



**Réunion technique d'information des Experts  
« Plaisance » Recommandés par le CESAM**

**Cannes le 10 Septembre 2010**

**La Rochelle le 17 Septembre 2010**

**Dominique Breton  
Yves Perrot**

[www.allships.fr](http://www.allships.fr)



## Dominique Breton

- Expert Maritime et Commissaire d'Avaries du CESAM à BREST
- Co-fondateur de la SARL ROBOPLANET en 1999 à l'initiative d'un programme de recherche visant à la conception et à la réalisation d'un outil et d'une méthodologie innovants en matière de contrôle non destructif des épaisseurs de coques de navires en acier.
- Le projet de ROBOPLANET a fait l'objet d'une première lettre d'intérêt du BUREAU VERITAS en février 2000 puis d'un rapport, en mai 2006, qualifiant de « rupture technologique » les résultats obtenus au moyen d'un prototype sur la coque d'un chalutier au Guilvinec. Ce résultat a été obtenu au terme de 8 années de recherche dans les domaines variés de l'acoustique, l'électronique et l'informatique conduisant au développement d'un nouvel appareil multi-senseurs exécutant des mesures en continu baptisé : **l'HERMINE**.

## Yves Perrot

- Ingénieur Mécanicien (2002) : École Centrale de Nantes / IUP de Lorient
- Docteur en Science des Matériaux (2006) : Thèse cofinancée par la FIN et la Région Bretagne sur le Thème « Résines polyester limitant les émissions de styrène et performances mécaniques des composites en construction navale de plaisance ». UBS / IFREMER
- 2007 : Création de la société NCD - Conception et validation des structures composites.
- Collaborations scientifique et technique :



## Mars 2009 – Création de l'alliance ALLSHIPS

[www.allships.fr](http://www.allships.fr)



Le but de l'alliance ALLPHIPS est de promouvoir et rendre accessibles des techniques et technologies innovantes intéressant directement le conseil et l'expertise maritime.

Aujourd'hui les assureurs doivent faire face à un environnement de plus en plus complexe impliquant :

- Des nouvelles techniques de construction de bateaux
- De nouveaux modes de propulsions
- Des technologies embarquées innovantes
- Des matériaux de construction sophistiqués et innovants
- De nouvelles normes, nouvelles réglementations

Afin de pouvoir répondre à leurs clients, les assureurs ont besoin d'appuis techniques lors des prises d'assurance, cessions / achats de bateaux et le règlement des sinistres.

**En complément des moyens d'investigation traditionnels, ALLSHIPS met en œuvre des techniques d'analyses innovantes qui offrent des réponses aux évolutions du secteur.**

En plus des garanties apportées, ces nouveaux moyens d'analyse contribuent efficacement à la recherche des causes des sinistres. Cela permet de faciliter les procédures et le règlement des litiges.

[www.allships.fr](http://www.allships.fr)



## **NOUVELLES TECHNIQUES ET PERFORMANCES EN MATIERE D'ANALYSES DE STRUCTURES.**

**1) Le contrôle des épaisseurs de coque en acier et la technologie HERMINE**

**2) Analyse de matériaux et de structures composite s**



## 1) LE CONTROLE DES EPAISSEURS DE COQUE ET LA TECHNOLOGIE HERMINE

La réalisation de cet outil innovant a été possible grâce à l'environnement scientifique brestois qui s'est fortement développé pour toutes les activités liées à la mer.

Dans ce contexte outre l'engagement de fonds propres le programme lancé en 2000 a disposé de l'aide technique et financière d'instances régionales :

L'ANVAR (2000-2001)  
EMERGYS (2002-2003)  
REGION BRETAGNE (2004-2005)  
POLE MER BRETAGNE (Projet labellisé en mars 2006)

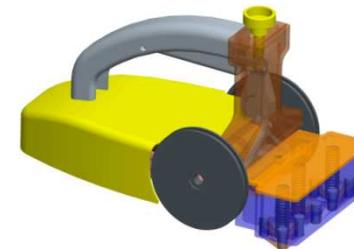


Ce programme a également pu s'appuyer sur le partenariat d'organismes de recherche :

ISEN – BREST ( Institut Supérieur d'électronique et du numérique )  
ENSIETA - BREST

et d'industriels dont:

THALES ex THOMSON MARCONI SONAR - BREST  
DCNS BREST





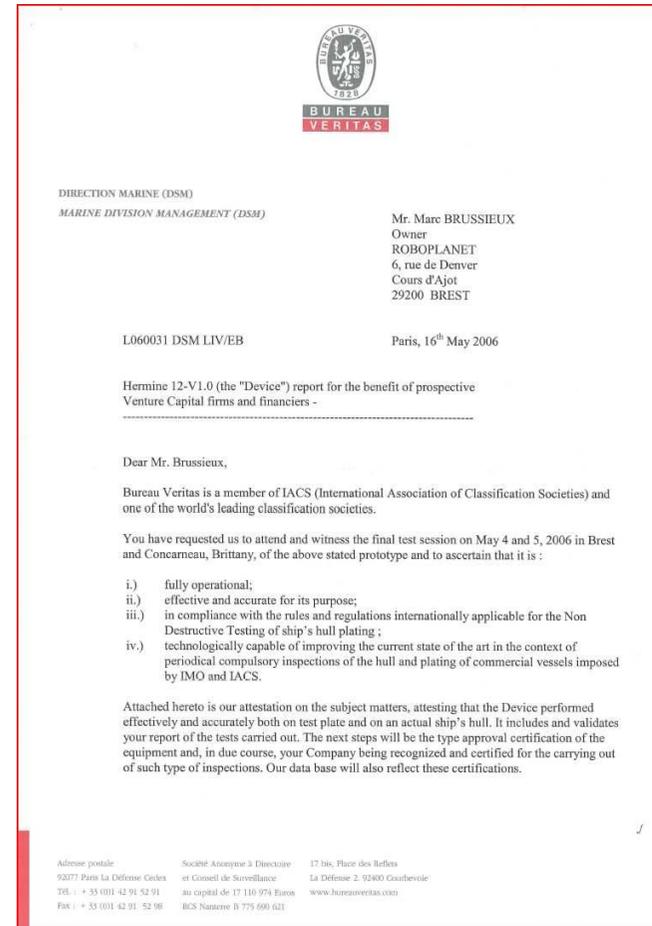
En 2006, Roboplanet a, dans le cadre d'un programme POLEMER, participé au projet CORONAV, en partenariat avec le groupe DCNs et l' ENSIETA pour le développement de nouveaux procédés de contrôle des coques.

