

« Caractérisation des interfaces de soudage dans les composites thermoplastiques »

Noé RESTIF

Directeurs : Frédéric Jacquemin¹
Federica Daghia²
Encadrants : Mael Péron³
Suzanne Laik⁴
Thomas Jollivet⁵

Thèse débutée le 17/01/2022

Journées Des Doctorants Cetim - 18/02/2023

^{1,3}Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (UMR CNRS 6183), Université de Nantes - Centrale Nantes, I.U.T. de Saint-Nazaire, 58 Rue Michel Ange, 44600 Saint-Nazaire CEDEX, France

²LMPS/ENS-Paris-Saclay/CNRS/Université Paris Saclay, 61 av. Du Président Wilson, 94235 Cachan CEDEX, France

^{4,5}Centre Technique des Industries Mécaniques, Technocampus Composites, Chemin du Chaffault, 44340 Bouguenais CEDEX, France



Plan de la présentation

I/ Contexte

II/ Réalisation du projet

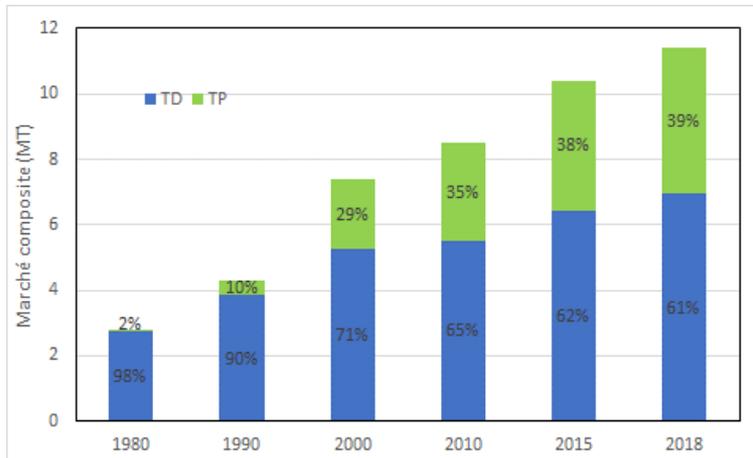
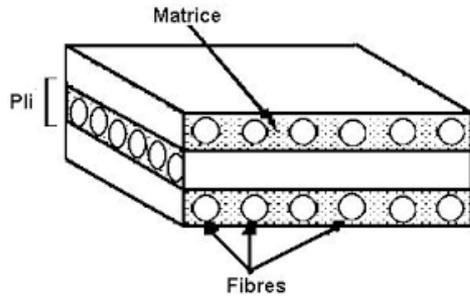
III/ Etude bibliographique

IV/ Essais et Résultats

V/ Conclusion & Perspectives

I/ Contexte

a) Les matériaux composites



[2]

