



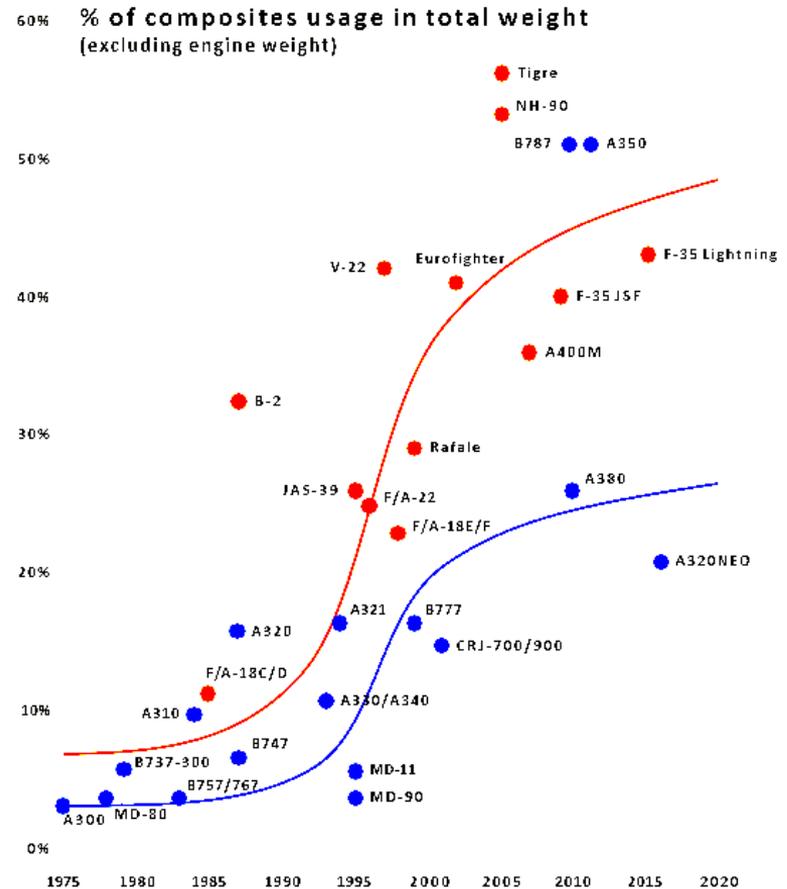
Inspection ultrasonore robotisée de pièces composites

Jérémie GAINÉ, TESTIA

Contexte ←

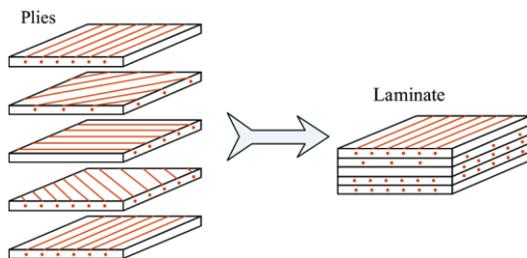
Machines
Robotisées

Briques
technologiques

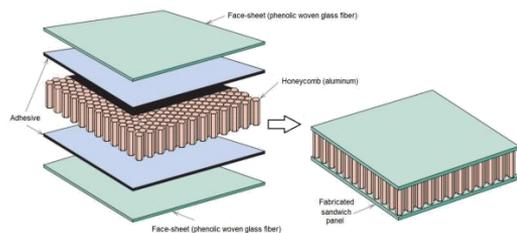


2 familles

▶ Laminés monolithiques



▶ Sandwich



Matériaux

- ▶ Renforts: fibres longues de carbone (plis UD ou tissus)
- ▶ Matrice: résine thermodurcissable ou thermoplastique



- ▶ Noyau: Nida Nomex, mousse...

Procédés

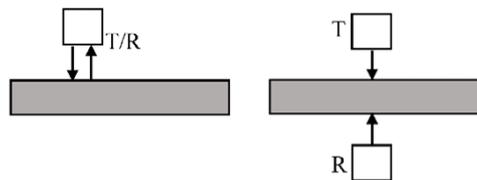
- ▶ Pré-impregnation ou pas
- ▶ Drapage, dépose, tissage, enroulement, pultrusion...
- ▶ Polymérisation en autoclave, dans un moule (injection ou infusion), sous presse...