En décembre 2007, L'Hermine, outil développé par Roboplanet est certifiée par le Bureau Veritas pour:

Sa précision de mesure de l'outil : 0.084 mm.

Sa précision de positionnement : 0.11%

La déformation acceptable pour le contrôle : 53 mm/m





### Les innovations techniques:

-Un système d'injection d'eau qui constitue un couplant permanent entre les capteurs et la coque. Pas de ponçage préalable à la mesure.

-90 mesures uniques par seconde, à une vitesse de 5 à 50 cm/s, selon l'état de rugosité de la surface à contrôler. Elle permet d'augmenter fortement la fiabilité d'un contrôle ultrasonore, en effectuant près de 500 fois plus de mesure d'épaisseur qu'un contrôle classique.

*Exemple : contrôle d'un bateau de 20m : Une opération classique consiste à effectuer environ 500 mesures. Un opérateur utilisant l'hermine peut en sauvegarder 250 000.*

-Toutes les mesures sont cartographiées et positionnées en temps réel sur le PC contrôleur.

-Les épaisseurs sont délivrées avec une précision supérieure au dixième de millimètre.

-Le système de cartographie permet un diagnostic rapide de l'état de la surface contrôlée, ce qui permet de déterminer rapidement l'étendue des surfaces à remplacer et offre une solution de suivi de l'état des surfaces dans le temps.

-Grande portabilité: l'Hermine automatisé complète pèse 7 kgs. Cet équipement tient dans une valise de voyage.

-L'Hermine est manipulable par un opérateur unique, et se déploie sur zone en 15 minutes (étalonnage inclus)

-Cet instrument est IP 67, résistant aux hydrocarbures et prêt à passer l'accréditation ATEX.

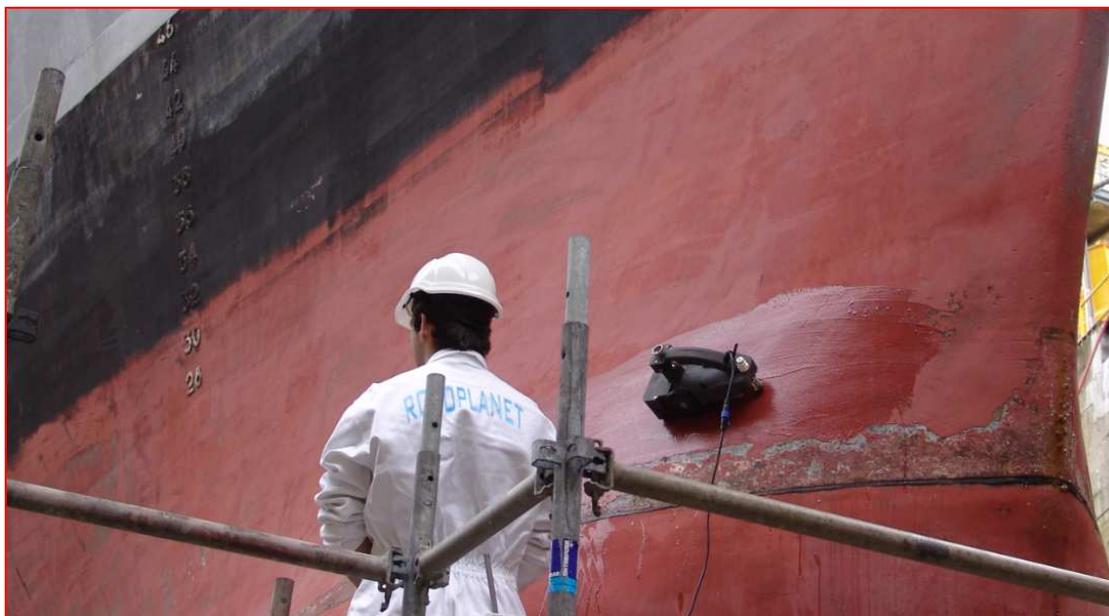
-Le rapport de mesure rassemble le PV de contrôle, les observations de l'opérateur, toutes les mesures au format Excel, et le système de reconstitution de la surface par superposition des données.

- La production du rapport se fait trois fois plus rapidement que l'état de l'art.



### Valeur ajoutée du système : commerciale

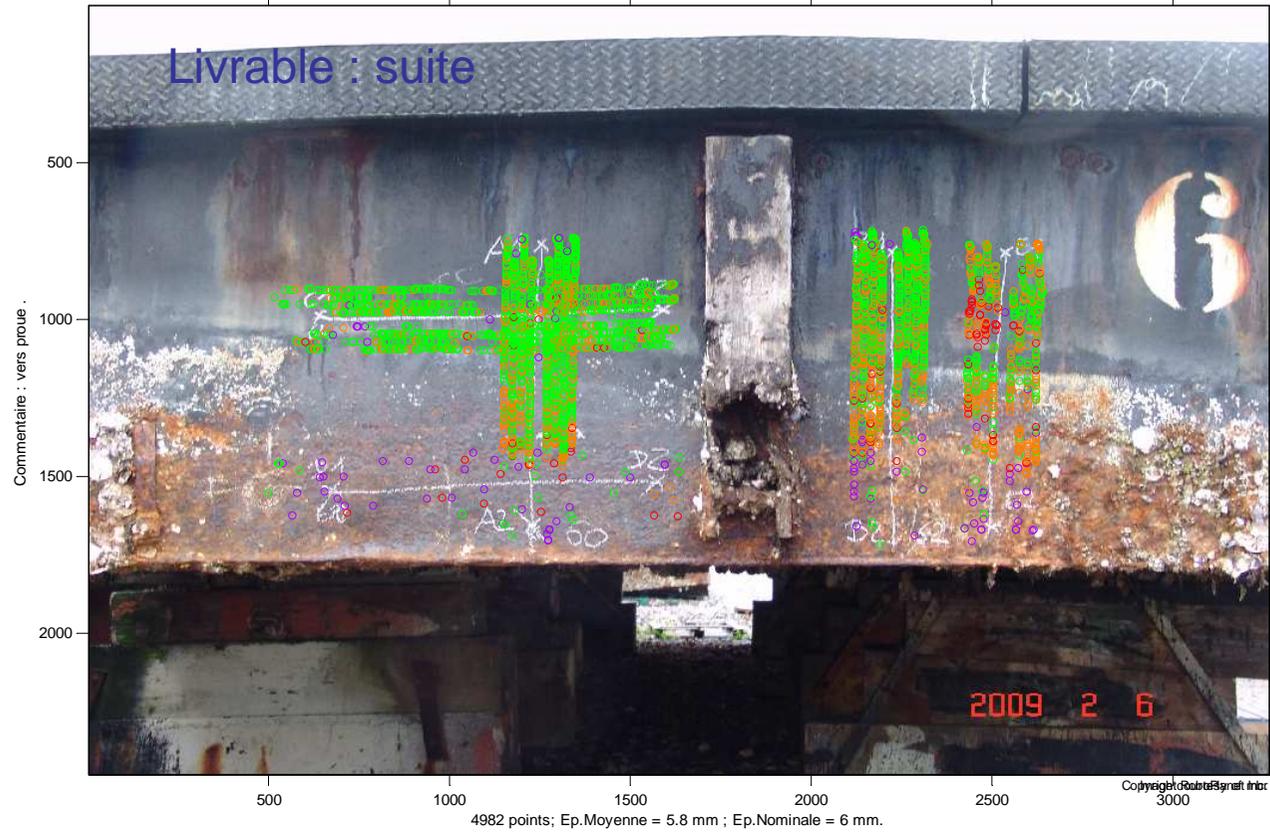
Le service proposé garantit à ses clients la pointe de la technologie et de la fiabilité présentes sur le marché.  
L'ergonomie de la cartographie permet au client une analyse rapide de l'état de la coque, et facilite la prise de décision.  
Le rapport numérique est télé-transmissible au client (et ses partenaires) dans le monde entier, depuis le lieu de contrôle.  
Il facilite le suivi de l'état de la surface au cours du temps.



