



Étude des Caractéristiques Mécaniques des Conduites en PRV sous l'effet des Sulfates des Eaux Usées

M. A. Boumehraz¹, M. Mellas², B. Baali³, F. Boucetta⁴

^{1,2} Laboratoire des recherches en génie civil (LRGC), université de Biskra.

³ Unité de recherche matériaux, procédés et environnement (URMPE), université de Boumerdés.

⁴ Laboratoire de Physique des couches minces et applications « LPCMA », université de Biskra.

Article history

Received: 2019-08-19

Accepted: 2020-01-10

Résumé: Les eaux usées dans la ville de Ouargla sont essentiellement de type domestique, malgré que ces eaux sont évacuées avec les eaux usées industrielles (des stations de lavage, de rejets des huiles et des acides de batteries à partir des stations de vidange des véhicules, et des petites industries) dans un seul collecteur sans aucun traitement au préalable, ces eaux sont fortement sulfatées et provoquent un haut dégagement de gaz H₂S. L'objectif de ce travail est d'étudier les caractéristiques mécaniques des conduites destinées aux réseaux d'assainissement dans la région de Ouargla sous l'effet des sulfates (en particulier le gaz H₂S). Pour se faire, des conduites en PRV (polymère renforcé par des fibres de verre) ont été conservées dans le milieu réel, et dont les résultats ont été comparés à ceux des éprouvettes témoins. Nous avons obtenues que la conservation du PRV dans les eaux usées de Ouargla a montré une surélévation maximale de contrainte à la rupture par traction à l'âge de 365 jours de 14 % et de 32 % pour les échantillons en PRV exposées au gaz H₂S par rapport aux éprouvettes témoins. Et aussi dans le même âge un gain de rigidité de 5.30 % pour des éprouvettes conservées. Enfin, nous concluons que l'utilisation des éléments en PRV (conduites et regards), dans l'assainissement de Ouargla, constitue une bonne remède pour les dégradations constatées au réseau d'assainissement.

Mots clés: PRV, sulfates, eau usée, gaz H₂S.

Abstract: The waste water in the city of Ouargla are essentially domestic type, although these waters are discharged with industrial waste water (washing stations, discharges of oil and battery acid from vehicles dump stations, and small industries) in a single collector without any prior treatment, these waters are highly sulphated and cause a high release of H₂S gas. The objective of this work is to study the mechanical characteristics of pipelines intended for sewerage systems in the region of Ouargla under the effect of sulphates (in particular H₂S gas). To do this, glass fiber reinforced polymer (GFRP) pipes were kept in the actual environment, and the results were compared to those of the control samples. It obtained that GFRP conservation in wastewater Ouargla showed a maximum elevation of tensile strength by pulling at the age of 365 days in 14% and 32% for samples GFRP exposed to H₂S gas compared to control test pieces. And also in the same age a rigidity gain of 5.30% for preserved specimens. Finally, they conclude that the use of GFRP elements (pipes and manholes) in the sanitation of Ouargla is a good remedy for the deterioration observed in the sewerage network.

Keywords: GFRP, sulfates, waste water, H₂S gas

* Corresponding author. Tel.: +213 699590403.

