

ETUDE DE L'ENDOMAGEMENT D'UN COMPOSITE VIA EMISSION ACOUSTIQUE



Etudiants :

Tiffen LEGEARD

Florian PERON

Margot VENNIN

Agathe MENARD

François PROTAIS

Enseignant-responsable du projet :

David BOUSCARRAT

Date de remise du rapport : **13/06/2016**

Référence du projet : **STPI/P6/2016 – 19**

Intitulé du projet : **Étude de l'endommagement d'un composite via émission acoustique**

Type de projet : **Expérimental**

Objectifs du projet :

L'objectif principal de ce projet est de voir comment l'émission acoustique permet d'observer la chronologie et la cinétique de l'endommagement. On pourra ainsi étudier et caractériser la rupture des fibres dans un composite. On analysera donc les endommagements d'un matériau composite durant un essai de traction jusqu'à rupture, par l'étude des signaux d'émission acoustique.

Mots-clefs du projet :

- **Composite**
- **Émission acoustique**
- **Rupture**

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction.....	5
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	5
3. Travail réalisé et résultats.....	7
3.1. Recherche informations.....	7
3.1.1. Matériaux composites.....	7
3.1.2. Résistance des matériaux.....	9
3.1.3. Émission acoustique.....	10
3.2. Essais de vitesse.....	14
3.3. Essais jusqu'à rupture.....	16
3.3.1. Composite avec fibre orientées 45/45.....	16
3.3.2. Composite avec fibres orientées 0/90.....	20
3.3.3. Interprétations.....	23
4. Conclusions	23
5. Perspectives.....	25
6. Sources.....	26
7. Annexes.....	27
7.1. Tables de illustration.....	27
7.2. Photos des éprouvettes.....	28

1. INTRODUCTION

Les matériaux composites sont très utilisés de nos jours puisqu'ils allient plusieurs propriétés très recherchées telles que la légèreté, la flexibilité ou encore la rigidité. Il est important de bien connaître leurs propriétés pour choisir celui qui répondra le mieux aux contraintes imposées. En effet, une des particularités de ces matériaux est qu'ils sont souvent fabriqués pour une demande spécifique, et donc des contraintes particulières. Le type de fibre, leur tissage et leur orientation vont définir en grande partie leur résistance aux différents efforts (traction, compression, flexion...).

Pour notre projet, nous nous sommes concentrés sur l'étude des endommagements sous un effort de traction. Pour cette étude nous avons utilisé la méthode d'analyse via l'émission acoustique. Cette méthode permet d'obtenir la localisation des différents endommagements et de connaître également leurs types tout le long de l'essai. Nous avons donc réalisé 3 essais sur la machine, un premier pour se familiariser avec le fonctionnement de la machine et le type de résultats obtenus et ensuite deux essais jusqu'à rupture avec deux composites différents afin de pouvoir analyser leurs endommagements et les comparer. L'analyse des résultats a été faite grâce au logiciel Noesis.

Dans notre rapport, nous allons vous présenter les recherches documentaires que nous avons faites et les résultats des différents essais réalisés.

2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Pour commencer notre projet nous avons effectué des recherches documentaires pour mieux connaître les notions liés à cette étude. Tiffen et Margot ont travaillé sur les matériaux composites, Florian et Agathe sur la notion de résistance des matériaux et Francois sur l'émission acoustique. Nous avons tous participé aux différents essais de vitesse avec la machine et fait l'exploitation des résultats. Pour les essais de traction jusqu'à rupture, nous avons tous assisté au premier essai et Mr Bouscarrat a manipulé. L'exploitation des résultats sur Noesis a été faite par Florian et Francois. L'interprétation des différentes courbes obtenues a été réalisé par Tiffen, Agathe, Florian et Francois. Margot s'est occupé de l'étude mécanique des essais. Et nous avons tous pris part à la rédaction du rapport.

Séance n°1	Recherches documentaires, introduction à l'émission acoustique et à la résistance des matériaux
Séance n°2	Recherches documentaires supplémentaires et élaboration d'un protocole à effectuer pour réaliser notre projet
Séance n°3	Recherches documentaires supplémentaires. Rédaction de la première partie de notre rapport
Séance n°4	Premiers essais avec l'émission acoustique : Essai de vitesse (cassage de mine)
Séance n°5	Répétition des essais de vitesses (cassage de mine) pour différentes éprouvettes (fibres 90,45,vertical-horizontal)
Séance n°6	Calcul de la vitesse moyenne de propagation des ondes entre les deux capteurs lors du test avec la mine. Exploitation des résultats.
Séance n°7	Exploitation des résultats
Séance n°8	Essai de traction pour une éprouvette composite (fibres 45-45)
Séance n°9	Exploitation des résultats sur le logiciel Noesis (Machine de traction en panne)
Séance n°10	Exploitation des résultats sur le logiciel (Machine de traction en panne)
Séance n°11	Rédaction du rapport (Machine de traction en panne)
Séance n°12	Deuxième essai de traction réalisé par le professeur encadrant Exploitation des résultats à l'aide du logiciel (éprouvette fibres 0-90)
Séance n°13	Finalisation du rapport, préparation du powerpoint et de la soutenance

3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

3.1. Recherche informations

3.1.1. *Matériaux composites*

Qu'est ce que c'est ?

Un composite est un matériau formé de plusieurs composants élémentaires, dont au moins 2 non miscibles. L'association confère à l'ensemble des propriétés qu'aucun des composants pris séparément ne possède (leurs propriétés se complètent). Ce phénomène permet d'améliorer la qualité de la matière face à une certaine utilisation (légèreté, rigidité à un effort, etc.).

Un matériau composite se compose de : une matrice, d'un renfort et optionnellement une charge et/ou additif.

La matrice (= résine) est un composé macromoléculaire naturel ou synthétique, utilisé dans les industries des matières plastiques, des peintures, des adhésifs, etc. Elle a pour principal but de transmettre les efforts mécaniques au renfort. Elle assure aussi la protection du renfort vis-à-vis des diverses conditions environnementales. Elle permet de donner la forme voulue au produit réalisé. Par exemple, il y a les CMO (composites à matrice organique) soit thermodurcissable (résine époxyde...), soit thermoplastique (polypropylène, le polyamide, le polyétherimide...)

Le renfort est l'armature reprenant l'essentiel des efforts mécaniques. Les fibres sont utilisées comme renforts, elles apportent les caractéristiques mécaniques de la pièce, par exemple, les fibre de verre (95 % des composites), de carbone, d'aramide ou fibres naturelles. Plus les fibres sont orientées, plus les propriétés mécaniques sont optimisées. Les fibres possèdent généralement une bonne résistance à la traction mais une résistance faible à la compression.

Quelques exemples de composite :

- le béton armé = composite béton + armature en acier
- le composite fibre de verre + résine polyester.

Nous allons travailler pour cet essai avec des composites à fibres carbone et matrices polymères.

Applications

Les composites sont présents partout et se substituent au bois et aux métaux dans de nombreux domaines. En effet, on les utilise pour leur légèreté (par exemple dans le sport : cyclisme, nautisme...), leur bon comportement face à l'humidité et la corrosion, leur grande rigidité ou flexibilité etc... Ils offrent de nombreux avantages divers et variés pour des applications bien différentes. Principales applications : dans les transports (automobile, aéronautique, ferroviaire, naval militaire et de plaisance), le bâtiment, la mécanique, l'électrotechnique, les sports et loisirs, le matériel paramédical... On les utilise également par exemple comme isolants électriques.

Endommagement d'un composites

La direction et le mode d'endommagement dépendent de l'orientation et de la proportion des renforts et du types de composites (uni ou multidirectionnels, à matrice organique ou autre).

Fissure matricielle

La fissure matricielle est un mode d'endommagement. Des fissures dites transverses ou intralaminaires apparaissent dans la matrice et se propage dans le matrice mais suivant le type de matériau elles ne conduisent pas directement à la rupture dans les composites multidirectionnels. Ces fissures sont qualifiées de transverse puisqu'elles apparaissent dans les plis d'orientation transversale à celle de sollicitation et parallèlement aux fibres de ce plis. De plus, elles sont traversantes dans le sens de l'épaisseur du plis.

