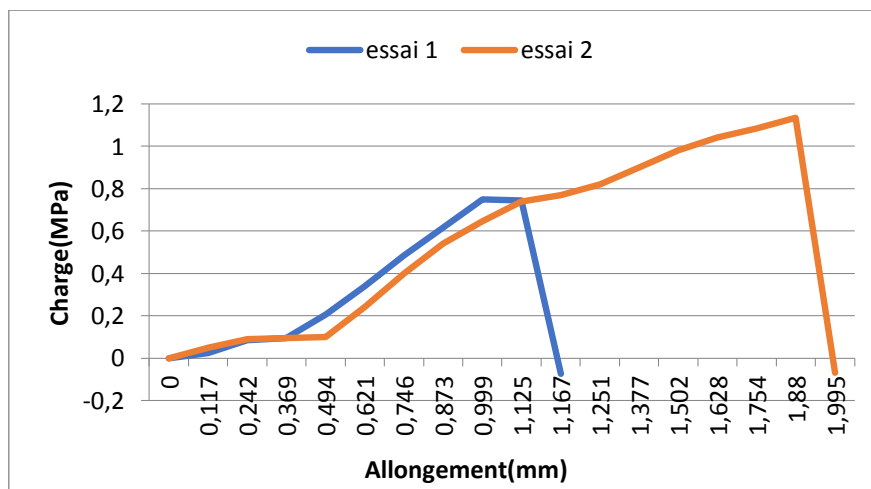


Figure II.38. Variation de la charge en fonction de l'allongement

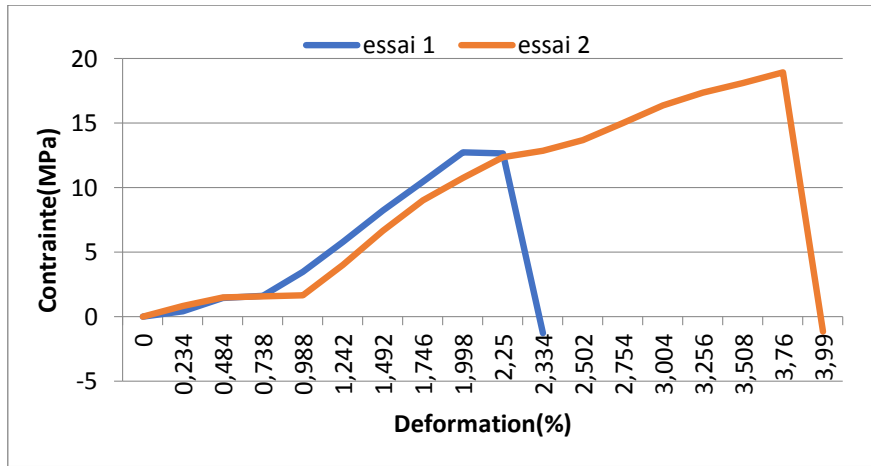


Figure II.39. Variation de la contrainte en fonction de la déformation

II.10. Eprouvettes à 5% de sable, avec entaille de diamètre D=4mm

Les éprouvettes renforcées de 5% de sable et en présence d'entaille de 4mm, exhibent un comportement montré sur la figuresII. 39 . La variation de la contrainte en fonction du temps de l'essai de traction sur des éprouvettes renforcées de 5% de sable avec une entaille circulaire de diamètre 4mm. La charges de traction augmente très lentement à 0.1 passant par un palier jusqu'à un temps de 140s. Au-delà de cette valeur la charge augmente à une valeur maximale de 0.7MPa, qui est faible en comparaison avec les deux premiers cas (diamètres de 1mm et 2mm). Les mêmes constatations sont faites sur les figures II. 40 et II. 41.

