

# LES SYSTEMES DE CONTROLE ET DE MONITORING PHYSIQUE

Clarisse POIDEVIN | CEA LIST

**list**



# « Usine du futur », « Industrie 4.0 », « smart manufacturing »

➔ Initiatives & programmes à travers le monde

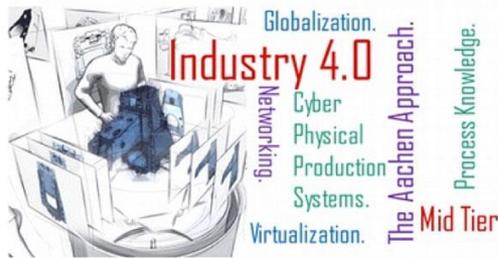
Europe, 2009 : « Factories of the Future »



USA, 2011 : « Advanced manufacturing partnership »



Germany, 2011 : « Industry 4.0 »



UK, 2013 : « Industrial strategy »



France, 2013 : « Industrie du futur »



## Quel lien avec le CND (Contrôle Non destructif) ?

- Systèmes de contrôle intégrés dans la chaîne de production (suivi de process conformité des produits)
  - Enjeux : coût, efficacité, performances
- Nouveaux procédés de fabrication et nouveaux matériaux
  - Enjeux : qualification des procédés, automatisation des contrôles

# L'USINE DU FUTUR

## Technologies innovantes en CND

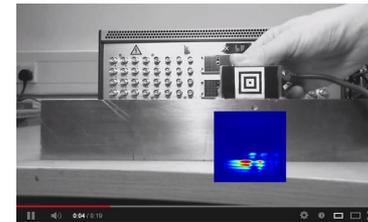
### \* L'USINE TOURNEE VERS L'HOMME

- Outils d'aide à l'opérateur (ergonomie, assistance)
- CND augmenté
- Formation



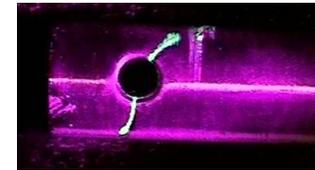
### \* L'USINE « INTELLIGENTE & AGILE »

- Outils numériques, simulation intégrée
- Diagnostic automatique,
- Contrôles adaptatifs et reconfigurables



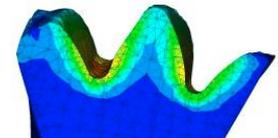
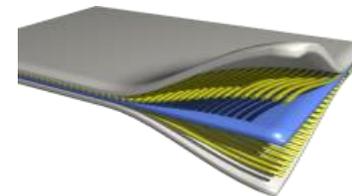
### \* L'USINE « RESPONSABLE »

- Suivi/optimisation du process
- Techniques non polluantes

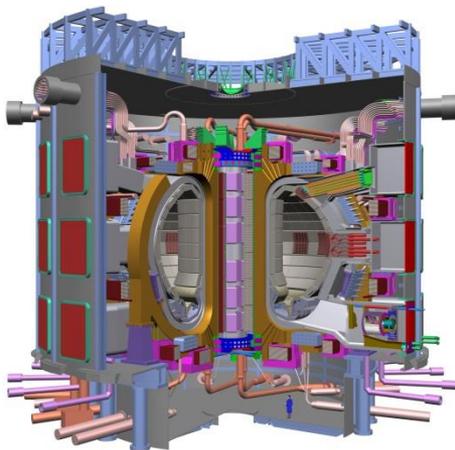
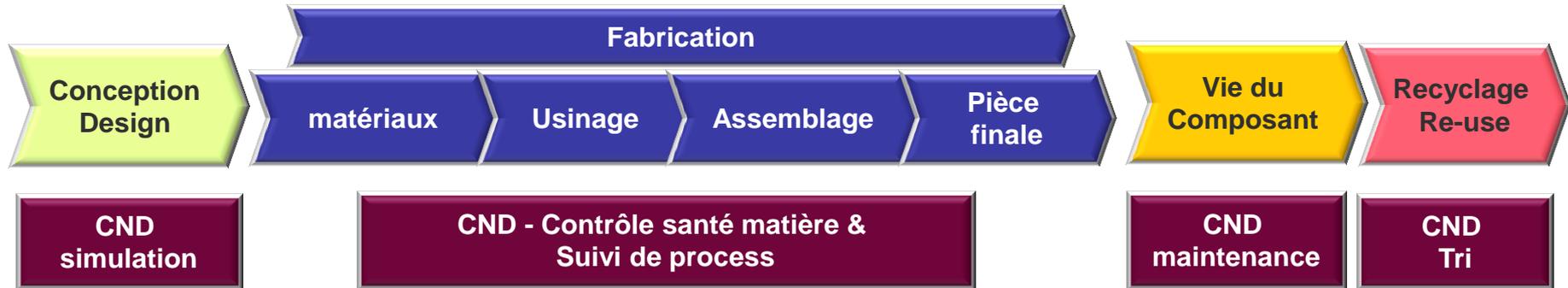


### \* L'USINE DU FUTUR INTEGRERA DE NOUVEAUX PROCEDES ET MATERIAUX

- Fabrication additive
- Composites, nouveaux procédés d'assemblages
- Monitoring continu (SHM)



## LE CONTRÔLE DANS LE CYCLE DE VIE DES COMPOSANTS



ITER : Design des soudures du tokamak pour assurer leur contrôlabilité



SNECMA : inspection robotisée des moteurs d'avions



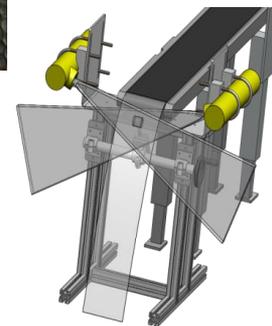
NUCLEAIRE – inspection de tubes



Contrôle du moyen de production



Opération de maintenance aéronautique



Tri de matériaux

## CND en phase de Conception / Design

- **Pratiques actuelles** : utilisation de la simulation pour l'évaluation de la contrôlabilité des composants
- Quelles évolutions pour demain ?
- chaîne complète numérique intégrant logiciels de conception/design, CND et mécanique

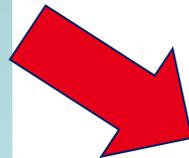
Illustration à travers une application à un composant en matériau composite

### Design software

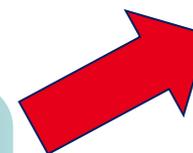
- CATIA CPD
- WiseTex
- TexComp



Forward Link



Backward Link



- **NDE platform**

CIVA  
N·D·E |



### Mechanical analysis

- ABAQUS



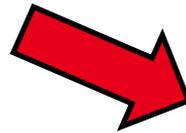
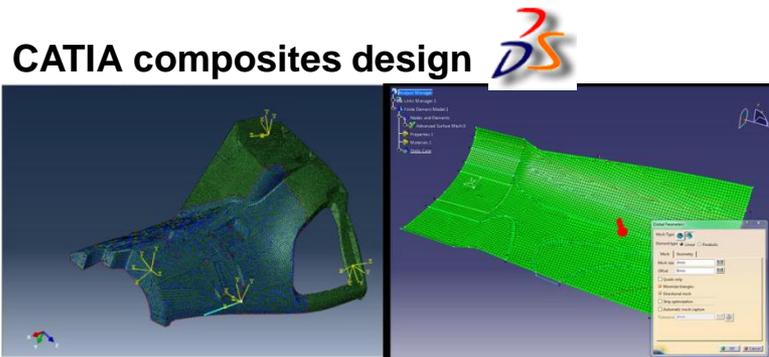
From FP7 EC funded project « SIMPOSIUM »



**SIMPOSIUM**  
Interoperable NDE simulation tools

## CND en phase de Conception / Design

- **En amont** : connexion aux logiciels de design/conception : caractéristiques géométriques, données matériaux