Eridan - Guilvinec - 5 Mai 2008, 10h27mn



Razdébordoir2,06/02/2009 à 14H31mn35s, Penfeld rive droite.

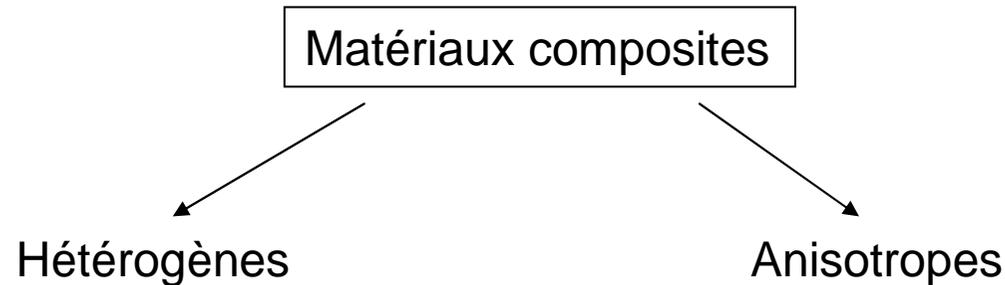




## 2- ANALYSES DE MATERIAUX ET STRUCTURES COMPOSITES :

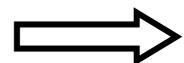
- 1- Introduction sur les matériaux et structures composites navals
- 2- Mesures de propriétés : essais mécaniques et analyses physico-chimiques
- 3- Exemple de contrôle qualité : foils Sodebo
- 4- Validation de structures : analyse modale

## 2- ANALYSES DE MATERIAUX ET STRUCTURES COMPOSITES : INTRODUCTION



Propriétés fonction de :

- La nature des constituants et leurs propriétés
- La géométrie du renfort, sa distribution
- La compatibilité renfort/liant : nature et propriétés de l'interface
- La concentration en renfort (fraction volumique ou massique)



**Matériaux complexes**

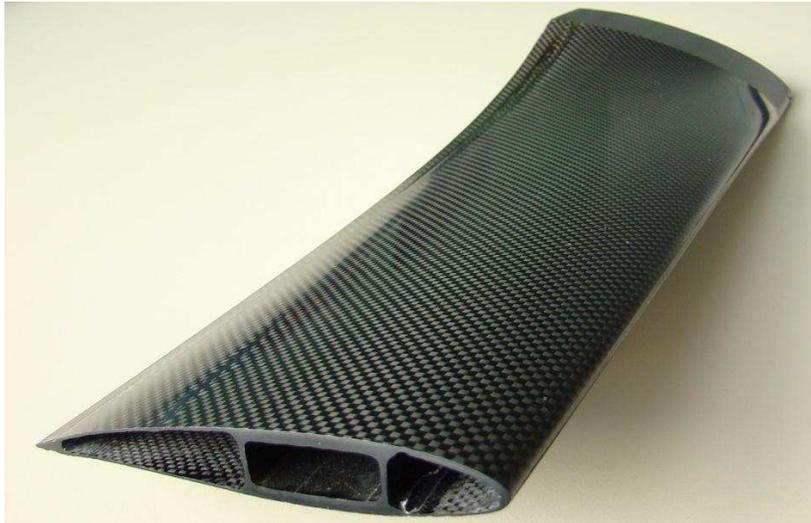
## Avantages des composites : construction

Pièces de géométries complexes, de grandes dimensions



Coque centrale de multicoque océanique

## Pièces hautes performances



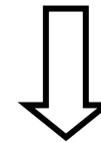
Par exemple :

- préimprégnés Carbone/époxy
- Mise en œuvre autoclave
- Coût élevé

## Pièces grandes diffusion



Verre/polyester mis en œuvre au contact : faible coût



**95% des bateaux de plaisance sont réalisés en matériaux composites**

## Avantages des composites : propriétés spécifiques et structures sandwich

Matériau	$\rho$ : Densité	E : Module d'élasticité (GPa)	$\sigma$ : Résistance en traction (MPa)	E/ $\rho$	$\sigma/\rho$
Acier	7,80	210	400	27	51
Alliage d'aluminium	2,70	73	240	27	89
Mat de verre / résine polyester	1,50	20	85	13	57
UD carbone HR / résine époxy	1,55	128	1100	83	710