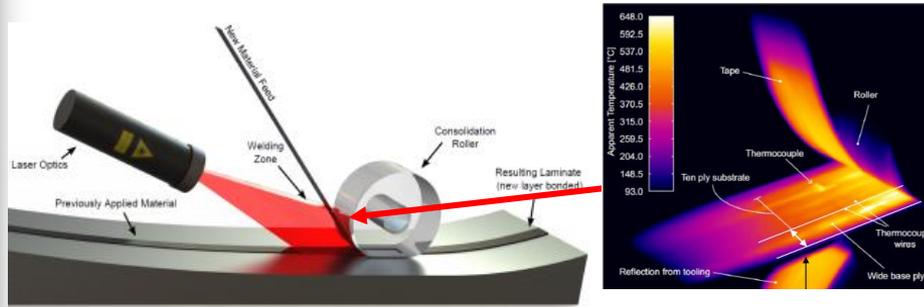
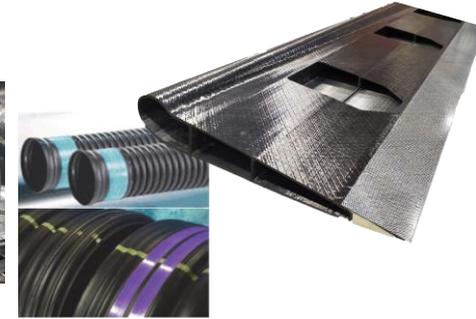
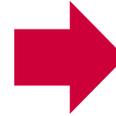
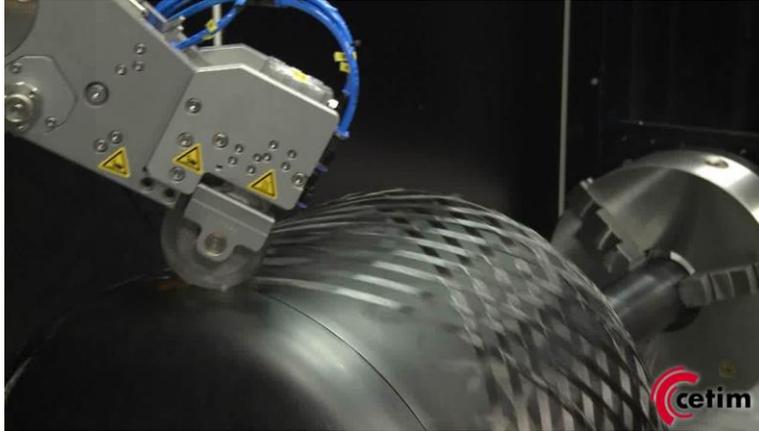
- **Remplacement des CTD par les CTP :**
 - « Recyclables »
 - Stockable en environnement ambiant
 - Plus résistants aux chocs
 - **Fabrication plus rapide et moins énergivore (procédés « out of autoclave ») [3]**

↳ **pour une mise en forme par soudage**

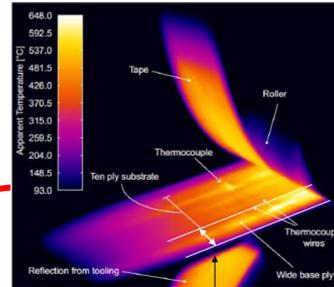
I/ Contexte

b) Le procédé de soudage étudié

Spide TP : Laser-Assisted Tape Placement (LATP)



[schéma Cetim]



[4]

- Utilisation de CTP Hautes Performances, non néfaste pour la santé et réparable
- Automatisation du procédé et étapes de production réduite
- Dépose bande par bande

- Simulation empilement, enroulement & **Process**
- **Fabrication des tapes**
- **Caractérisation des matériaux**

Plan de la présentation

I/ Contexte

II/ Réalisation du projet

III/ Etude bibliographique

IV/ Essais et Résultats

V/ Conclusion & Perspectives

III/ Réalisation du projet

Problématique : Quelle caractéristique de la matière plastique permet la bonne tenue mécanique d'une zone soudée ?

Production de soudures de différentes qualités

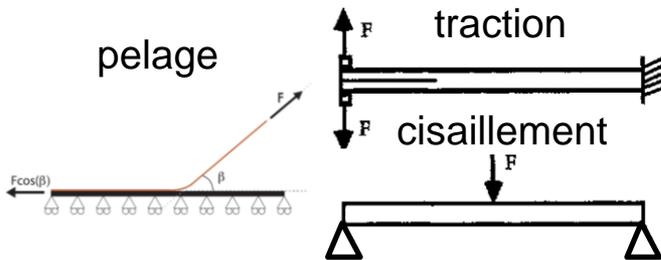


Vitesses de dépose (m/min) à 3 bar	température (°C) à 3 bar	Pression (bar) à 5 m/min et 450 °C
5	350, 400, 425, 450, 475	1 bar
15	350, 400, 425, 450, 475	3 bar
25	350, 400, 425, 450, 475	6 bar