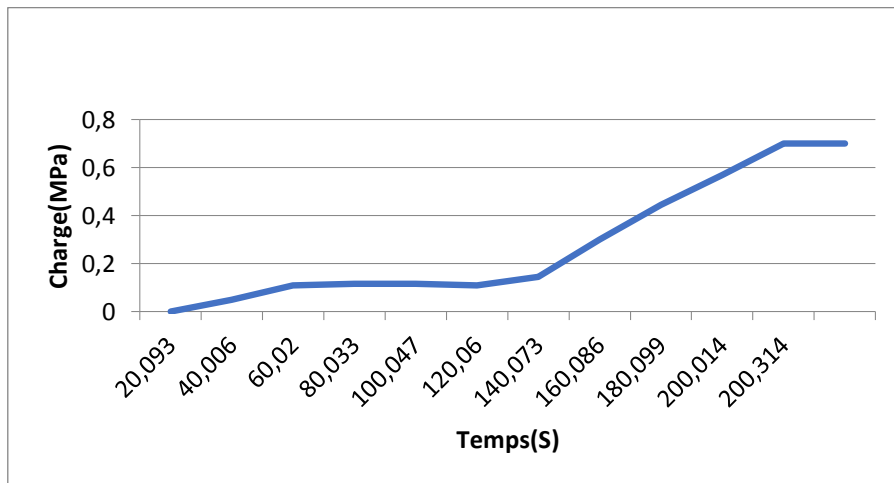


Figure II.40. Variation de la charge en fonction du temps.

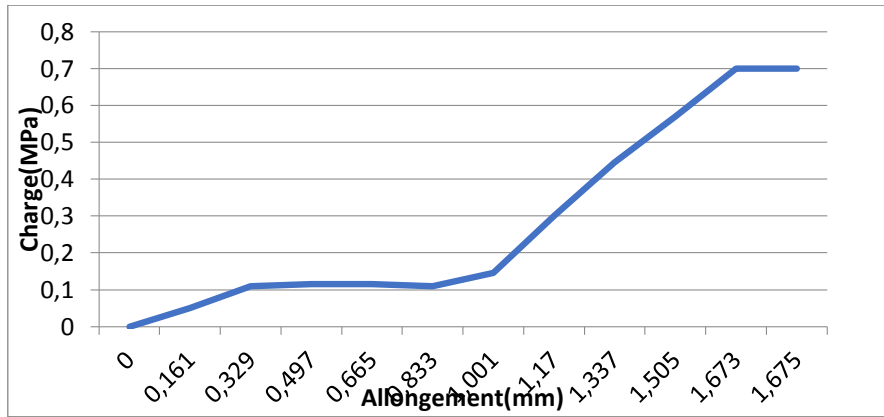


Figure II.41. Variation de la charge de traction en fonction de l'allongement

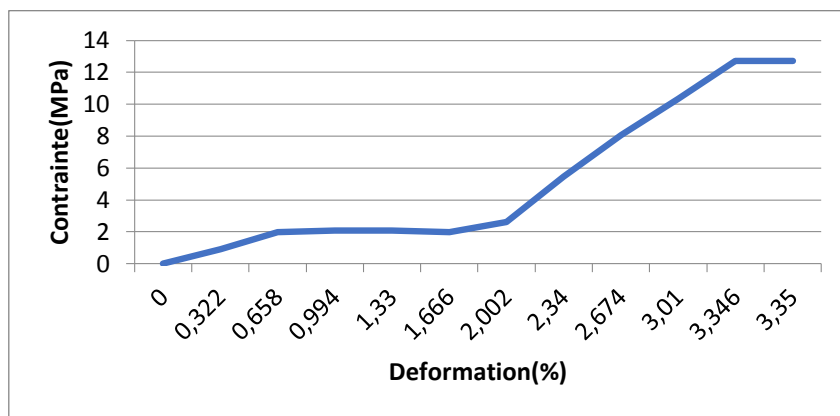


Figure II.42. Variation de la contrainte en fonction de la déformation

II.11. Eprouvettes avec 25% de sable, sans entaille

Pour des éprouvette à 25 % de sable avec et sans défaut géométrique, les valeurs sont faibles en comparaison avec des cas de teneur 5% et 12.5%.

