

# Contrôle Non Destructif / Contrôle en ligne

Oriane FEDRIGO  
Monitoring, Contrôle, IOT

[Oriane.fedrigo@cetim.fr](mailto:Oriane.fedrigo@cetim.fr)

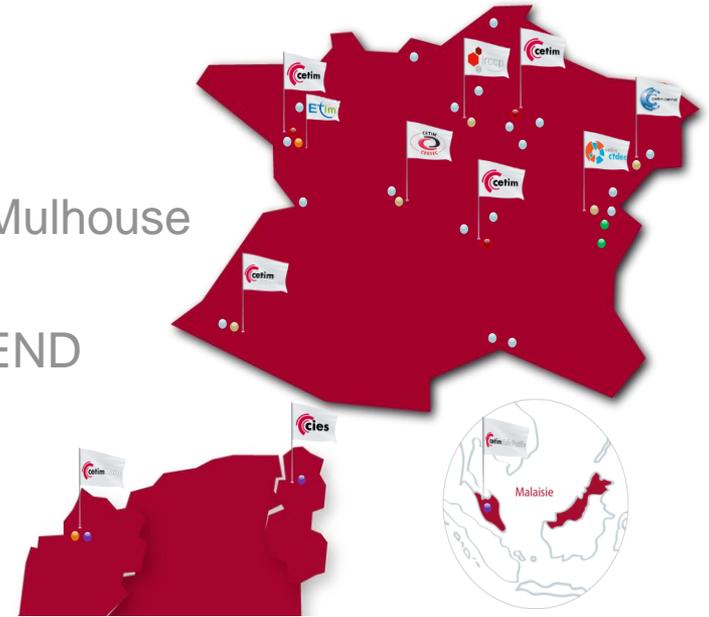


# Sommaire

Le CND au Cetim  
Problématiques CND  
Inspection en ligne  
Contrôle en sortie de production  
Conclusions

# Le CND au Cetim en quelques chiffres

- ▶ 60 collaborateurs
- ▶ 5 implantations (Senlis, Nantes, Grenoble, Mulhouse et Pau)
- ▶ 2 centres de formation / certification COFREND
- ▶ CA de 10 M€



# Le CND au Cetim

## L'offre

- ▶ Conseils, appuis techniques / faisabilités
- ▶ Qualification de prototypes, expertises
- ▶ Conception, réalisation et intégration de moyens CND
- ▶ Inspection et surveillance de structures en service
- ▶ Formations CND, Centres d'examens Cofrend

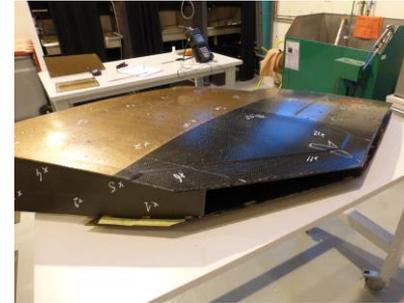
## Des marchés très diversifiés

- ▶ Aéronautique, spatial, automobile, ferroviaire,
- ▶ Fabricants d'équipements mécaniques,
- ▶ Energie, chimie,
- ▶ Métallurgie,
- ▶ Agroalimentaire...

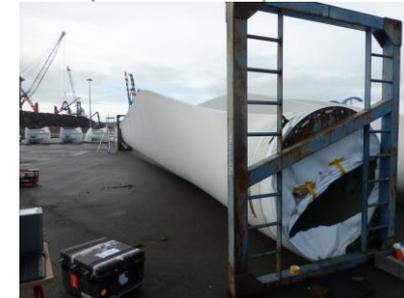
*Détection de fuites sur des raccords de pipes*



*Inspection par Thermographie IR active d'un capot de moteur*



*Inspection ultrasonore d'un panneau composite*

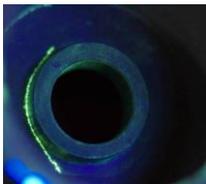


*Inspection ultrasonore d'une pale d'éolienne*

# Le CND au Cetim

## Des moyens performants et diversifiés

### ► Méthodes conventionnelles



Ressuage sur une vanne PEEK/GF



Magnétoscopie :  
détection de fissures



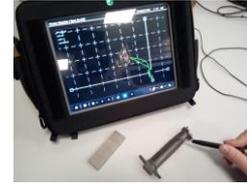
Radiographie X:  
visualisation des fibres  
de verre sur un panneau  
composite