E-mail address: amine18gc@yahoo.com

1. Introduction:

Les eaux usées dans la ville d'Ouargla sont fortement sulfatées et provoquent un haut dégagement de gaz H_2S . Ce gaz est de concentration très variable selon la température et l'humidité relative, il atteint les valeurs maximales aux mois d'été [1]. Le gaz hydrogène sulfuré (H_2S) peut s'accumuler dans les réseaux d'assainissement, généralement la concentration des sulfures organiques dans les eaux usées est d'environ 3 à 6 mg/l [2]. Le gaz H_2S libéré se condense sur les parois des réseaux d'assainissement, il est transformé par les bactéries anaérobies dans les milieux fermés en présence d'humidité et aura la formation d'acide sulfurique (H_2SO_4) [3, 4]. Les composites en polymère renforcé par des fibres de verre PRV ont été largement utilisés dans les applications d'engineering, en raison de leurs avantages considérables par rapport à d'autres matériaux. Ils offrent une résistance /rigidité spécifique élevée, une résistance à la corrosion supérieure, une construction légère, une faible conductivité thermique, une résistance à la fatigue élevée, une grande capacité de carbonisation et une résistance aux attaques chimiques et microbiologiques [5]. Généralement, le renforcement des composites par des fibres étant d'un pourcentage supérieur à 50 % de fibres par poids [6]. Traditionnellement, le verre E est le plus utilisé avec une matrice de résine polyester ou époxy. Ce verre est moins résistant et légèrement moins rigide que les autres verres couramment disponibles, mais il est nettement moins cher [7]. L'utilisation d'une résine offre un niveau de protection des fibres contre le contact direct dans tels environnements agressifs [8]. Le taux de dégradation des composites polymères exposés dans un environnement fluide est lié au taux d'absorption du fluide, ainsi que leur comportement dépend : type et concentration du fluide, la température du milieu, la contrainte appliquée à la structure chimique de la résine et l'interface fibre/résine [9].

L'action de l'humidité et de la température sur les fibres de verre peuvent causer des dommages et réduire leur durabilité prévue. Les mécanismes de dégradation des fibres de verre dans l'eau ou des solutions alcalines peuvent être classés en deux catégories : lessivage et attaque chimique. La dégradation des matrices est due à l'hydrolyse, à la plastification et au gonflement en présence d'eau, cela affaiblit également l'interface fibre de verre / matrice, et diminue les propriétés de traction du PRV. Les trois mécanismes de dommage ont été proposés par Bradshaw et Brinson sont : craquage osmotique sur la matrice, décollement interfacial et le délaminage [10, 11]. Abdel-Magid et al [12] ont été trouvés que la dégradation de la fibre de verre et de la matrice n'affecte non seulement par l'humidité et l'alcali, mais aussi par l'interface fibre/matrice. Le vieillissement hygrothermique fait référence au vieillissement synergique sous l'effet d'humidité, plus encore les dommages induits par la température peuvent encore accélérer la diffusion de l'humidité [13]. Mouzakis et al en 2008 [14], ont été trouvés que les principaux facteurs de l'augmentation de la rigidité et de vieillissement du PRV de résine polyester isophtalique sont la température, le rayonnement ultraviolet et l'absorption d'eau.

D'après Kim et al en 2007 [13], la rigidité du PRV est augmentée d'environ 16 % lorsque la température est diminuée au $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, et on peut également noter que le taux d'augmentation de la rigidité est plus élevée entre la température ambiante et $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. D'autre part, la température et les rayons ultraviolet peuvent provoquer la scission des liaisons chimiques de la matrice c'est-à-dire la scission principale de la chaîne (C-C), conduisant à une photo/thermo oxydation et à un craquelage du matériau, ou conduisant à la post-polymérisation du polymère [14]. Silva et al en 2014 [11], ont été conclues pour des spécimens en PRV immergé dans de l'eau de mer aux températures entre $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, que la résistance à la traction est diminué nettement

jusqu'à 2500 h d'exposition car l'humidité absorbée crée une pression hydrostatique au composite, qui affecte l'interface matrice/fibre et par conséquent la diminution du module d'élasticité et la déformation du PRV. Notre travail expérimental a pour but d'étudier le mécanisme de dégradation physico-chimique des conduites en PRV dans le milieu agressif réel (sulfates des eaux usées et gaz H_2S), en tant que les éléments constitutifs des conduites et des regards utilisés pour l'assainissement dans la région de Ouargla.