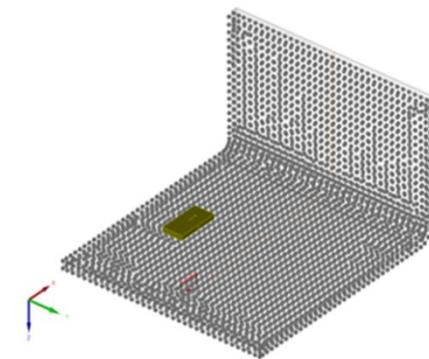
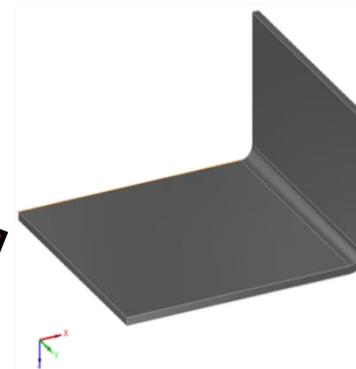
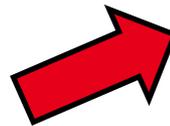
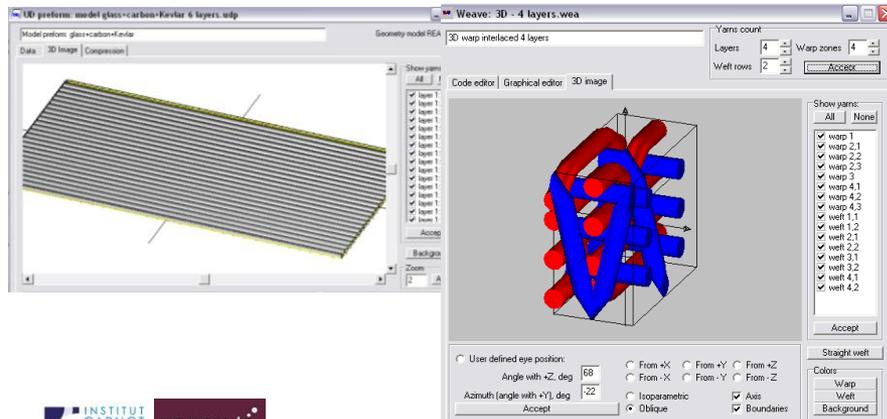
**CIVA**  
N·D·E |

### Simulation CND

Utilisation des données géométriques et des propriétés matériau (constantes élastiques, orientation crystallographique...)

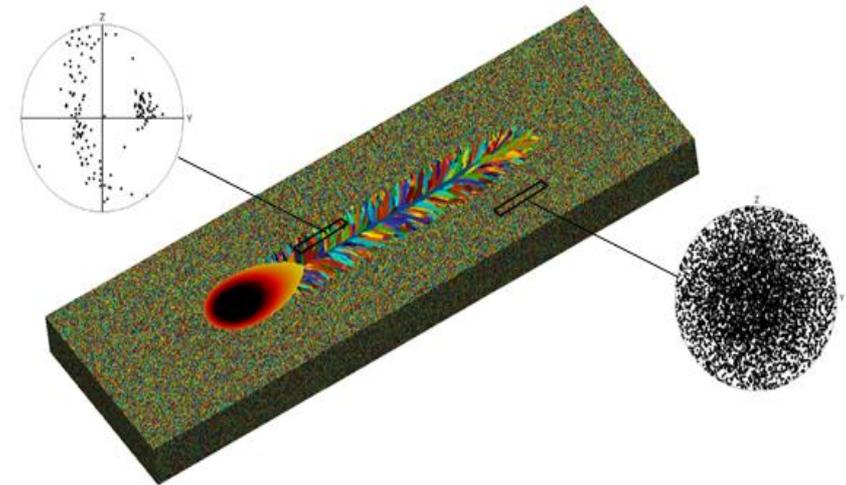
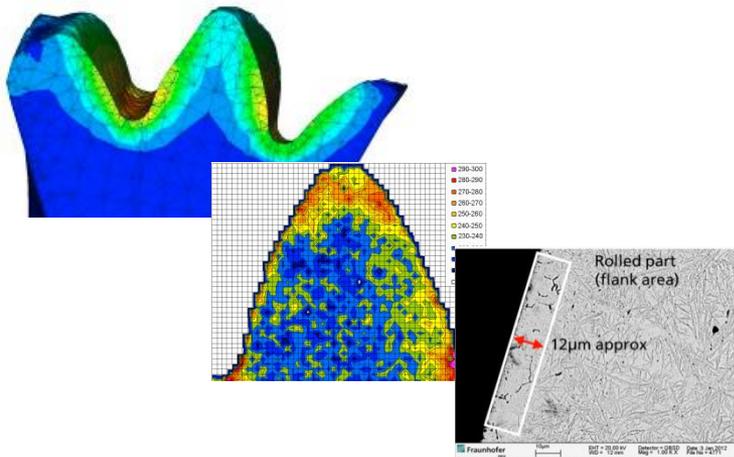
WisTex/TextComp

**KU LEUVEN**



## CND en phase de Conception / Design

- **Modélisation des procédés d'élaboration des structures**  
du matériaux de base au produit fabriqué  
propriété matériaux, contraintes, défauts de fabrication,
  - Welding,
  - press hardening
  - Joining...