Température laser (°C)	Vitesse (m/min)	Température mandrin (°C)	Pression (bar)
450	5	Tamb	3
450	10	Tamb	-
350	5	Tamb	-
350	10	Tamb	-
500	5	Tamb	-
500	10	Tamb	-
350	5	250	-
350	10	250	-
450	5	250	-
450	10	250	-
500	5	250	-
500	10	250	-

Optimisation des paramètres de production

Caractérisation mécanique



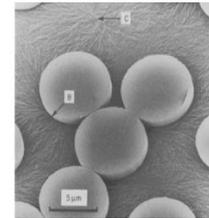
Observation des faciès rupture

$$\frac{G_{IC}(t)}{G_{IC0}} \approx \frac{l(t)}{L} \approx \left(\frac{t}{t_{rep}} \right)^{1/2}$$

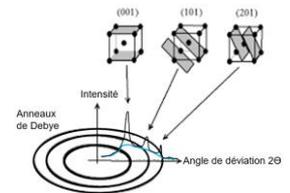
[9]

Caractérisation physico-chimique

Qualitatif



Quantitatif



Plan de la présentation

I/ Contexte

II/ Réalisation du projet

III/ Etude bibliographique

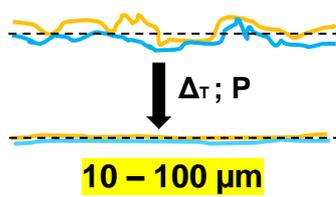
IV/ Essais et Résultats

V/ Conclusion & Perspectives

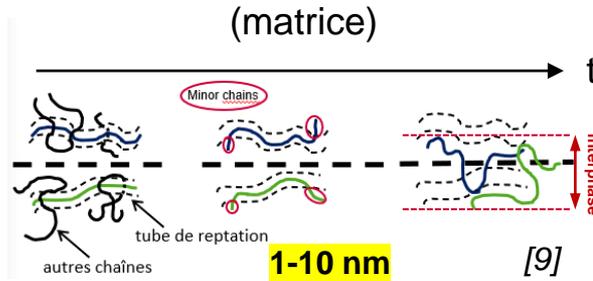
III/ Etude bibliographique

a) Les phénomènes de soudage

Contact intime (Fibres + matrice)



Interpénétration (matrice)

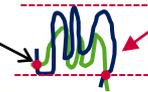


Cicatrisation + Cristallisation (matrice)

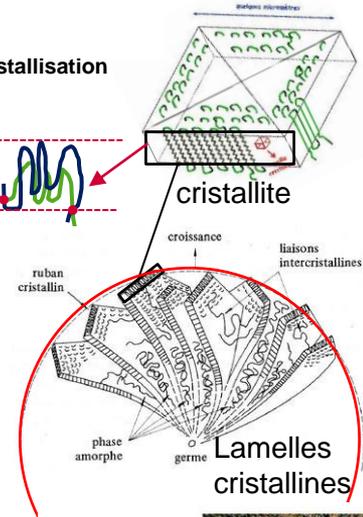
$t > t_{\text{reptation}}$
Nœuds d'enchevêtrements



$t > t_{\text{cristallisation}}$

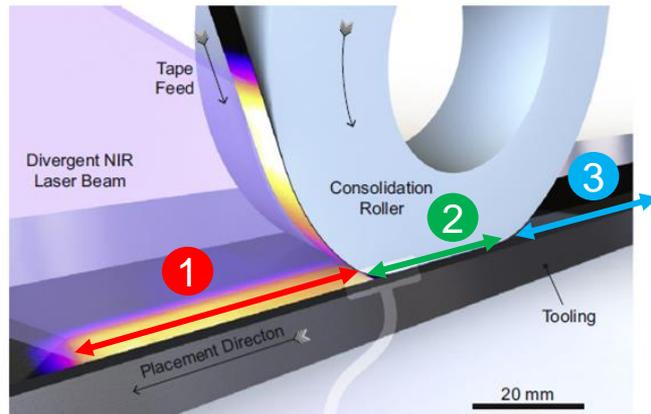


100 nm

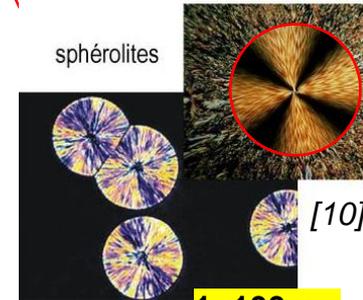


[11]