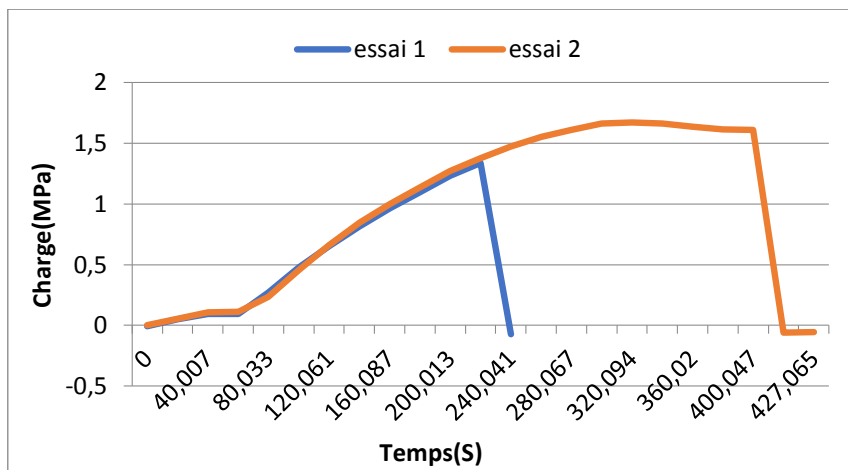


Figure II.43. Variation de la charge en fonction du temps

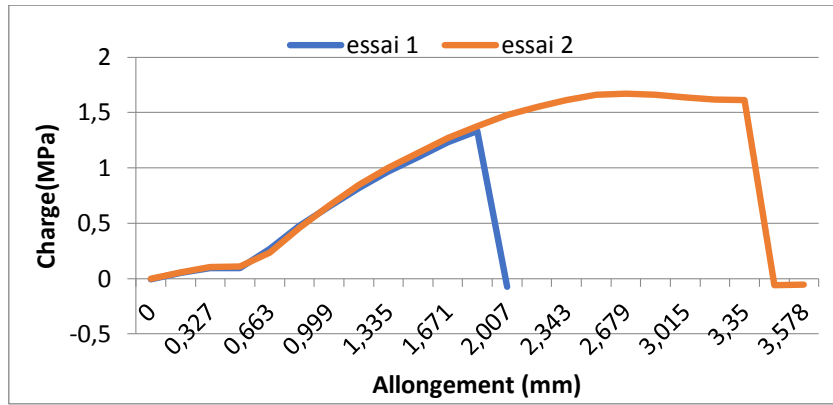


Figure II.44. Variation de la charge de traction en fonction de l'allongement

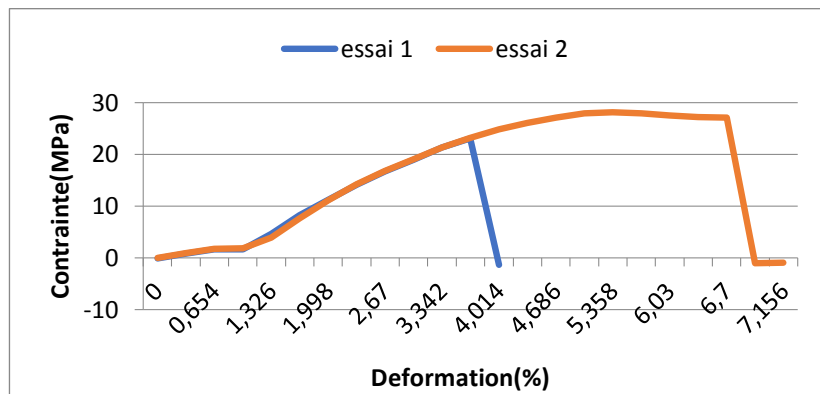


Figure II.45. Variation de la contrainte en fonction de la déformation

II.12. Eprouvettes à 25% de sable, avec entaille de diamètre D=1mm

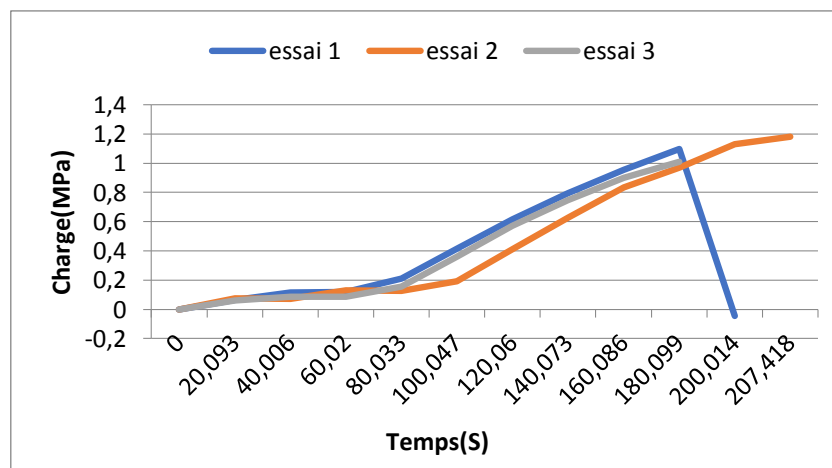


Figure II. 46. Variation de la charge en fonction du temps

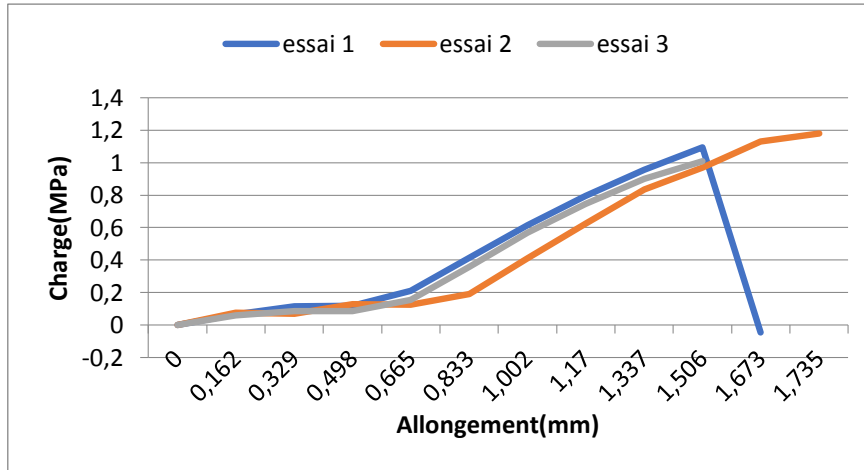


Figure II.47. Variation de la charge de traction en fonction de l'allongement

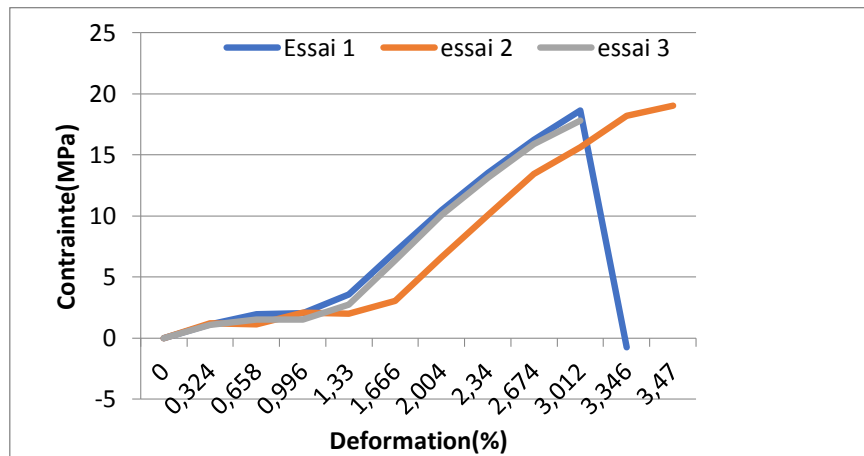


Figure II.48. Variation de la contrainte en fonction de la déformation

II.13. Eprouvettes à 25% de sable, avec entaille de diamètre D=2mm

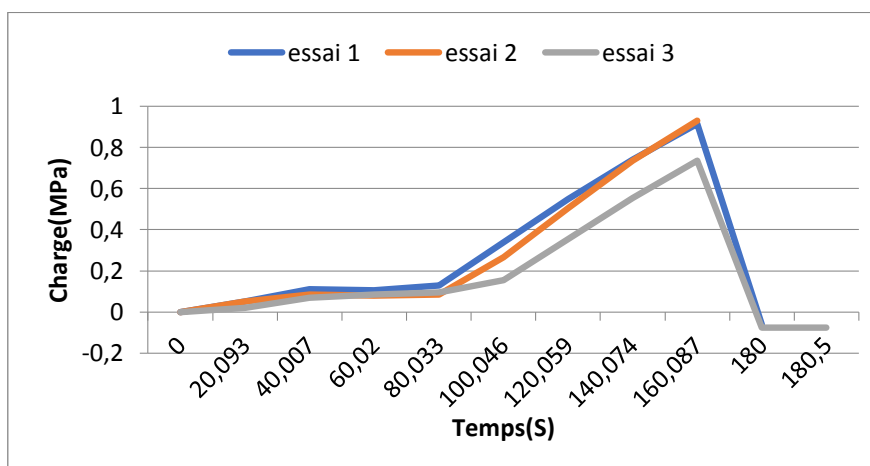


Figure II.49. Variation de la charge en fonction du temps

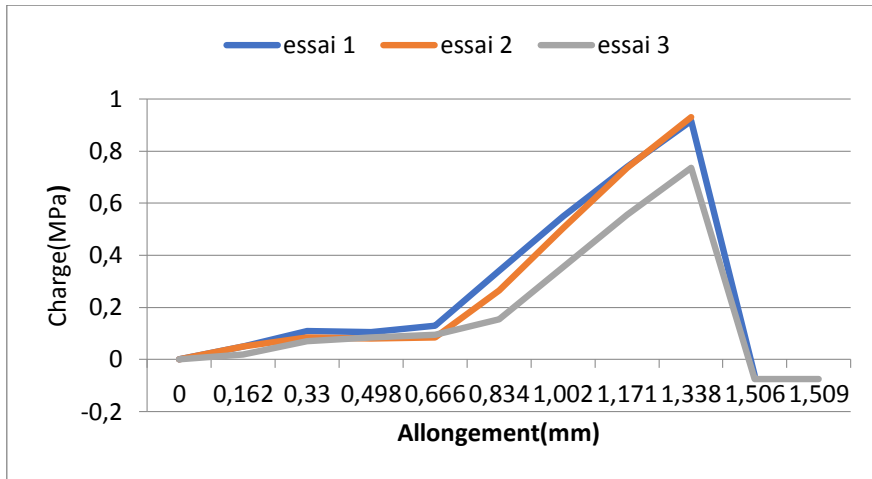


Figure II. 50. Variation de la charge de traction en fonction de l'allongement