**Tableau 4 - Exemples de structures sandwich**

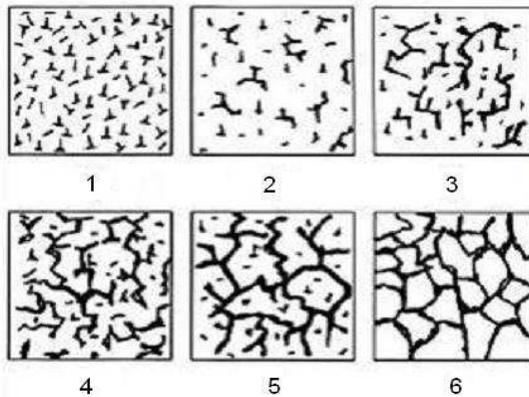
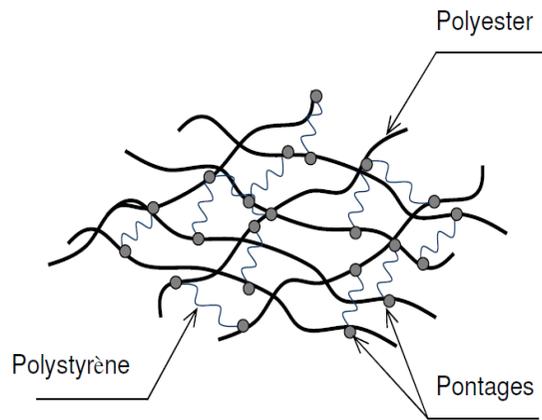
Peau UD/Ame épaisseurs en mm	Rigidité en Flexion	Poids/m <sup>2</sup>	Application
Monolithique verre UD 10 mm	1	1	Composite épais pour comparaison
Verre UD/PVC 80 kg/m <sup>3</sup> 1/20/1	3	0.24	Plaisance, transport
CarboneHR UD/Nida 64 kg/m <sup>3</sup> 1/20/1	4.6	0.12	Bateaux de course

Source : P. Casari, « Applications marines des matériaux et structures composites », Techniques de l'Ingénieur, 2008

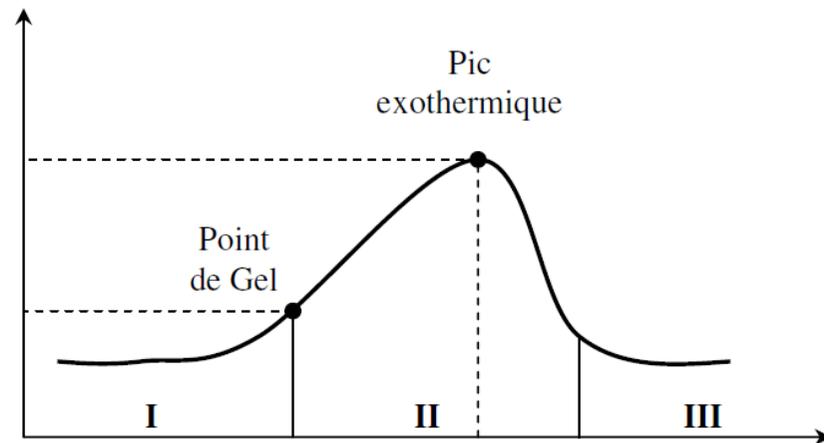


## Résines thermodurcissables : mécanismes de durcissement

Liquide  $\longrightarrow$  Gel  $\longrightarrow$  Solide infusible



Température



*Mise en oeuvre*

*Moulage*

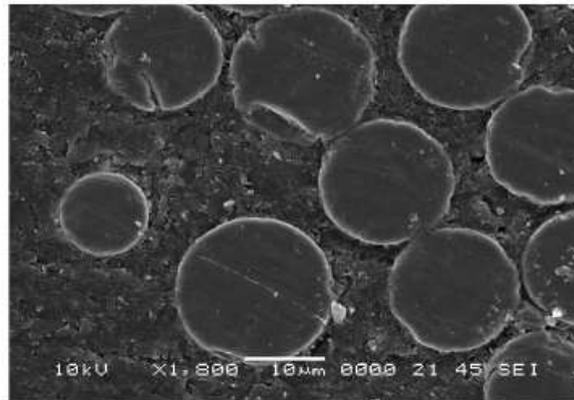
*Démoulage*

Temps

**Réticulation = Formation d'un réseau tridimensionnel**

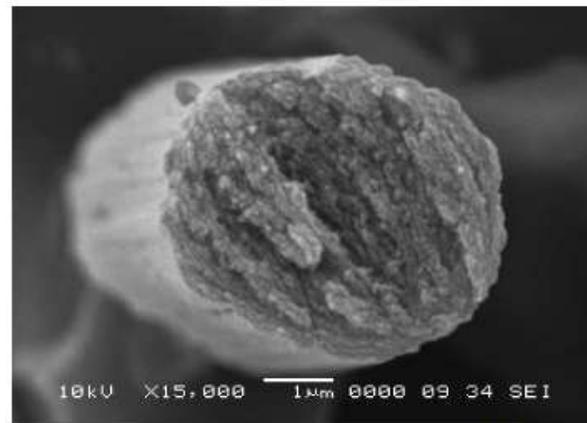
## Fibres de renforts : aspects géométriques

