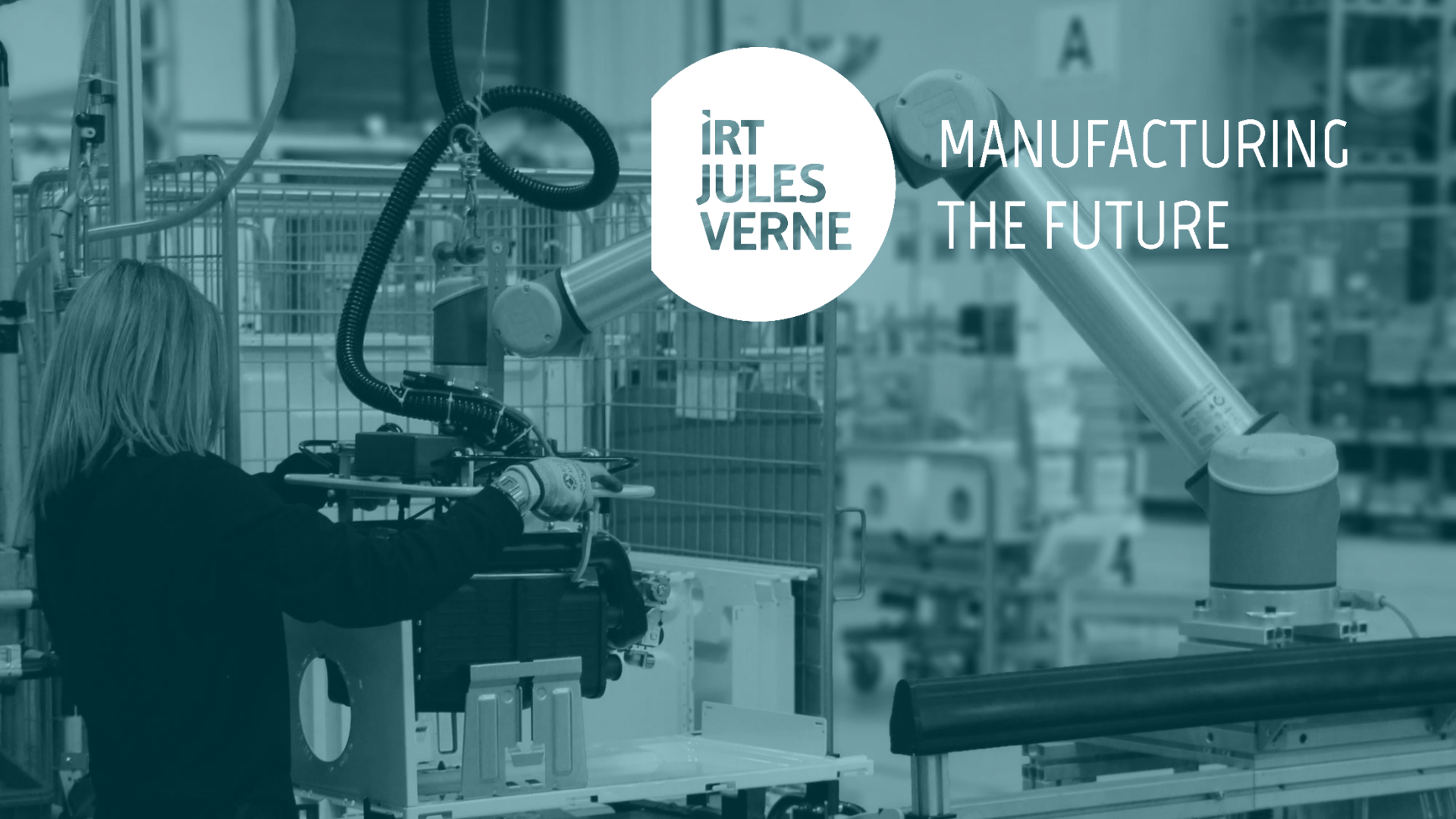


A person with long blonde hair, seen from the back, is working in a factory. They are wearing a dark jacket and are positioned next to a large industrial robotic arm. The arm is silver and has a black flexible hose attached to it. The background is a blurred industrial environment with various machinery and structures. The overall image has a blue tint.

**IRT
JULES
VERNE**

MANUFACTURING
THE FUTURE

Applications de dispositifs SHM dans le secteur éolien

Nicolas TERRIEN

Responsable d'équipe de Recherche « Process and Structures monitoring »

nicolas.terrien@irt-jules-verne.fr

31 mars 2022



LE FUTUR
DE VOS USINES

SOMMAIRE

- IRT Jules Verne et le service « Process and Structures Monitoring »
- EVEREST : Ingénierie & surveillance de grandes structures multi-matériaux intelligents
- SHORE : Structure Health mOnitoring for Renewable Energy
- Travaux en perspective : C4P et ZEBRA...
- Conclusions



IRT Jules Verne et le service « Process and Structures Monitoring »

