

Solution industrielle de tissus
composites intelligents

EOPROMFLEX®

BESOIN IDENTIFIÉ :

Fonctionnalisation des composites



- ▮ **Forte croissance des tissus pour composites :**
 - Aéronautique, Energie, Automobile, Construction, Sport, Défense
- ▮ **Faiblesse actuelle du secteur :**
 - Le contrôle des matériaux composites
 - Technologies existantes côte à côte, non homogènes et non optimisées
 - Arrêt des installations
 - Intervention humaine

L'enjeu pour l'industrie : Intégrer des fonctions pour obtenir des composites intelligents

NOTRE SOLUTION INDUSTRIELLE : L'innovation

Impression de circuits électroniques sur tissus

EOPROMFLEX® : une méthode additive en R2R de circuit électronique sur tissus à base de Cu.

Bénéfices client

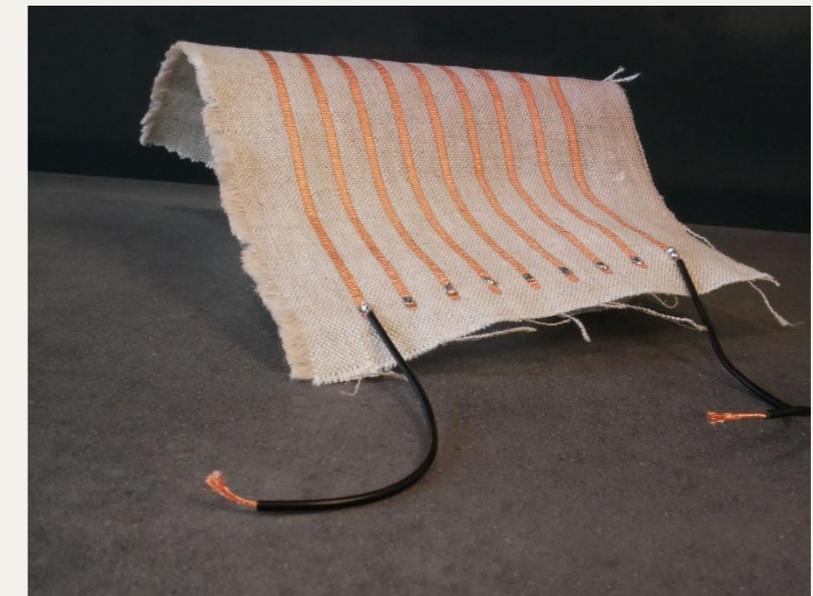
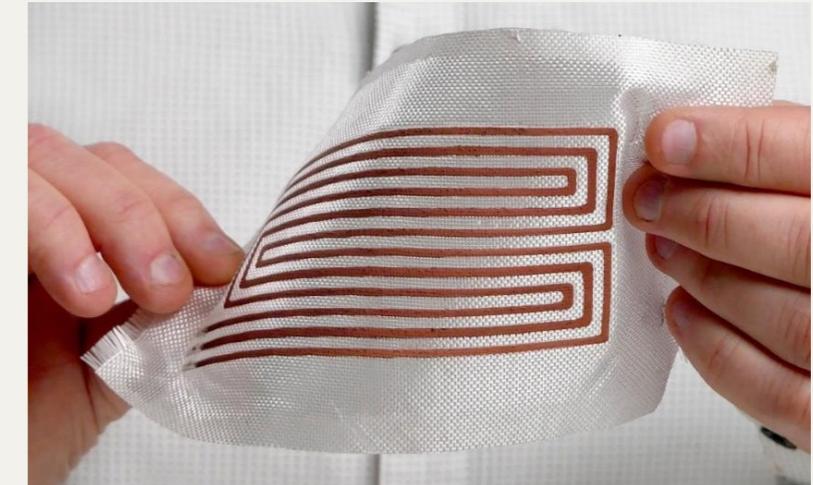
- Fonctions adressables



- Intégration



- matériaux biosourcés



Fiber Glass or Flax fabric sample with electronic circuit with soldered connection

NOTRE PROCÉDÉ

3 ÉTAPES

01

DÉPÔT DE PÂTE EOPROM®

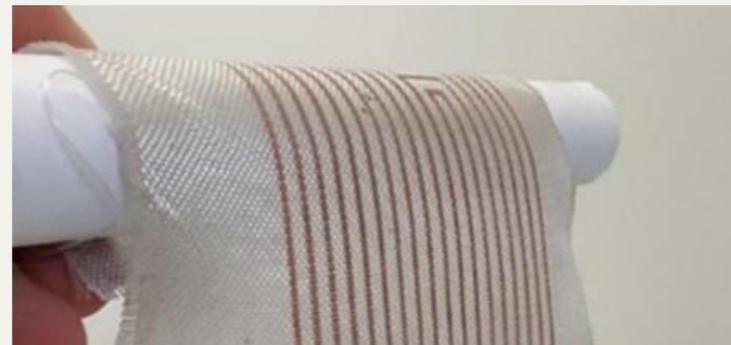
Sérigraphie / Dispenseur /
Pulvérisation



02

SÉCHAGE & RÉTICULATION

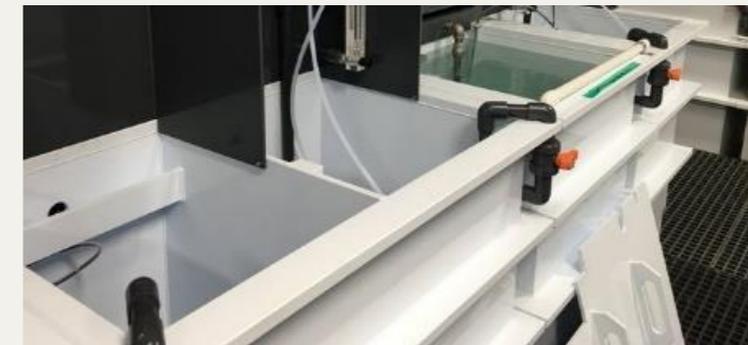
Très forte adhérence
Flexible



03

BAINS DE MÉTALLISATION

Cuivre chimique,
électrochimique,
Ni, Sn, Au, ...