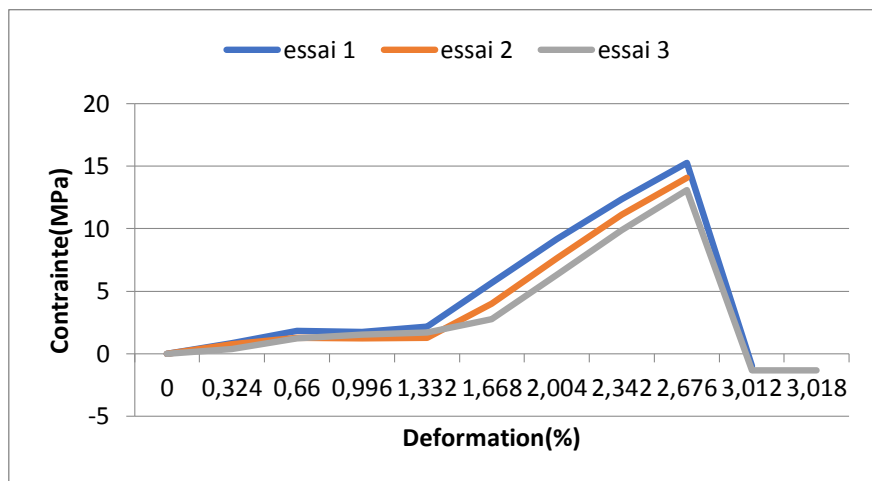


Figure II. 51. Variation de la contrainte en fonction de la déformation

II.14. Eprouvettes avec 25% de sable, avec trou de diamètre D=4mm

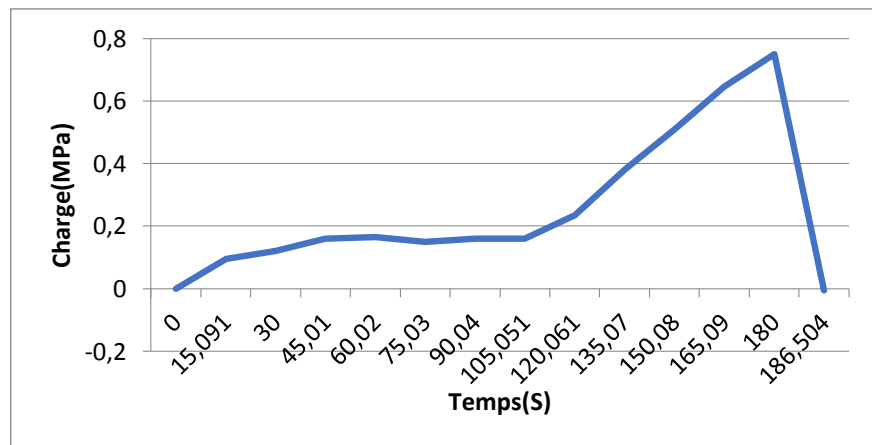


Figure II.52. Variation de la charge en fonction du temps

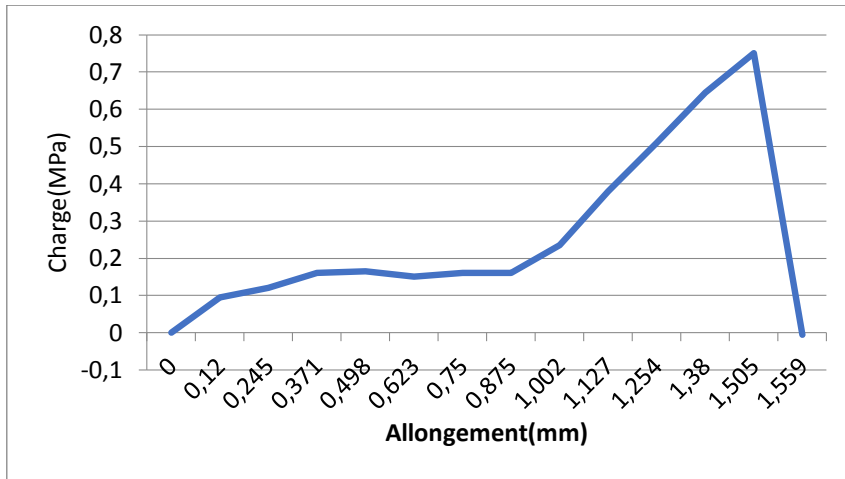


Figure II.53. Variation de la charge de traction en fonction de l'allongement

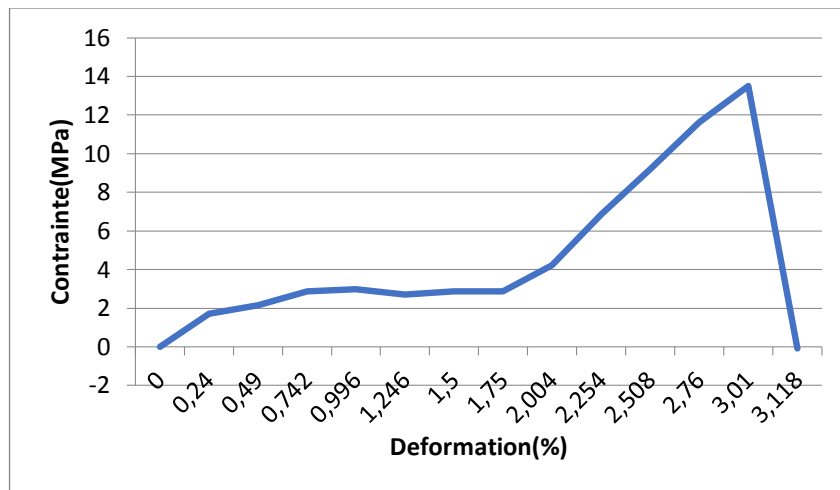


Figure II. 54. Variation de la contrainte en fonction de la déformation

Conclusion Générale et Perspectives

Afin de contribuer à l'amélioration des propriétés mécaniques des matériaux composites à résine thermodurcissable, ce travail s'est intéressé à l'influence des micro-charges de sable sur le comportement mécaniques. Trois actions ont été menées pour la réalisation de ce travail :

- Les problématiques de dispersion des particules de sable dans la matrice et la mise en œuvre des plaques en composites à résine micro-chargée, avec en particulier le problème d'homogénéisation ;