L'IRT JULES VERNE

► Focus sur le Manufacturing

NOTRE VOCATION

Renforcer la compétitivité des usines en France

NOTRE MISSION

Accélérer l'innovation et le transfert technologique vers les usines

NOTRE CŒUR DE MÉTIER

La recherche collaborative



163 M€
du Programme
d'Investissements
d'Avenir

► 5 équipes de recherche



Composites Process



Metal & Additive Manufacturing



Process & Structures Monitoring



Robotics & Cobotics

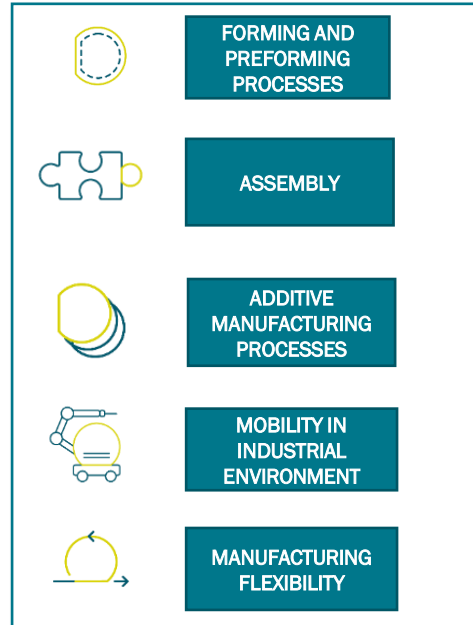


Modelling & Simulation

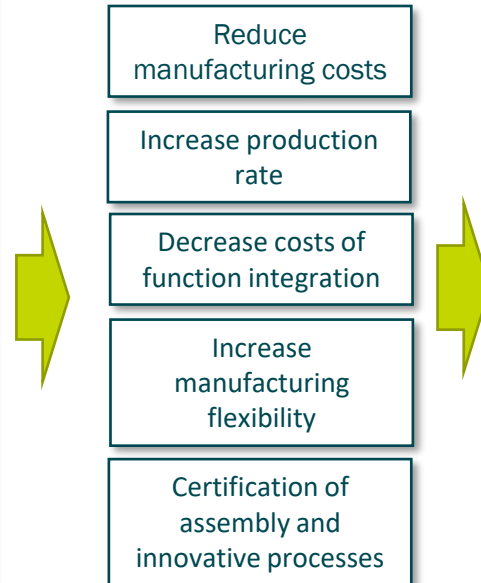
Process & Structures Monitoring Team



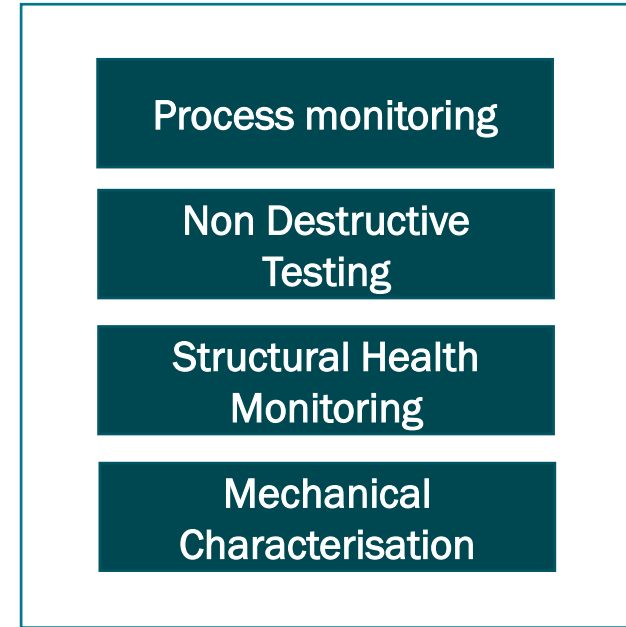
IRT JVERNE Thematics



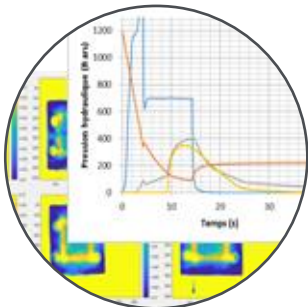
Industrial Challenges



Team

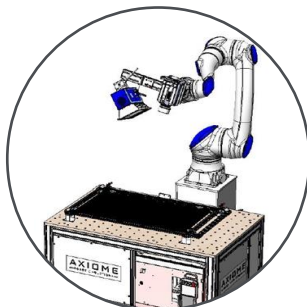


Process & Structures Monitoring Team



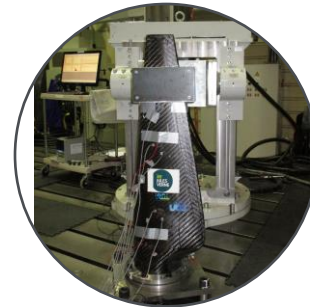
Process Monitoring

- Process Instrumentation
- Data acquisition from heterogeneous hardware
- Advanced data analysis
- Digital Twin implementation



Non Destructive Testing

- 3 multi-techniques and robotized platforms
- Flexibility of NDT facilities
- Data analysis for automatic product sanction and operator assistance



Structural Health Monitoring

- Full system design
- Various sensors and acquisition systems
- Structural instrumentation
- Data analysis : damage characterization, diagnosis reliability

Addressed to composite and metallic parts/process, multimaterials assemblies, parts with integrated functions...