2. Partie expérimentale:

Dans cette étude, nous fabriquons trois conduites en PRV par la technique de l'enroulement filamentaire discontinue, et dont les matières premières utilisées sont : résines orthophtalique et isophtalique, fibres de verres type E (continue et coupées), accélérateurs et catalyseurs. Ces conduites qui contiennent 65 % des fibres par rapport au poids total. Elles sont caractérisées par une pression nominale de 20 bars et de rigidité de 10000 N/m^2 , et des dimensions sont de 5,20 mm d'épaisseur et de 300 mm de diamètre. Une conduite est laissée au laboratoire pour prélever des éprouvettes témoins. Les deux autres conduites sont conservées dans un bassin rempli d'eau usée de Ouargla, chaque conduite est fermée par deux tampons circulaires en plastique de diamètres de 290 mm, ayant des ouvertures de hauteur ($H/3$) ou de 100 mm de hauteur de la conduite, pour permettre le passage des eaux usées à l'intérieure et le dégagement de gaz H_2S après immersion des conduites (immergés au tiers ($H/3$) ou 100 mm de la hauteur du diamètre des conduites, et deux tiers ($2H/3$) ou 200 mm de la hauteur du diamètre est vide pour assurer le dégagement de gaz H_2S de la partie supérieure des conduites), en plus le niveau de l'eau usée au bassin est variable suivant le débit, et l'eau évacuée des conduites est d'une hauteur (100 ± 30) mm (Voir la figure 01).



Figure 01. Conserver les conduites en PRV à l'eau usée de Ouargla.

Chaque période d'essai, on coupe 30 cm de chaque conduite par une tronçonneuse de disque en diamante, pour faire des essais au laboratoire, on utilise une coupe de longueur de 30 cm pour faire l'essai d'ovalisation (voir la figure 02). Mais l'autre coupe sera réservée pour le prélèvement des échantillons à la partie immergée dans l'eau usée, et la partie supérieure non immergée (ou partie exposée au gaz H_2S), pour faire l'essai de traction axial.

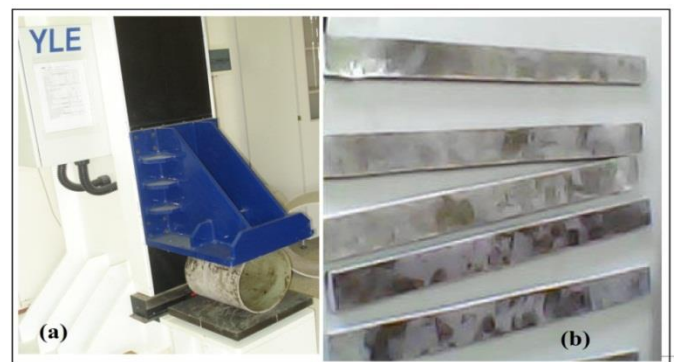


Figure 02. Échantillons en PRV (a) essai d'ovalisation, (b) spécimens pour essai traction axial.

2.1. Essai de rigidité (d'ovalisation):

Cette essai a pour but de déterminer la rigidité maximale des échantillons cylindriques en PRV à la déformation maximale de 5 %, le tronçon de conduite de longueur de 300 mm est placé dans la machine d'essai, puis on procède à l'application de la charge sans choc et de façon continue jusqu'à la déformation de 5 % d'après la

norme américaine ASTM D 2412-02. Les résultats de l'essai de rigidité sont présentés à la figure 03.

2.2. Essai de traction axial:

Cette essai a été effectuée au laboratoire, par l'utilisation des éprouvettes des dimensions (25 x 250 x 5.20) mm³ conservées dans différents milieux, il est placée dans la machine d'essai, puis on applique la force de traction d'après les normes ASTM D 638-03 et EN ISO 527-4. Les résultats de l'essai de traction axial sont présentés dans la figure 04.