Spécificités des composites

- ▶ Défauts: corps étrangers, délaminages, décollements, porosité, épaisseurs non conformes...
- ▶ Critères de notation: inserts ou trous à fond plat Ø3 à 6mm
- ▶ Pas d'acquisition: 1 ou 2mm

Pratiques communes

- ▶ Techniques: réflexion pour les pièces monolithiques / transmission pour les sandwich



- ▶ Couplage acoustique: immersion complète en cuve, immersion locale au moyen de boîtes à eau, ou jets d'eau

Tendances

- ▶ Acquisition: chaînes multiéléments et multivoies \Rightarrow balayage surfacique accéléré
- ▶ Enregistrement des données: + riches (Cscans \Rightarrow multipics \Rightarrow Ascans) & en 3D quand nécessaire
- ▶ Analyse des données: aide au diagnostic & automatisation



Cinématique

- ▶ Adaptée au suivi de profils galbés des pièces aérodynamiques grâce aux 6 degrés de liberté des modèles existants

Précision, répétabilité & vitesse de balayage

- ▶ Largement suffisantes par rapport aux dimensions de défauts recherchés et aux cadences de production

Effecteurs

- ▶ Peu de limitation sur la charge utile
- ▶ Changeurs automatiques d'outils standards pour enchaîner les opérations

Enveloppe de travail

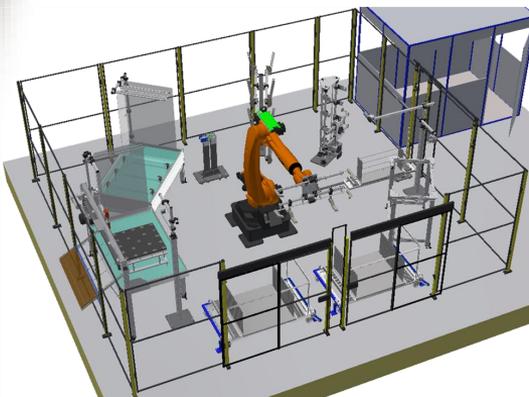
- ▶ Suffisante pour les petites pièces
- ▶ Extensible grâce aux nombreux axes supplémentaires (linéaire ou portique) et positionneurs (plateau tournant ou vireur) pilotables par les contrôleurs standards
- ▶ Adaptable (robot au sol, au mur ou au plafond)

Contexte

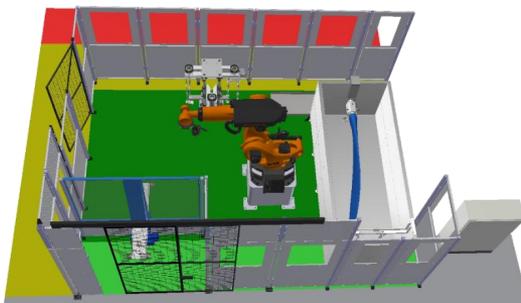
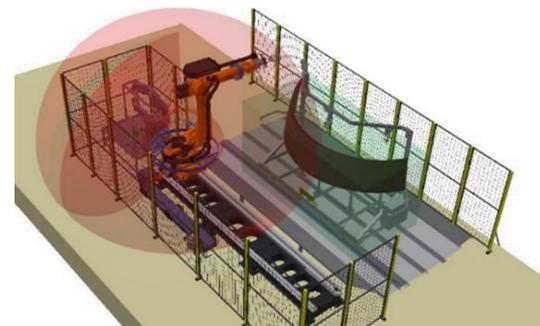
Machines ←
Robotisées