Structural Health Monitoring facilities

► SHM toolbox

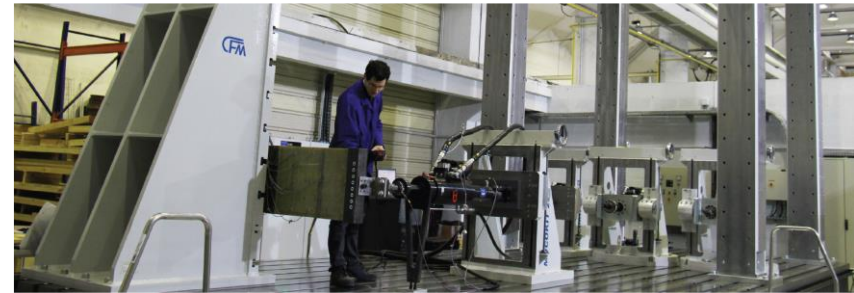
- Acousto Ultrasonic system
- Fibre Bragg gratings
- Acoustic Emission
- Strain gages
- Crack wire
- QRS Sense in
- CIVA SHM



Sense in instrumentation

► Multi-axial mechanical tests bench

- Hydraulic actuator : 25 kN to 600 kN
- Platform 10 m x 4 m x 6 m, modular configuration
- 2 Climatic rooms : 1) 1m³ from -80 °C to 180 °C and 2) 8m³ from -30°C to 80°C, humidity 5% to 95%
- Digital Image Correlation + mechanical tests instrumentation : LVDT...





EVEREST : Ingénierie & surveillance de grandes structures multi-matériaux intelligents

EVEREST

Ingénierie & surveillance de grandes structures multi-matériaux intelligents

► Contexte - Objectifs

- Réduction des coûts d'exploitation des EMR en améliorant le Maintien en Conditions Opérationnelles
 - Améliorer les performances des matériaux composites destinés à la fabrication de grandes structures
- ⇒ Développement de structures composites hautes performances
- ⇒ Fonctionnalisation des structures composites (SHM)



Démonstrateur échelle 1/7 d'une pale d'hydrolienne



IFSTTAR

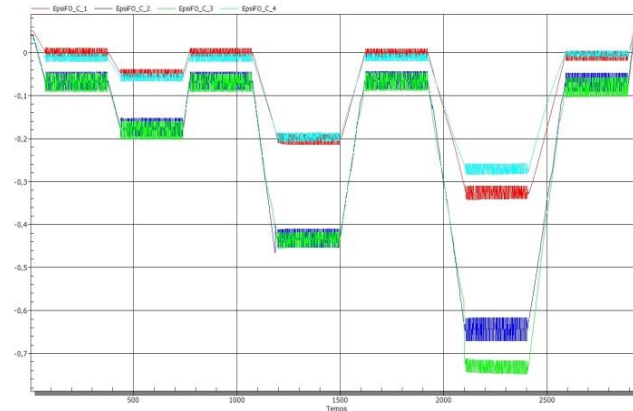


► Démarche : Structural Health Monitoring

- Développement capteurs sur éprouvettes labo jusqu'à l'intégration sur démonstrateur (pâle 1/7)
- Capteurs intégrés :
 - À cœur : Fibres optiques à réseau de Bragg (FBG), Quantum Resistive Sensors (SENSE in)
 - En surface : jauges de déformation , capteurs d'émissions acoustiques
- Evaluation de la durabilité des matériaux intelligents
- Prise en compte des contraintes process pour l'intégration des capteurs
- Caractérisation des systèmes SHM en cours d'essais mécaniques



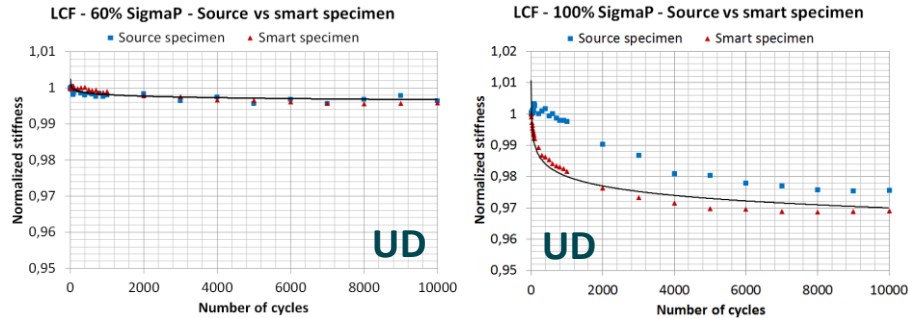
► Préparation des éprouvettes d'essais mécaniques (QRS et FBG)