Inspection Ultrasons  
d'un mat composite



Inspection visuelle



Courant de  
Foucault

### ► Méthodes avancées



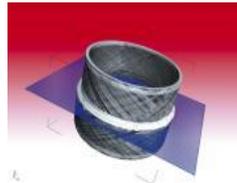
TOFD



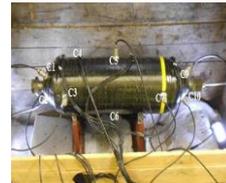
Ultrasons multiéléments  
sur un safran



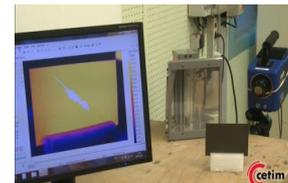
Ondes  
guidées



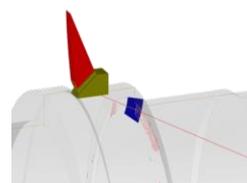
Tomographie  
RX



Emission  
acoustique



Thermographie  
infrarouge active

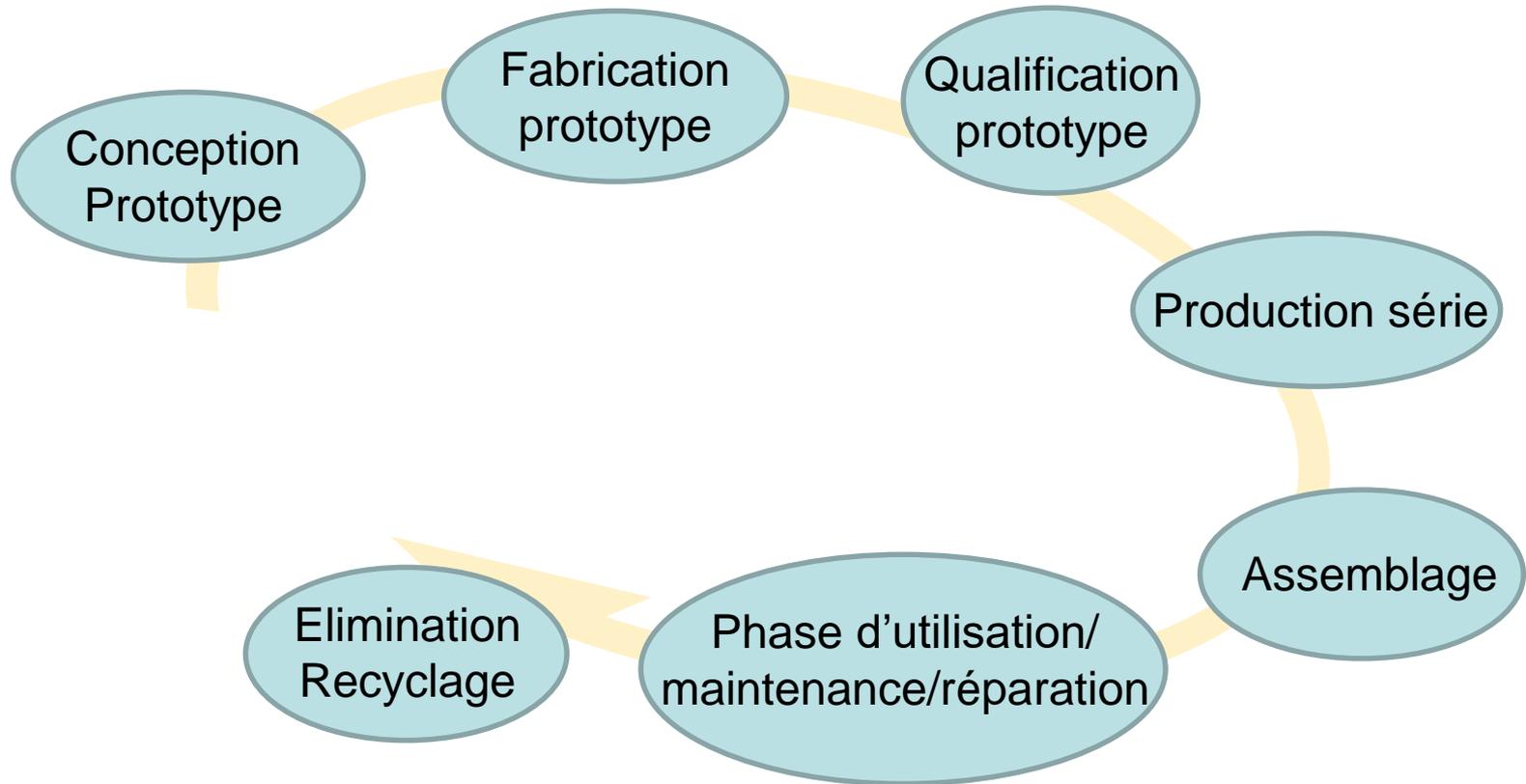


Simulations  
CND avec CIVA

- Développement de méthodes CND adaptées aux besoins Client
- Opérateurs CND certifiés COFREND CIFM et COSAC (niveaux 2 et 3)