**E=73 GPa**



Fibres de verre E

**E=230 GPa**



Fibres de carbone PAN

**E=125 GPa**



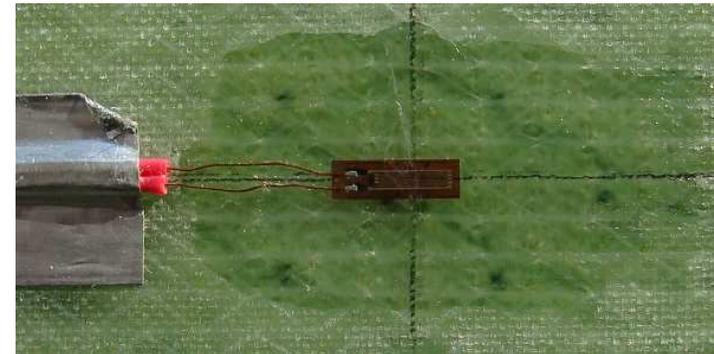
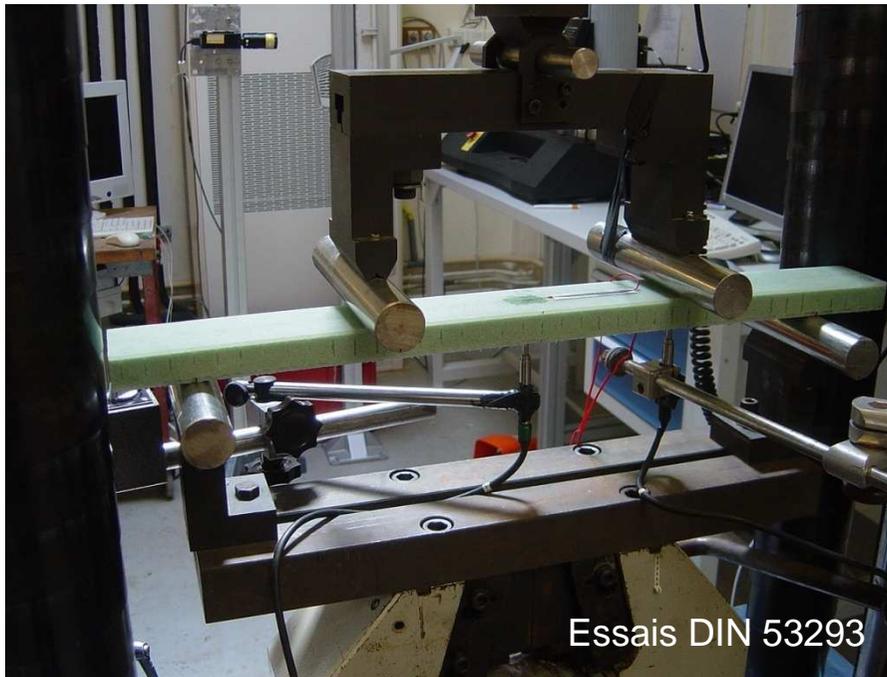
Figure 1.12 – Le Kevlar est anisotrope et éclate en fibrilles à la rupture.

**Propriétés fonction de la nature et de la structure des fibres (Isotropie / Anisotropie)**

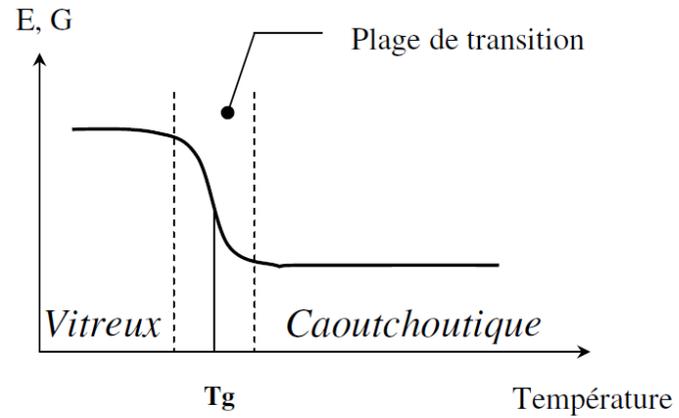
## 2- ANALYSES DE MATERIAUX ET STRUCTURES COMPOSITES : **ESSAIS ET ANALYSES**

**Essais mécaniques : valider la rigidité et la résistance des composites**

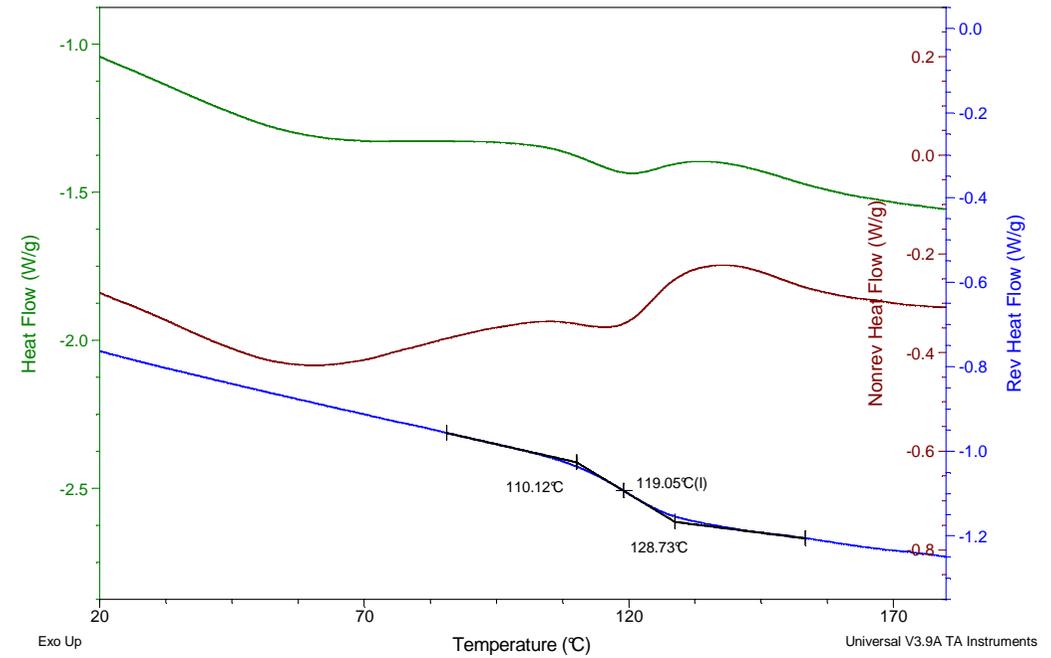
➔ traction, compression, flexion, résistance au délaminage, ...