Essais cycliques : Traction et flexion 3 points - FBG

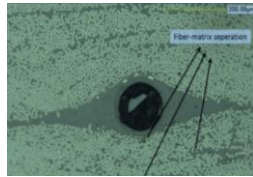
► Durabilité des matériaux intelligents (1)

• Durabilité des composites intelligents

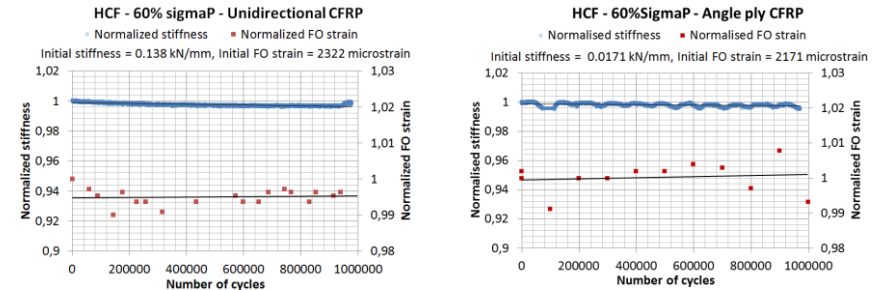


< 2 % d'écart entre avec ou sans FBG

⇒ Limiter l'amas de résine autour de la fibre
(source d'initiation et propagation de fissures)

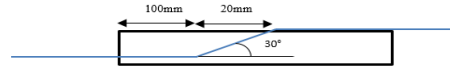


• Sensibilité des FBG



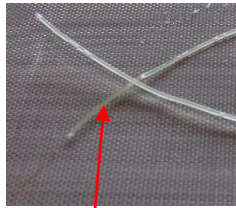
⇒ Pour ce type de chargement, pas de perte de sensibilité des FBG

► Intégration des FBG

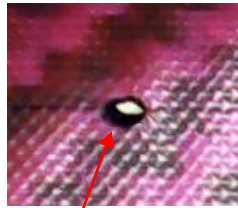


• Pièces drapées

- Pas de possibilité d'écarter les fibres
- Angle à 30° difficile à réaliser
- Migration de la résine obturant la fibre



Remonté de résine

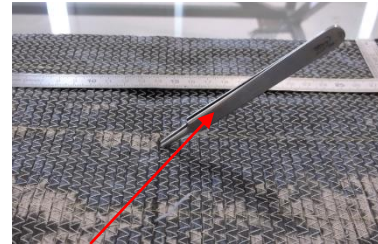


Perçage passage fibre+gaine

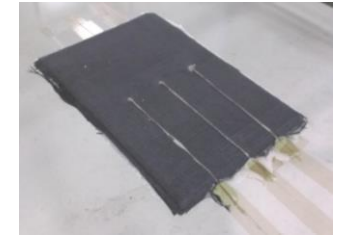
⇒ mise en œuvre difficile en production

• Pièces infusées

- Déformation du tissu pour passer les FBG



Pince pour écarter les fibres



- ⇒ Outillage à développer pour orienter la fibre
- ⇒ utilisation de colle contact pour protéger l'extrémité des FO
- ⇒ Risque de déplacement de la FO en cours d'infusion

EVEREST

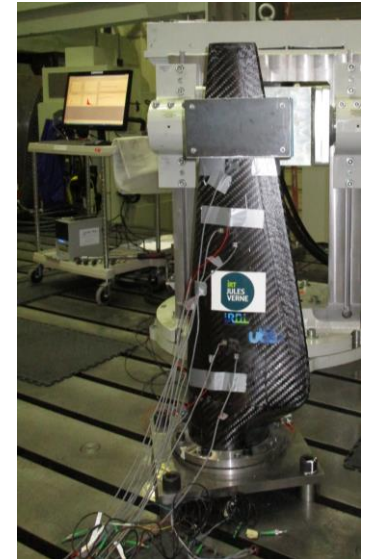
Ingénierie & surveillance de grandes structures multi-matériaux intelligents

► Intégration des capteurs sur maquette de pâles d'hydroliennes (échelle 1:7)

- Prise en compte des contraintes process
- Drapage Pre-preg + cuisson en étuve en moule fermé / Compactage par vessie
- Cuisson de 6h à 80°C



- Protection des connectiques capteurs à l'intérieur du moule
- Intégration des QRS, FBG : 100% fonctionnel après cuisson

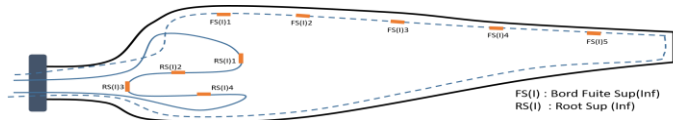


EVEREST

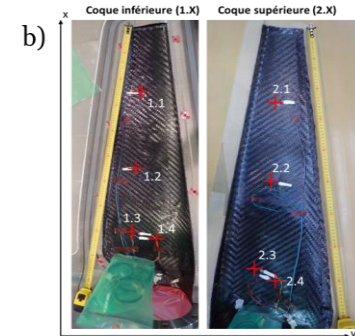
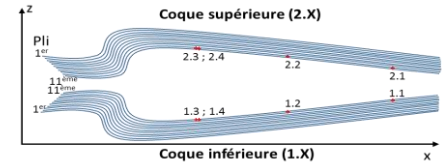
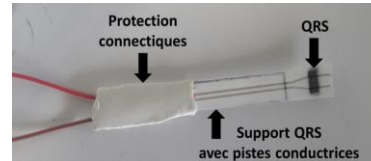
Ingénierie & surveillance de grandes structures multi-matériaux intelligents