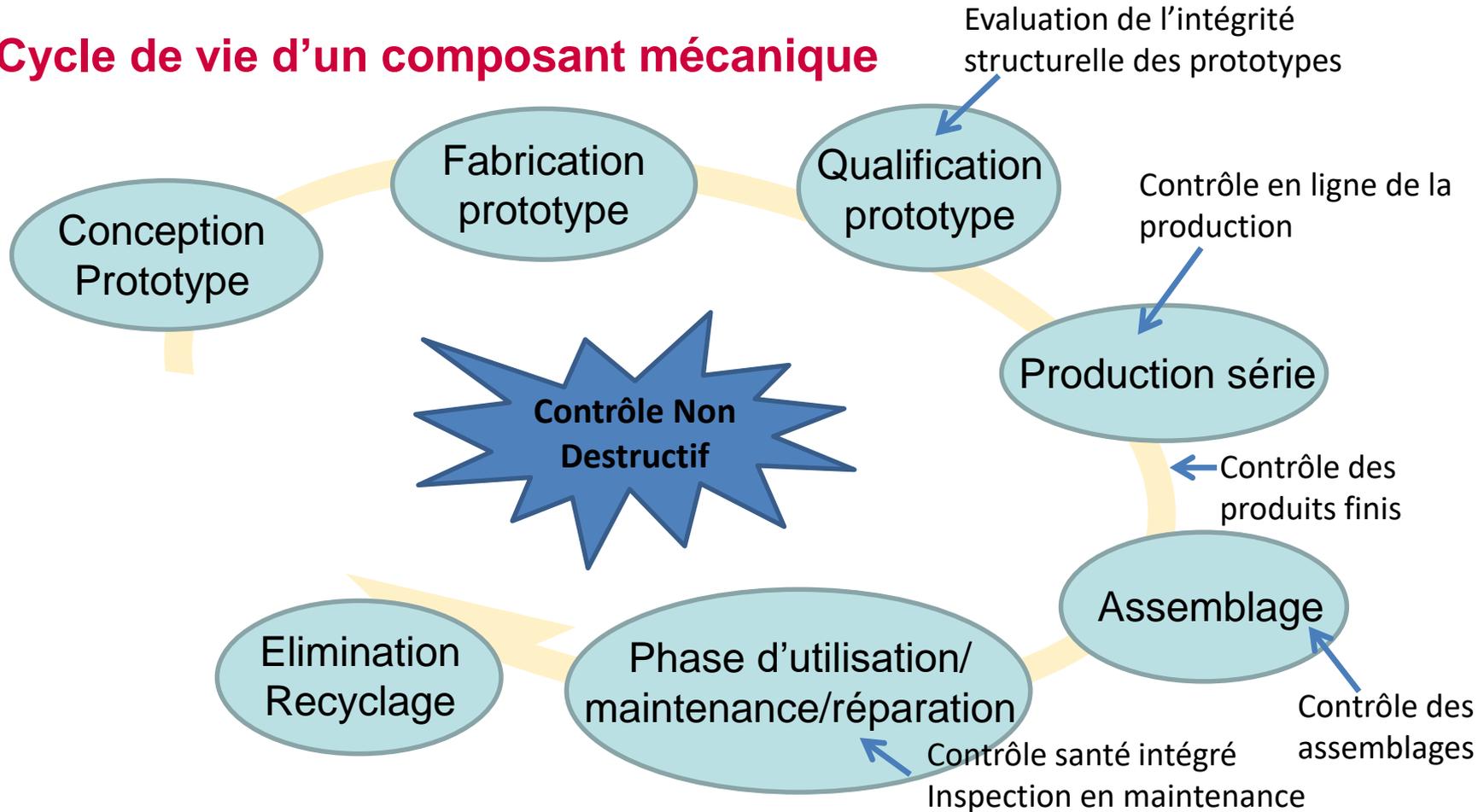
# Problématiques CND

## Cycle de vie d'un composant mécanique



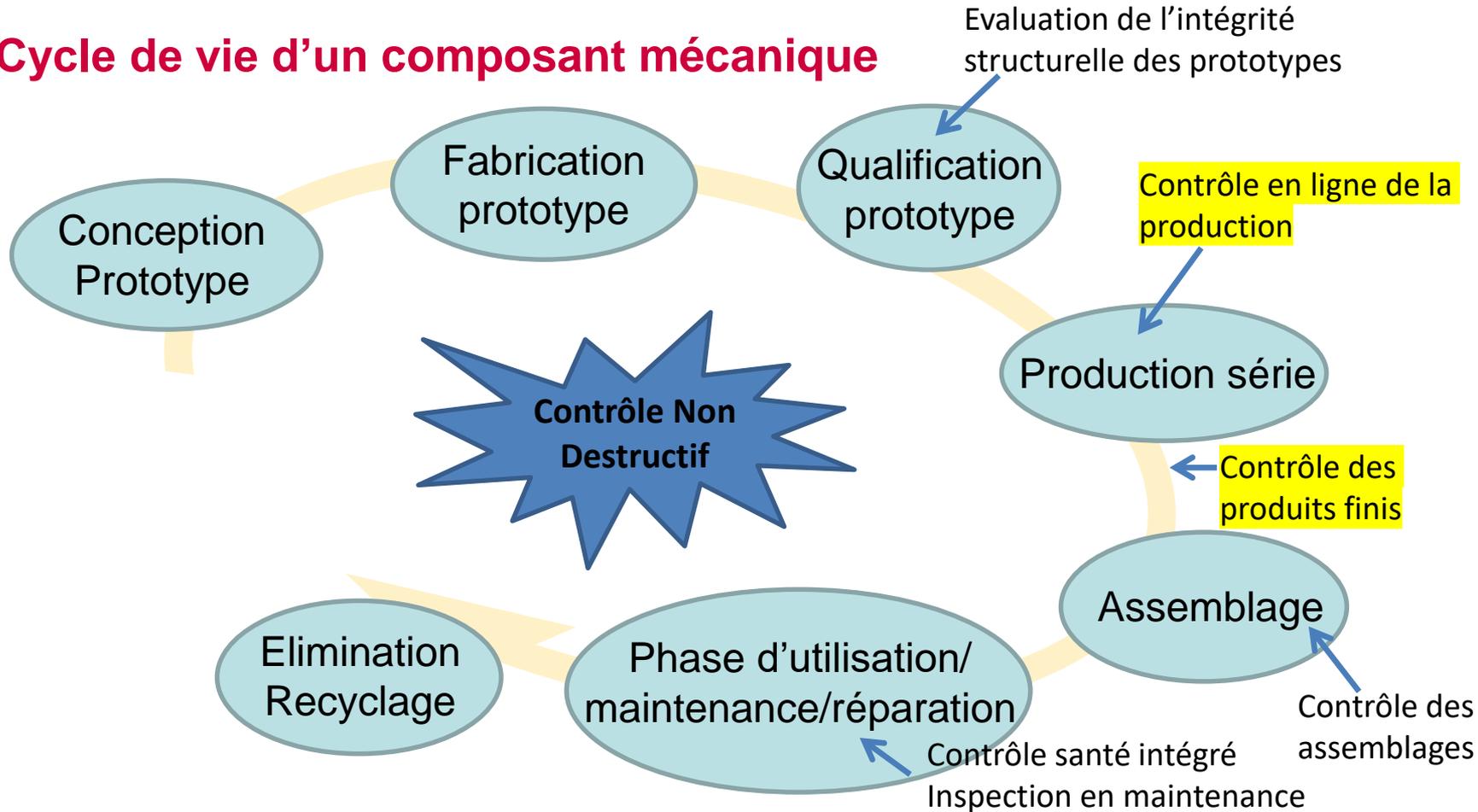
# Problématiques CND

## Cycle de vie d'un composant mécanique



# Problématiques CND

## Cycle de vie d'un composant mécanique



Evaluation de l'intégrité structurelle des prototypes

Contrôle en ligne de la production

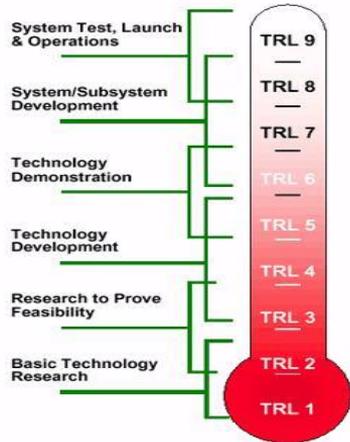
Contrôle des produits finis

Contrôle des assemblages

Contrôle santé intégré  
Inspection en maintenance

# Contrôle en ligne

## Cycle de vie d'un composant mécanique



### Technologies :

- Ultrasons
- Thermographie IR
- Emission Acoustique
- TRL ~ 6-9

Contrôle en ligne de la production

Production série

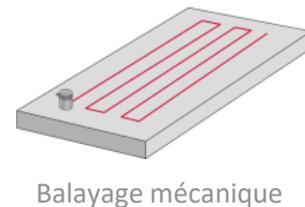
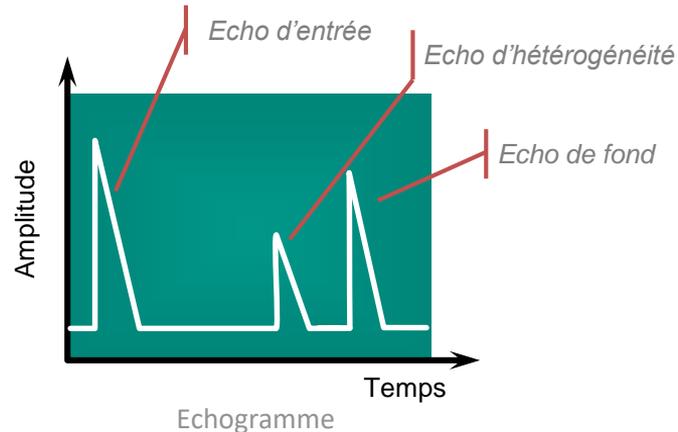
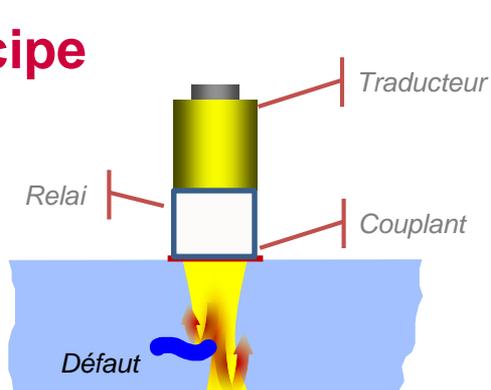
### Défauts

Défauts de production :  
porosités, fissures, délaminages,  
inclusions...

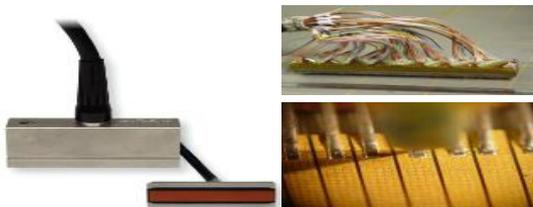
# Contrôle ultrasonore

## Principe

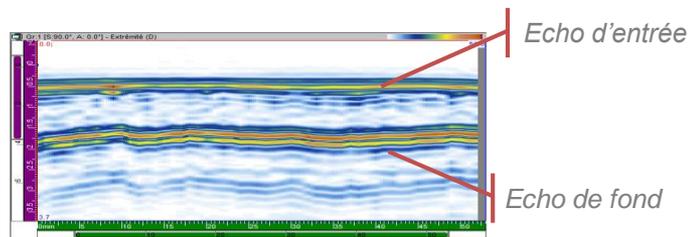
Ultrasons conventionnels



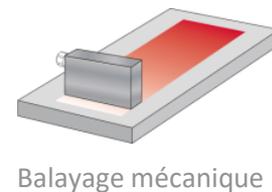
Ultrasons multiéléments



Traducteur multiéléments



Balayage électronique linéaire (Bscan)



- ▶ Détection de délaminages, porosités, inclusions, manques ou amas de résine, décollements, oublis de séparateurs, fissures... dans les métalliques et composites
- ▶ Couplant requis

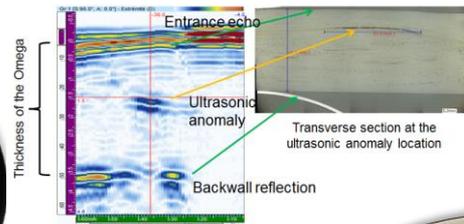
# Contrôle ultrasonore

## Exemples d'applications

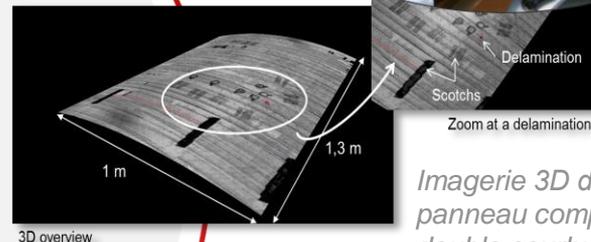
Inspection en sortie de production  
d'un mât composite