- L'influence des micro-charges et du processus d'élaboration sur le comportement mécanique de la résine thermodurcissable ;
- L'évaluation de l'efficacité du processus à résine micro-chargée et son optimisation par le processus d'élaboration.

Pour commencer, nous nous sommes intéressés à la mise en œuvre des composites à résine micro-chargée, par infusion de la résine contenant du sable. Des procédés classiques de mise en œuvre de composite par voie liquide (infusion et RTM-Eco) ont été utilisés. La réalisation de ce composite nécessite la maîtrise de la dispersion des charges dans la résine avant l'injection de celle-ci dans la préforme. Deux procédés de dispersion ont été utilisés : Un mélangeage à la main, et un brassage à cisaillement (mélangeur à perceuse).

Les résultats montrent l'évolution de la teneur en eau de mer des éprouvettes avec et sans entaille en fonction des jours d'immersion. Le taux d'absorption d'eau est maximal de 3.5% pendant la sixième journée, à partir de laquelle, nous remarquons une baisse significative. À première vue nous pouvons distinguer deux phases dans le mécanisme d'absorption, une première partie, pseudo linéaire caractérisée par un coefficient de diffusion qui traduit la vitesse à laquelle le matériau absorbe les particules d'eau. La deuxième phase constitue une étape de stabilité ou le matériau atteint une certaine saturation. Il est à constater aussi le taux d'absorption est réduit au fur et à mesure que le taux de sable augmente, respectivement de 5%, 12.5% et 25 % et la présence d'entaille n'a pas un effet significatif en comparaison avec des éprouvettes non entaillées. Par contre, le diamètre de l'entaille a un effet significatif sur la perte de rigidité du matériau.

L'analyse des résultats est faite en se basant sur l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation. Le comportement du matériau passe par plusieurs étapes suivantes :

- 1- Une première phase élastique linéaire jusqu'au point caractérisé par un module élastique E ,
- b. Une deuxième phase où la courbe perd sa linéarité initiale traduisant le passage du matériau dans la phase viscoélastique.
- c. La phase caractérisée par l'apparition d'une striction correspondant à une chute et une perte de la rigidité.

La contrainte de traction augmente en fonction du temps jusqu'à une valeur maximale variant de 1.2 à 2 MPa pour des spécimens de 5% de sable. Au-delà de ces valeurs, nous constatons une baisse rapide indiquant la perte de rigidité et par conséquent la rupture de l'éprouvette La charge maximale est améliorée par rapport aux éprouvettes non renforcées.

Les fractions volumiques mises en jeu varient de 5% à 25% de la masse de la résine ; permettent d'obtenir une augmentation significative des propriétés aussi bien élastiques que plastiques (une contrainte seuil supérieure).

Malheureusement nous n'avons pas de moyen pour compléter cette étude, et même les matériaux utilisés dans ce travail, sont aux frais des étudiants, et les machines (broyeur et la machine de traction) sont disponibles dans le laboratoire de Génie civil.