► Intégration des capteurs sur maquette de pâles d'hydroliennes (échelle 1:7)

- Intégration des FBG

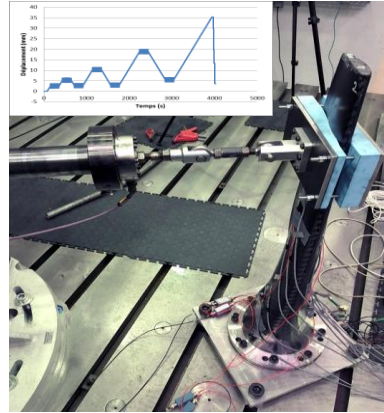
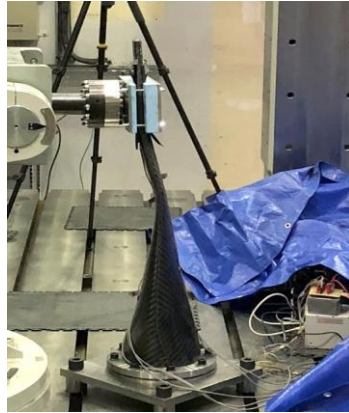


- Intégration des QRS



► Suivi des essais mécaniques avec capteurs intégrés

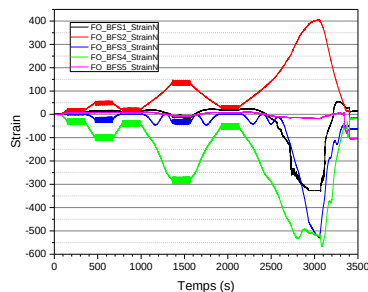
- Banc d'essais mécaniques IRT JV : Essais statiques & cycliques



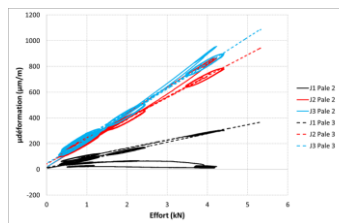
- Suivi par capteurs QRS, FOS, Emission acoustique et jauges de déformations

► Suivi des essais mécaniques avec capteurs intégrés

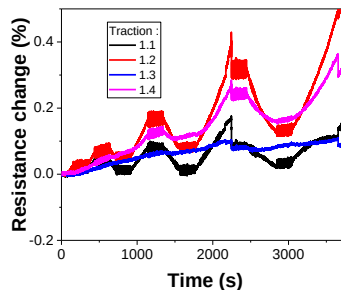
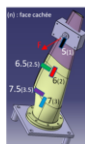
- Résultats jauges déformation, QRS, FBG pour une sollicitation cyclique



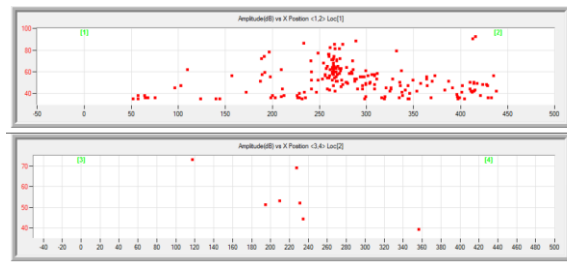
FBG



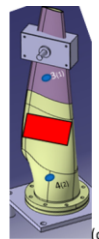
Jauges de déformation



QRS



EA (endommagement entre 1 et 2 côté traction)



- ⇒ Suivi du comportement mécanique globale
- ⇒ Comparaison complexe (effet mémoire pour les QRS, position différentes des capteurs...)

► Conclusions

- Intégration de capteurs QRS et FBG à cœur d'un démonstrateur de pâle
- Réponse et durabilité des capteurs validés en cours d'essais mécaniques

► Perspectives

- Réponses des capteurs à qualifier en fonction des endommagements recherchés dans la structure
- Processus d'intégration des capteurs à industrialiser
- Comparaison entre capteurs FBG, QRS et jauges de déformation à consolider



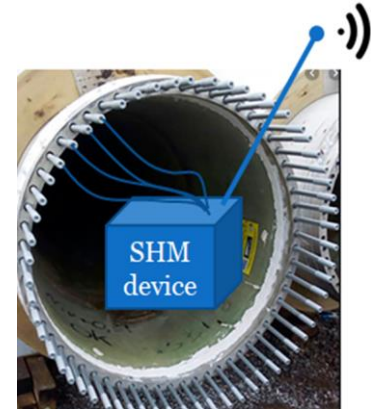
SHORE : Structure Health mOnitoring for Renewable Energy