- 1 Chauffage (0,5 sec)
- 2 Compactage (0,2 sec)
- 3 Refroidissement (0,4 sec à qlqs sec)



[11]



[10]

Plan de la présentation

I/ Contexte

II/ Réalisation du projet

III/ Etude bibliographique

IV/ Essais et Résultats

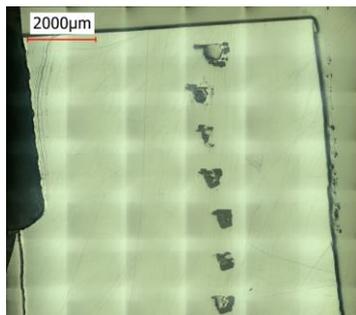
V/ Conclusion & Perspectives

IV/ Essais et Résultats

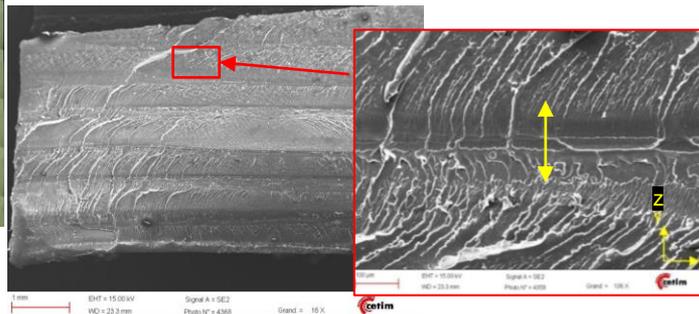
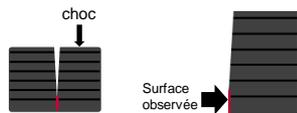
a) Mise au point des techniques d'analyses physico-chimiques

Observation microscopique

PEEK

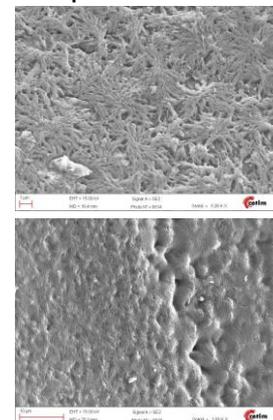


Fractographie

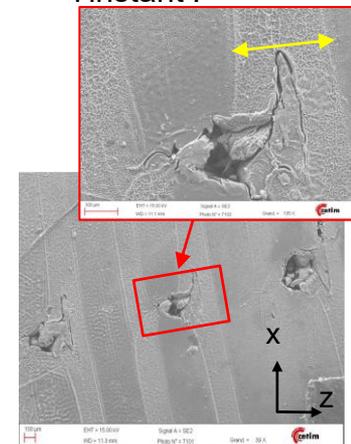


Traitement de surface

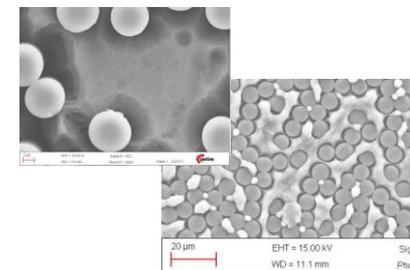
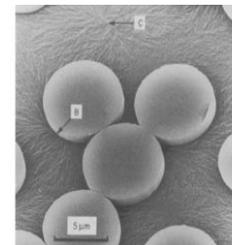
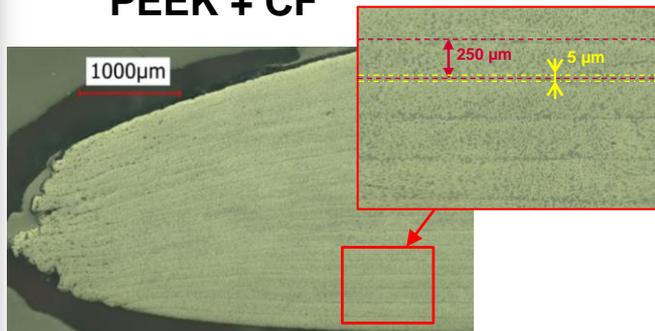
Ce que l'on veut :