Enfin, ce travail ouvre naturellement de nombreuses perspectives parmi lesquelles on pourra mentionner :

- 1- Tenir en compte des autres sollicitations, cisaillement, flexion et flambement.
- 2- Etudier la microstructure
- 3- Une étude expérimentale plus approfondie portant sur la mise en évidence et la caractérisation des effets de taille ainsi qu'une caractérisation de l'endommagement de micro composites.
- 4- Une meilleure identification des matériaux étudiés, notamment des propriétés interraciales.
- 5- Du point de vue des techniques d'homogénéisation mises en œuvre, il serait intéressant dans le domaine linéaire et non linéaire de mieux rendre compte du comportement interfaciale.

ANNEXE 1

	Résine		Résine +5% de sable			Résine +25% de sable	
	Essai1	Essai2	Essai1	Essai2	Essai 3e	Essai1	Essai2
Fbc (kN)	1.22	1.06	1,84	2,00	1,26	1,40	1,68
Rbc (MPa)	22	18	30	35	22	24	28
Fsc (kN)	1.20	0.94	1,46	1,58	1,07	1,20	1,58
Rsc (MPa)	22	16	24	28	19	21	27
Fpc (kN)	0.86	0.94	1,46	1,58	1,07	1,20	1,26
Rpc (MPa)	16	16	24	28	19	21	21
Ftc (kN)	/	0.16	0,10	/	/	/	/
Rtc (MPa)	/	3	2	/	/	/	/
Ec (GPa)	0.46	0.72	0,77	0,49	87	0,89	0,89

	Résine avec un trou de 1mm		Résine +5% de sable avec un trou de 1mm	Résine +25% de sable avec un trou de 1mm		
	Essai1	Essai2	Essai1	Essai1	Essai2	Essai3
Fbc (kN)	0,56	1,22	1,74	1,14	1,22	1,08
Rbc (MPa)	9	21	28	19	20	19
Fsc (kN)	0,56	0,94	1,41	1,06	1,12	0,98
Rsc (MPa)	9	16	22	18	18	17
Fpc (kN)	0,56	0,94	1,41	1,06	1,12	0,98
Rpc (MPa)	9	16	22	18	18	17
Ftc (kN)	0,11	0,12	0,14	/	/	/
Rtc (MPa)	2	2	2	/	/	/
Ec (GPa)	0.70	0.73	0,91	1,01	0,97	1,09

	Résine avec un trou de 2mm			Résine +5% de sable avec un trou de 2mm		Résine +25% de sable avec un trou de 2mm		
	Essai1	Essai2	Essai3	Essai1	Essai2	Essai1	Essai2	Essai3
Fbc (kN)	0,60	0,56	1,39	0,87	1,16	0,98	1,21	0,83
Rbc (MPa)	9	9	24	15	19	16	18	15
Fsc (kN)	0,40	0,56	1,22	0,74	0,80	0,98	1,21	0,83
Rsc (MPa)	6	9	21	13	13	16	18	15
Fpc (kN)	0,40	0,56	1,22	0,74	0,80	0,98	1,21	0,83
Rpc (MPa)	6	9	21	13	13	16	18	15
Ftc (kN)	0,12	/	/	/	/	/	/	/
Rtc (MPa)	2	/	/	/	/	/	/	/
Ec (GPa)	0,82	0,88	0,89	0,90	0,88	1,08	1,07	1,10

	Résine avec un trou de 4mm	Résine +5% de sable avec un trou de 4mm	Résine +25% de sable avec un trou de 2mm
		0,95	0,76
Fbc (kN)	0,43	0,95	0,76
Rbc (MPa)	8	17	14
Fsc (kN)	0,24	0,84	0,76
Rsc (MPa)	4	15	14
Fpc (kN)	0,24	0,84	0,76
Rpc (MPa)	4	15	14
Ftc (kN)	0,13	/	0,12
Rtc (MPa)	2	/	2
Ec (GPa)	0,01	0,77	1,03

Références bibliographique

[1]Google image (2019)

[2] [3] Berthelot J.M (2012).Les matériaux composites (5 éme édition).Edition de Lavoisier ,paris