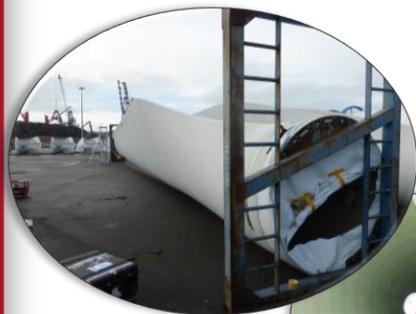
Expertise non destructive sur  
un Omega composite



## Ultrasons



Imagerie 3D d'un  
panneau composite à  
double courbures



Inspection en maintenance de pales d'éoliennes

Inspection de safrans



Inspection ultrasonore  
de collages d'inserts  
métalliques dans une  
caisse de voiture  
composite

# ... par ultrasons de tapes thermoplastiques pultrudés

## ▶ Objectifs :

- ▶ Inspection continue au cours de la pultrusion de tapes thermoplastiques
- ▶ Recherche de manques d'imprégnation et de fibres sèches



Pultrusion TP

procédé QSP® (pultrusion – estampage - surmoulage)



... par ultrasons de tapes thermoplastiques pultrudés



► Démarche :

- Prise en compte des problématiques industrielles
- Définition de la méthodologie de contrôle
- Qualification du procédé de contrôle
- Conception et intégration de la machine spéciale de contrôle en ligne
- Validation de performances

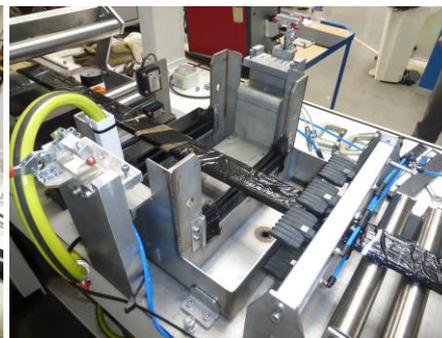
# ... par ultrasons de tapes thermoplastiques pultrudés

## ► Prise en compte des problématiques industrielles

- Matériau PA/GF: reprise d'eau, abrasif, usure
- Flexibilité du tape, vibration du process
- Mise en oeuvre : passage d'un toron de fibres en début de process
- $0,3 \text{ m/min} < \text{Vitesse de défilement} < 4 \text{ m/min}$ , largeur de tape  $< 235 \text{ mm}$
- Epaisseur de tape fine / recherche de porosités, manques d'imprégnation...
- Marquage des indications...



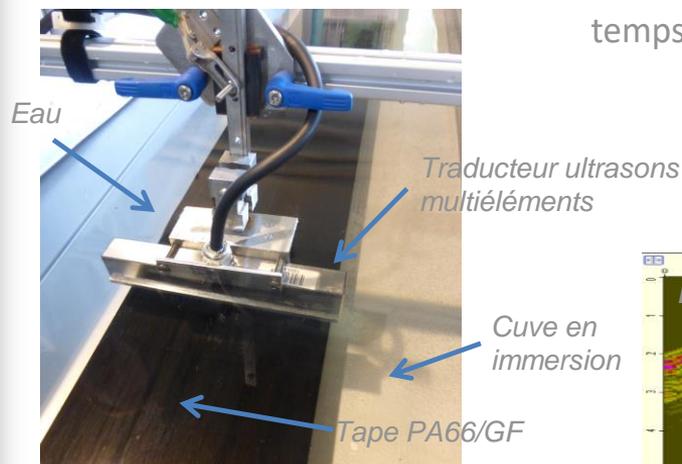
Flexibilité du tape



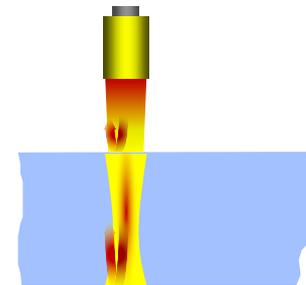
# ... par ultrasons de tapes thermoplastiques pultrudés

► Définir le protocole le plus adapté : réflexion/transmission ultrasonore, au contact ou en immersion...

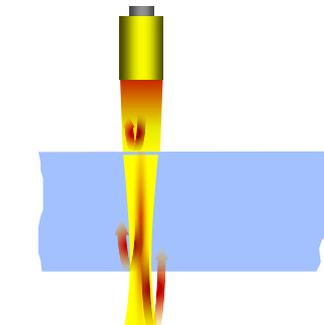
- Verrous technologiques: flexibilité des tapes, sensibilité aux porosités recherchées, alarmes en temps réel