Ce que l'on a pour l'instant :



PEEK + CF



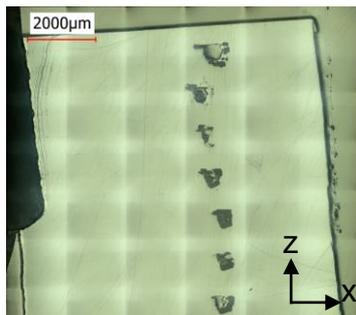
[12]

IV/ Essais et Résultats

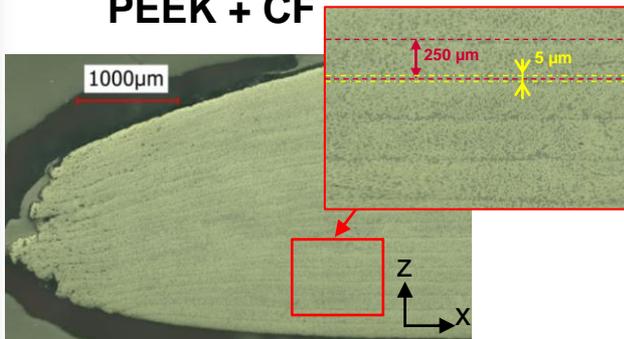
a) Mise au point des techniques d'analyses physico-chimiques

Analyse microscopique : Détermination du taux de cristallinité

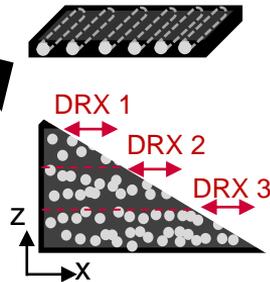
PEEK



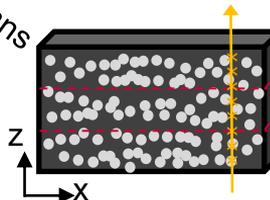
PEEK + CF



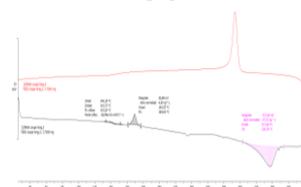
Découpe
suivant xy



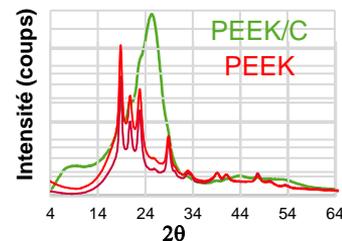
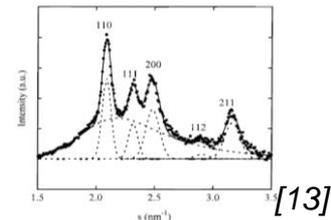
Filiation dans
l'épaisseur
(suivant z)



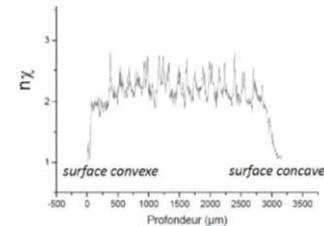
DSC



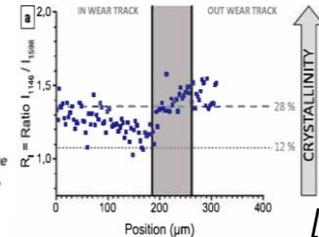
DRX



Micro-DRX



Spectroscopie Raman
confocale



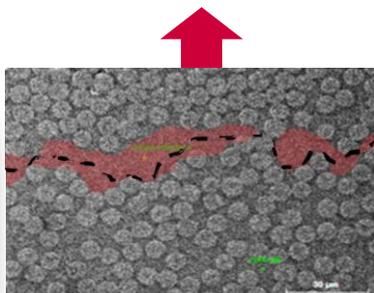
[rapport Cetim]