Rupture de fibre

La rupture de fibre est un autre mode d'endommagement. Les ruptures de fibres n'interviennent en général qu'en fin de vie du stratifié composite juste avant la rupture macroscopique. Il s'agit là du mode d'endommagement le plus dangereux pour la structure. La résistance de la fibre étant très élevée, sa rupture est donc le résultat d'une forte sollicitation dans l'axe de la fibre. La première étape correspond à l'initiation de l'endommagement par ruptures isolées des fibres les plus faibles. Cela se traduit en général par l'apparition d'émissions acoustiques. La seconde étape est caractérisée par l'accumulation de ruptures aléatoires dans le composite à laquelle s'ajoute la croissance de l'endommagement autour des ruptures isolées, par rupture des premières fibres voisines sous l'effet du report de charge. Avec l'augmentation de la contrainte, la probabilité de rompre de nouvelles fibres est en effet de plus en plus importante. Cela se traduit en termes d'émission acoustique par une évolution exponentielle de l'accumulation des événements. La dernière étape est associée à la rupture finale par instabilité du processus. L'accumulation et la croissances des ruptures de fibres, préférentiellement autour des fibres déjà rompues entraînent la rupture du composite.

Délaminage

Les composites sont confrontés aux ruptures inter-laminaires (décollement entre les plis de celui ci). La matrice et l'interface fibre/matrice sont les premières à se détériorer. Les premiers défauts sont donc la microfissuration de la matrice et la décohésion fibre/matrice à l'échelle microscopique. Puis ces micros défauts se rejoignent et forment des fissures visibles à l'œil nu. La rupture est donc de type "fragile", c'est-à-dire que le point de rupture se trouve dans la partie linéaire de la courbe effort-déplacement. Cette baisse progressive de la raideur est suivie de la rupture totale de la structure. Le phénomène de délaminage (fissuration à l'interface entre plis d'orientations différentes) est un des modes d'endommagement prédominants dans les matériaux composite.

3.1.2. Résistance des matériaux

La résistance des matériaux (RDM) est une discipline de la mécanique des milieux continus. Elle se concentre sur l'étude du comportement d'un solide déformable soumis à des efforts. Ces solides sont appelés poutres et respectent certains critères.

Définition d'une poutre :

- 1 longueur grande devant les 2 autres : structure élancée
- ligne moyenne droite ou à fort rayon de courbure
- section droite S constante ou variant progressivement
- hypothèses sur le matériaux : continuité, homogénéité, isotropie

Grâce à ces simplifications, on peut faire des calculs simples et rapides. Les hypothèses de la RDM permettent le calcul des contraintes et des déformations dans les structures de différents matériaux. Les contraintes et déformation permettent ensuite de mesurer la résistance et la rigidité des matériaux.

Notion de contrainte :

Lorsque des forces extérieures sont appliquées sur des éléments, celles-ci engendrent des efforts internes qui sont la résultante des efforts élémentaires agissant sur chaque section de l'élément sollicité par les forces extérieures. On appelle ces efforts élémentaires, contraintes.

Notion de déformation :

Lorsqu'un matériau est soumis à une contrainte, il va commencer à se déformer. Il y a d'abord une déformation élastique, le matériau va se déformer proportionnellement à la contrainte puis va reprendre sa forme initiale lorsque les contraintes disparaissent. Si la sollicitation est plus importante, il va y avoir une déformation plastique : la déformation subie par le matériau sera irréversible. Enfin, si la contrainte est trop importante, il y aura une rupture du matériau car la sollicitation a dépassé la résistance du matériau.

Les domaines élastique et plastique sont propres à chaque matériau, ainsi que son moment de rupture. C'est ce qui caractérise la résistance du matériau.

Malheureusement, les composites sont des matériaux hétérogènes et fortement anisotropes, donc les simplifications de la RDM sont inadaptées. La résistance de ces matériaux est donc difficile à mesurer par le calcul, et il est donc plus intéressant de faire de mesures expérimentales.

Essai de traction :

Un essai de traction est une expérience de physique qui permet de déterminer le comportement élastique d'un matériau, de mesurer le degré de résistance à la rupture d'un matériau.

Certains objets manufacturés doivent avoir un minimum de solidité pour pouvoir supporter les charges, le poids et bien d'autres efforts. L'essai de traction permet de caractériser les matériaux, indépendamment de la forme de l'objet sollicité, ou la performance d'un assemblage mécanique. Comme tout essai mécanique, l'essai de traction reproduit une sollicitation simple, donc éloignée des sollicitations réelles, mais facilement maîtrisable et reproductible.

Cet essai ou expérience consiste à placer une petite barre du matériau à étudier entre les mâchoires d'une machine de traction qui tire sur la barre jusqu'à sa rupture. On enregistre l'allongement et la force appliquée, que l'on convertit ensuite en déformation et contrainte.

3.1.3. *Émission acoustique*

L'émission acoustique (Acoustic Emission Testing en anglais) est une méthode d'essai non destructive, globale et rapide. Elle est bien adaptée aux applications de vérification de l'intégrité des grandes structures en minimisant fortement les temps d'intervention et les arrêts coûteux. C'est une méthode passive qui permet de suivre la progression de l'endommagement en temps réel d'un composant en fonctionnement. Plusieurs codes et normes encadrent cette méthode.

Principe

L'émission acoustique est un phénomène de libération d'énergie sous forme d'ondes élastiques transitoires résultant des micro-déplacements locaux internes à un matériau (fissures, inclusions, corrosion, délaminage, etc.). Ce phénomène se manifeste au sein de nombreux matériaux, quand ils sont soumis à des sollicitations d'origines mécaniques, thermiques ou chimiques.

L'application d'une charge et/ou la présence d'un environnement agressif produit des modifications internes telles que l'évolution de fissure, des déformations plastiques locales, de la corrosion et, dans certains cas, des transformations de phase qui génèrent l'émission acoustique. Cela donne, de ce fait, certaines informations sur le comportement interne des matériaux considérés. Les ondes se propagent dans la structure puis sont détectées au moyen de capteurs spécifiques qui permettent la conversion des mouvements de surface du matériau en signaux électriques. Ces signaux sont traités par des instrumentations adaptées en vue d'indiquer et de localiser les sources d'émission acoustique.

Mode d'examen

La mesure de l'émission acoustique générée par une structure soumise à sollicitation peut être décrite en deux phases :

- Détection de l'onde acoustique :

La détection est assurée généralement par des capteurs piézo-électriques permettant la conversion de l'onde acoustique en un signal électrique. Le signal d'émission acoustique est ensuite conditionné par un préamplificateur qui assure l'adaptation de l'impédance électrique, l'amplification et le filtrage. Le signal d'émission acoustique est ensuite transmis au système de mesure qui permet la numérisation, l'enregistrement des formes d'ondes en temps réel et/ou l'extraction d'un certain nombre de paramètres relatifs aux signaux. L'émission acoustique peut être continue ou discrète. Le signal d'émission acoustique discrète appelé *salve* a l'allure générale d'une sinusoïde amortie.

- Analyse des données d'émission acoustique en temps réel et différé :

Une fois les données d'émission acoustique stockées, des traitements adéquats sont appliqués afin d'évaluer les résultats des mesures. Ces traitements portent sur les paramètres des *salves* (analyses historique et statistique), mais permettent aussi de grouper les *salves* détectées par les différentes voies de mesure pour localiser les sources d'émission acoustique.

Domaines applications

Les champs d'applications de l'émission acoustique sont multiples :

- Contrôle de l'intégrité des équipements sous pression. L'émission acoustique est une alternative à l'épreuve hydraulique pour la re-qualification des équipements sous pression.
- Contrôle des structures industrielles telles que les réacteurs nucléaires
- Contrôle en ligne des procédés de fabrication des matériaux
- Surveillance des installations en fonctionnement
- Détection des fuites
- Détection de la corrosion
- Recherche et développement
- Applicable sur de nombreux matériaux (aciers, composites, céramiques, etc.)