UNE TECHNOLOGIE SUR DEUX PILIERS :

FORMULATIONS

SAVOIR FAIRE

→ Pâte EOPROM®



PROCÉDÉ R2R

Ligne de production en
CONTINU (Roll to Roll)



© Copyright Besi



EOPROMFLEX®

Innovation Industrielle

DOMAINES D'APPLICATION

▬ Câblage



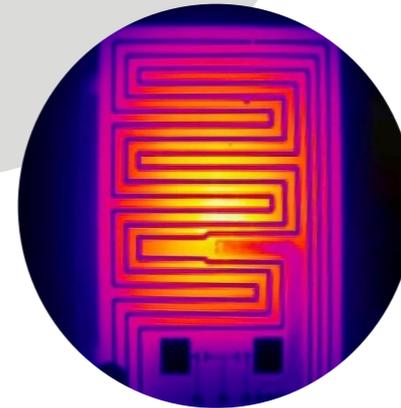
SHM ▬



▬ Communication

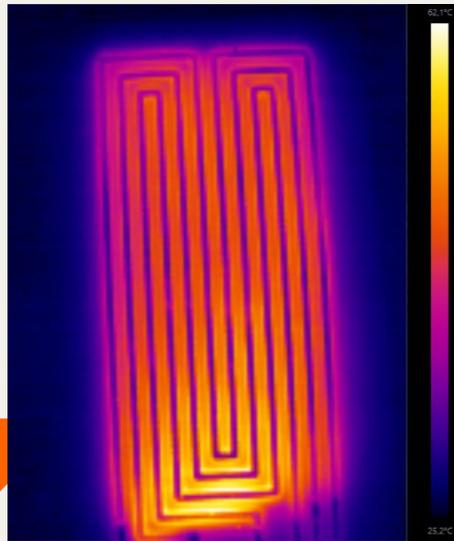
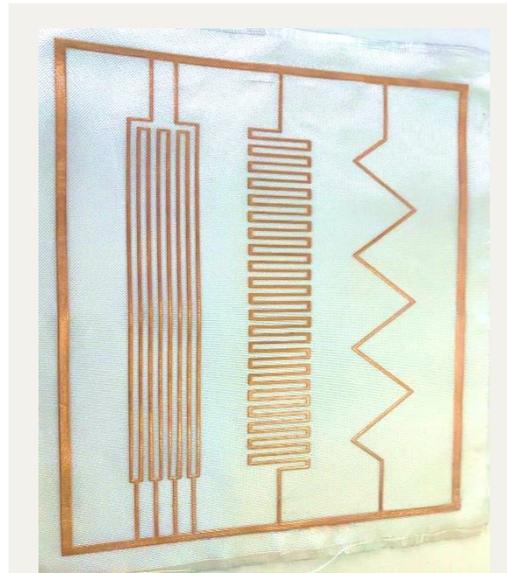