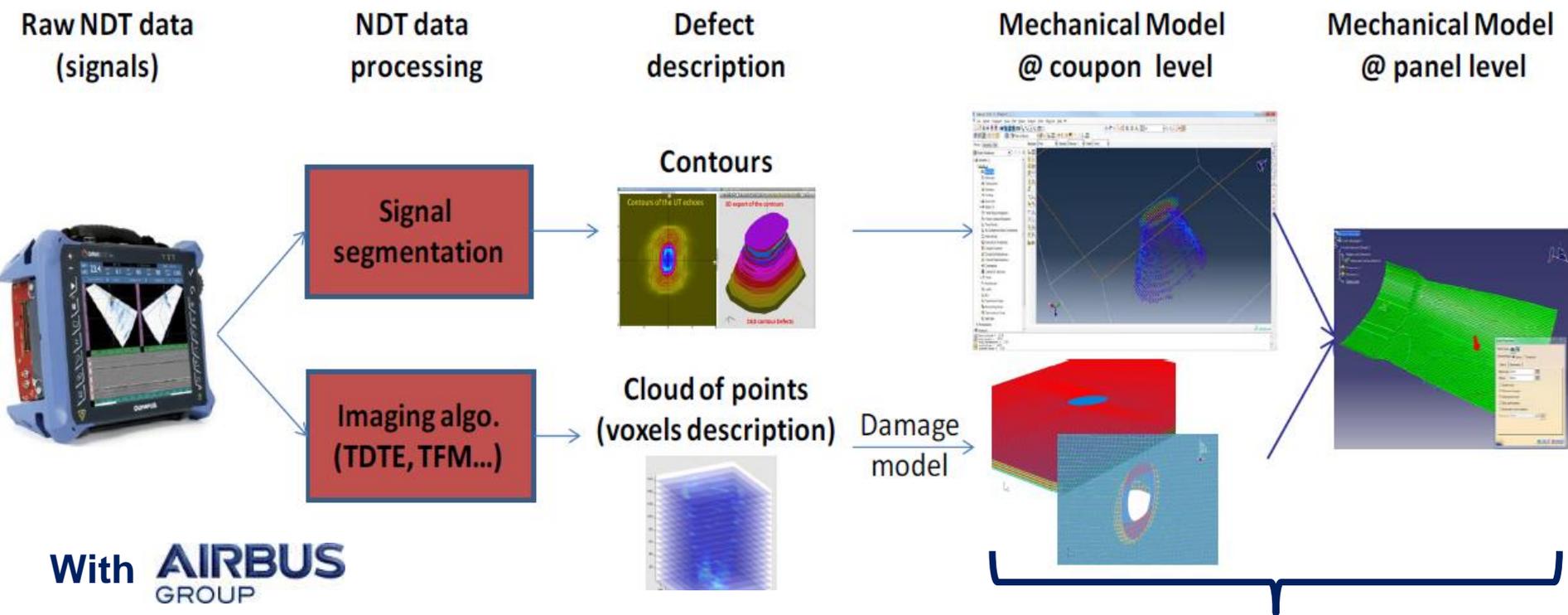


*Simulation of welding process (CEMEF)*

*Simulation of press hardening process (Fraunhofer)*

**CND en phase de Conception / Design**

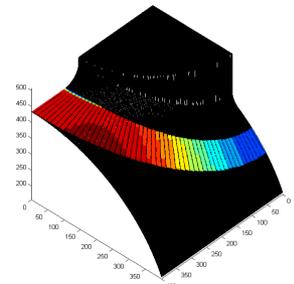
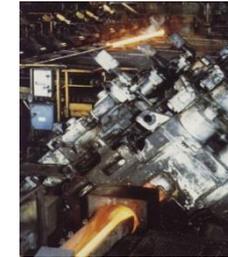
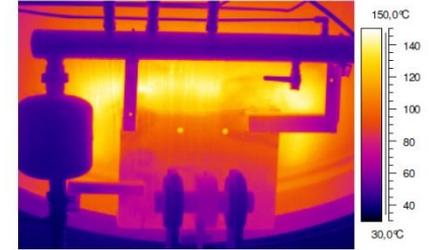
- Exploitation des données issues de la simulation CND (caractéristiques des défauts) pour **l'analyse des propriétés mécaniques** (« impact des défauts présents dans la pièce »)



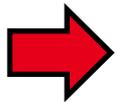
With AIRBUS GROUP

## Contrôles en fabrication

- **Pratiques actuelles**
  - Encore beaucoup de techniques traditionnelles
  - Usage peu répandu des contrôles robotisés (précisions et flexibilité insuffisants pour les besoins des opérateurs)
  - Peu d'outils numériques en aide aux opérateurs
- **Quelles évolutions pour l'usine du futur ?**
  - Capteurs intelligents, inter-connectés
  - Des outils d'analyse, de diagnostic automatique (traitement d'un grand volume de données)
  - Contrôles robotisés fiables, performants
  - Des outils d'assistance aux opérateurs, CND augmenté
  - Outils/moyens attractifs pour la jeune génération

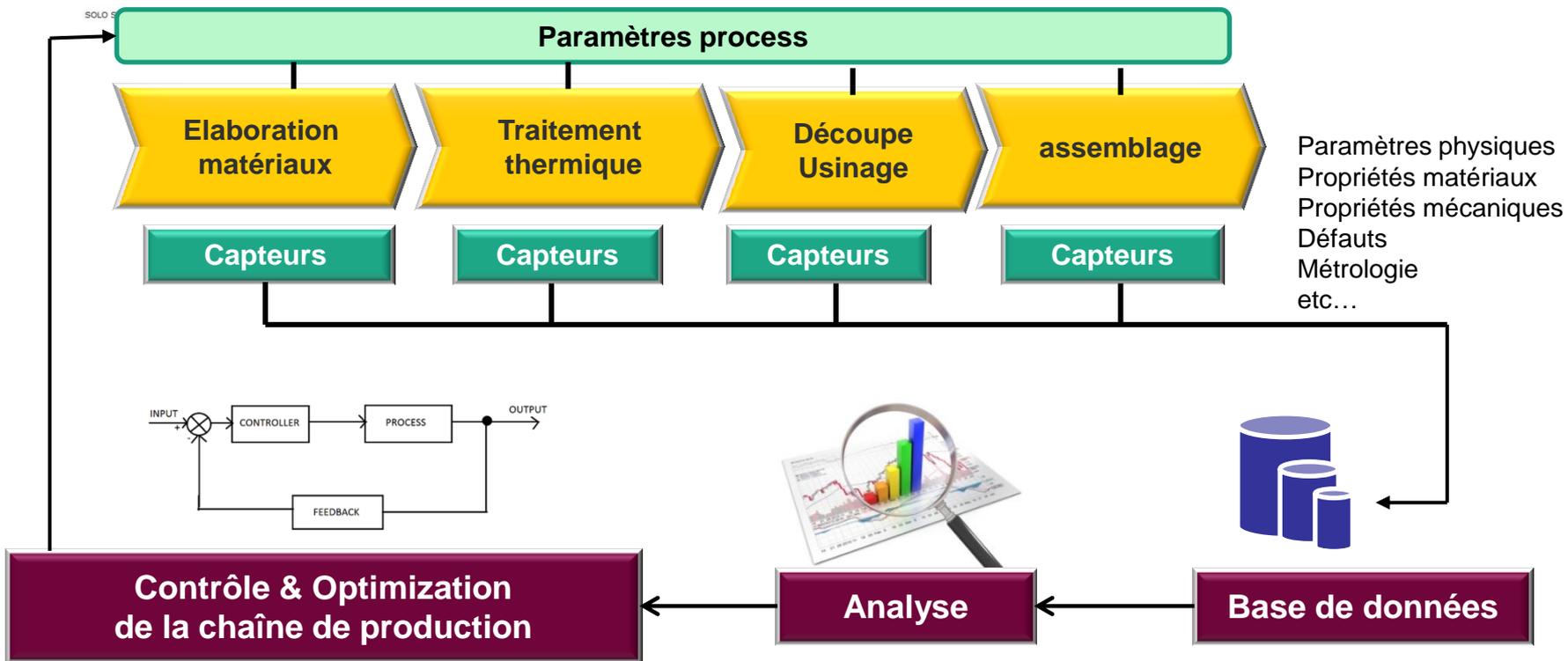
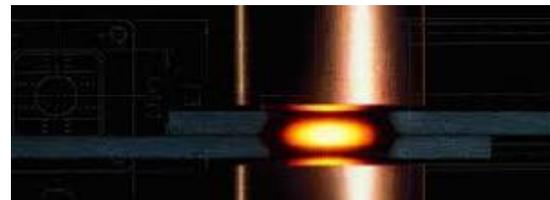
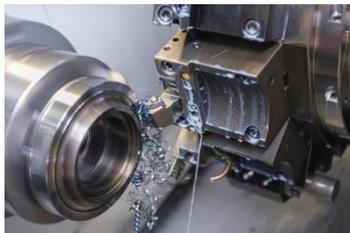


## « Advanced manufacturing »



*Advanced Manufacturing is the integration of technology based systems and processes in the production of products (fit, form, and function) to the highest level of quality and in compliance with industry specific certification standards*

# Process Monitoring



## CND robotisés

- Développements technologiques en cours :

UT



Mise en œuvre d'un capteur multi-éléments flexible ultrasons



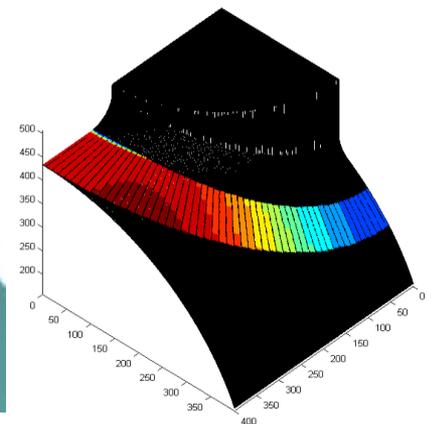
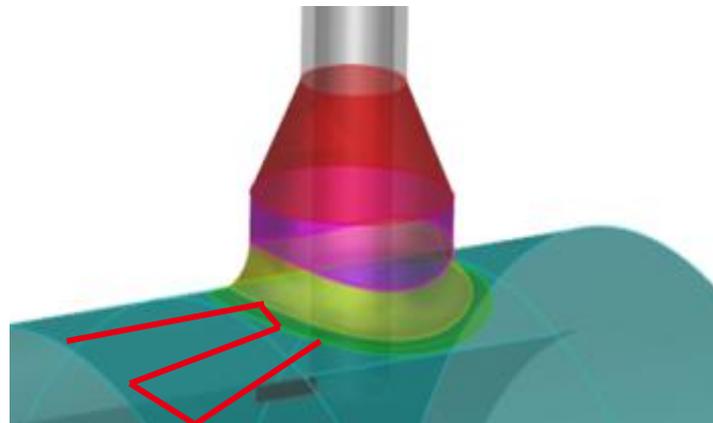
CT