Faisabilité de contrôle en ligne par ultrasons

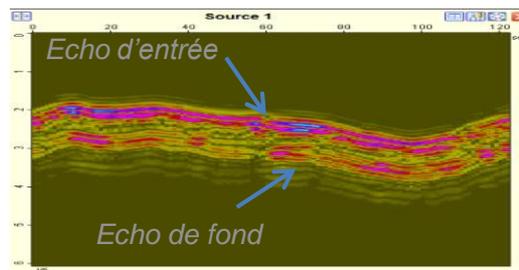


Réflexion

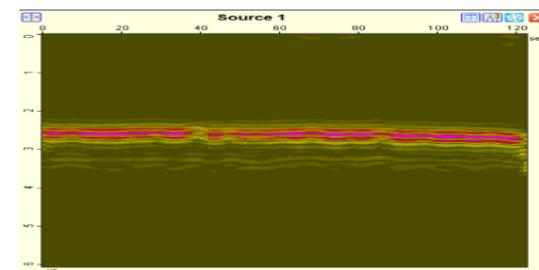


Miroir

Double transmission



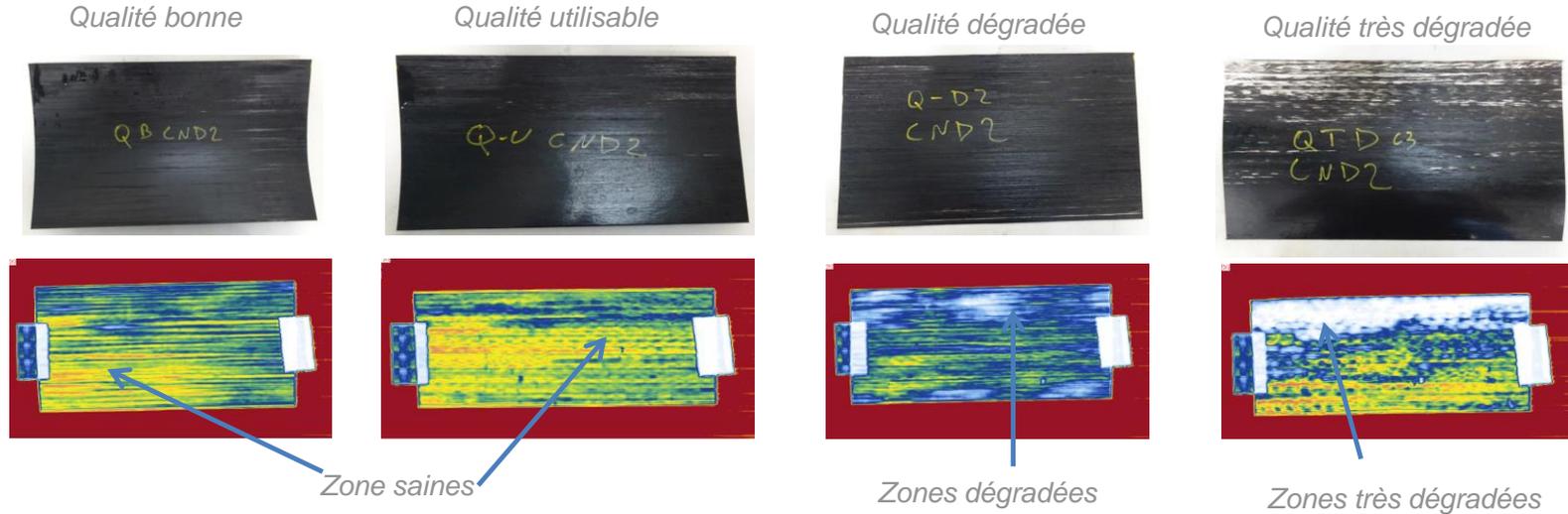
B-scan en réflexion



Protocole optimisé : B-scan en double transmission

# ... par ultrasons de tapes thermoplastiques pultrudés

## ► Qualification du procédé de contrôle sur des tapes de qualité variable



⇒ Identification de seuils d'acceptation de défauts

## ... par ultrasons de tapes thermoplastiques pultrudés

- ▶ Spécifications de l'outillage mécanique de contrôle associé à l'instrumentation ultrasonore
- ▶ Intégration sur site et validation des performances

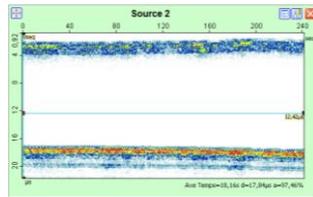
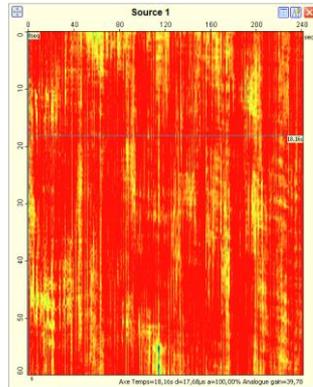


# ... par ultrasons de tapes thermoplastiques pultrudés

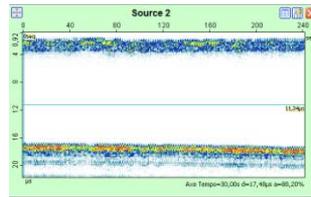
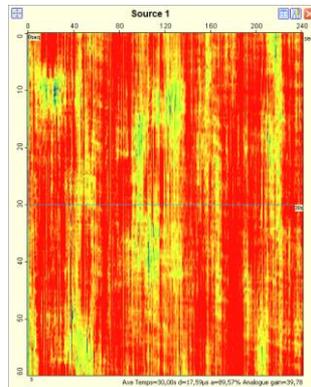
## ► Validation des performances



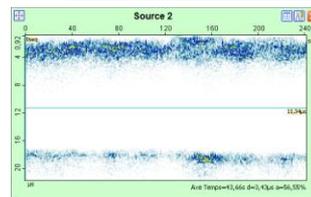
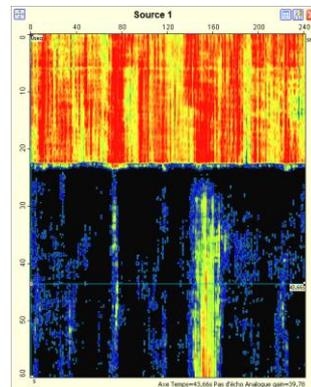
Qualité bonne



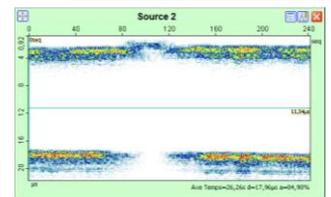
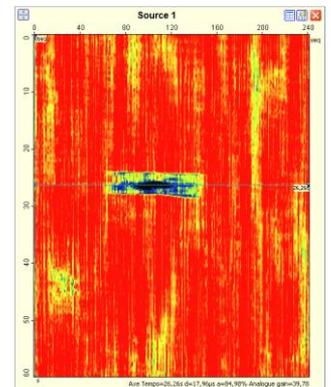
Qualité utilisable



Qualité très dégradée



Scotch + insert mousse



# Contrôle en ligne par ultrasons

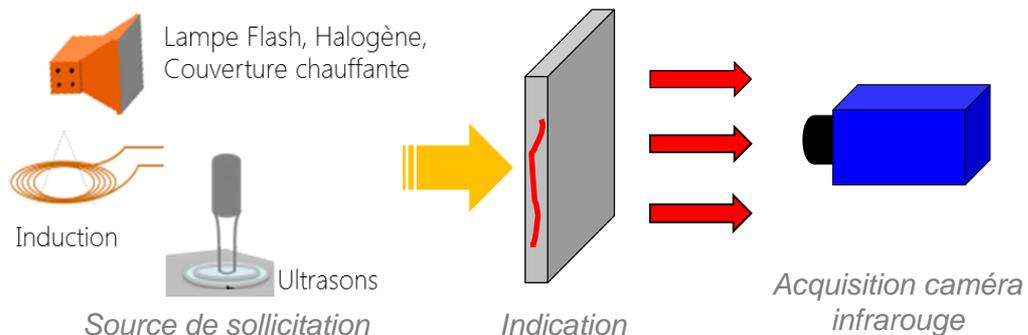
## ► Avantages

- Bonne sensibilité aux défauts survenant dans les métalliques et composites
- Dimensionnement des défauts
- Amélioration de la sensibilité grâce à l'optimisation des réglages : focalisation de faisceau, algorithme auto-adaptatif à la surface ...
- Cadence d'inspection en accord avec les contraintes industrielles
- Analyse facilitée grâce à l'imagerie
- Traçabilité des résultats
- Définition des seuils d'acceptation des défauts (niveau, étendue...)
- Intégration d'alarmes visuelles, de marquage automatique des indications et de l'établissement de PV automatique

# Thermographie infrarouge

## Principe

### ► Thermographie Active



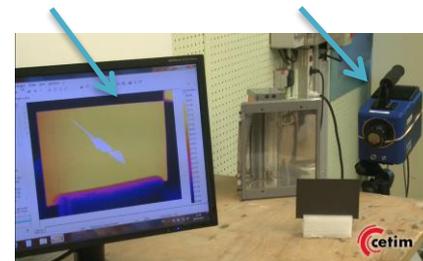
### ► Thermographie Passive

Observation par caméra thermique d'un phénomène émettant naturellement de la chaleur

## Caractéristiques

- ▶ Détection de délaminages, corrosion, infiltration d'eau, fissures, décollements...
- ▶ Méthode globale et sans contact
- ▶ Adaptées aux structures métalliques et composites

Lampe flash      Caméra IR



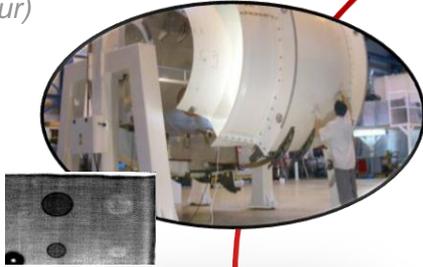
*Dispositif expérimental – détection de délaminage sur plaque*