Intérêts de la méthode

L'émission acoustique présente de nombreux avantages parmi lesquels :

- Le contrôle global de la structure (volumique),
- La détection et localisation des défauts évolutifs,
- Le contrôle dynamique en temps réel dans les conditions de service ou de sollicitation,
- Le diagnostic de la sévérité de l'endommagement,
- Le suivi dans le temps,
- La prévention des risques industriels,
- Le contrôle des structures en service,
- La minimisation du temps d'intervention et d'immobilisation des installations.

Acquisition des signaux

La transformation des ondes mécaniques en surface d'un matériau, en signaux d'émission acoustique, est réalisée par l'utilisation de capteurs généralement de nature piézoélectrique. Ceux-ci sont placés en surface du matériau, le couplage avec celle-ci étant assuré le plus souvent par l'utilisation d'un gel silicone. Le rôle du couplant est d'améliorer la transmission des ondes entre la surface de l'échantillon et le capteur. Le signal détecté est ensuite amplifié, échantillonné puis stocké pour traitement ultérieur.

Deux grandes familles de capteurs sont utilisées en émission acoustique. Les premiers, dits « large bande », possèdent une bande passante régulière dans une zone étendue de fréquences allant jusqu'au MHz. Ils présentent l'avantage de modifier peu la forme réelle du signal, mais possèdent en revanche une faible sensibilité. Les seconds, dits « résonnants », ont une bande passante moins large et présentent un pic de réponse aux alentours d'une certaine fréquence. Cette caractéristique entraîne une modification de l'allure des signaux ainsi que de leur contenu fréquentiel ; cependant les capteurs de ce type sont beaucoup plus sensibles et permettent la détection de signaux de plus faible amplitude.

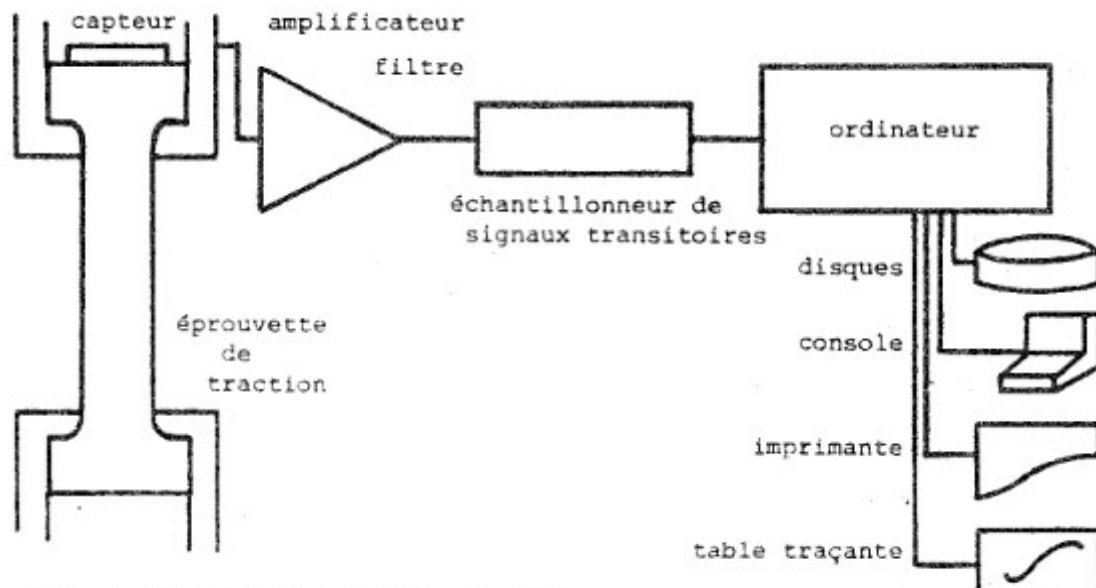


Illustration 1: Chaîne d'acquisition de l'EA

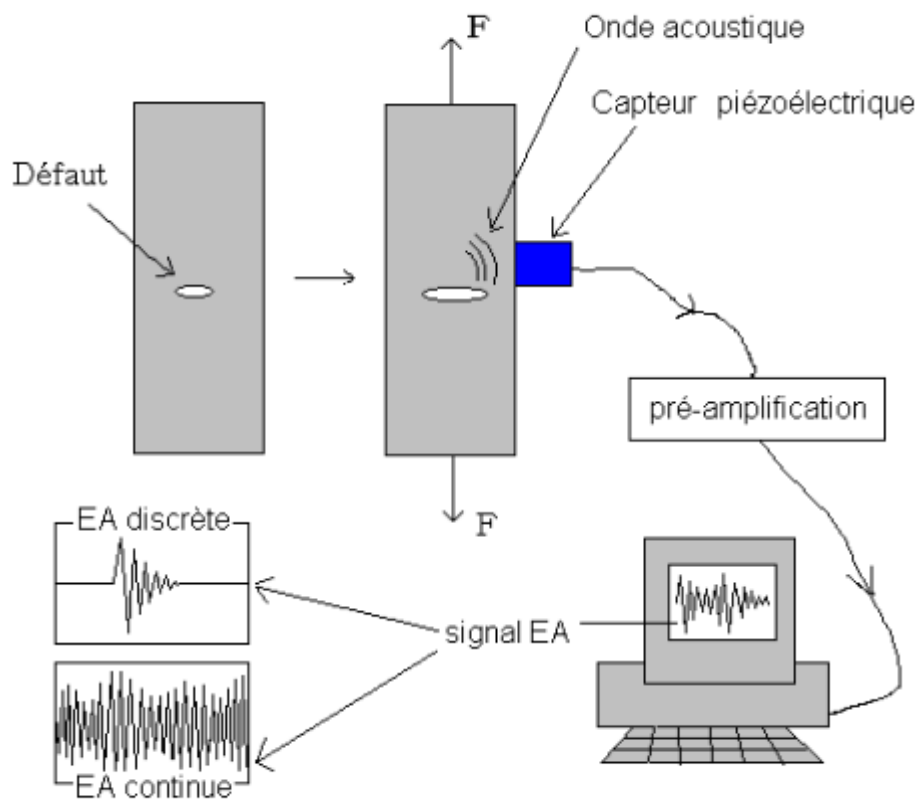


Illustration 2: Schéma de la transmission des résultats

Les paramètres exploitables

On s'intéresse ici aux signaux de type discret. On se place dans l'hypothèse où chaque salve correspond à un événement physique dans le matériau et où la forme de la salve est directement liée aux caractéristiques de cet événement. Alors il est important de relever tous les paramètres pouvant permettre de caractériser un type de signal dans le but de remonter jusqu'à l'identification des différents mécanismes mis en jeu. La plupart de ces paramètres sont définis par rapport à un seuil d'acquisition. Il existe plusieurs méthodes pour fixer ce seuil, la plus courante consiste à le régler à une valeur légèrement supérieure au bruit de fond. Les paramètres classiques enregistrés en temps réel sont les suivants :

- l'amplitude crête exprimée en décibels ;
- la durée exprimée généralement en microsecondes. Elle correspond au temps qui sépare le premier et le dernier dépassement de seuil ;
- le nombre de coups ou le nombre d'alternances correspond au nombre de franchissements de seuil par le signal sur toute sa durée ;
- le nombre de coups au pic correspond au nombre de franchissements de seuil par le signal entre le premier dépassement de seuil et l'amplitude maximale ;
- le temps de montée exprimé en microsecondes. Il correspond au temps qui sépare le premier dépassement de seuil et l'amplitude crête du signal ;
- la fréquence moyenne : cette valeur donnée par la plupart des systèmes d'acquisition ne correspond pas à la transformée de Fourier du signal mais au nombre de coups d'une salve divisé par sa durée ;
- l'énergie du signal.