## Analyses thermiques : renseigner sur la cuisson

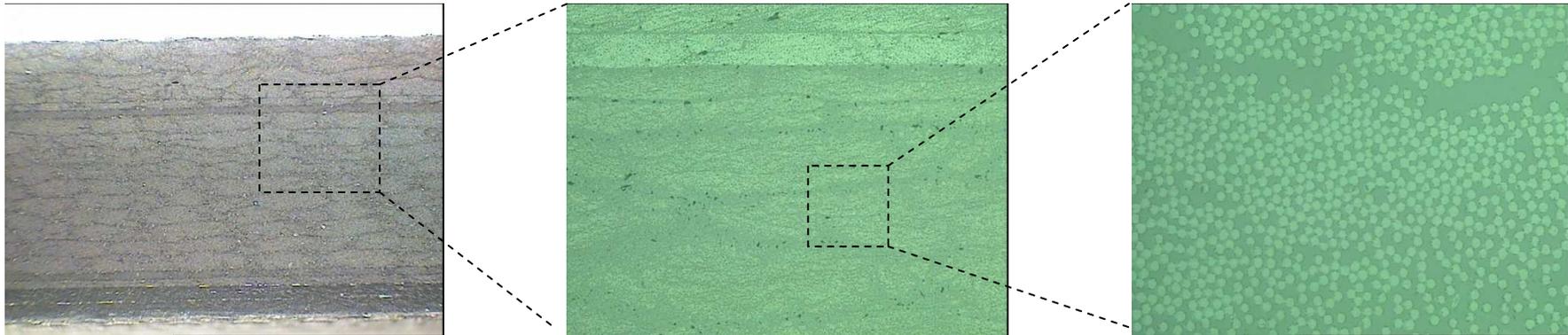


DSC modulée



## Imagerie : observer d'éventuels défauts

### Microscopie optique

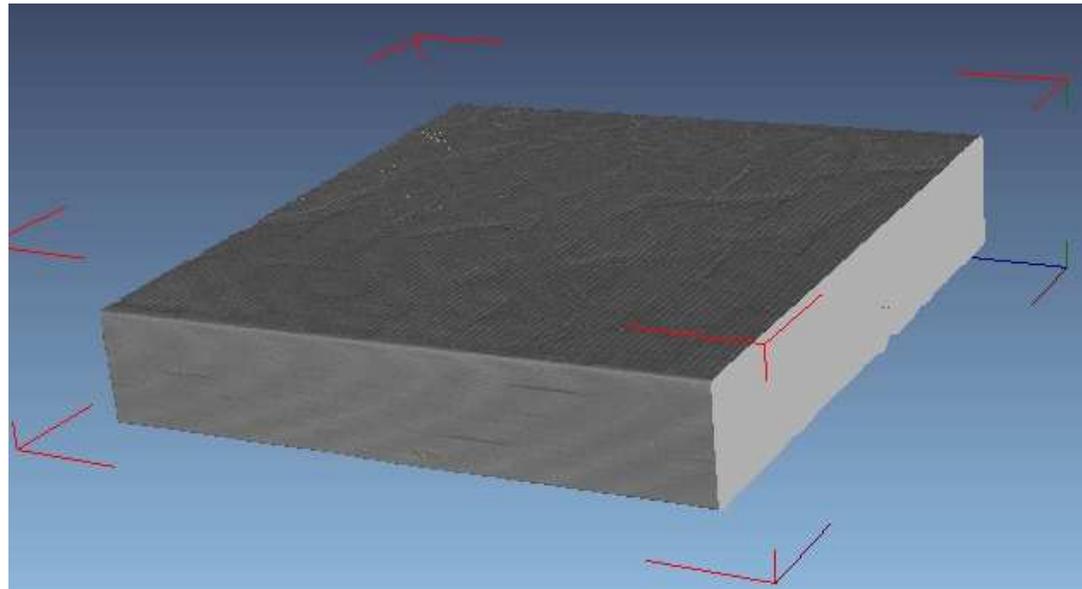


**Avantages** : Facilité d'observation, Résolution

**Limites** : Qualité polissage, observation par section

Imagerie : observer d'éventuels défauts

## Tomographie RX

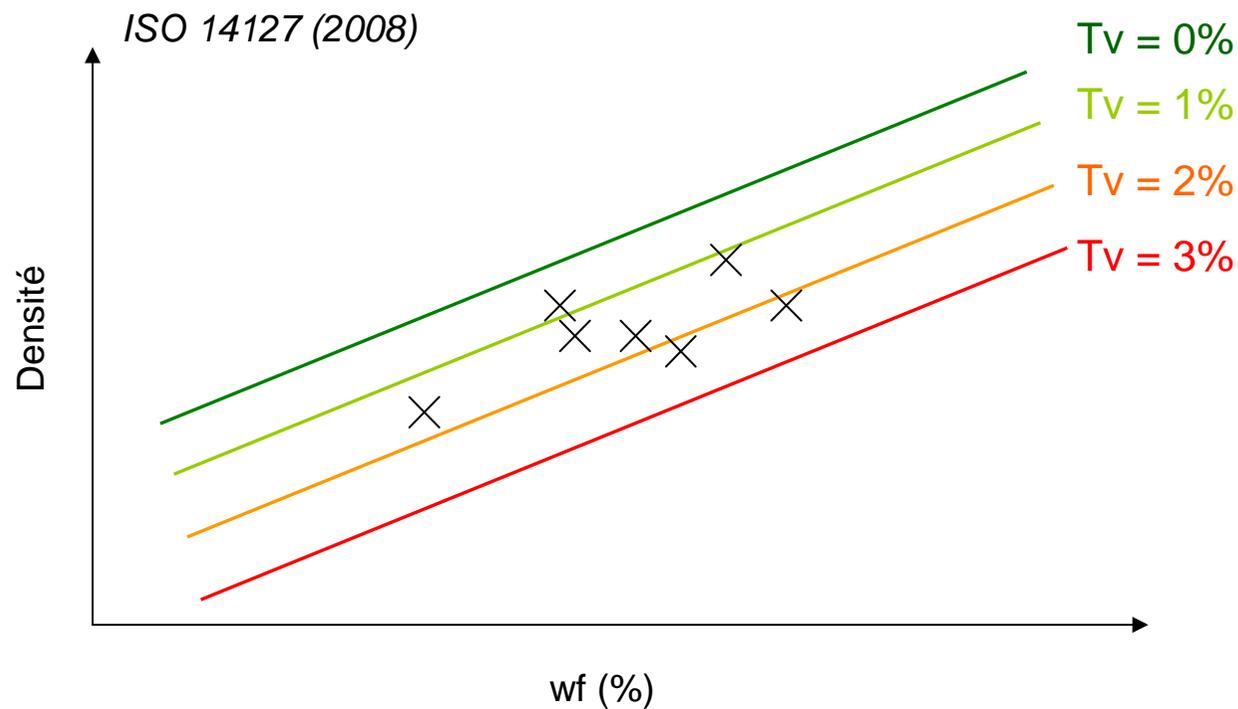


**Avantages** : Observation sur tout le volume, préparation échantillon

**Limites** : Résolution, taille de la pièce, traitement de l'information

## Contrôles de taux de porosités

A partir de mesures de densité  $\rho_c$  et de taux de fibres  $V_f$

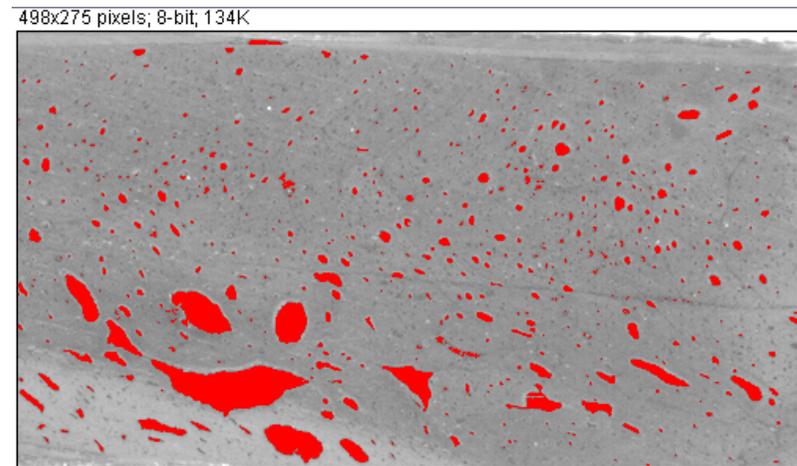
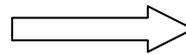


**!! Très sensible à  $\rho_f$  et surtout  $\rho_m$**

**Mesure de  $T_v$  « globale » sur le volume de l'échantillon**

## Contrôles de taux de porosités

### Par analyses d'images



Mesure locale d'un taux de vide