Tomographie X robotisée

### Outils de simulation :

Optimisation et programmation des trajectoires et des réglages

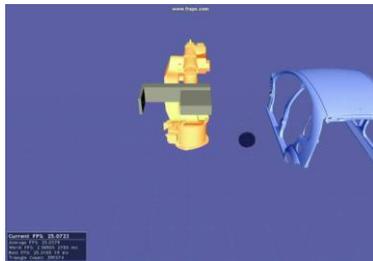
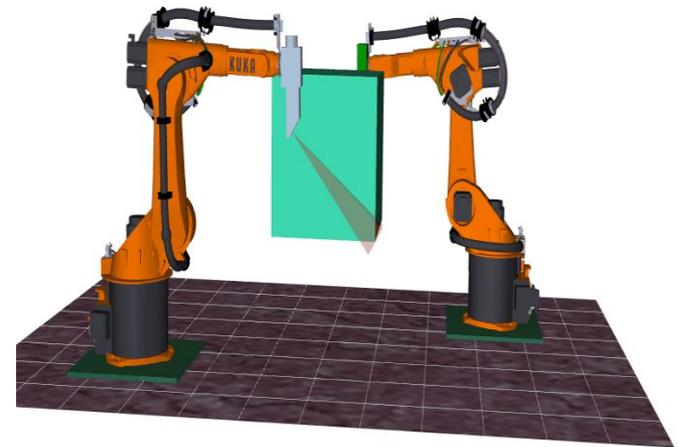
**CIVA**  
N·D·E·I



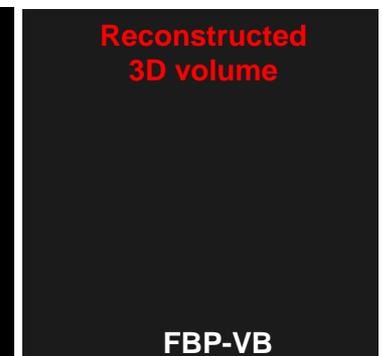
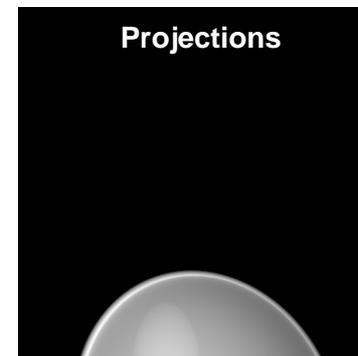
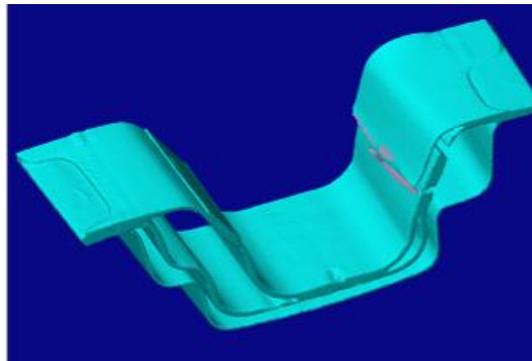
## CND robotisés

### OPTIMISATION DE TRAJECTOIRE EN TOMOGRAPHIE X ROBOTISÉE

- 3D robot-CT
  - Objets de grandes dimensions
  - Imagerie locale
  - Détection de défauts
  - Metrologie



1 C-Arm robot



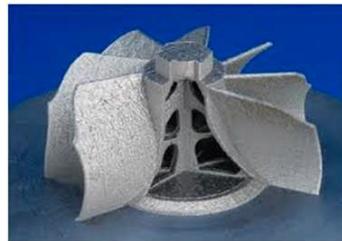
2 master-slave robots for large samples

## Nouveaux procédés et matériaux

- **La fabrication additive**

Des freins technologiques

- Vitesse d'impression
- Nombre limité de matériaux disponibles (environ 200 matériaux adaptés), propriétaires ou non
- **Répétabilité, reproductibilité & précision du process, Contrôle du process**
- **Contrôle des Objets finis**
- Adaptation des machines aux nouvelles matières
- Lacunes concernant la normalisation, **la caractérisation**



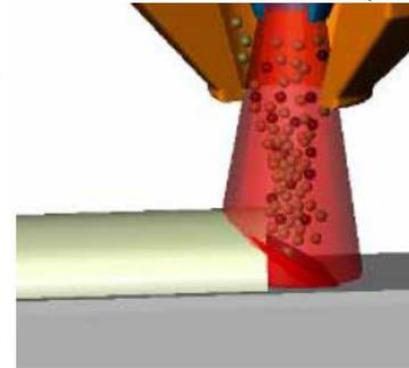
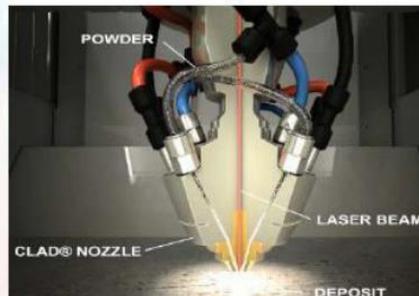
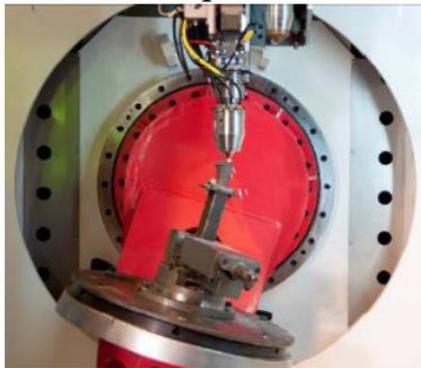
**Besoin de méthodes de CND et caractérisation de matériaux pour démontrer les performances de pièces structurelles**

## Fabrication additive

La fabrication additive s'inscrit dans **une chaîne complète numérique**  
*en aval : CAO, trajectoire procédé et contrôle*  
*en amont : couplage fonctionnalités pièce / optimisation géométrie et matériaux /*  
*simulation procédé et contrôle, simulation nocivité de défauts, durabilité &*  
*vieillessement...*