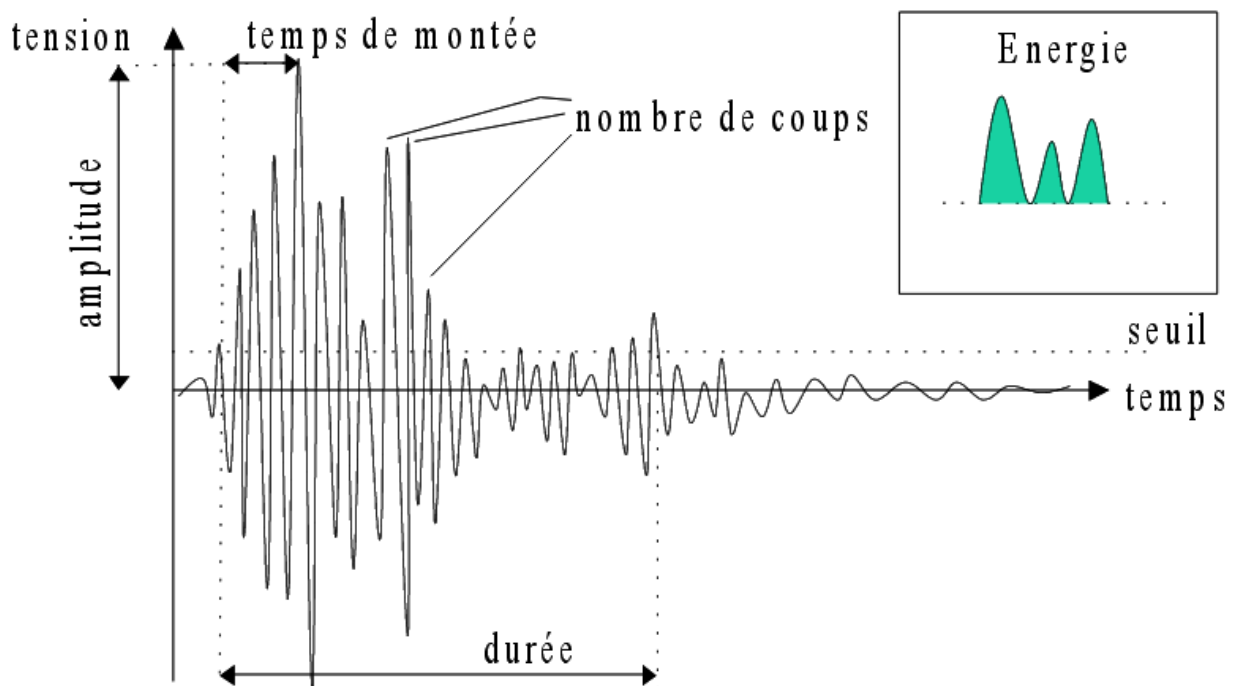


Illustration 3: Principaux paramètres mesurés en temps réel sur une salve d'émission acoustique

On calcule donc la vitesse de la propagation de l'onde de choc, en m/s grâce à la différence de temps entre l'arrivée de l'onde au premier capteur et son arrivée au 2ème pour chaque mine cassée. Le tableau ci-dessus représente les données récoltées pour le premier composite testé. Donc, pour le composite avec des fibres orientées 0/90°, l'onde de choc se déplace à 5100 m/s environ.

Nous avons réalisé l'étude pour trois autres composites différents.

Composite 2 (petite éprouvette, fibres 45°)

T capteur 1	T capteur 2	Amplitude	DeltaT en s	Vitesse m/s
20,7997155	20,7997258	107	0,0000103	2912,6213593
30,7869545	30,786965	110	0,0000105	2857,1428576
41,8727483	41,8727588	111	0,0000105	2857,1428566
53,0986148	53,0986235	108	0,0000087	3448,2758612
64,9673045	64,967315	109	0,0000105	2857,1428566
85,9593445	85,9593527	105	0,0000082	3658,536587
95,304724	95,304732	110	0,000008	3749,9999961
105,5296045	105,5296133	108	0,0000088	3409,0909133
127,7742068	127,774217	108	0,0000102	2941,1764731
141,682649	141,6826575	107	0,0000085	3529,4117618
Moyenne			0,00000942	3222,0541523

Pour un composite avec des fibres orientées $\pm 45^\circ$, l'onde de choc se déplace à 3222 m/s environ, on peut voir que l'onde se déplace moins vite dans un composite avec des fibres à 45° qu'avec des fibres à 90° les unes par rapport aux autres.

Composite 3 (grande éprouvette, fibres horizontales)

T capteur 1	T capteur 2	Amplitude	DeltaT en s	Vitesse m/s
13,2863617	13,2863695	104	0,0000078	5128,205129
21,282689	21,2827	107	0,000011	3636,3636373
30,4410328	30,4410405	105	0,0000077	5194,805194
39,2494655	39,2494725	106	0,000007	5714,2857113
48,2327802	48,2327882	107	0,000008	4999,9999993
80,185579	80,18559	108	0,000011	3636,3636361
86,9622727	86,962282	106	0,0000093	4301,0752678
95,2162038	95,2162127	107	0,0000089	4494,3820238
103,4274495	103,4274588	106	0,0000093	4301,0752678
114,2316128	114,2316228	105	0,00001	3999,9999987
Moyenne			0,000009	4540,6555865

La vitesse moyenne pour un composite à fibres horizontales est de 4540 m/s. On se rapproche donc de la vitesse calculée pour une petite éprouvette à fibres à 90° .

Composite 4 (grande éprouvette, fibres verticales)

T capteur 1	T capteur 2	Amplitude	DeltaT en s	Vitesse m/s
18,3623125	18,36232	103	0,0000075	5333,3333342
29,2665253	29,266533	106	0,0000077	5194,8051964
42,4993153	42,4993243	108	0,000009	4444,4444451
51,4252472	51,425256	104	0,0000088	4545,4545474
89,2542263	89,2542335	105	0,0000072	5555,5555564
103,5511398	103,5511483	103	0,0000085	4705,882357
117,0116398	117,0116475	103	0,0000077	5194,8051964
131,9675565	131,9675645	107	0,000008	4999,9999949
144,1410703	144,1410785	107	0,0000082	4878,0487827
161,535158	161,5351663	103	0,0000083	4819,277114
Moyenne			0,00000809	4967,1606524

On trouve une vitesse du même ordre que pour les fibres à 90°.

En conclusion, on peut voir que pour des fibres à 45°, la vitesse est bien moins élevée que pour celles à 90 ou 180°. On peut en déduire que la vitesse des ondes est freinée par les fibres placées en travers du composite.

3.3. Essais jusqu'à rupture

3.3.1. Composite avec fibre orientées 45/45

L'essai de traction jusqu'à rupture consiste à placer une éprouvette dans une machine qui fixé a chaque extrémité va exerce une force de traction de plus en plus élevée jusqu'à rupture de l'éprouvette. Pour réaliser l'étude, nous avons placé un capteur à chaque extrémité qui recevront les signaux créés par les endommagements. De plus, ces capteurs nous donne la valeur de leur éloignement pendant l'essai ce qui nous permet de connaître la déformé.

Mécanique de l'essai :