Chauffage ▬



**MC
VE**
TECHNOLOGIE

NOUVEAUTÉ : Tissu fibre de verre pour composite

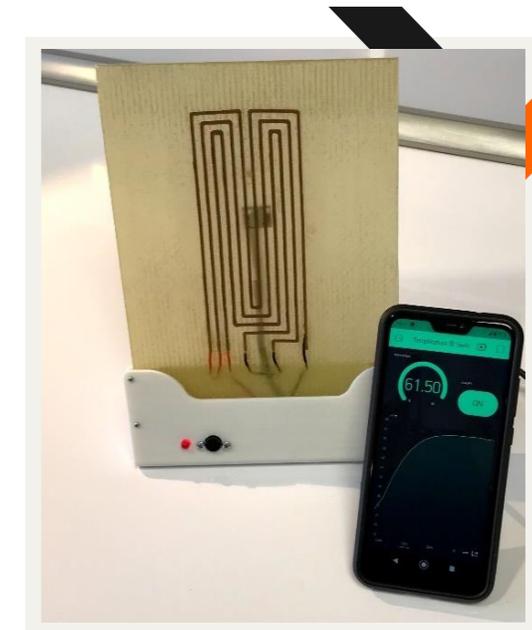


➤ Fonctions électroniques multiples intégrées sur le tissu de verre

- Chauffage
- Câblage
- Antenne
- capteur
- Actionneur

➤ Process standard de mise en œuvre du composite

➔ Smart composite



SOMMAIRE

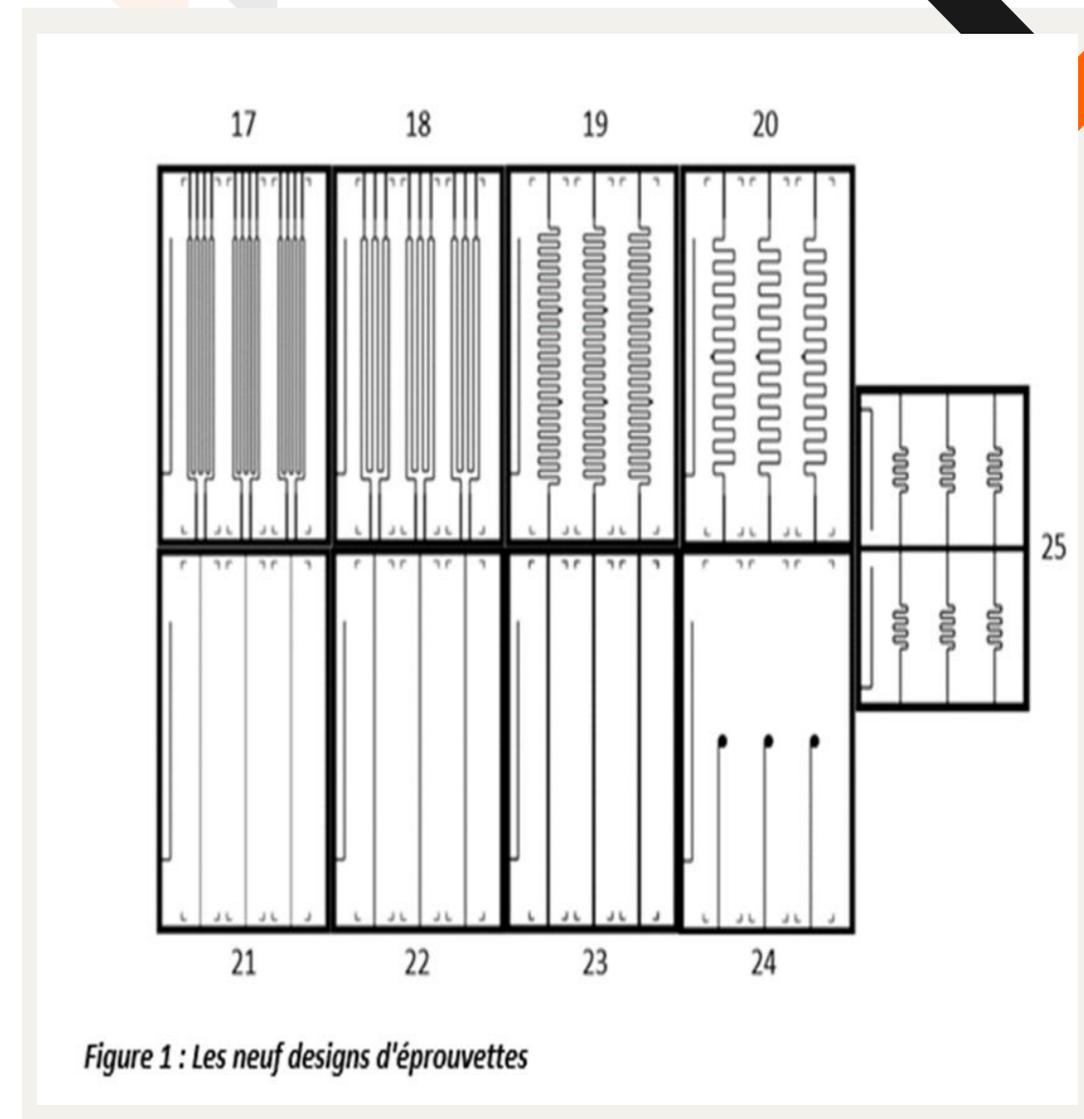
- “ **Qualification - IMT**
- “ **Capteurs et SHM – ISAE/INSA**
- “ **Hybrid composite - FRAUNHOFER**

Instrumentation de matériaux composites par intégration de composants fonctionnels imprimés sur tissus

- Validier et qualifier l'EOPROM® sur les tissus de verre en collaboration avec le laboratoire IMT Nord Europe.
- But recherché : niveau d'impact sur le comportement mécanique.
- Recrutement d'un stagiaire ingénieur pour mener ce projet de validation.

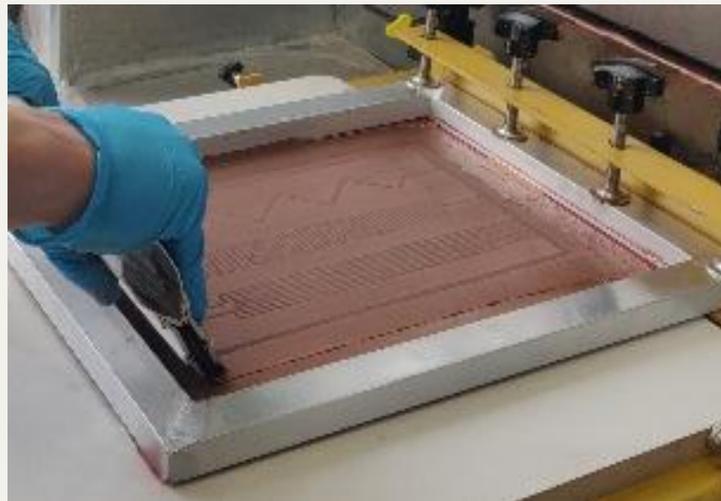
LE PLAN D'EXPÉRIENCE

- ▄▄ Design 17 à 20 : spires (fonction chauffage) :
 - longitudinales
 - transversales
 - écart inter ligne variable
- ▄▄ Design 21 à 23 : pistes longitudinales :
0,8 / 1,5 / 3 mm
- ▄▄ Design 24 : électrode type capteur
- ▄▄ Design 25 : éprouvettes de flexion
- ▄▄ Pistes de raccordement largeur 1,5 mm