Briques
technologiques

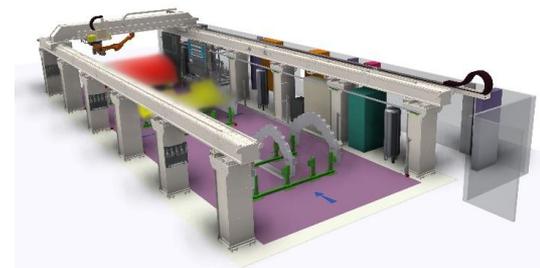
1. Plaques monolithiques



2. Pièces élémentaires



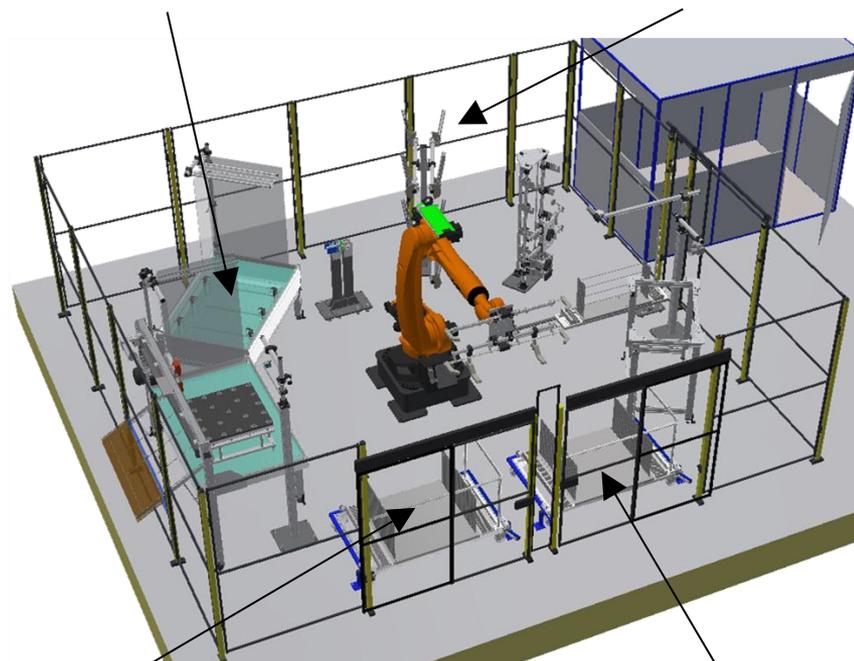
3. Pales d'hélices



4. Panneaux de fuselage

Cuve à immersion

Magasin à effecteurs



Chariot d'entrée

Chariot de sortie

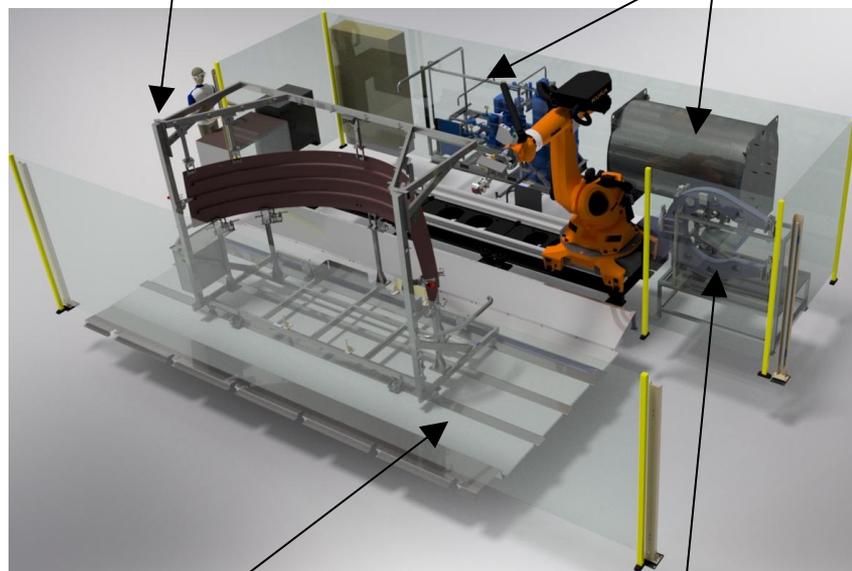
- ▶ **Technique:** réflexion, en immersion complète, sans contact
- ▶ **Chaîne UT:** 1 barrette linéaire + 1 appareil 'U32Box' + 1 licence de 'NDTkit UT'
- ▶ **Trajectoires:** définies par apprentissage
- ▶ **Zones mortes:** 0 (sauterelles escamotables)
- ▶ **Données enregistrées:** Cscans en 2D
- ▶ **Analyse:** automatique (rapport prêt à viser)