3. Résultats et interprétations

3.1. Résultats essai d'ovalisation:

D'après la figure 03, nous constatons que la rigidité des cerceaux conservés dans le milieu réel (eaux usées + gaz H₂S) est légèrement supérieure à celle des éprouvettes témoins. Cette rigidité augmente en fonction du temps, et elle atteint

son maximum qui est de 10140 N/m² à l'âge de 365 jours, soit une surélévation de 5.30 %. Même remarque pour le module de rigidité E, ce module augmente en fonction du temps, et il atteint son maximum qui est de 24830 MPa à l'âge de 365 jours, soit une surélévation de 11.55 %. Les résultats obtenus de l'essai d'ovalisation montre une augmentation de la rigidité qui peut être rétribuée aux mêmes ordres d'idée quant aux interprétations précédentes soit le changement du comportement du matériau PRV sous l'effet simultané de l'eau usée et du gaz H₂S ainsi que l'ultraviolet. Ces résultats concordent à ceux trouvés par Kim et al en 2007 [13], car les rayons d'ultraviolet peuvent provoquer la scission des liaisons chimiques des composants de la résine, c'est-à-dire la scission principale de la chaîne (C-C), conduisant à une photo/thermo oxydation et à un craquelage du matériau, ou conduisant à la post-polymérisation du polymère [14].

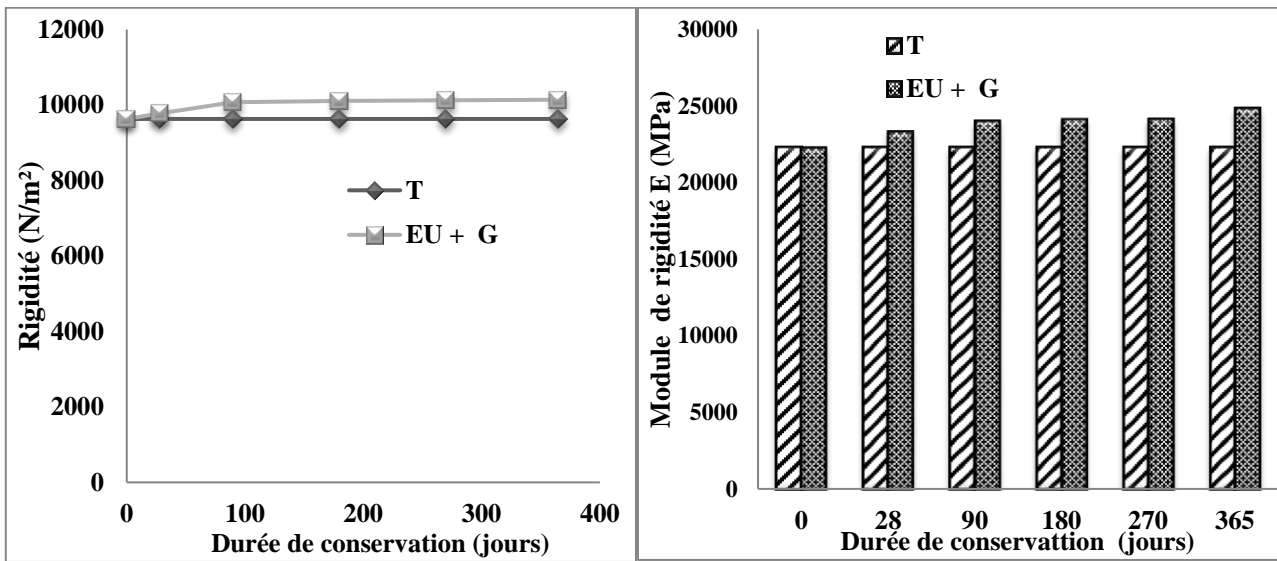


Figure 03. Rigidité et module E des cerceaux en PRV conservés dans différents milieu (T: témoins, EU + G: eau usée + gaz H₂S).

3.2. Résultats essai de traction axial:

Nous constatons d'après la figure 04, que la contrainte à la rupture par traction axiale des éprouvettes exposées au gaz H₂S est supérieure à celle des éprouvettes témoins et des éprouvettes conservées dans les eaux usées. Et aussi nous constatons que la courbe de contrainte à la

rupture de la traction axiale avec l'âge de conservation présente une légère croissance pour les éprouvettes conservées que ce soient dans l'eau usée ou celles exposées au gaz H₂S jusqu'à l'âge de 365 jours, où la résistance atteint son maximum qui est de 42.60 MPa pour les éprouvettes conservées dans l'eau usée et 49.40 MPa pour les éprouvettes exposées au gaz H₂S.