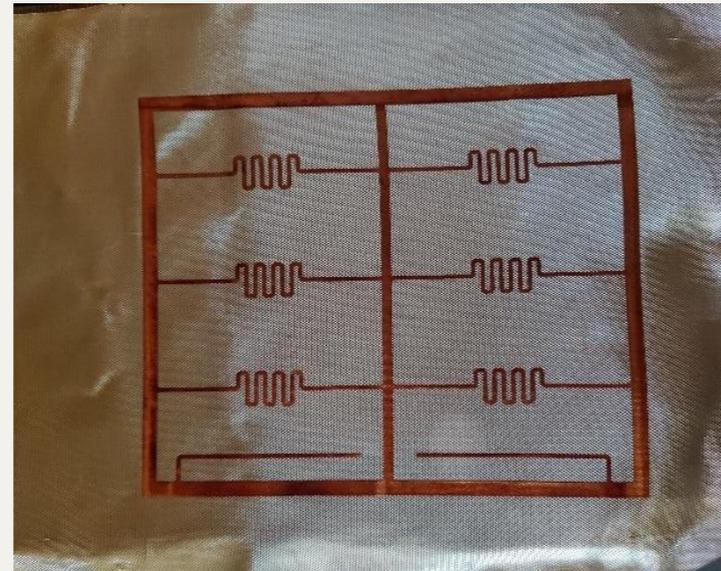


PROTOCOLE DE FABRICATION DES ÉCHANTILLONS

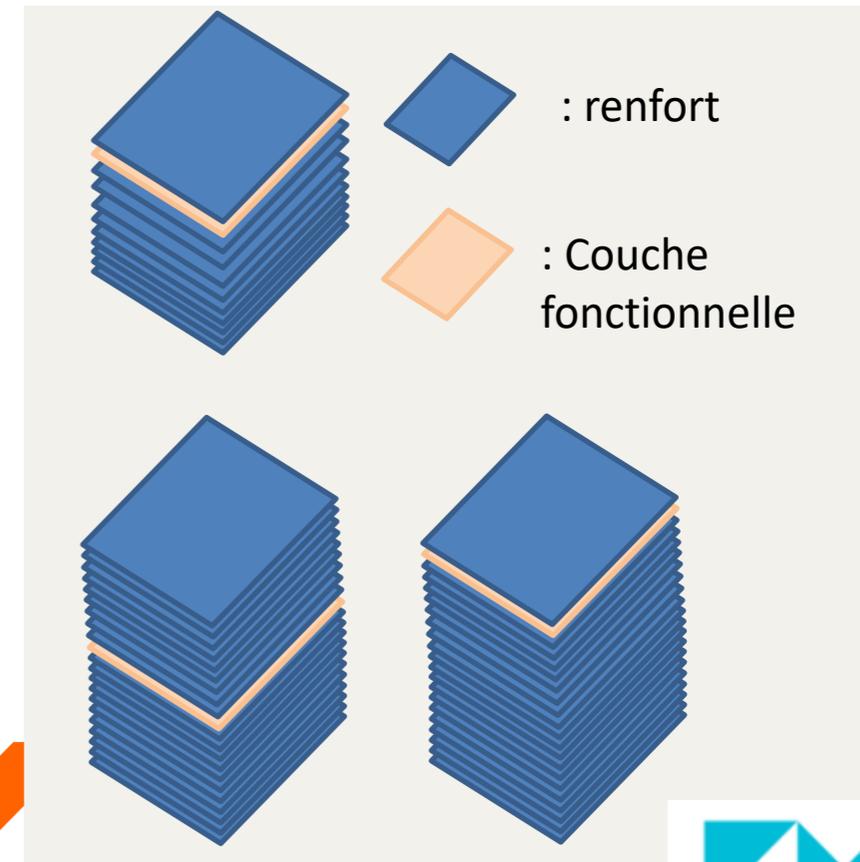
▬ Sérigraphie



▬ Bain électrolytique de cuivre



▬ Choix tissu + position



PROTOCOLE DE FABRICATION DES ÉCHANTILLONS



Fabrication :

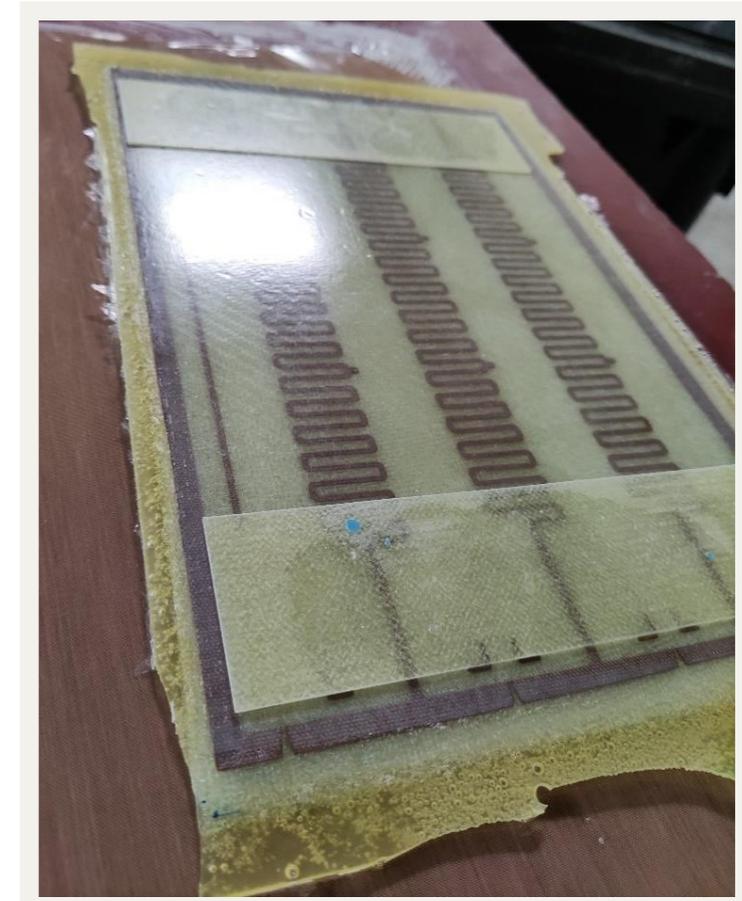
- Procédé hybride entre le moulage au contact et d'infusion
- Améliorer l'homogénéité de l'épaisseur

Temps de polymérisation Gurit Prime 37 :

- 16h à température ambiante
- 24h à 55°C

Ajout de talons :

- Essai traction



ESSAIS DE TRACTION



Paramètres d'essais :

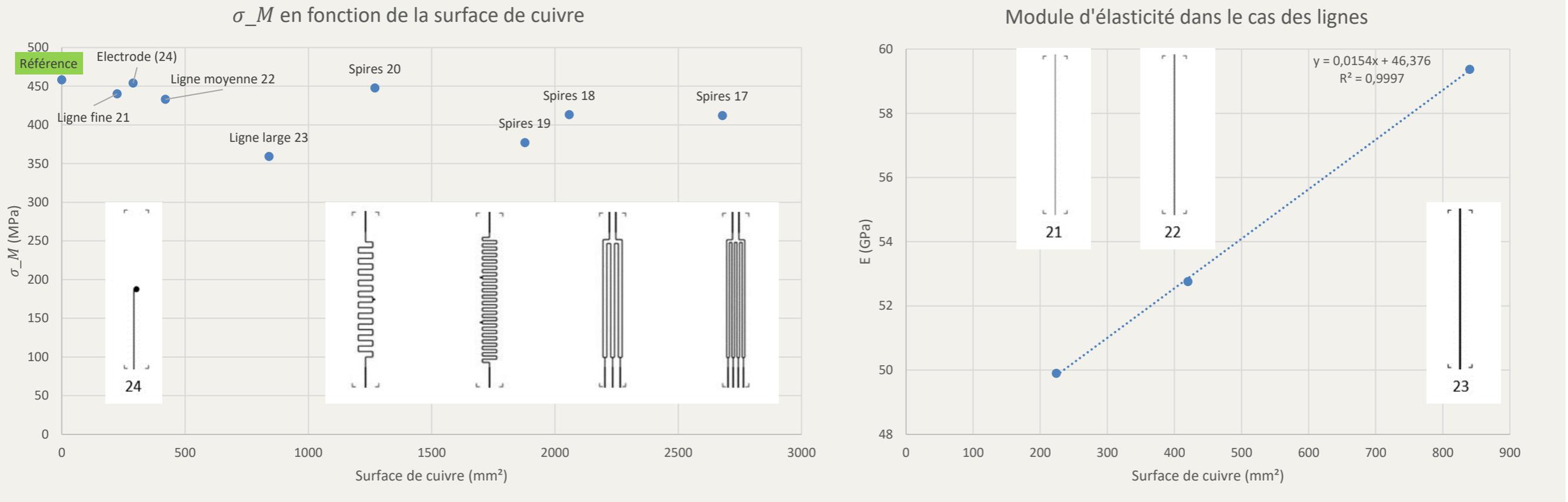
- Vitesse de déplacement : 2 mm/min
- Arrêt de l'essai après une chute de 40%
- Mesure du déplacement par extensomètre ou DIC