### Solution Outils Logiciels pour la Simulation de la Fabrication Additive

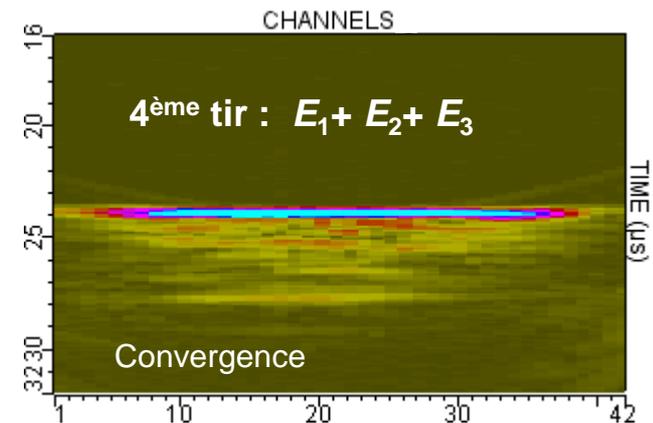
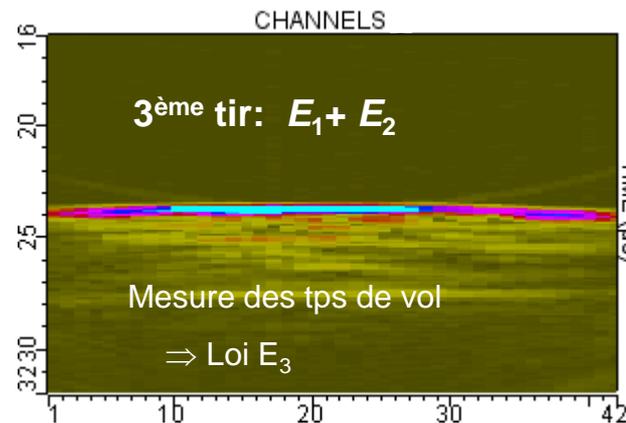
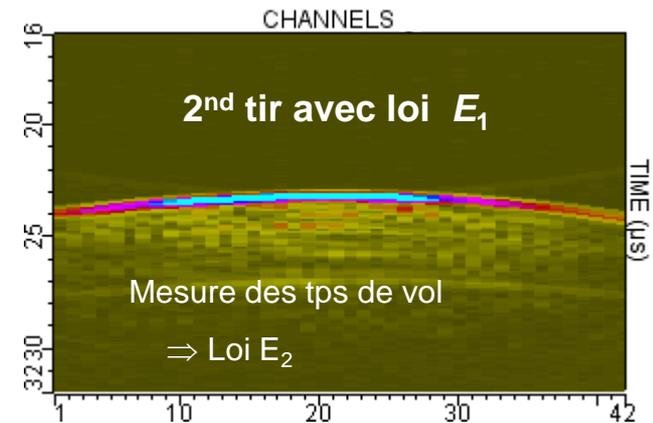
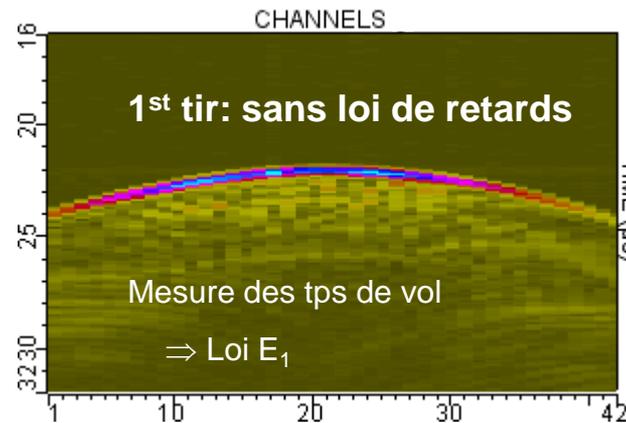
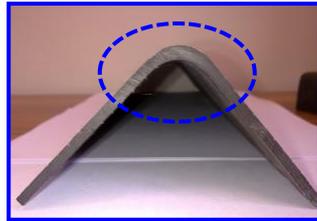
#### Couplage simulation procédé et simulation du contrôle des pièces



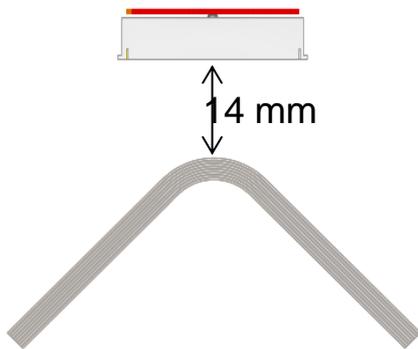
## Contrôle adaptatif de matériaux composites

### Développements technologiques :

- Méthodes de contrôle auto-adaptatif temps-réel



Capteur linéaire  
(5MHz - 42 elts - pitch 0.6 mm)



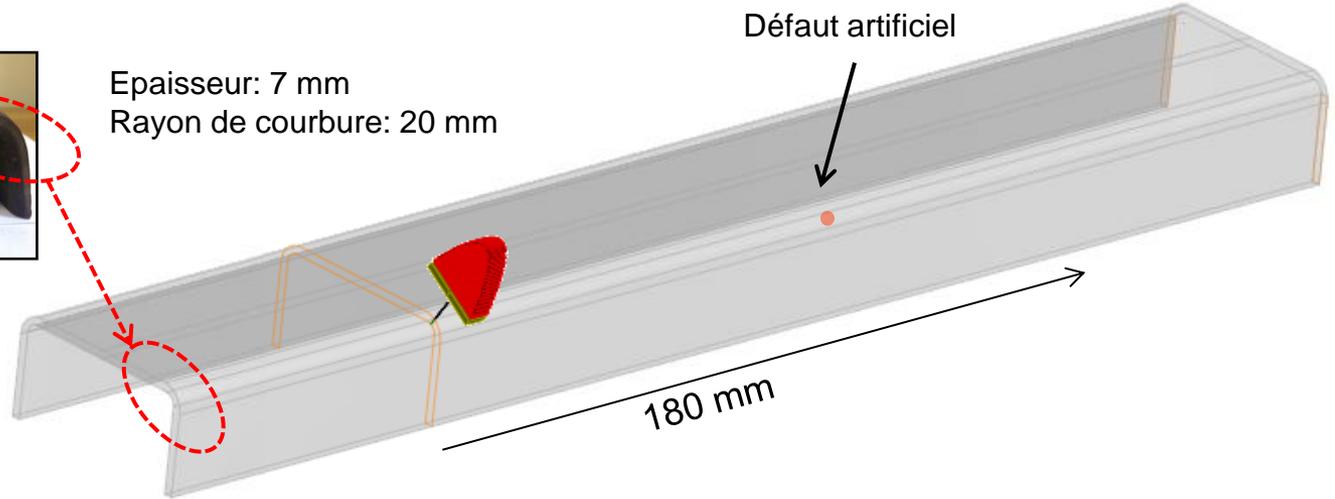
Rayon de courbure: 14 mm  
Épaisseur: 5 mm

## Contrôle adaptatif de matériaux composites

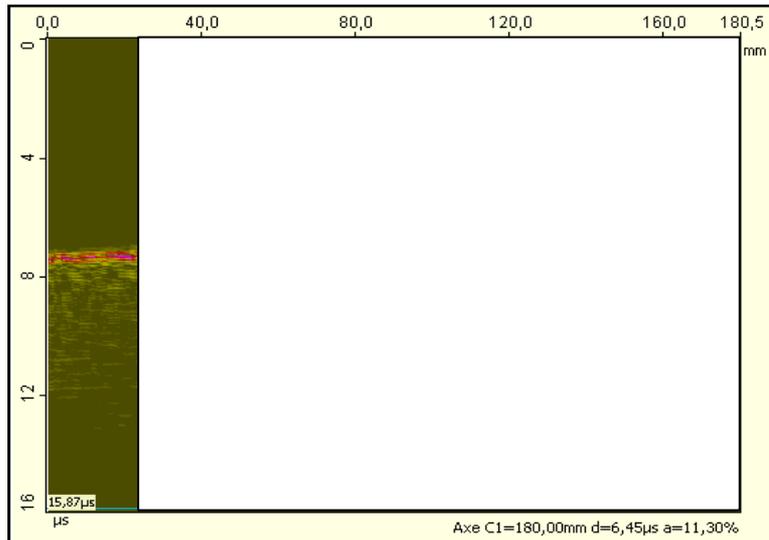


Pièce composite

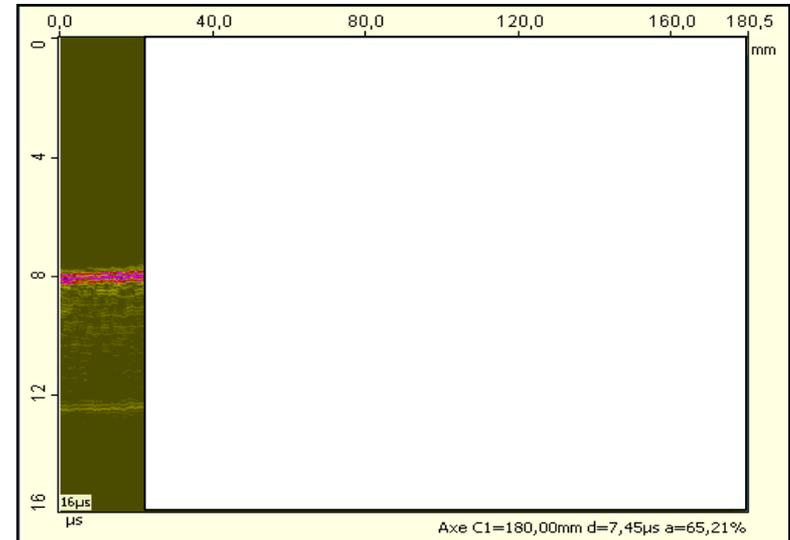
Epaisseur: 7 mm  
Rayon de courbure: 20 mm