Cette évolution entre l'âge de 28 jours et 365 jours est de 14 % pour les éprouvettes conservées à l'eau usée alors qu'elle est de 32 % pour les éprouvettes exposées au gaz H_2S . D'autre part, nous constatons que les courbes de déformation de traction axiale des éprouvettes conservées

sont diminuées en fonction de temps. Ainsi la déformation atteint de 4.14 % pour les éprouvettes conservées dans l'eau usée et 4.45 % pour les éprouvettes exposées au gaz H_2S à l'âge de 365 jours de conservation.

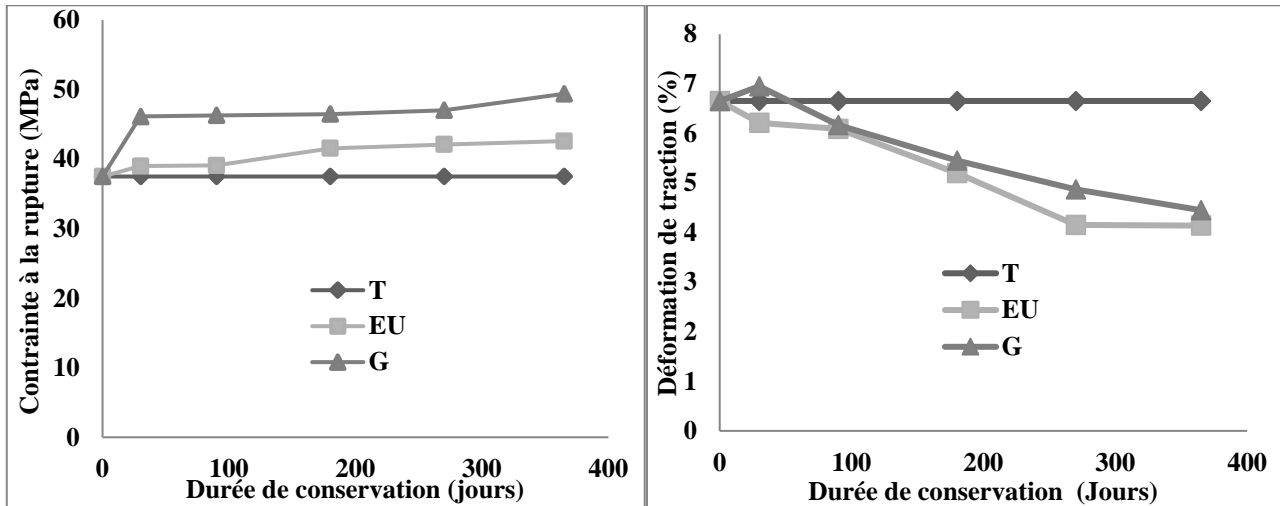


Figure 04. Contrainte à la rupture et déformation de traction axiale des éprouvettes conservées dans les différents milieux.

Cette augmentation de la contrainte à la rupture constatée sur les éprouvettes conservées à l'eau usée signifie que les éprouvettes deviennent plus résistant dans ces milieux mais moins déformables; ces résultats concordent à ceux trouvés par Silva et al en 2014, elles sont confirmés la diminution de la contrainte à la traction par rapport aux spécimens exposés au gaz H_2S après 365 jours d'exposition dans les sulfates des eaux usées de Ouargla à une température inférieure à $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ [11]. Plus encore, le gain de contrainte à la rupture dans les éprouvettes exposées au gaz H_2S compte pratiquement le double comparativement à celles conservées à l'eau usée. Ces résultats peuvent être interprétés par l'effet de l'ultraviolet des rayonnements solaires sur la partie supérieure soit la partie exposée au gaz H_2S . Généralement, les rayons solaires influent sur le comportement des produits polymères qui devient sous l'effet d'ultraviolet plus rigide, d'où le résultat obtenu. Les résultats de calcul du module d'élasticité à l'âge de 365 jours confirment encore cette

diduction. Ces résultats ont été confirmés que la température et le rayonnement ultraviolet sont des principaux facteurs pour l'augmentation de la rigidité et de vieillissement du PRV de résine polyester isophthalique [14].