[14]

IV/ Essais et Résultats

b) Premiers résultats des essais mécaniques

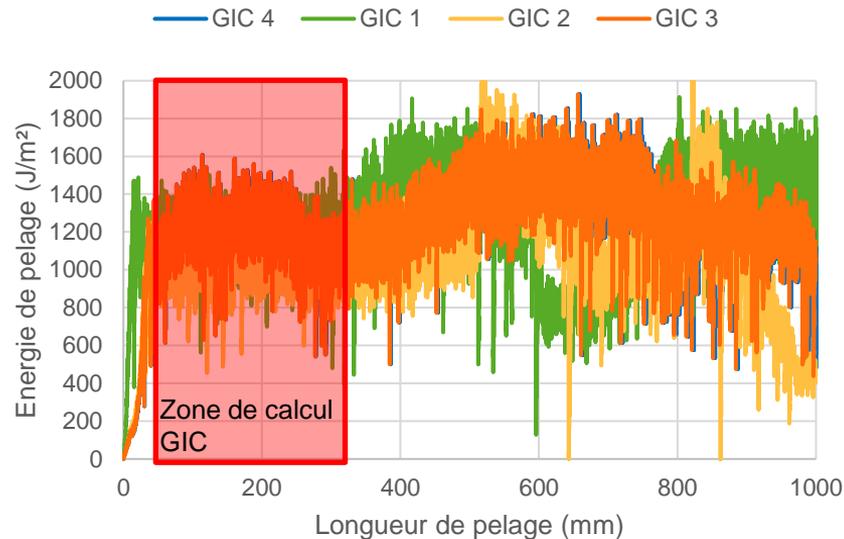
Pelage DDP



X
Z



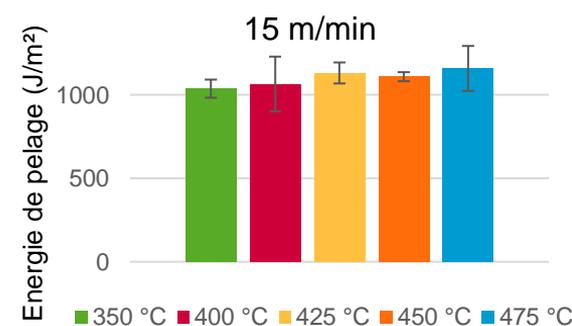
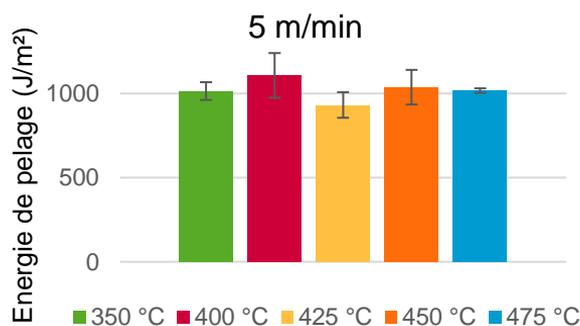
y
Z



Effet de la Pression du galet sur l'énergie de pelage



Effet de la vitesse et de la température sur l'énergie de pelage



Plan de la présentation

I/ Contexte

II/ Réalisation du projet

III/ Etude bibliographique

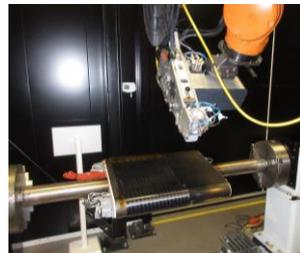
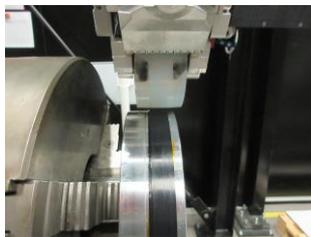
IV/ Essais et Résultats