Evolution de la contrainte au cours du temps

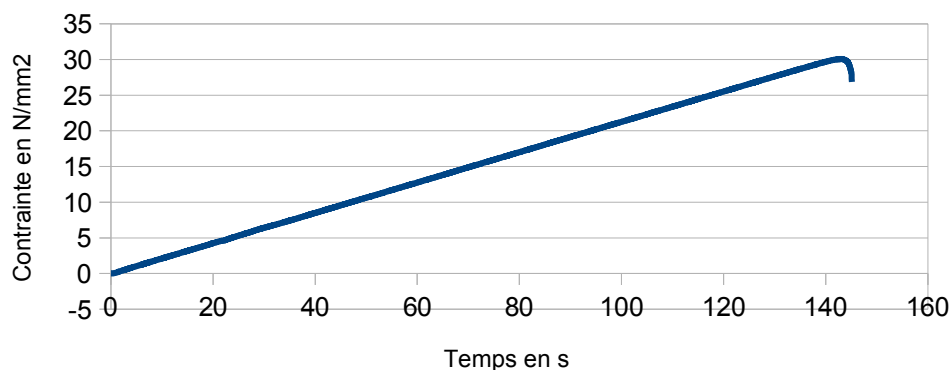


Illustration 5: Courbe 1 essai 1

Evolution de la déformée au cours du temps

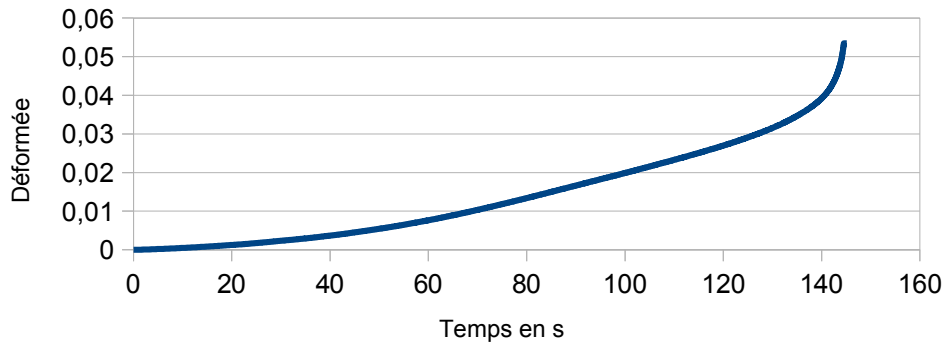


Illustration 6: Courbe 2 essai 1

La déformée en fonction de la contrainte

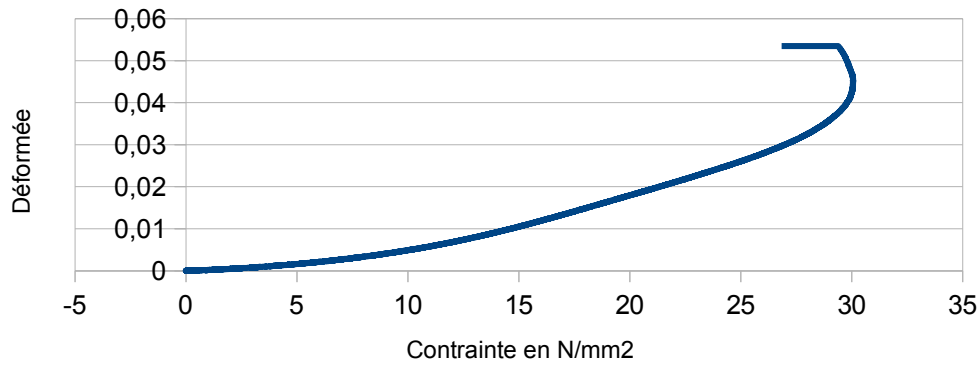


Illustration 7: Courbe 3 essai 1

Graphiques des resultats :

Nous allons vous présenter plusieurs graphiques pour illustrer nos résultats et les interpreter.

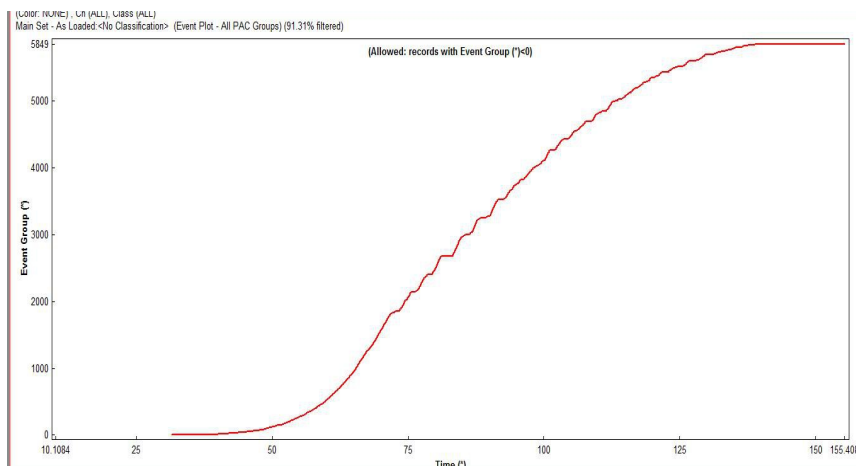


Illustration 8: Événements en fonction du temps

Le nombre d'événement au cours du temps augmente progressivement jusqu'à saturation puis rupture.

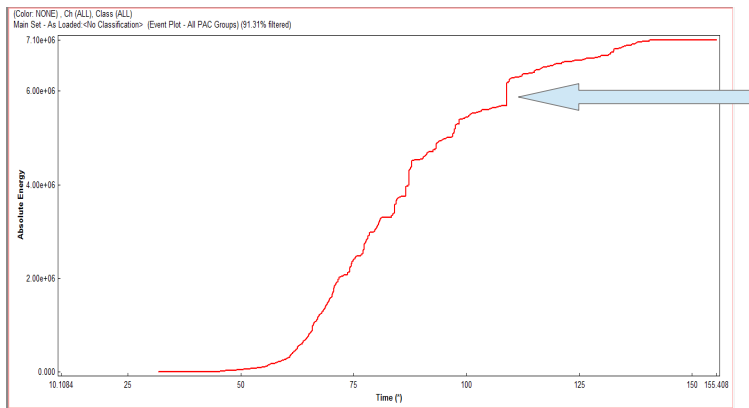


Illustration 9: Énergie de l'onde reçue par les capteurs en fonction du temps

On trace ce premier graphique, qui nous permet d'étudier la tendance énergétique des ondes de choc. On voit que l'énergie reçue par l'éprouvette commence seulement à se faire sentir au bout de 50 secondes de traction. Ensuite l'énergie augmente rapidement, jusqu'à atteindre la rupture. Elle augmente moins rapidement vers la fin, la tendance de la courbe s'adoucit à partir de 100 secondes et l'éprouvette se rompt à 155 secondes.

On remarque un saut d'énergie (indiqué par la flèche) qui correspond à une première fissure nette du composite.

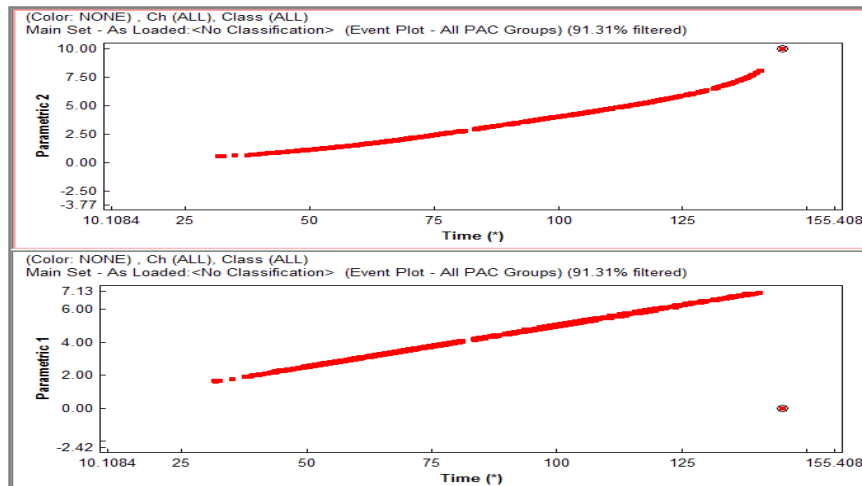


Illustration 10: Étirement de l'éprouvette (au dessus) et Force appliquées (en dessous) en fonction du temps

Représentation de l'étirement de l'éprouvette (1^{er} graphe) et de la force appliquée (2eme graphe) en fonction du temps. On applique une force qui augmente de manière linéaire. On peut donc représenter l'étirement en fonction de la force dans un troisième graphique.

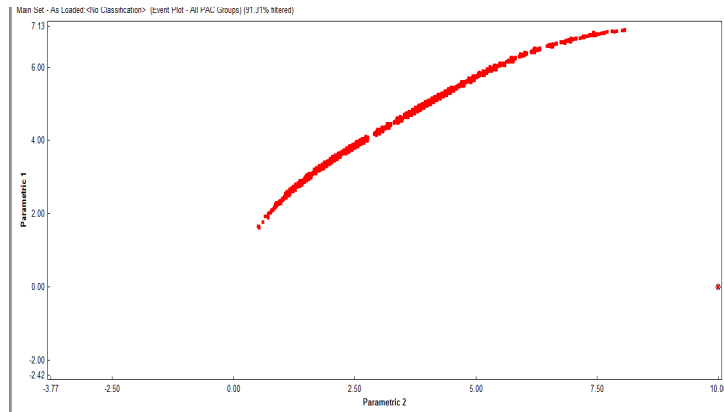


Illustration 11: Étirement en fonction de la force

On voit donc que l'étirement est quasi proportionnel à la force, sauf au début et à la fin de l'essai. Vers la fin, on voit que les données sont de plus en plus saccadées, ce qui correspond à des petites ruptures de plus en plus importantes jusqu'à la rupture.