3.3. Résultats de l'infrarouge (IR):

Les résultats des analyses des spectres d'infrarouge (IR) de la peau des spécimens en PRV conservés dans différents environnements à l'âge de 365 jours, sont illustrés à la Figure 05.

À partir des résultats des analyses IR, on obtient que la conservation dans l'eau usée et gaz H_2S influent sur les différentes formations dans la peau des spécimens en PRV après 365 jours d'immersion. Pour les spécimens exposés au gaz H_2S (figure 5b), on a noté la présence de deux bandes d'environ 3100 et 3500 cm^{-1} correspondants aux bandes d'élongation de vibration antisymétriques et symétriques N-H. Deux bandes à 850 et 1000 cm^{-1} correspondant à l'allongement de la bande double (Si = O, Ti = O et Zr = O). La bande mince et intense entre 1450 et

1550 cm^{-1} est attribuée à l'allongement de la bande double (C = O, Ca = O, Mg = O, B = O et Fe = O). Ces résultats peuvent être interprétés par l'effet du rayonnement ultraviolet sur la partie supérieure des conduites exposées au gaz H_2S , le rayonnement solaire étant affecté sur le polymère qui devient sous l'effet de l'ultraviolet est plus rigide. Pour les échantillons en PRV immergées dans les eaux usées (figure 5b), il est indiqué deux

bandes autour de 3100 et 3500 cm^{-1} correspondant aux bandes d'étirement des vibrations symétriques et antisymétriques N-H. La bande fine et intense à 1750 cm^{-1} est attribuée à l'allongement de la double liaison C = O à la fonction COOH de l'acide. Cependant, il est indiqué un même composite pour des spécimens témoins (figure 5a).

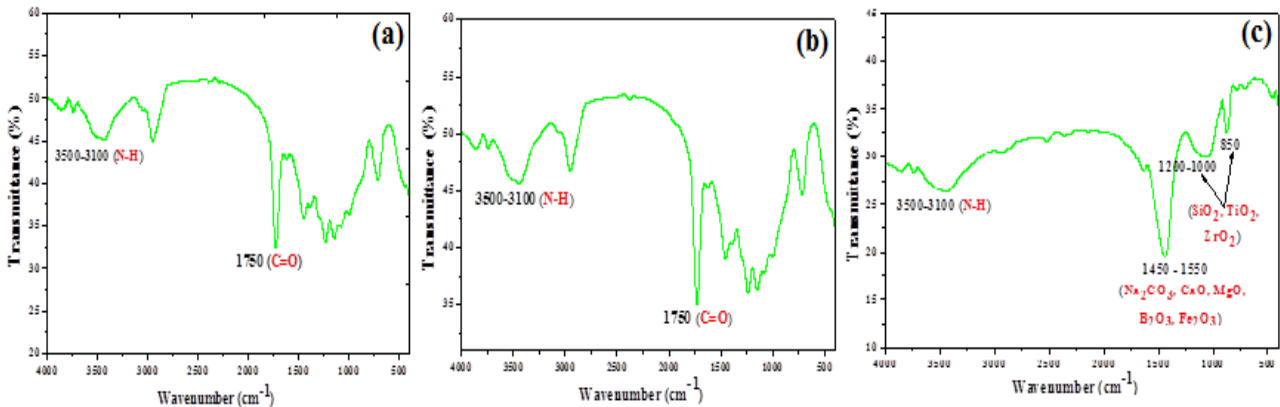


Figure 05. Spectres IR des peaux des spécimens conservées dans différents milieux : (a) témoins (b) Eau usée (c) gaz H_2S .