Norme ISO 527-4

Mesure de σ_M et de E

34 éprouvettes [(0° R)9 / (0° F) / (0° R)]

ESSAIS DE TRACTION



- La présence du cuivre diminue la valeur de résistance mais la perte est compensable à la conception.
- Valeur limite, on privilégiera les lignes de largeur ≤ 2 mm.
- Insertion d'un motif de type électrode négligeable.

ESSAIS DE CISAILLEMENT PLAN



Paramètres d'essais :

- Vitesse de déplacement : 2 mm/min
- Arrêt de l'essai après une chute de 40%
- Mesure du déplacement par DIC

Norme ISO 14129

Mesure de G_{12} et de τ_{12}

12 éprouvettes [(±45° R)9 / (0° F) / (±45° R)]

ESSAIS DE FLEXION TROIS PANNES



Paramètres d'essais :

- Vitesse : 2 mm/min
- Arrêt à 10 mm
- Pannes R1 = 5 mm et R2 = 5 mm

Norme ISO 14125

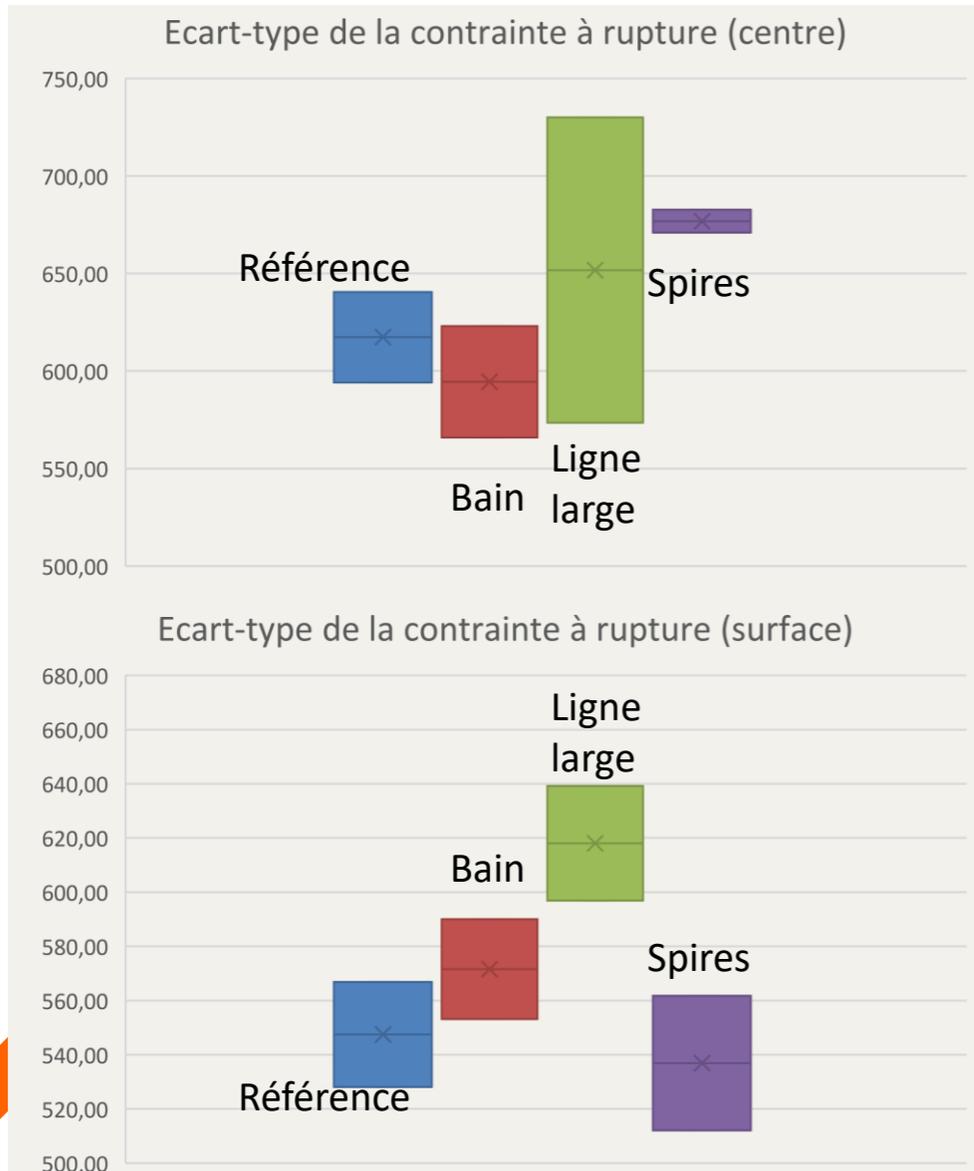
Mesure de σ_{fB} et de E_f

30 éprouvettes

[(0° R)10 / (0° F) / (0° R)10]

[(0° R)19 / (0° F) / (0° R)1]

ESSAIS DE FLEXION TROIS PANNES



Contrainte en flexion à rupture σ_{fM} :