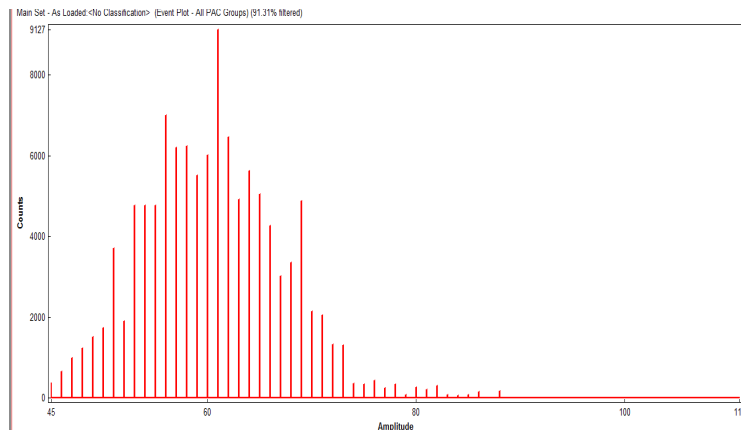


Illustration 12: Nombre de hits en fonction de l'amplitude de l'onde

On trace ici le nombre de « hits » (chaque coups reçu lorsque l'onde arrive à un capteur) en fonction de l'amplitude de l'onde. On a donc 2 hits pour chaque événement (2 capteurs reçoivent chacun l'événement). On remarque donc que pour une certaine zone d'amplitude de l'onde, les hits sont beaucoup plus fréquents. On obtient à peu près la même allure lorsque l'on trace ce graphique pour l'essai de traction sur l'éprouvette à fibres à 0/90°.

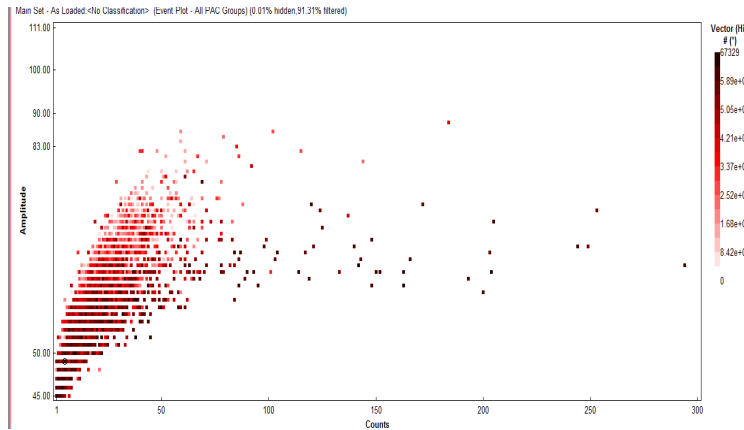


Illustration 13: Amplitude en fonction du nombre de hits.

On trace maintenant l'inverse d'au dessus, c'est à dire l'amplitude en fonction du nombre de hits. On voit que 2 couleurs se distinguent et se séparent au fur et à mesure. Elles correspondent aux différentes fissures de l'éprouvette : les fissures liées à la fibres et celles liées à la matrice. On voit donc que les hits provenant d'une fissure de fibre ont une amplitude moins grande que celles provenant d'une fissure matricielle en général.

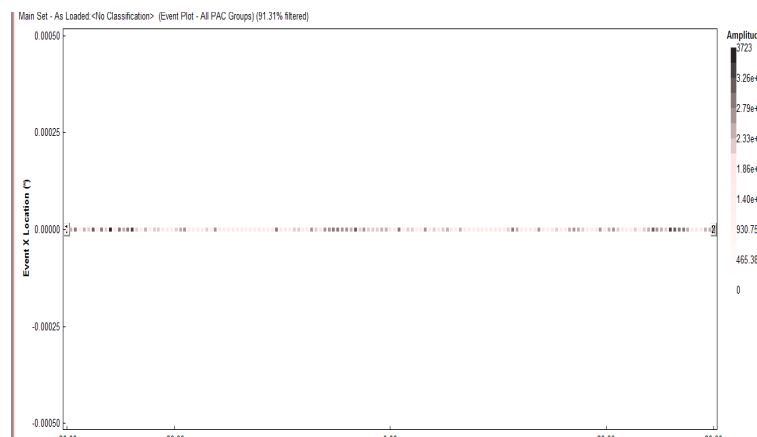


Illustration 14: Localisation des événements sur l'éprouvette.

On voit grâce à ce graphique la localisation des événements sur l'éprouvette. Les points sont de plus en plus foncés selon le nombre de fissures provenant de ces endroits. On voit donc que les événements sont répartis sur toute la longueur de l'éprouvette, mais principalement sur le milieu et les extrémités.

3.3.2. Composite avec fibres orientées 0/90

Pour le deuxième essai, nous avons utilisé la même composition de composite mais l'orientation des fibres étaient 0/90°. De plus, le professeur encadrant a fait une petite entaille au milieu de l'éprouvette dans l'épaisseur.

Mécanique de l'essai :