Machines Robotisées (1/4) - Plaques Monolithiques



Chariot porte pièce

Gestion de l'eau

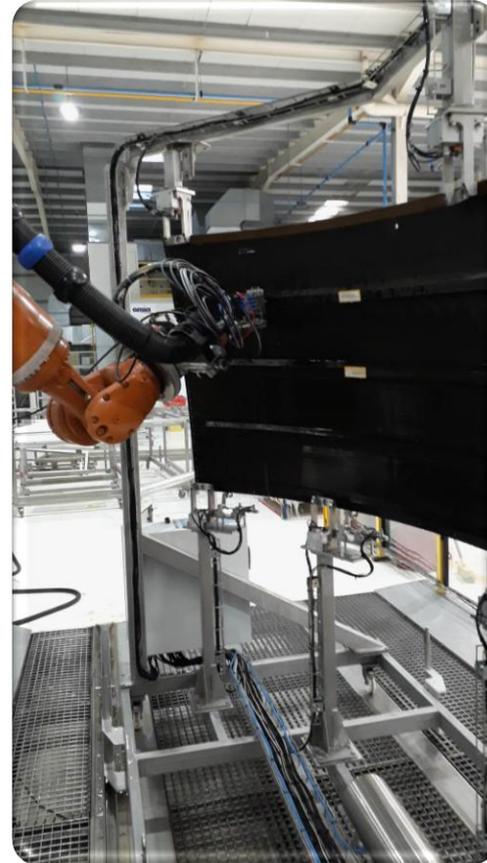


Rails de guidage &
Bac de récupération d'eau

Magasin à effecteurs

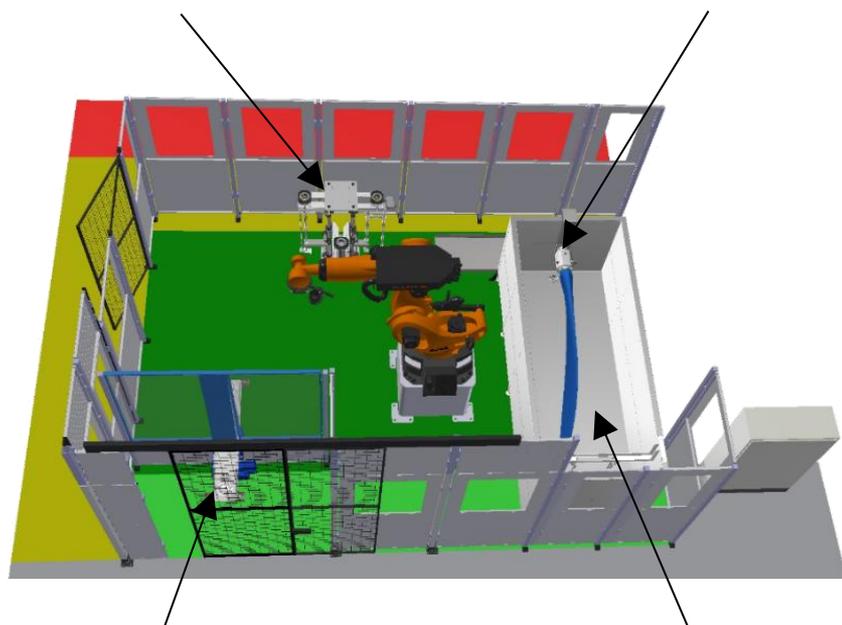
- ▶ **Techniques:** réflexion en immersion locale au contact + transmission jets d'eau sans contact
- ▶ **Chaînes UT:** 2 barrettes linéaires + 2 appareils 'U32Box' + 2 traducteurs bi-fréquences + 2 appareils 'UE1Box' + 1 licence de 'NDTkit UT'
- ▶ **Trajectoires:** définies par PHL
- ▶ **Zones mortes:** 0
- ▶ **Données enregistrées:** multipics + Cscans en 2D
- ▶ **Analyse:** automatique (rapport prêt à viser)