## 2- ANALYSES DE MATERIAUX ET STRUCTURES COMPOSITES : **EXEMPLE DE CONTRÔLE QUALITE**

### Foils du maxi trimaran *Sodebo*



#### **Structure creuse courbe**

##### Qualification matériaux

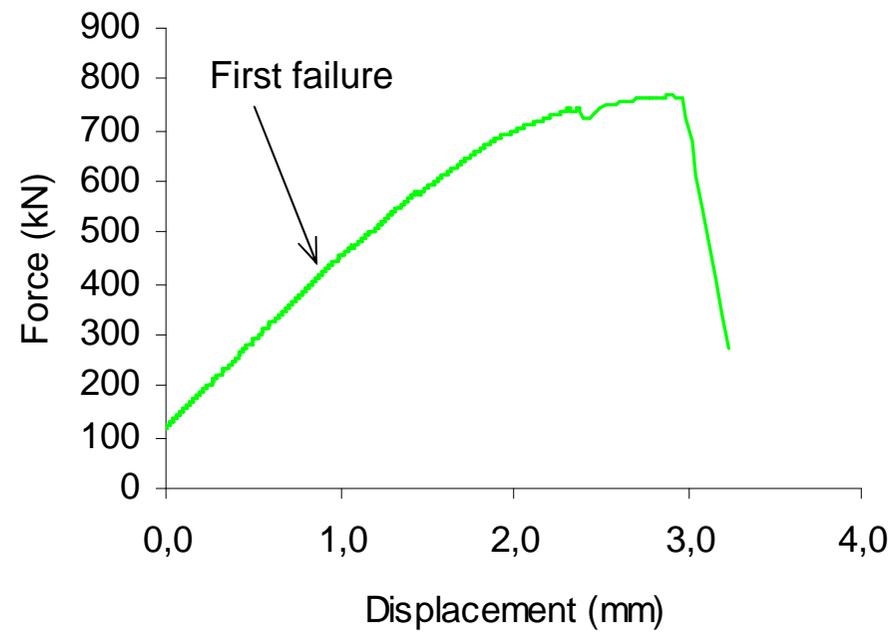
- propriétés en compression des barrots
- propriétés en traction des cloisons

##### Qualification structure

- comportement à la compression d'une section

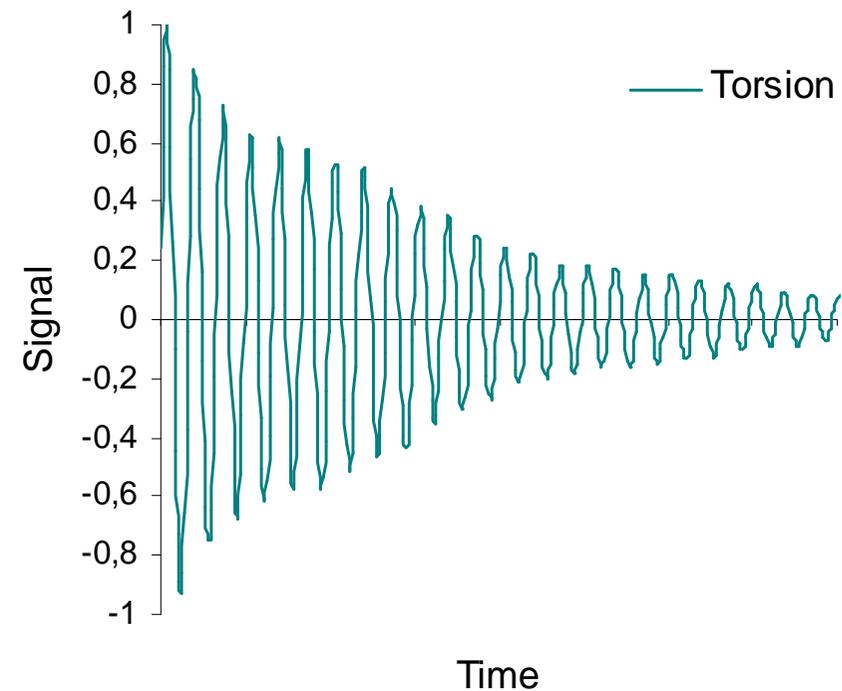
##### Contrôles qualité

- état de réticulation
- Taux de porosités



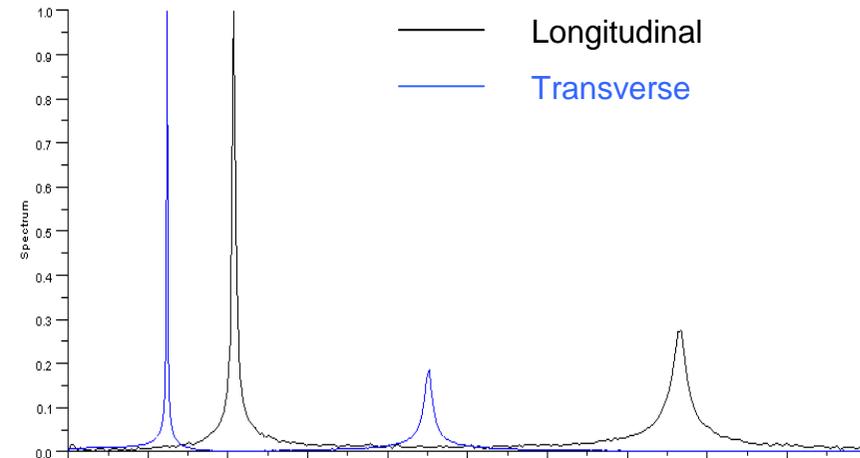
## 2- ANALYSES DE MATERIAUX ET STRUCTURES COMPOSITES : ANALYSE MODALE

### Comportement dynamique des quilles IMOCA



- Qualifier le comportement dynamique par rapport aux données BE
- Effectuer un suivi dans le temps (vieillessement ?)