SHORE : Structure Health mOnitoring for Renewable Energy

► Contexte - Objectifs

- Réduction des coûts de maintenance des structures éolienne offshore
- Surveillance active des fixations boulonnées pales/hub

⇒ Développement d'un système SHM pour le contrôle du serrage des goujons



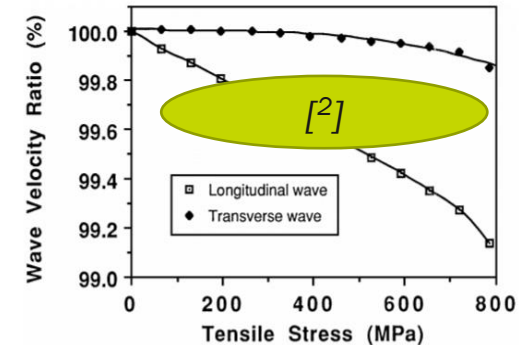
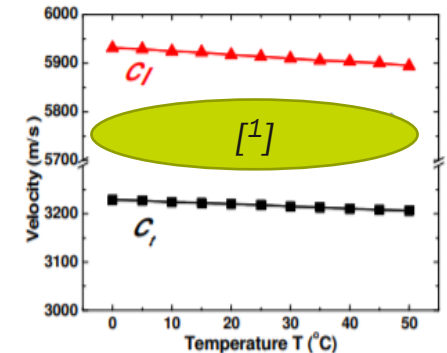
Université
Gustave Eiffel

SHORE : Structure Health mOnitoring for Renewable Energy

► Méthode de surveillance : les ultrasons

- Principe de la méthode :
 - Mesure du temps de vol (T) de l'onde longitudinale de vitesse V
 - Quelques difficultés à prendre en compte :
 - T dépend de l'allongement du goujon et donc de la précontrainte
 - V dépend de la contrainte dans le matériau et de la température

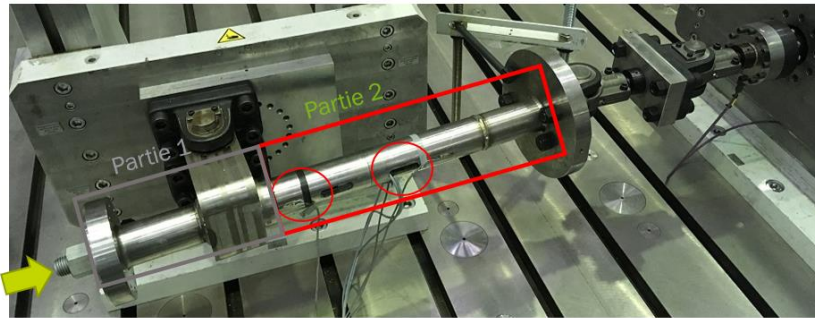
⇒ Nécessité de calibration de la méthode mono-onde



SHORE : Structure Health mOnitoring for Renewable Energy

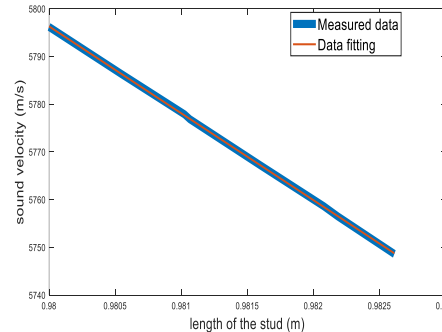
► Calibration sur machine de traction

- Utilisation de goujons identiques à ceux employés sur pales



Mesure par
ultrasons

Mesure par jauges de
déformation



Correction de la température :

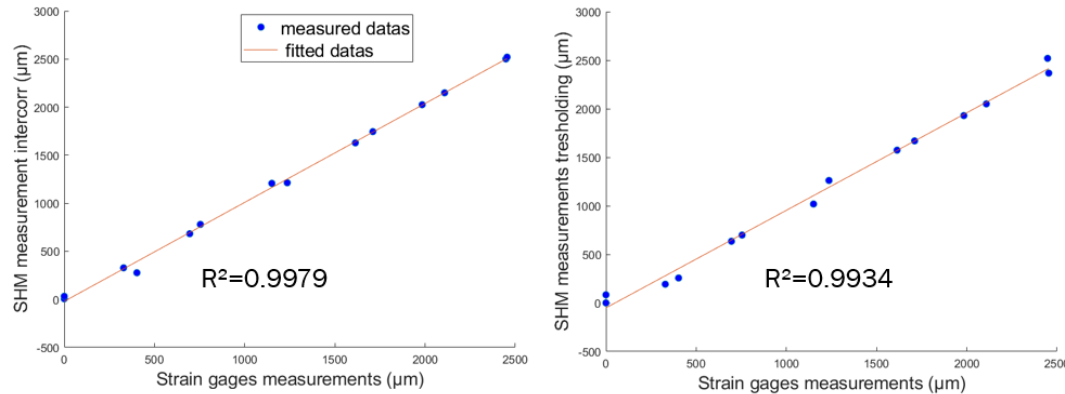
- La célérité change de $0,5\text{m/s}/^{\circ}\text{C}$

Correction de l'effet acoustoélastique:

- La célérité change avec la contrainte.