Evolution de la contrainte au cours du temps

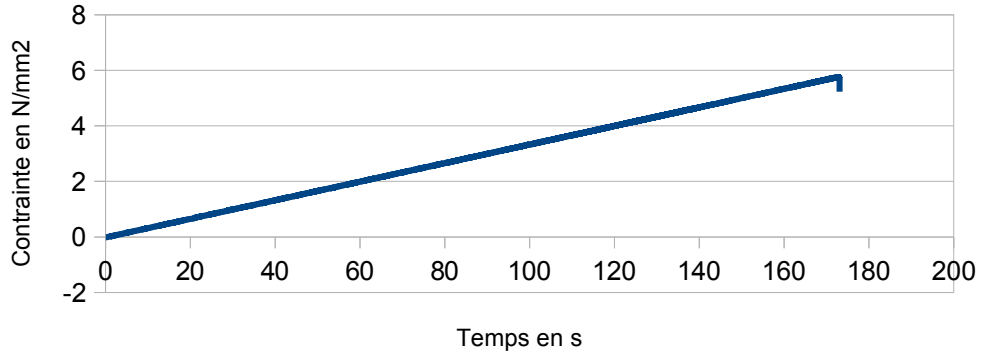


Illustration 15: Courbe 1 essai 2

Evolution de la déformée en fonction de la contrainte

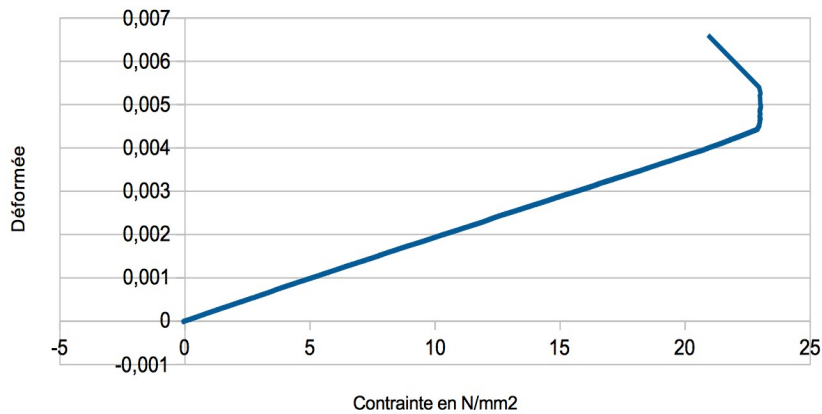


Illustration 16: Courbe 2 essai 2

Evolution de la déformée au cours du temps

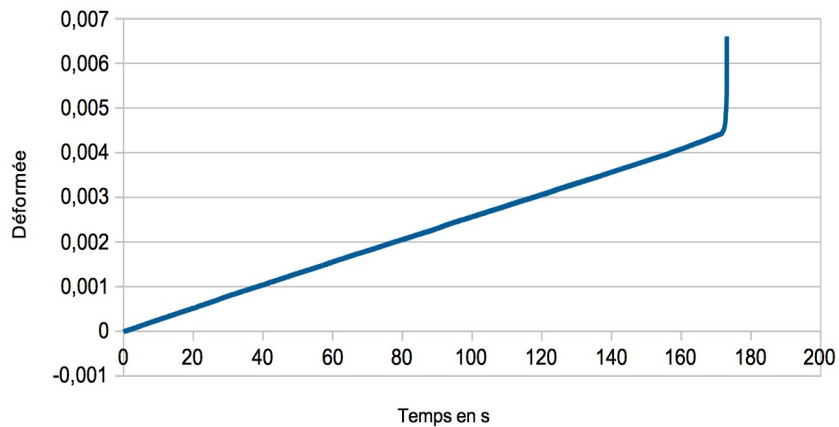


Illustration 17: Courbe 3 essai 2

Graphiques des résultats :

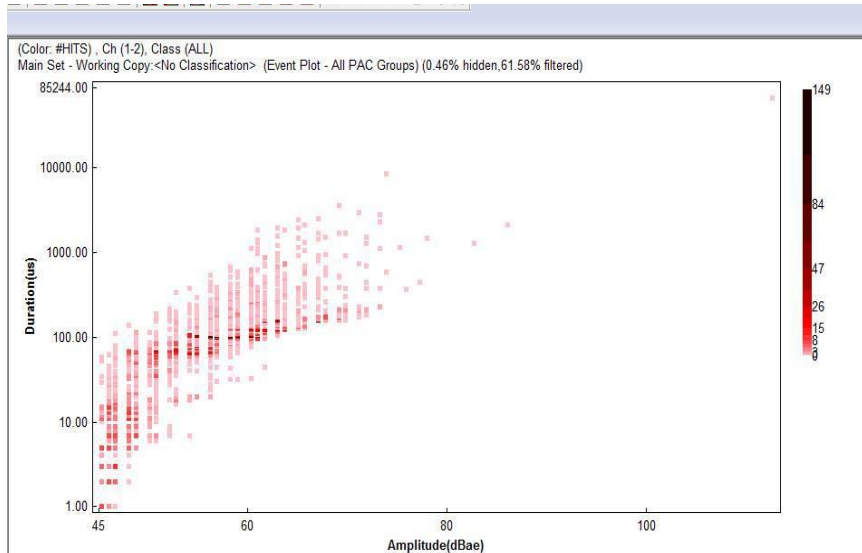


Illustration 18: Evénements en fonction de l'énergie

La répartition des événements suit l'allure d'une courbe de Gauss (à échelle logarithmique) avec un pic à 1000J.

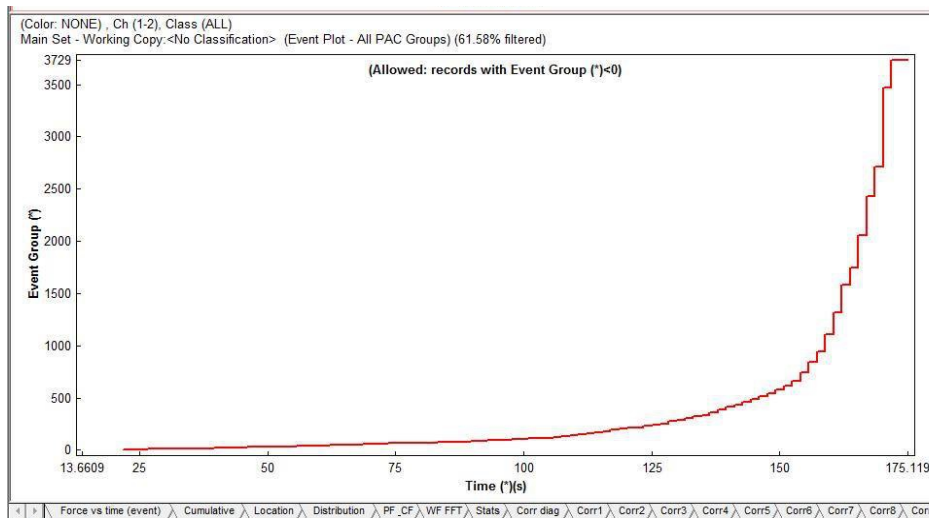


Illustration 19: Evénements en fonction du temps.

Le nombre d'événements augmente en fonction du temps en suivant une croissance exponentielle jusqu'à rupture. Contrairement au graphique équivalent précédent (pour l'éprouvette à fibres à 45/45°). Les fibres étant dans le sens de l'étirement elles ne peuvent pas se déformer mais seulement se rompre. La rupture de la première fibre provoque une sorte de réaction en chaîne sur les autres fibres.

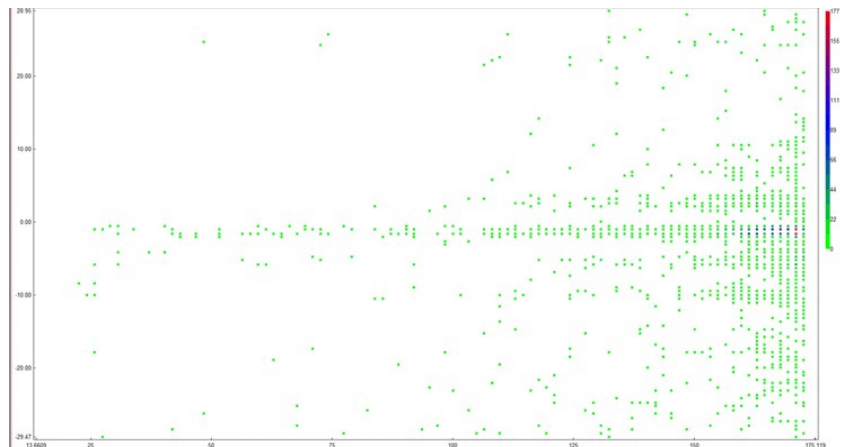


Illustration 20: Position des événements en fonction du temps

On peut voir la position des événements en fonction du temps. On peut voir que la plupart des événements se situe sur une même ligne, qui correspond au milieu de l'éprouvette. La couleur bleue montre les endroits où la quantité d'événements est élevée.

3.3.3. Interprétations

En comparant les deux photos (voir annexe 1 et 2) et les courbes, on peut voir une différence non-négligeable entre ces deux éprouvettes. En effet, sur la première éprouvette on peut voir un cisaillement en son milieu qui correspond à une dé-cohésion fibre/matrice. En effet, la direction de sollicitation de 45° par rapport à l'axe des fibres est une direction qui privilégie le cisaillement, c'est pourquoi l'endommagement interfacial est prépondérant lors de cet essai. Au contraire, pour la deuxième éprouvette (fibres 0/90) la rupture est tout à fait nette, on peut penser donc que la rupture ne s'est pas faite par palier comme pour la première éprouvette mais bien en un seul coup.

De plus, la première éprouvette s'est étirée avant de se rompre, on voit qu'il y a des événements un peu partout sur l'éprouvette (voir illustration 6), contrairement à la deuxième qui s'est cassée d'un seul coup sans aucune fissuration ailleurs qu'au point de rupture (voir illustration 9). L'endommagement est difficilement visible pour l'éprouvette 0/90 on n'observe aucun cisaillement mais seulement une rupture des fibres (illustration 8).

4. CONCLUSIONS

Cette étude nous a permis de voir que les endommagements dus à un essai de traction peuvent être très différents en fonction des composites utilisés et surtout de sa structure c'est à dire de l'orientation des fibres. Ce type d'essai nous donne une grande quantité d'informations qu'il faut analyser et nous avons bien vu que c'était indispensable d'utiliser un logiciel spécialisé. On a donc pu observer deux scénarios d'endommagement différents.

Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. Projet

Florian : Cet EC a été assez enrichissant puisque le système de projet est toujours une bonne expérience puisqu'il nous permet de travailler en groupe et souvent sur un sujet que nous maîtrisons pas. Dans le cas de notre projet, ce que nous avons apprécié c'est le caractère pratique et concret, le cœur du projet est de réaliser un essai et de l'analyser ce qui change des travaux exclusivement de recherches et des points théoriques. Et cela nous a permis d'étudier des chose que nous n'avons pas encore vu comme les matériaux composites et leurs propriétés avec une application proche de celle recherchée en entreprise c'est à dire les avantages et inconvénients des différents composites ce qui permet de sélectionner en fonction des contraintes le plus adapté.

François : Ce projet m'a tout d'abord fait découvrir les émissions acoustiques, bien que j'étais conscient de leur existence je me doutais pas de leur utilité dans l'industrie. J'ai aussi découvert les capteurs piézo-électriques qui sont pourtant omniprésents de nos jours. Les recherches sur le matériel et sur notre sujet m'ont permis de découvrir ces sujets. Ensuite c'est aussi la première fois que j'utilisais une machine de traction et le logiciel Noesis. Ça nous a permis de développer un esprit expérimental, il n'y a pas forcément d'explication exacte, ce qui change du modèle scolaire dont on a l'habitude.

Agathe : Ce projet a été enrichissant pour moi puisqu'il m'a permis de travailler en groupe et de m'éloigner de l'aspect théorique des cours pour un sujet plus concret. C'était très intéressant d'avoir une démarche expérimentale et de ne dépendre que de ça. Ce fut également une expérience enrichissante que d'apprendre à utiliser un nouveau logiciel et de réussir à en interpréter des résultats grâce à l'utilisation de Noesis. Enfin j'ai appris beaucoup de choses dans le domaine mécanique et dans le domaine des matériaux, qui sont deux mondes que je ne connaissais pas avant ce projet.

Tiffen : J'ai trouvé ce projet intéressant dans la mesure où il aborde un aspect de la physique auquel je ne me serais pas intéressée seule. J'ai appris beaucoup de choses concernant les matériaux composites, ces éléments qui sont présents partout autour de nous et constituent la majorité des objets de notre quotidien. Cela a été intéressant de voir que leur application dans les différents domaines de la vie peut résider dans l'inclinaison de leurs fibres et de leur matrice. Ce projet m'a également donné l'occasion de voir comment tester la résistance et les propriétés d'un composite (par des essais de traction), chose dont je n'avais pas la moindre idée avant de débiter ce projet.

Margot : J'ai apprécié le coté concret et directement appliqué du projet. Notre projet avait l'avantage d'être centré sur une expérience, ce qui était très intéressant et change des autres cours plus théoriques. De plus, il m'a permis de mieux connaître les composites, matériaux que je trouve très intéressant. Je leur connais plusieurs application notamment dans le domaine de la voile. Ainsi j'ai pu en apprendre plus sur les compositions et avantages. Travailler sur l'émission acoustique m'a donnée un bon exemple d'étude efficace pour tester les limites des matériaux.

5. PERSPECTIVES

Pour améliorer cette étude, il serait intéressant de faire d'autres types d'essai.

On pourrait par exemple faire d'autres petites entailles sur l'éprouvette, comme pour notre deuxième essai, et voir ce qui diffère selon la taille et l'emplacement de celle-ci. Il serait aussi intéressant d'effectuer d'autres essais de traction avec d'autres types de composites, en utilisant d'autres types de fibres (fibre de verre par exemple), ou avec d'autres orientations de fibres ou de matrices.

Encore une autre idée d'essai serait d'arrêter l'essai au bout d'un certain temps pour pouvoir mieux observer les premiers endommagements et cela plusieurs fois pour pouvoir mieux associer chaque type de pics ou autre données des graphes à un certain type d'endommagements. En effet la dernière partie d'analyser des données a été la plus délicate puisque nous n'avons aucune connaissance la dessus.

Une autre approche plus détaillée consisterait à classer mathématiquement les différents mécanismes en fonction de différents descripteurs et ainsi de voir si cette classification correspond à différents endommagements.

L'approche que nous avons eu grâce à l'exploitation des données acquises lors de ces essais de traction reste une approche globale des mécanismes d'endommagement. Il pourrait donc être intéressant d'identifier les moments particuliers de rupture, et d'effectuer un autre essai en s'arrêtant à ce moment précis. Nous pouvons localiser l'endroit de cet événement particulier grâce à l'étude des données et il serait alors intéressant d'effectuer une coupe à cet endroit précis et d'observer au microscope les ruptures ou les déformations.

6. SOURCES

- **Composites**

-<http://wayf.normandie-univ.fr/WAYF.php?entityID=https%3a%2f%2fezproxy.normandie-univ.fr&return=https%3a%2f%2flogin.ezproxy.normandie-univ.fr>

(valide le 04/02/2016)

-<http://aviondufutur.e-monsite.com/pages/composites/qu-est-ce-qu-un-composite.html>

(valide le 04/02/2016)

-<http://docinsa.insa-lyon.fr/polycop/download.php?id=155760&id2=5> (valide le 04/02/2016)

-http://paolo.vannucci.free.fr/introd_composites.pdf (valide le 25/02/2016)

- **RDM**

-<http://freddy.univ-tln.fr/enseignement/RDM.pdf> (valide le 04/02/2016)

-https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9sistance_des_mat%C3%A9riaux

(valide le 04/02/2016)

-http://pimm.paris.ensam.fr/sites/default/files/rdm_ge2.pdf (valide le 04/02/2016)

-<http://www.universalis.fr/encyclopedie/resistance-des-materiaux/> (valide le 25/02/2016)

-<http://lgt.garnier.free.fr/matiere/RDM-par-BOURAHLA.pdf> (valide le 04/02/2016)

-<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00551176/document> (valide le 03/03/2016)

-<http://theses.insa-lyon.fr/publication/2002ISAL0087/these.pdf> (valide le 03/03/2016)

- **Émission Acoustique**

-<http://docinsa.insa-lyon.fr/polycop/download.php?id=154466&id2=1> (valide le 04/02/2016)

PDF émission acoustique technique de l'ingénieur.

Partie bibliographique de cette thèse :

-<http://theses.insa-lyon.fr/publication/2002ISAL0087/these.pdf> (valide le 04/02/2016)

-<http://www.cofrend.com/contrôles-non-destructifs/methodes-de-contrôle/emission-acoustique-at/> (valide le 25/02/2016)

7. ANNEXES

7.1. Tables de illustration

Illustration Index

Illustration 1: Chaîne d'acquisition de l'EA.....	12
Illustration 2: Schéma de la transmission des résultats.....	12
Illustration 3: Principaux paramètres mesurés en temps réel sur une slave d'émission acoustique	13
Illustration 4: Données brutes de l'essai.....	14
Illustration 5: Courbe 1 essai 1.....	16
Illustration 6: Courbe 2 essai 1.....	17
Illustration 7: Courbe 3 essai 1.....	17
Illustration 8: Événements en fonction du temps.....	17
Illustration 9: Énergie de l'onde reçue par les capteurs en fonction du temps.....	18
Illustration 10: Etirement de l'éprouvette (au dessus) et Force appliquées (en dessous) en fonction du temps.....	18
Illustration 11: Étirement en fonction de la force.....	19
Illustration 12: Nombre de hits en fonction de l'amplitude de l'onde.....	19
Illustration 13: Amplitude en fonction du nombre de hits.	20
Illustration 14: Localisation des événements sur l'éprouvette.....	20
Illustration 15: Courbe 1 essai 2.....	21
Illustration 16: Courbe 2 essai 2.....	21
Illustration 17: Courbe 3 essai 2.....	21
Illustration 18: Evénements en fonction de l'énergie.....	22
Illustration 19: Evénements en fonction du temps.	22
Illustration 20: Position des événements en fonction du temps.....	23

7.2. Photos des éprouvettes



Photo annexe 1 : Éprouvette matériau composite fibres 45/45 après rupture



Photo annexe 2 : Éprouvette matériau composite fibres 0/90 après rupture