Machines Robotisées (2/4) - Pièces Élémentaires



Magasin à effecteurs

Attache de pale

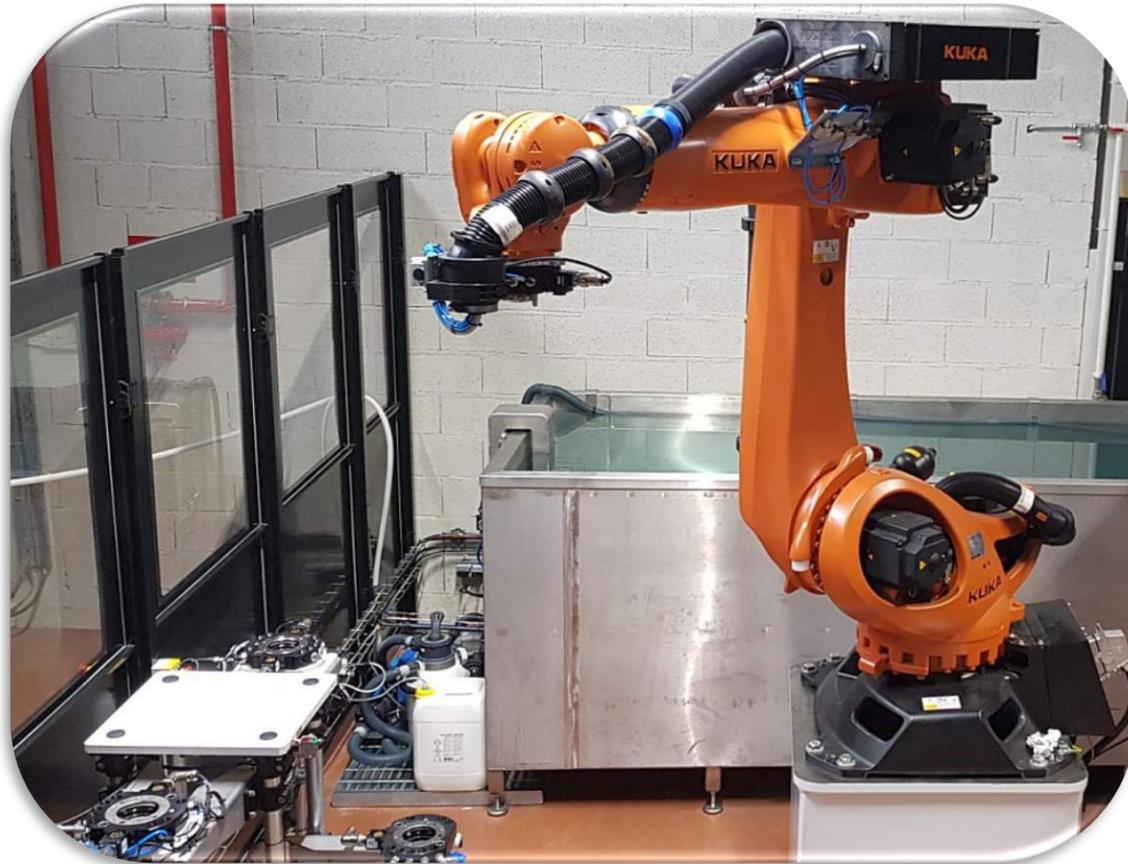


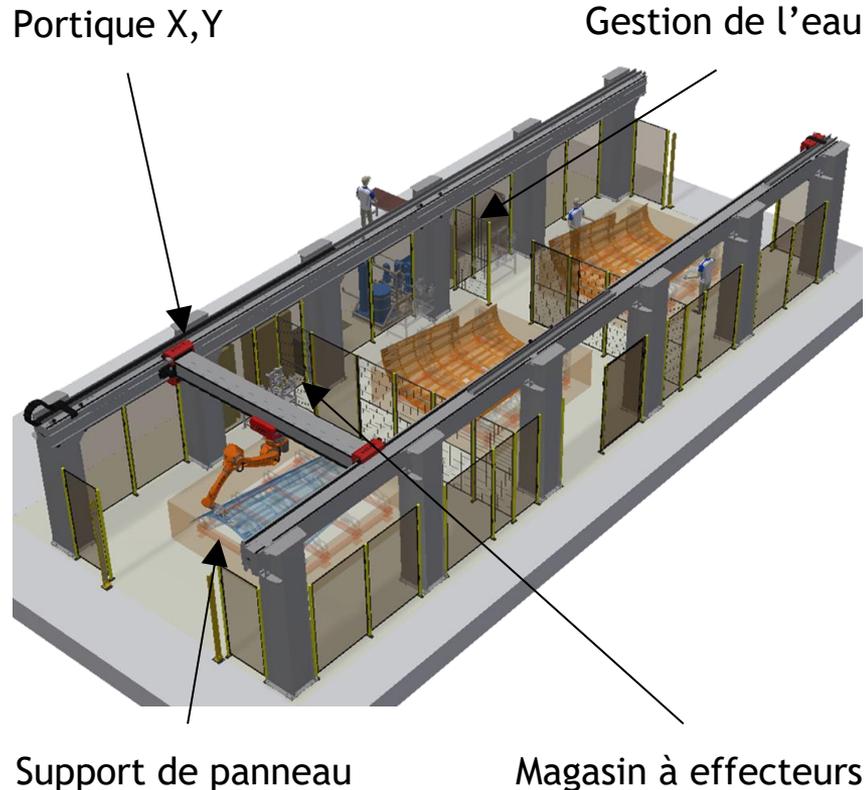
Sas d'entrée &
Carrousel pivotant

Cuve à immersion

- ▶ **Techniques:** réflexion et transmission, sans contact, en immersion complète
- ▶ **Chaînes UT:** 1 barrette linéaire + 1 appareil 'U32Box' + 2 traducteurs monolithiques + 1 appareil 'UE1Box' + 1 licence de 'NDTkit UT'
- ▶ **Trajectoires:** définies par PHL
- ▶ **Zones mortes:** 0
- ▶ **Données enregistrées:** Ascans + Cscans en 2D
- ▶ **Analyse:** automatique (rapport prêt à viser)