SHORE : Structure Health mOnitoring for Renewable Energy

► Validation des mesures du système SHM

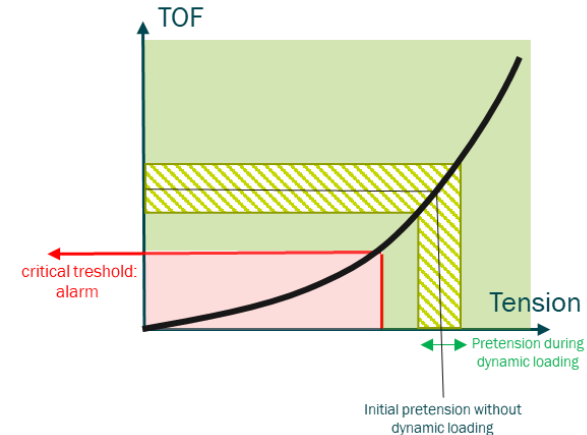
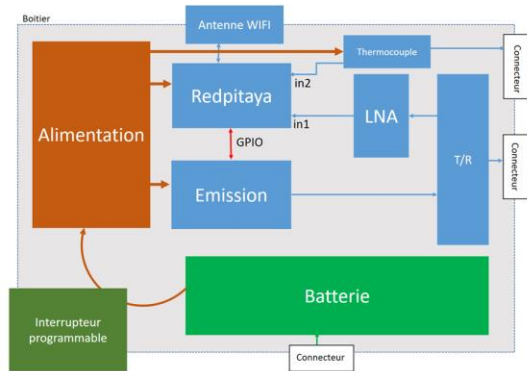


⇒ **Corrélation parfaite entre les mesures obtenues par jauges de déformation et méthodologie SHM**

SHORE : Structure Health mOnitoring for Renewable Energy

► Conception et implémentation du système SHM

- Electronique autonome et communication sans-fil
- Post-traitement des signaux via la carte RedPitaya et programmation du FPGA
⇒ Analyse en temps réel
- Transmission de la sanction « OK/NOK » sans fil wifi



SHORE : Structure Health mOnitoring for Renewable Energy

► **Conclusions**

- Conception et réalisation d'un système SHM autonome
- Contrôle in-situ et autonome du serrage des goujons des pales d'éoliennes
- Transmission d'alertes en temps réel

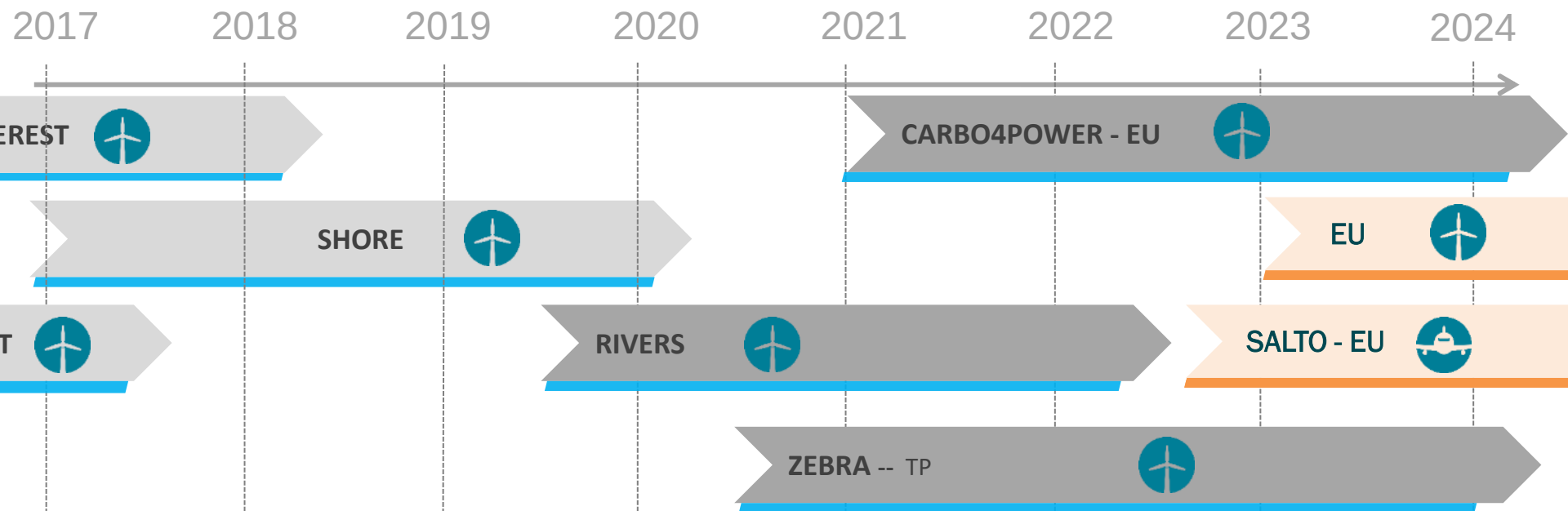
► **Perspectives**

- Déploiement d'une solution basse consommation : μ contrôleur, protocole de communication sans fil Zigbee...
- Multiplexage des voies d'acquisition



Travaux en perspective : C4P et
ZEBRA...