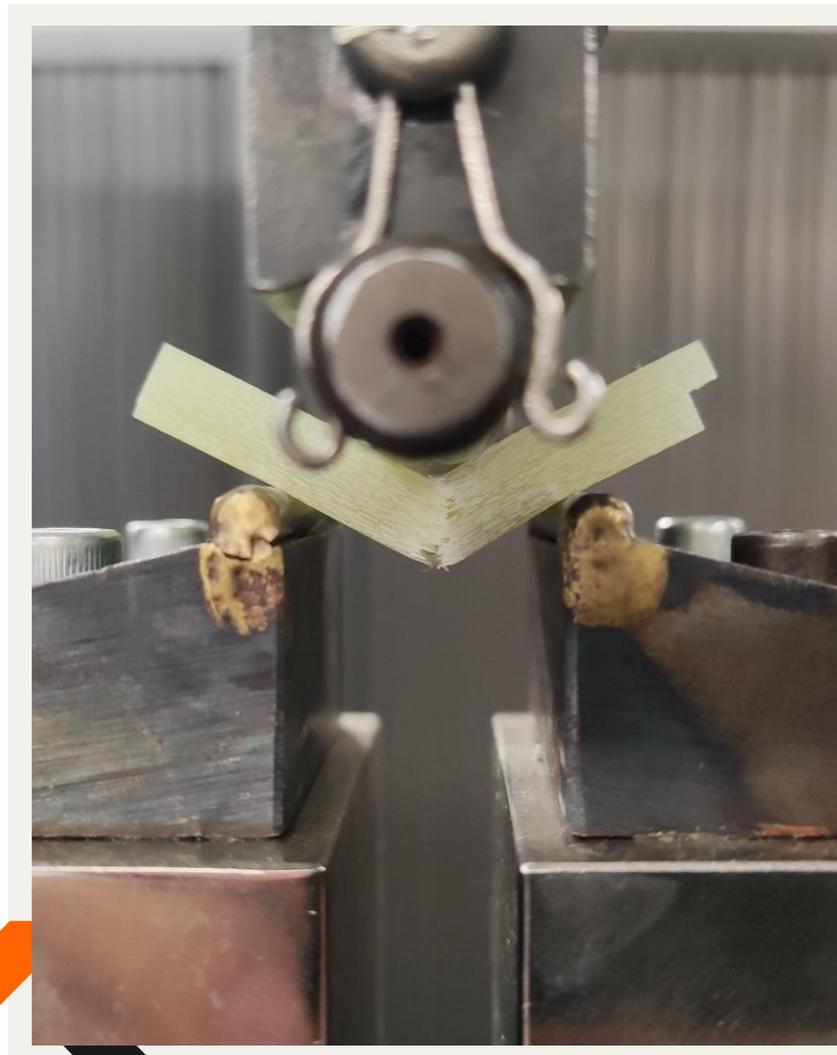


- Référence : 617 MPa
- Bain -> -3,7 %
- Ligne large -> + 5,6 %
- Spires -> + 9,6 %

- Référence : 547 MPa
- Bains -> + 4,5 %
- Ligne large -> + 8,5 %
- Spires -> - 1,9 %

ESSAIS DE CISAILLEMENT INTERLAMINAIRE ILSS

flexion trois pannes sur appuis rapprochés



Caractéristiques déterminables :