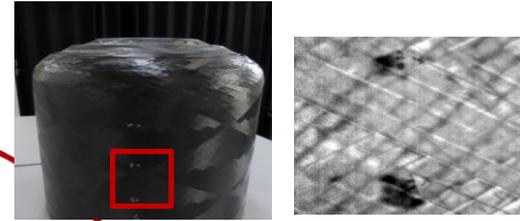
# Thermographie infrarouge

## De nombreuses applications

*Inspection sur produits finis  
(capot moteur)*

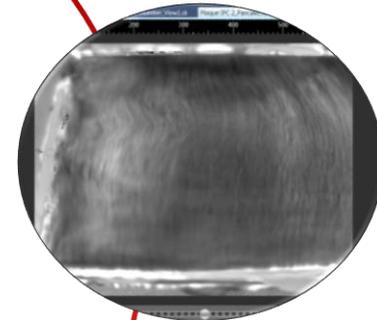


*Evaluation intégrité structurelle  
(réservoir composite)*

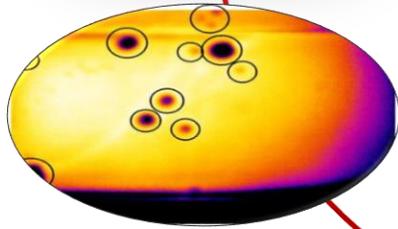


## Thermographie infrarouge

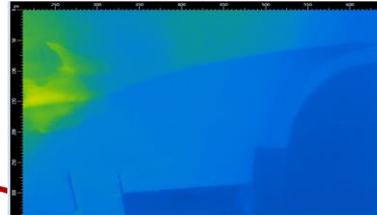
*Détermination de l'orientation de renfort sur plaque*



*Contrôle en maintenance d'un tableau  
de bord*



*Inspection de coques de  
bateau*



... par thermographie infrarouge

## Filament winding process monitoring by thermography

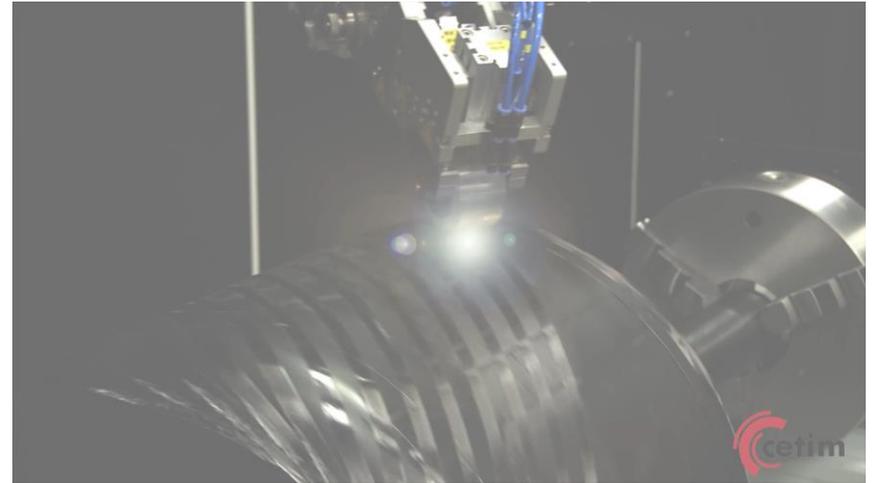
Summary:

- Filament winding process

- NDT method evaluation

- Online system integration

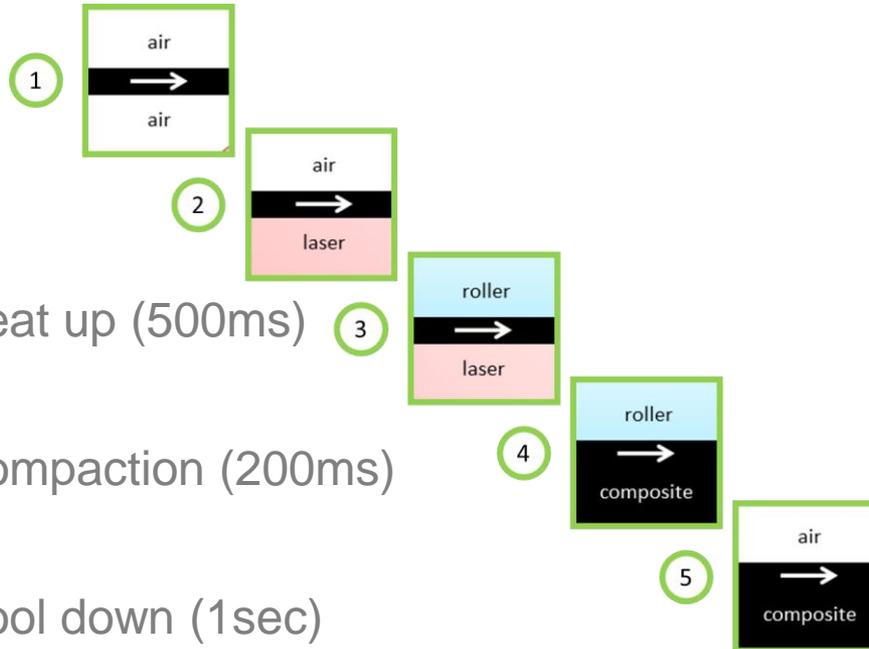
- Conclusions – further work



# Filament winding process monitoring by thermography

## Filament winding process

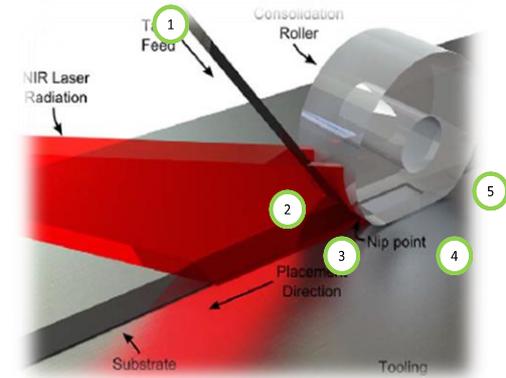
### ► Temperature & pressure cycle



### ► Heat up (500ms)

### ► Compaction (200ms)

### ► Cool down (1sec)



Christopher M. Stokes-Griffin, *A Combined Optical-Thermal Model for Laser-Assisted Fibre Placement of Thermoplastic Composite Materials*, PhD thesis, 2015

### Concerns on welding quality:

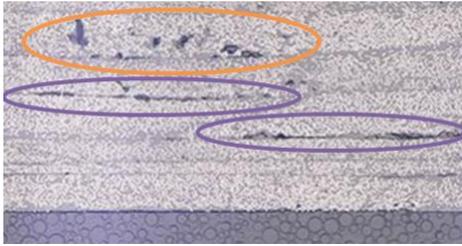
- Hard diffusion through the substrate
- Hidden zone not reached by the laser



# Filament winding process monitoring by thermography

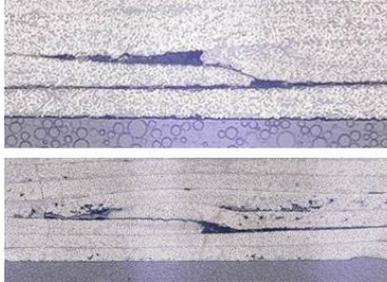
## Filament winding process

- ▶ Two types of defects
  - ▶ Intra tape defects: porosities, lack of impregnation