Structural Health Monitoring



CARBO4POWER - H2020 European project



► Context - Objectives

- To reduce the cost of energy production, maintenance, and the environmental impact of offshore wind and tidal turbine blades
- To develop a new generation of lightweight, high strength, multifunctional, digitalized multi-materials
- To increase their operational performance and durability

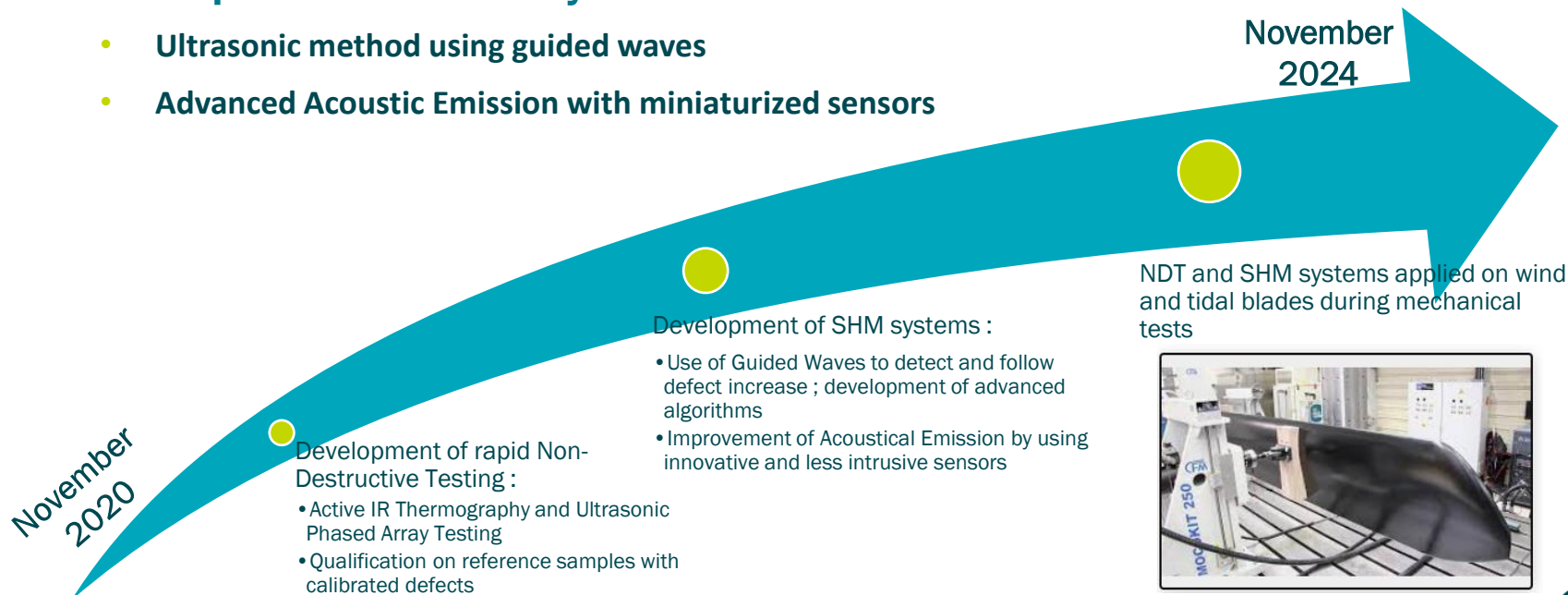
⇒ Development on materials (nanocomposites, coatings, 3R resin), net-shape process...

... **Innovative NDT** and **Structural Health Monitoring** systems



► Development of SHM systems based on

- Ultrasonic method using guided waves
- Advanced Acoustic Emission with miniaturized sensors





Conclusions

Conclusions - Perspectives

- **Maitrise et intégration de capteurs variés**
 - **Optimisation de leur localisation dans une pièce**
 - **Conception de systèmes SHM complets : électronique customisée**
 - **Exploitation de la donnée: caractérisation de l'endommagement/ fiabilisation du diagnostic**
 - **Validation par essais mécaniques**
-
- ⇒ **Prise en compte du SHM dès la conception du produit**
 - ⇒ **Poursuite des développements SHM à l'IRT JV**
 - Projets Collaboratifs
 - Projets EU
 - Prestations de R&D



LE FUTUR
DE VOS USINES

IRT JULES VERNE

Chemin du Chaffault,
44 340 Bouguenais, France
contact@irt-jules-verne.fr

WWW.IRT-JULES-VERNE.FR

Rejoignez-nous sur :