Sans application SAUL



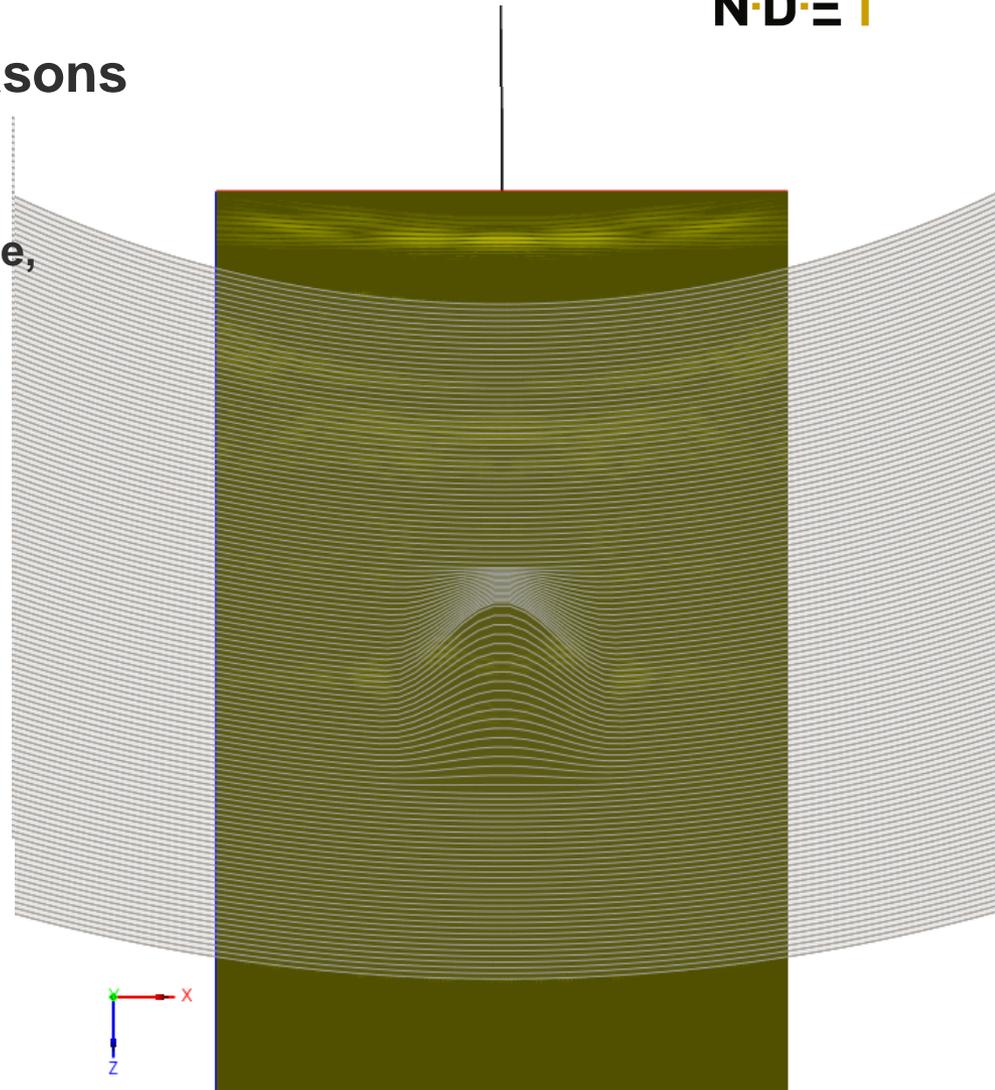
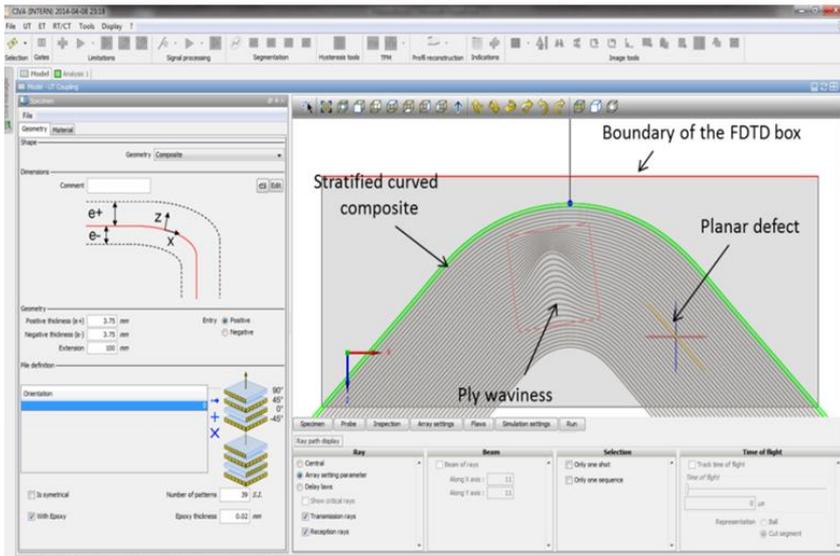
Avec application SAUL (3 itérations)



# Simulation du contrôle de matériaux composites

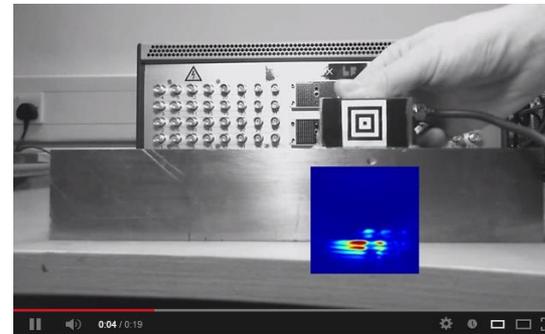
## ➤ Simulation de contrôles ultrasons

**Modèle hybride**  
prise en compte du bruit de structure,  
de défauts réels

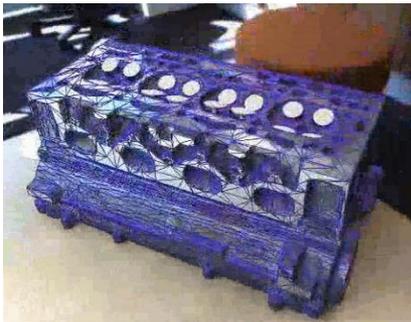


## EVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES

- Quelles applications ?
  - CND « Augmenté » (représentation temps-réel des données)



**Combinaison** vision/imagerie CND  
(tomographie, Ultrasons...)



**Simulation** intégrée à l'acquisition

- Calibration
- Recalage temps-réel
- Diagnostic automatique.
- ...