← lack of fibers

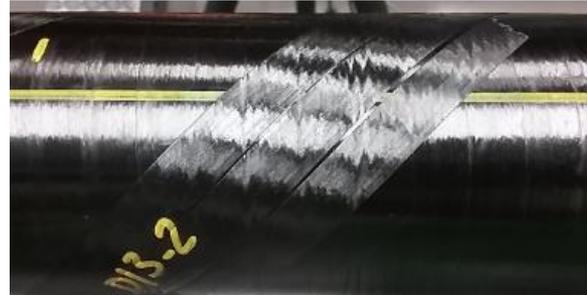
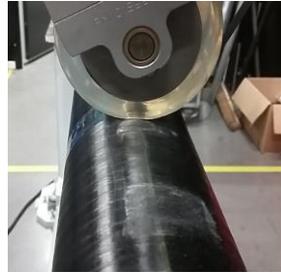
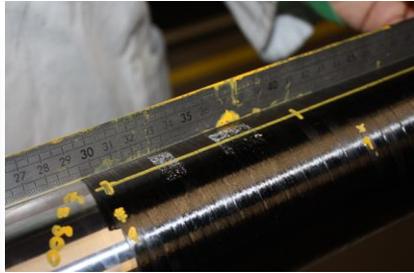
- ▶ Inter tape defects : overlaps, gaps



# Filament winding process monitoring by thermography

## NDT method evaluation

### ▶ Defect implementation



### ▶ Infrared thermography setup

- ▶ Inspection during the filament winding process (7m/min speed)
- ▶ Passive Thermography : Real Time evaluation of the temperature distribution measured on the tape surface during the cooling phase following thermoplastic welding
- ▶ Active Thermography : Synchronized flash lamp excitation after each winding layer on a defined area

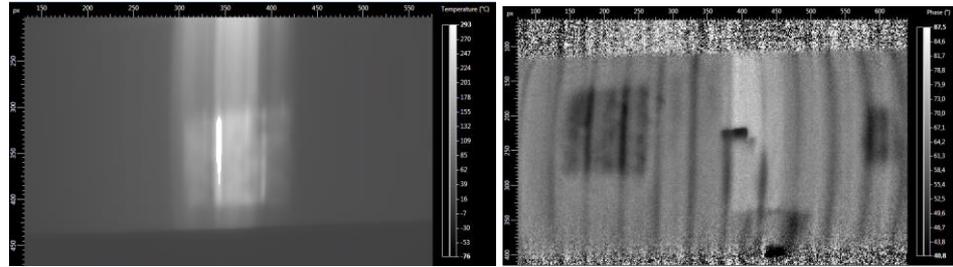


# Filament winding process monitoring by thermography

## NDT method evaluation

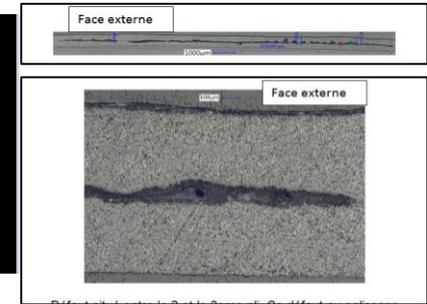
- ▶ Intra tape defect detection
  - ▶ Detection of intra tape porosities (simulated by glass spheres and glue thin layer)

**Defect type 1:**  
glue layer +  
glass microspheres

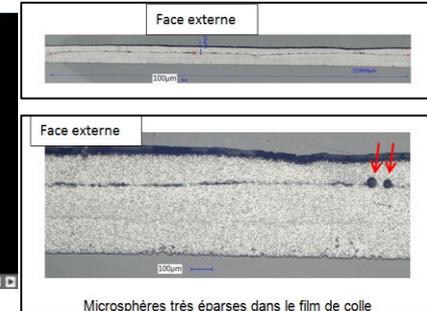
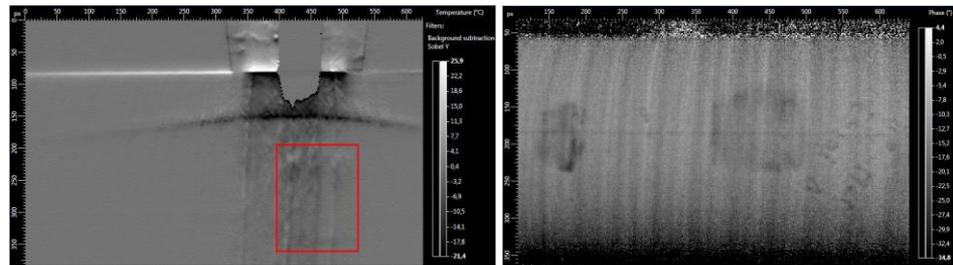


*Passive IR Thermography*

*Active thermography*



**Defect type 2:**  
Thin glue layer +  
glass microspheres



Microsphères très éparées dans le film de colle

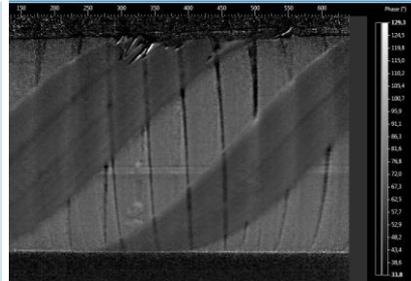
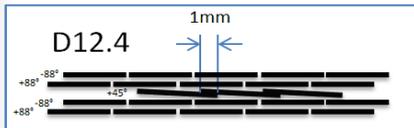
# Filament winding process monitoring by thermography

## NDT method evaluation

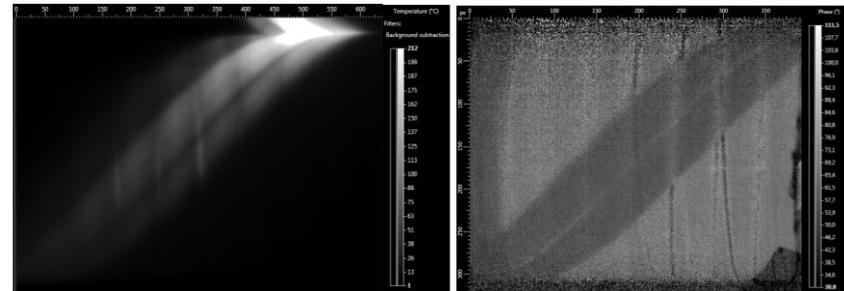
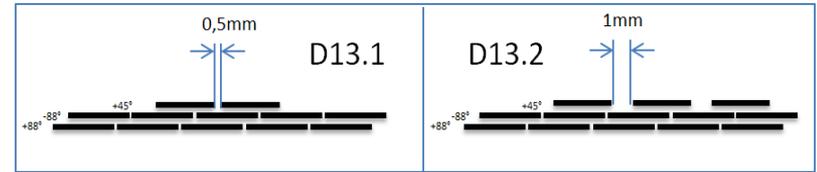
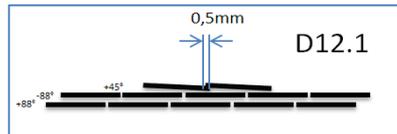
- ▶ Intertape defect detection
  - ▶ Detection of winding defects : overlap / gaps



Passive IR Thermography –  
detection of 1 mm overlap (D12.4)



Active IR Thermography –  
detection of 1mm and 0,5 mm  
overlap (D12.1)