4. Conclusion:

D'après cette étude, nous avons obtenues un gain de 14 % de la contrainte à la rupture par traction des éprouvettes en PRV conservées dans l'eau usée à l'âge de 365 jours, et de 32 % pour des échantillons exposées au gaz H_2S par rapport aux éprouvettes témoins. D'autre part, ont été obtenue une surélévation de 5 % de la rigidité à l'âge de 365 jours. Enfin, l'exposition du matériau polymère dans les rayons solaires qui devient sous l'effet de l'ultraviolet est plus rigide. Donc, nous concluons que le matériau PRV représente une bonne alternative dans le réseau d'assainissement (conduites et regards) d'Ouargla, étant donné qu'il résiste mécaniquement mieux qu'au béton vis-à-vis de l'agression des sulfates des eaux usées et du gaz H_2S .

Référence:

- [1]. M.A.Boumehraz, M.Mellas and A.Kriker. Study on durability of the concrete of sanitation network in ouargla algeria under the existence of sulphates attack. Indonesian journal of science and technology, 3(1) (2018) 11-17.
- [2]. J.M.Estoup, R.Cabrillac. Corrosion of biological origin observed on concrete digestors. Construction and Building Materials, 11(04) (1997) 225-232.
- [3]. H.S.Jensen, P.N.L.Lens, J.L.Nielsen, K.Bester, A.H.Nielsen, T.H.Jacobsen, J.Vollertsen. Growth kinetics of hydrogen sulfide oxidizing bacteria in corroded concrete from sewers. Journal of hazardous materials, 189 (2011) 685-691.
- [4]. J.Baron, J.P.Ollivier. La durabilité du béton. Collection de l'association technique de l'industrie des liants hydrauliques. Edition de l'école des ponts et chaussées, 75007 Paris, 1992.
- [5]. B.V.Kavad, A.B.Pandey, M.V.Tadavi, H.C.Jakharia. Paper on effects of drilling on glass fiber reinforced plastic. Procedia Technology, 14 (2014) 457-464.
- [6]. P.P.Adrian, B.M.Gheorghe. Manufacturing process and applications of composite materials. Fascicle of management and technological engineering, IX (XIX) (2010).
- [7]. D.W.Chalmers. The potential for the use of composite materials in marine structures. Marine structures, 7 (1994) 441-456.

- [8]. V.M.Karbhari, K.Murphy, S.Zhang. Effect of concrete based alkali solutions on short-term durability of E-glass/vinylester composites. *Journal of composite materials*, 36 (17) 2002.
- [9]. F.Micelli, A.Nanni. Durability of FRP rods for concrete structures. *Construction and building materials*, 18 (2004) 491-503.
- [10]. Y.Chen, J.F.Davalos, I.Ray, H.Y.Kim. Accelerated aging tests for evaluations of durability performance of FRP reinforcing bars for concrete structures. *Composite structures*, 78 (2007) 101-111.
- [11]. M.A.G.Silva, B.S.Fonseca, H.Biscaia. On estimates of durability of FRP based on accelerated tests. *Composite structures*, 116(2014) 377-387.
- [12]. H.Y.Kim, Y.H.Park, Y.J.You, C.K.Moon. Short-term durability test for GFRP rods under various environmental conditions. *Composite structures*, 83 (2008) 37-47.
- [13]. B.C.Ray, D.Rathore. Durability and integrity studies of environmentally conditioned interfaces in fibrous polymeric composites: Critical concepts and comments. *Advances in colloid and interface science*, 209 (2014) 68-83.
- [14]. D.E.Mouzakis, H.Zoga et C.Galotis. Accelerated environmental ageing study of polyester/glass fiber reinforced composites (GFRPCs). *Composites: part B*, 39 (2008) 467-475.