## SIMULATION INTERACTIVE : OUTIL D'OPTIMISATION

### **MOVING THE FOCAL POINT 1 MODE (Direct L wave)**

**Homogeneous isotropic planar specimen**

**Field Area 100x100**

**Linear Phased Array probe with 32 elements**

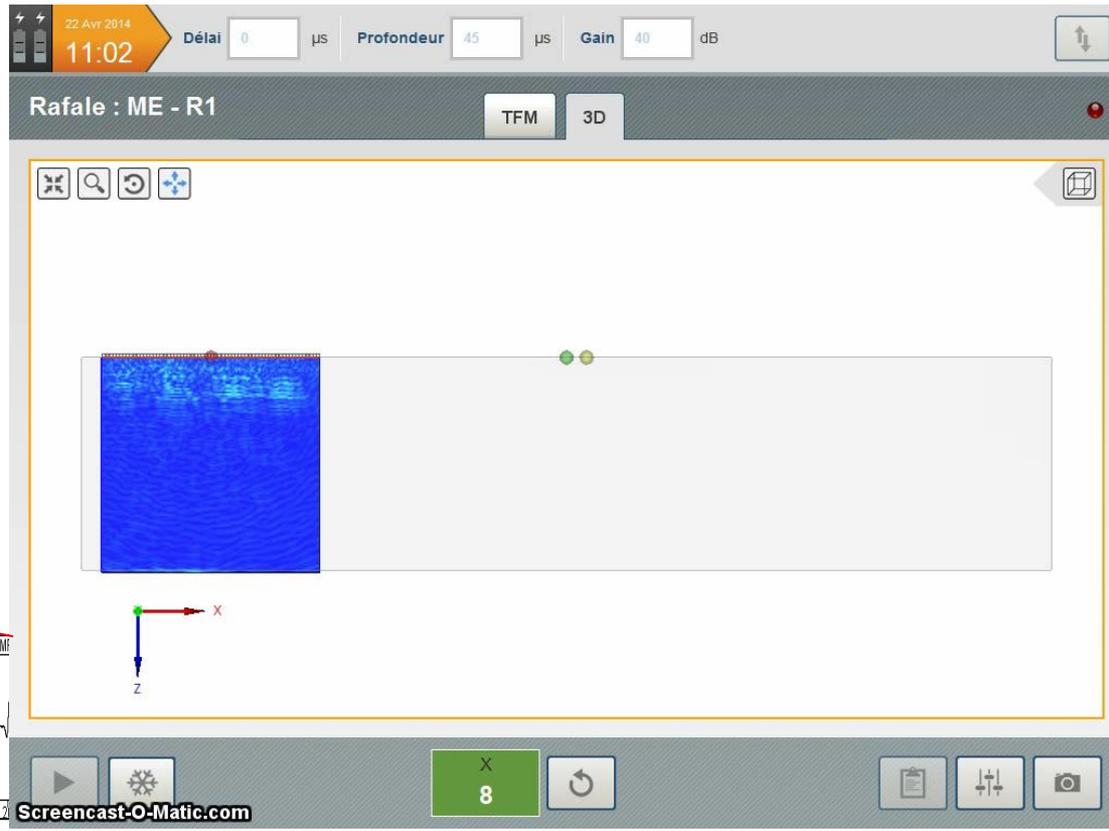
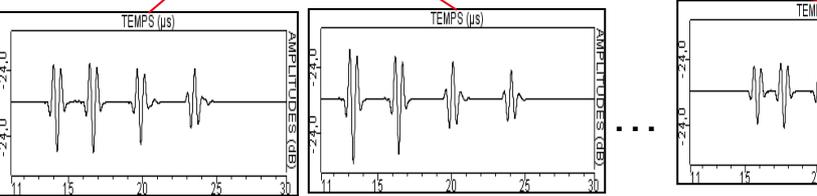
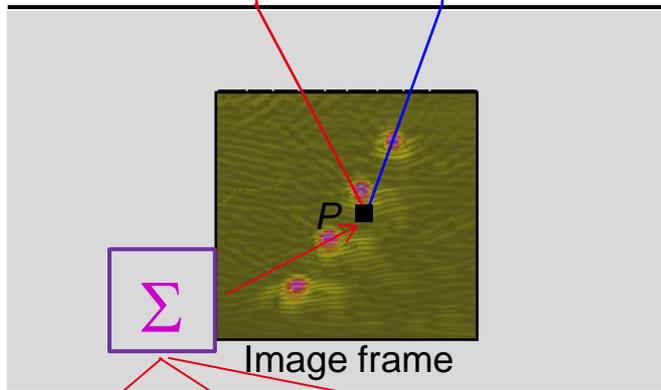
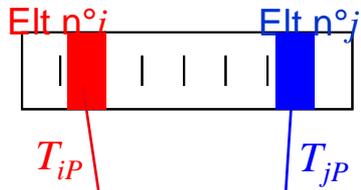
**CPUs Intel Xeon E5-2687Wv2 (Ivy Bridge)**

**2x8 cores @ 3.4 GHz**

# SIMULATION ET IMAGERIE ULTRASONORE

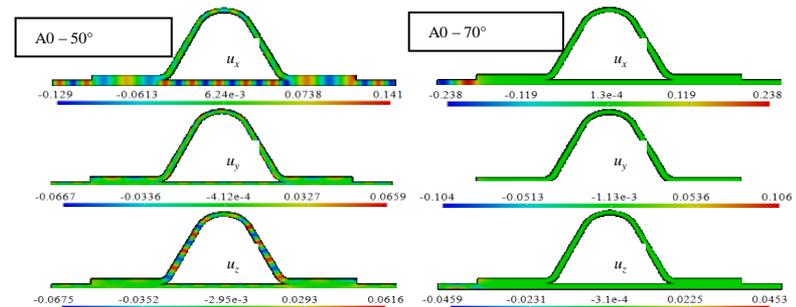
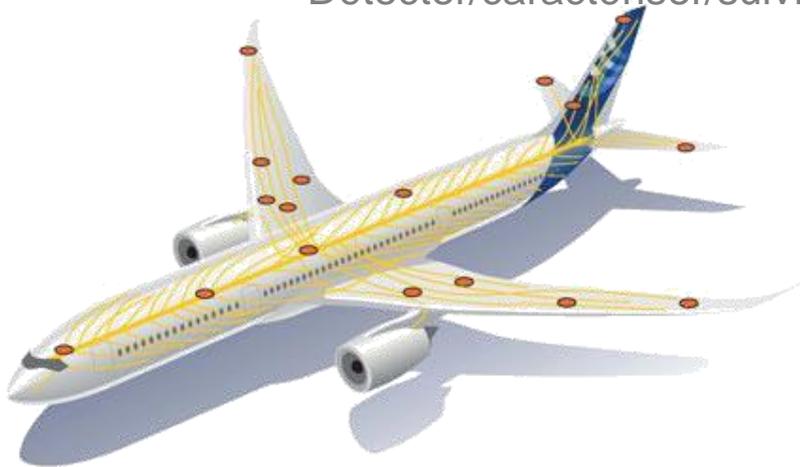


M 2 M



## Structural Health monitoring

- Pratiques actuelles : contrôles périodiques des structures ou déclenchés sur évènements
- Evolution vers :
  - structure monitoring (SHM = Structural Health Monitoring)
    - Quantifier le vieillissement
    - Détecter/caractériser/suivre un défaut (fissure, impact)