- Vitesse : 2 mm/min
- Pannes R1 = 5 mm et R2 = 2 mm

Norme ISO 14130

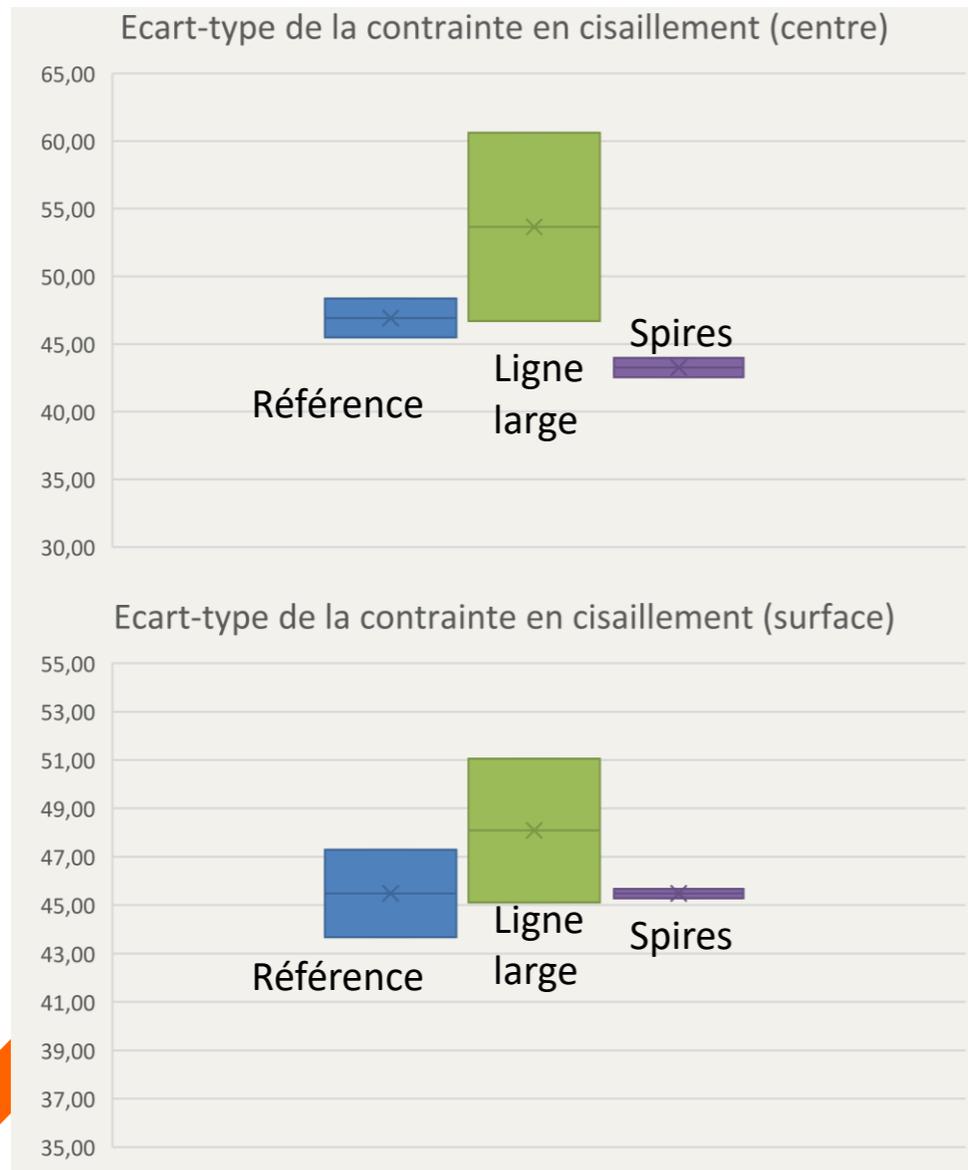
Mesure de τ_{13M}

33 éprouvettes

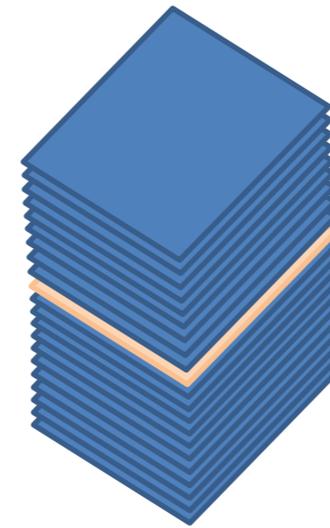
[(0° R)10 / (0° F) / (0° R)10]

[(0° R)19 / (0° F) / (0° R)1]

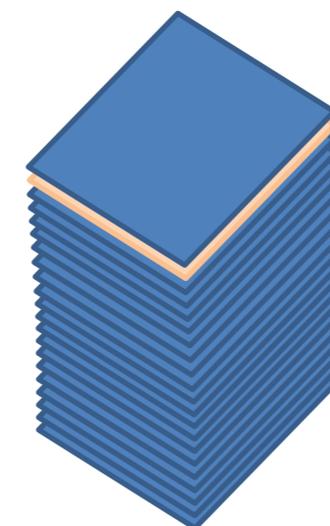
ESSAIS DE CISAILLEMENT INTERLAMINAIRE ILSS



Contrainte en cisaillement interlaminaire τ_{13M} :



- Référence : 47 MPa
- Ligne large -> + 14,3 %
- Spires -> -7,8 %



- Référence : 45,5 MPa
- Ligne large -> + 5,7 %
- Spires -> 0 %

CONCLUSION



▄▄ Une application industrielle est envisageable

▄▄ **Recommandations :**

- Privilégier les pistes dans la direction de l'effort (d'autant plus lorsque la densité des pistes augmente)
- Dans le cas d'une sollicitation thermique, veiller à espacer suffisamment les lignes
- L'impact est réduit avec les couches fonctionnelles en surface plutôt qu'au centre

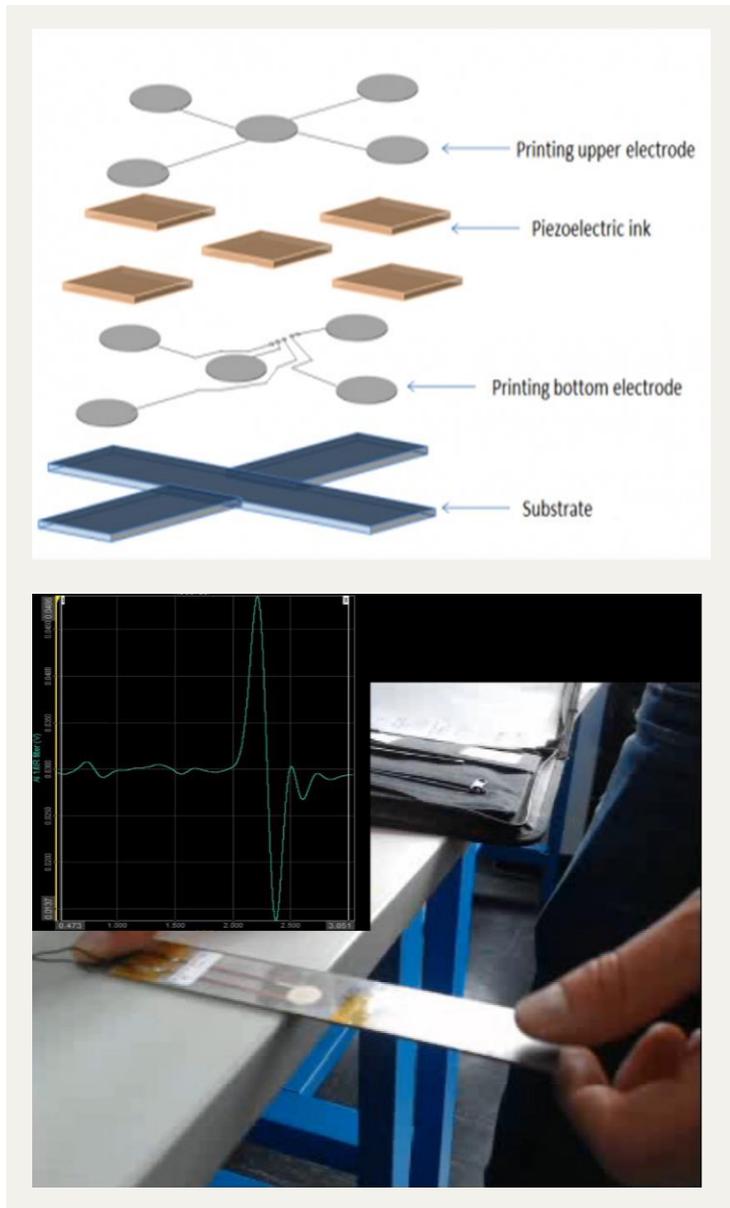
▄▄ **Poursuites :**

- Essais en fatigue
- vieillissement sous ultraviolet
- vieillissement sous des sollicitations hygrothermiques