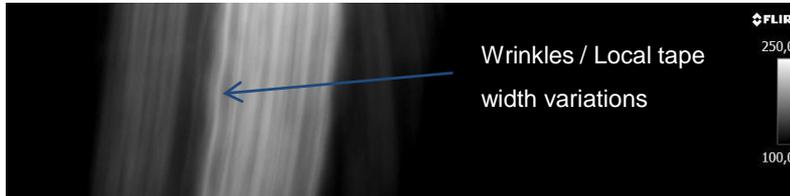
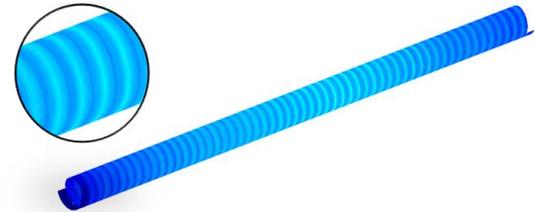
Passive IR Thermography –  
detection of 1 mm gap

Active IR Thermography –  
detection of 0,5 mm gap

# Filament winding process monitoring by thermography

## NDT method evaluation

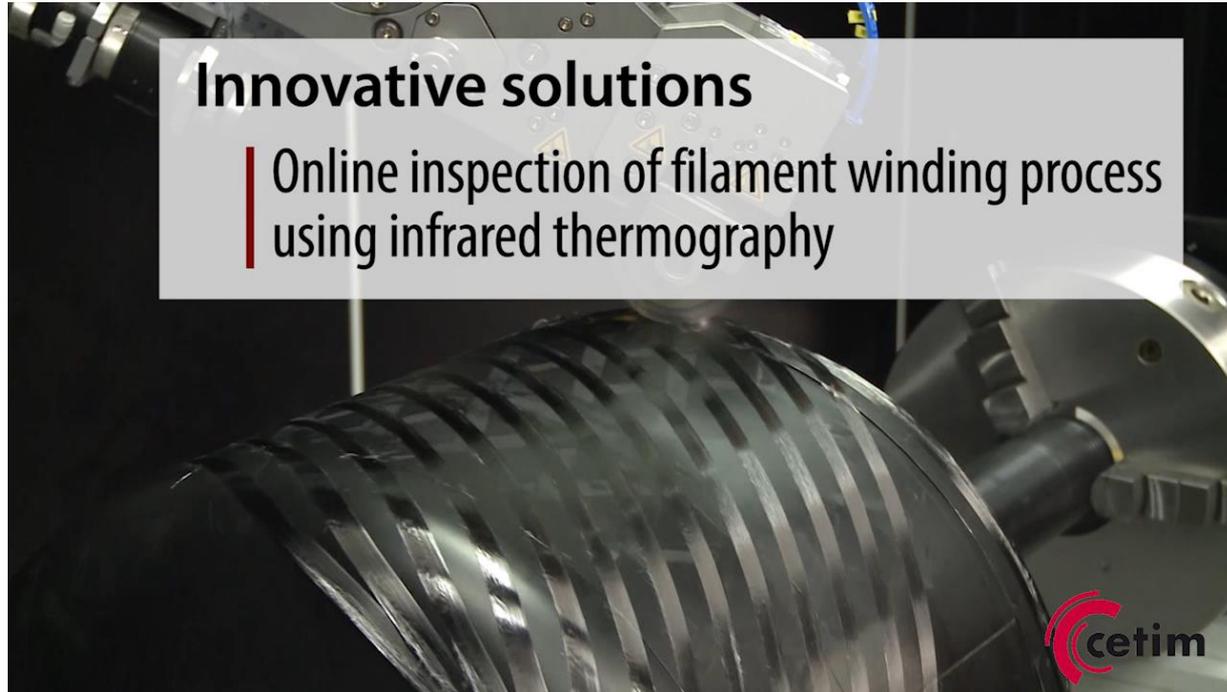
- ▶ Conclusions
  - ▶ Better sensitivity for active thermography
  - ▶ Ease of implementation for passive thermography
- ▶ Selection of passive thermography for the online integration
- ▶ Additional information
  - ▶ process temperature stabilization
  - ▶ Other defect detection: wrinkles, tape heterogeneities



# Filament winding process monitoring by thermography

## Online integration

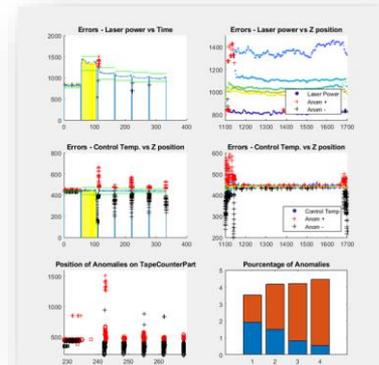
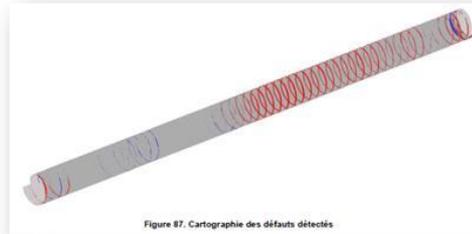
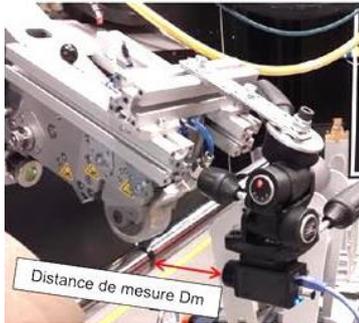
- ▶ Tooling conception
- ▶ Validation tests (Sizing tests, Reliability evaluation)



# Filament winding process monitoring by thermography

## Benefits

- ▶ Inspection of each layer of the part
- ▶ Good resolution (detection of 1mm overlap and 1mm gap, air gap)
- ▶ Ease of interpretation



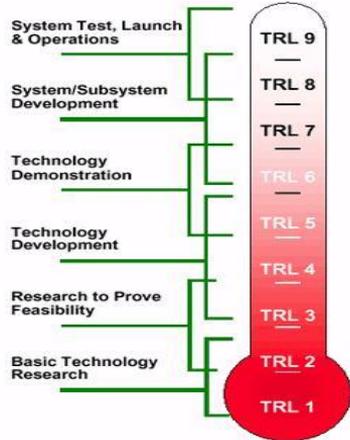
# Thermographie infrarouge passive et active

## Apports de la thermographie infrarouge

- ▶ Globale, non intrusive, sans contact
- ▶ Applicable à de nombreux matériaux et types de défauts
- ▶ Détection de délaminages, décollements, fissures, infiltrations d'eau...
- ▶ Large choix de sources d'excitation adaptées aux contraintes industrielles
- ▶ Traçabilité des résultats
- ▶ Possibilités d'automatisation

# Contrôle en sortie de production

## Cycle de vie d'un composant mécanique



### Technologies :

- Ultrasons
- Thermographie IR
- Emission Acoustique
- ...
- TRL ~ 6-9

Production série

Contrôle des produits finis

**Défauts**

Défauts de production :  
porosités, fissures, délaminages,  
inclusions...

... par ultrasons

## Contrôle de hublots d'avion



... par thermographie infrarouge

## Contrôle de tulipes en acier forgé



# Conclusions

- ▶ Contrôle en ligne / Contrôle automatisé en sortie de production
  - ▶ Ultrasons / Thermographie IR adaptés au contrôle automatique
  - ▶ Sanction automatique
  - ▶ Réduction des coûts d'inspection
  - ▶ Réduction du goulot d'étranglement lors du contrôle systématique en sortie de production
  - ▶ Traçabilité des résultats

50.



Vers le futur