Simulation of GW through stiffeners

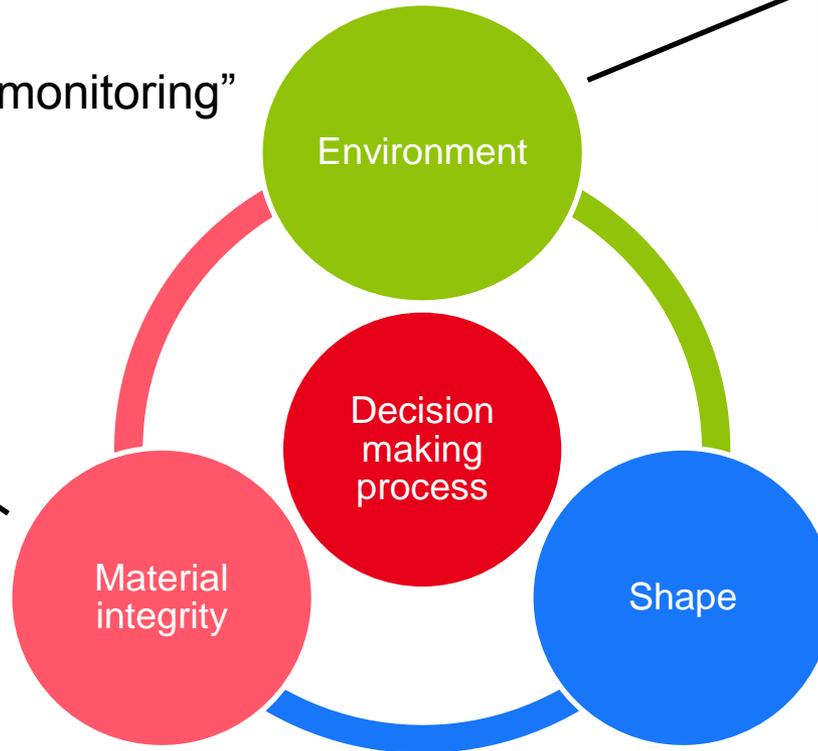
## Simulation

- Interactions capteurs intégrés/structure
- Modélisation de contrôles par ondes guidées de structures complexes
- Sensibilité aux endommagements
- Influence du vieillissement sur le signal

## Structural Health monitoring

“Operational monitoring”

- Temperatures
- Pressures
- Corrosiveness
- Stress
- Acceleration
- Vibrations
- Impact



- Corrosion
- Cracks
- Delamination
- Debondings

“Damage monitoring”

- Profiles reconstruction
- 1D, 2D
- Outrange tolerances detection

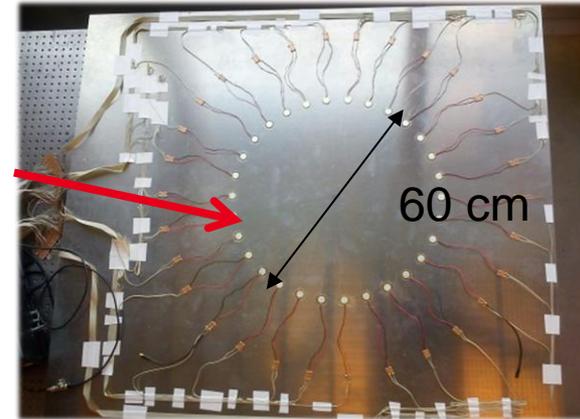
### CHALLENGES

- Intégration et durabilité du système SHM dans la structure
- Fiabilité du diagnostic
- Autonomie et communication
- Démonstration de performances et qualification
- Cyber-sécurité, confidentialité

# Structural Health monitoring

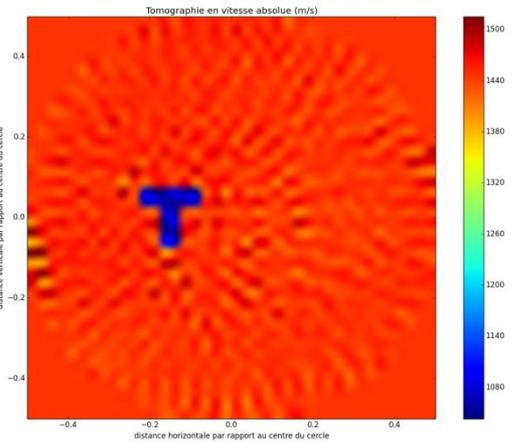
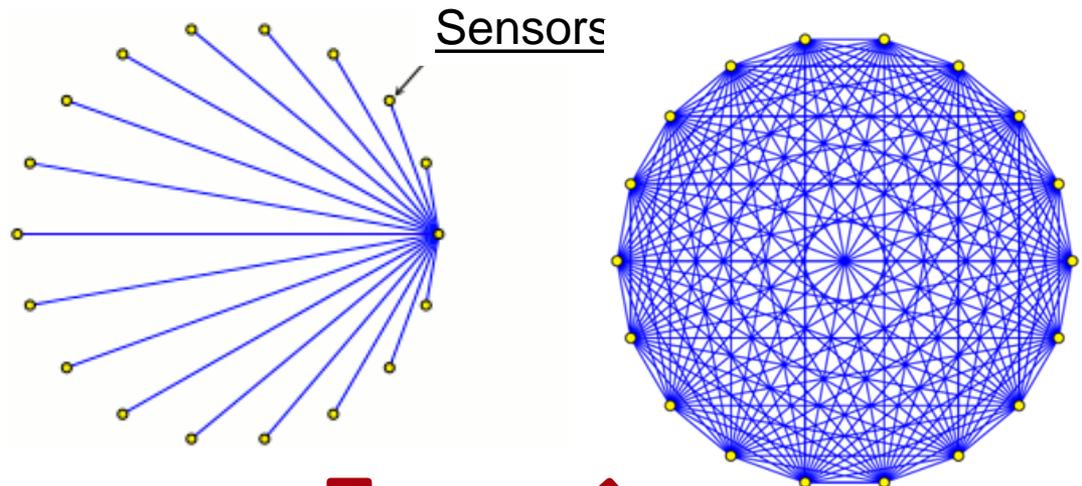
Tomographie passive

PZT sensors



60 cm

“Passive” : No active emission of ultrasounds



Monitoring System

Data Acquisition

Data Analyses for Anomaly Detection

→ Low power corrosion/delamination detection and monitoring system

## CND en phase de recyclage

### Contexte :

- ~ 70% des déchets métalliques dans le monde pourraient être recyclés
- La gestion des déchets repose sur la capacité d'identification, de sélection et d'extraction...
- ... avec des méthodes peu coûteuses, sûres et attractives

➔ un challenge pour les CND !



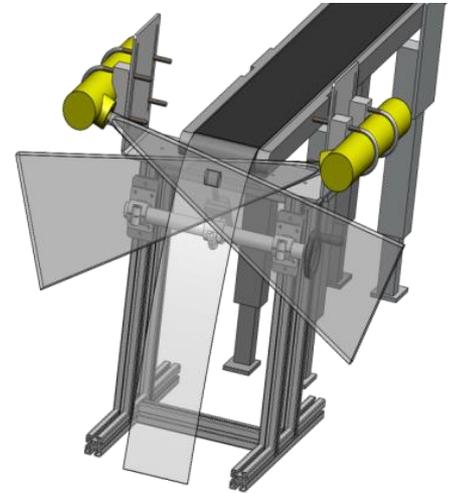
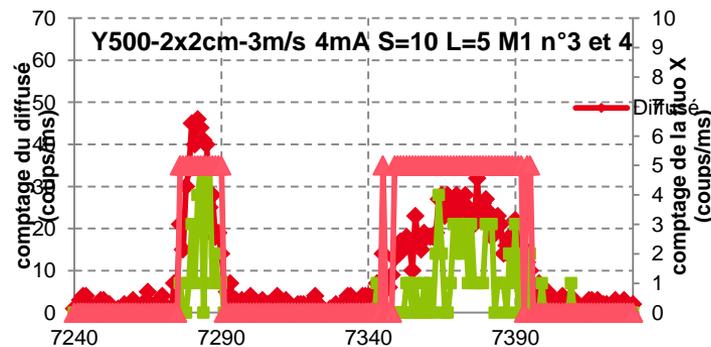
## CND en phase de recyclage

### ➤ Recyclage et traitement de matériaux en fin de vie

- Développement d'un éco-concept par injection de traceurs dans un polymère
- tri automatique par spectrométrie de fluorescence
- Instrumentation d'un pilote de convoyeur de plastiques broyés : générateur de RX + détecteur SDD



© Can Stock Photo - csp1672091





With