Capteurs et SHM



Capteurs et SHM



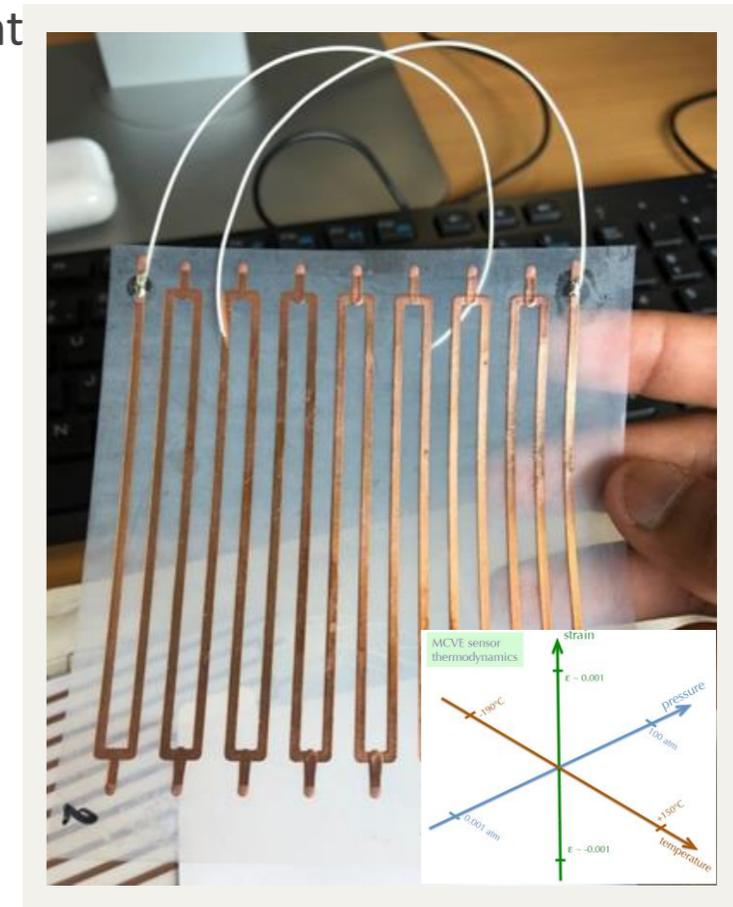
Les capteurs sont sensibles, thermiquement stables et robustes à **température cryogénique** (-195,8°C/77,4K).

Les capteurs sont sensibles, résistifs et robustes pour la **haute altitude** (équivalent à plus de 50km).

Capteurs **actifs** dès l'étape **d'infusion**

Poursuites :

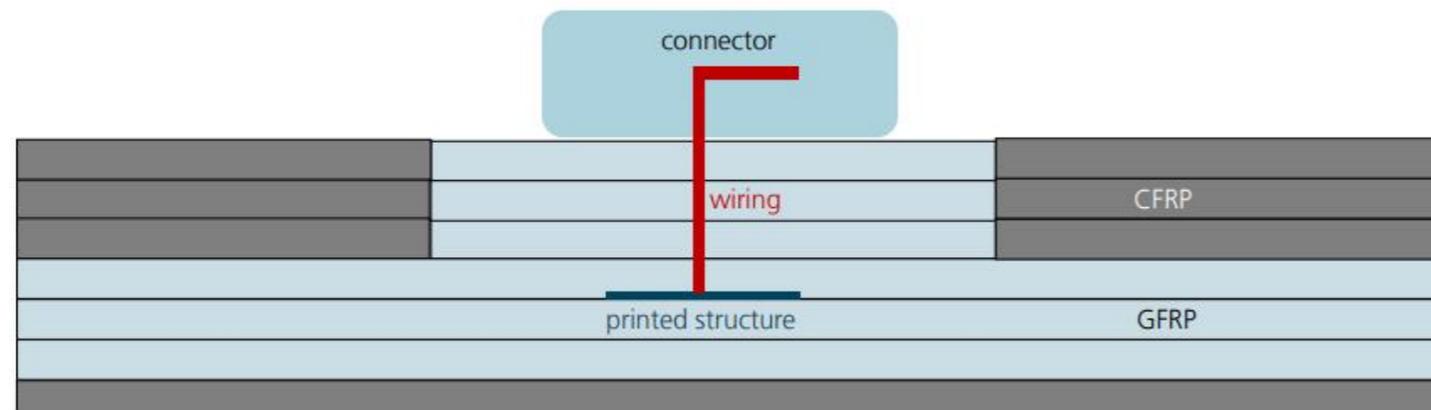
- Réseau de capteurs à l'intérieur des pièces composites
- RLC et PZE pour des mesures d'impédancemétrie



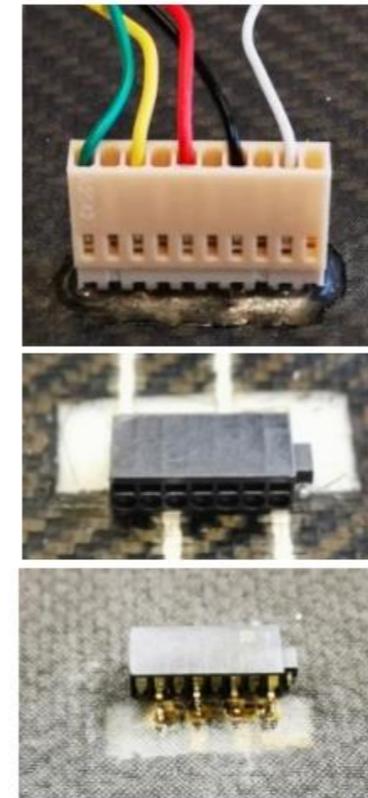
FRAUNHOFER HYBRID COMPOSITE

Wiring

- Laser is used for opening contact areas
- Connectors can be soldered or glued
- 1000 thermal shock cycles (-85 / +85°C) were made
- Failure rate less than 10% of the glued connections



Schematic view of wiring integrated functionalities in hybrid GFRP- / CFRP-structures



1^{er} avantage :

Conductivité du Cu

2^{ème} avantage :

Robustesse par brasage
du connecteur sur Cu

Poursuites :

Intégration de GFRP
instrumentalisés dans les
composites CFRP



EOPROMFLEX®



INDUSTRIEL



FLEXIBLE



INNOVATION





CONTACT :

Christian WEISSE

✉ cweisse@mcve-tech.com

☎ +33 6 29 02 56 74

🌐 www.mcve-tech.com

Raphael VUILLAUME

✉ rvuillaume@mcve-tech.com

☎ +33 6 84 08 74 75