VI/ Conclusion & Perspectives

V/ Conclusion & Perspectives



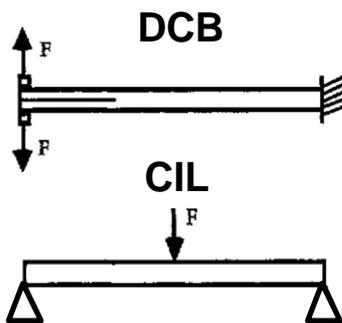
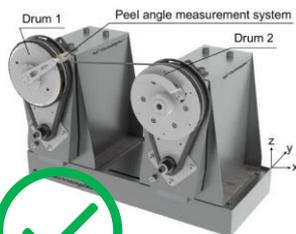
Production de soudures de différentes qualités



- 1) Analyse US des plaques
- 2) Usinage des éprouvettes

Caractérisation mécanique

pelage



2^e campagne de production - paramètres optimisés

Observation des faciès rupture

Caractérisation physico-chimique

Qualitatif

- Coupes micrographiques
- Attaques chimiques

Quantitatif

- DSC :
 - sur plaques
 - sur bandes pelées
- DRX ; Micro-DRX
- Raman
- AFM
- DMA

Sources

- 1 : Rana, S, Parveen, S, Fangueiro, R - *Advanced Composite Materials: Properties and Applications*, Jan. 2017
- 2 : *JEC Magazine Special Issue 03/2019*
- 3 : D. H. Lukaszewicz, C.Ward, and K. D. Potter. *The engineering aspects of automated prepreg layup: History, present and future. Composites Part B: Engineering*, 43(3):997–1009, 2012.
- 4 : C.M. Stokes-Griffin, P. Compston - *Composites: Part A*, 84 (2016) 17–25
- 5 : site web : <https://www.mecastyle.com/js/tinymce/source//materiau-composite-pultrusion.jpg>
- 6 : Martin Spoerk , Clemens Holzer , Joamin Gonzalez-Gutierrez « *Material extrusion-based additive manufacturing of polypropylene: A review on how to improve dimensional inaccuracy and warpage*” *J. APPL. POLYM. SCI.* 2019.
- 7 : site web <https://www.acaplastiques.com>
- 8 : site web <https://www.usinenouvelle.com/>
- 9 : P. G. De Gennes, « *Reptation of a Polymer Chain in the Presence of Fixed Obstacles* », *The Journal of Chemical Physics*, 55, 572-579, 1971
- 10 : Docplayer Cristallographie <https://docplayer.fr/21156364-Cristallographie-arrangement-atomique-des-solides-cristallins.html>
- 11 : Christopher M. Stokes-Griffin, *A Combined Optical-Thermal Model for Laser-Assisted Fibre Placement of Thermoplastic Composite Materials*, PhD thesis, 2015
- 12 : D.J Blundell, R. A. Crick, B. Fife, J. Peacock, A. Keller, A. Waddon « *Spherulitic morphology of the matrix of thermoplastic PEEK/carbon fibre aromatic polymer composites* » *Journal of Materials Science* 24 (1989) 2057-206
- 13 : C. Fougnes, P. Damman, D Villers & al. « *Time-Resolved SAXS, WAXS, and DSC Study of the Annealing of Poly(aryl ether ether ketone) (PEEK) from the Glassy State* » *Macromolecules* 1997, 30, 1385-1391
- 14 : Doumeng & al. « *Evolution of crystallinity of PEEK and glass-fibre reinforced PEEK under tribological conditions using Raman spectroscopy.* » (2019) *Wear*, 426-427 (Part B). 1040-1046. ISSN 0043-1648

Merci à vous !

noe.restif@cetim.fr



Osez le futur