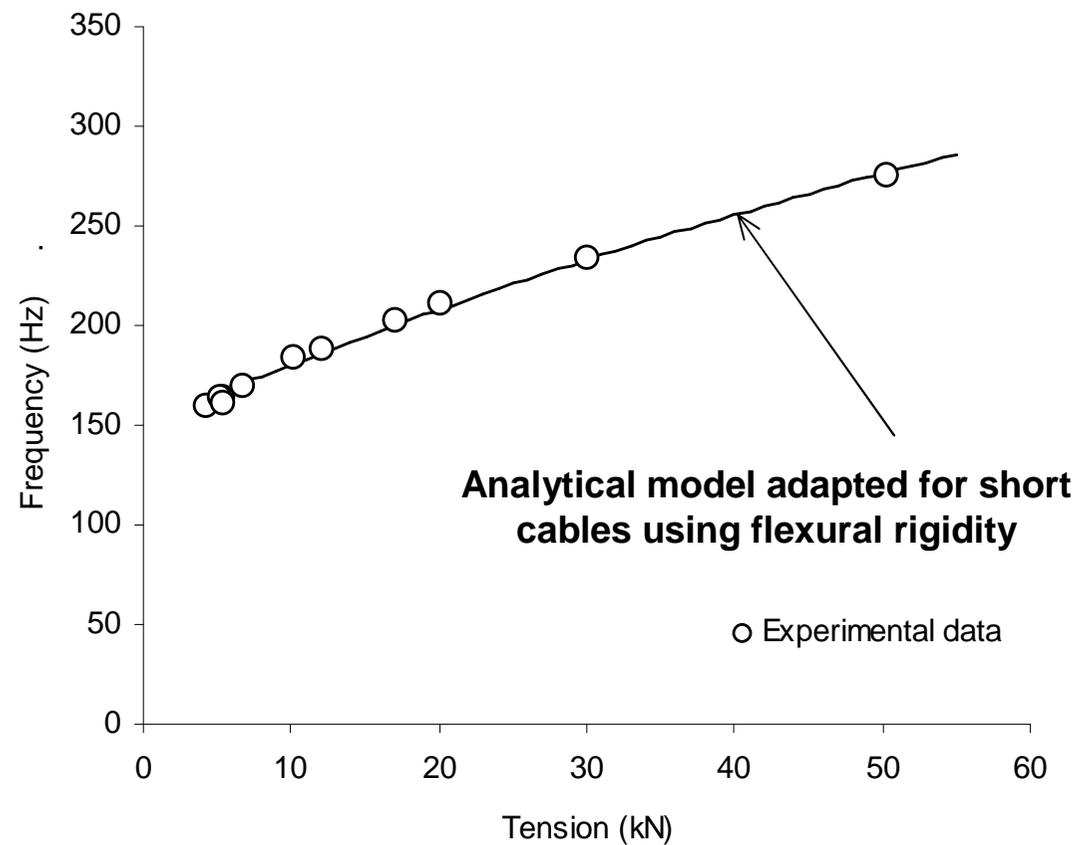
## Essais dynamiques de mâts



- Obtenir les fréquences propres du tube
- Estimer une rigidité globale et valider une construction par rapport au BE
- Effectuer un suivi dans le temps (vieillessement?)

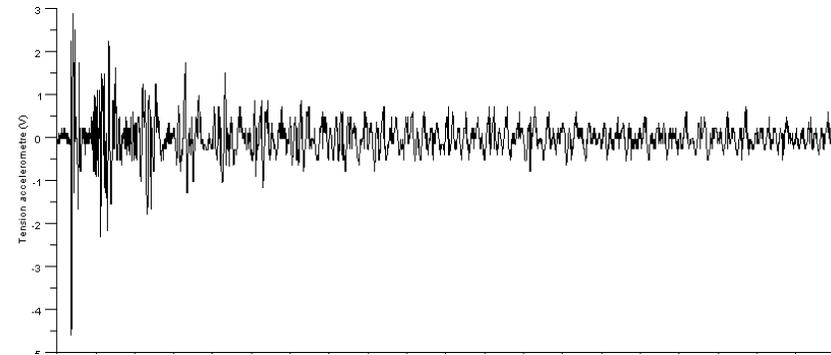
## Mesures de tension dans les câbles de gréements

Pour des câbles suffisamment long :

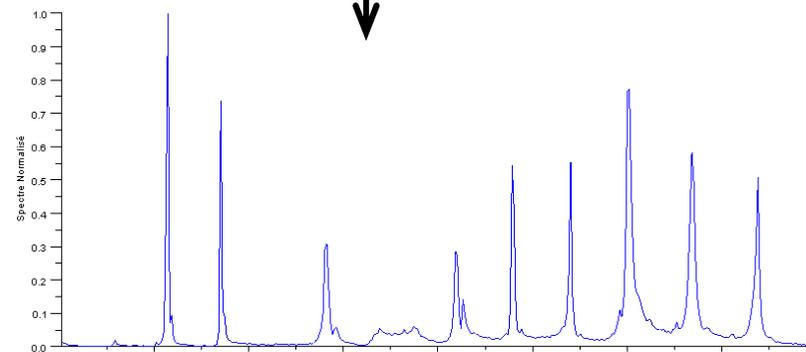
$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{m}}$$




Mesures de tensions



Traitement du signal



Modèles analytiques



**Merci de votre attention,**

**Pour toutes informations complémentaires**

**A L L S H I P S  
6 rue Frégate la Belle Poule  
29200 BREST**

**Tél. : 02 98 80 32 70**

**Fax : 02 98 80 74 00**

**[www.allships.fr](http://www.allships.fr)**