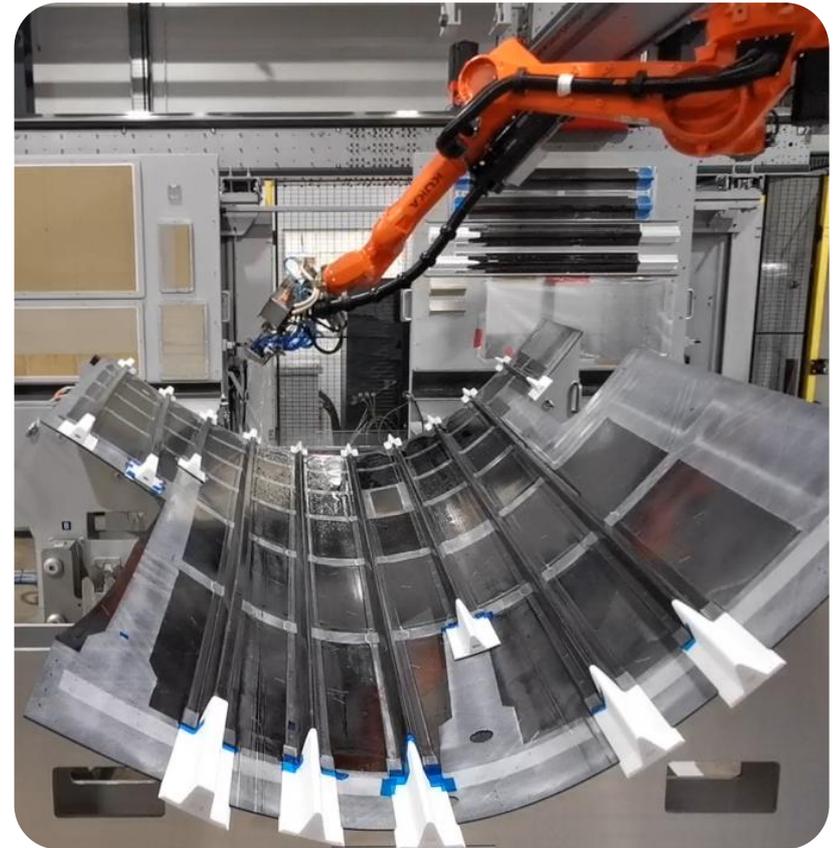
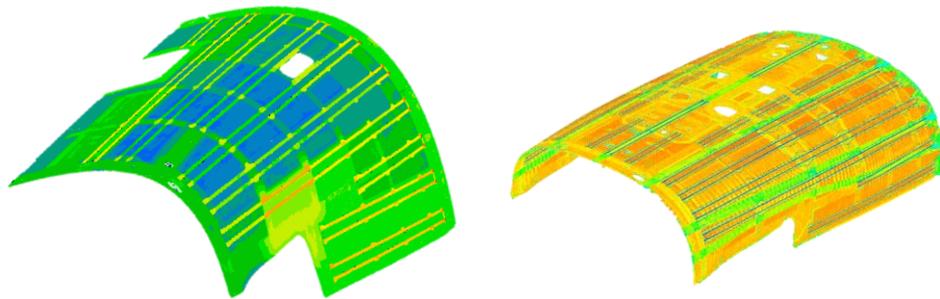
Machines Robotisées (3/4) - Pales d'Hélices





- ▶ **Technique:** réflexion, au contact, en immersion locale
- ▶ **Chaînes UT:** 7 barrettes linéaires + 7 appareils 'U32Box' + 1 licence de 'NDTkit UT'
- ▶ **Trajectoires:** définies par PHL
- ▶ **Zones mortes:** 0 (supports 'transparents')
- ▶ **Données enregistrées:** Ascans ou Multipics + Cscans en 3D
- ▶ **Analyse:** semi-automatique (points d'arrêt dans les macros)

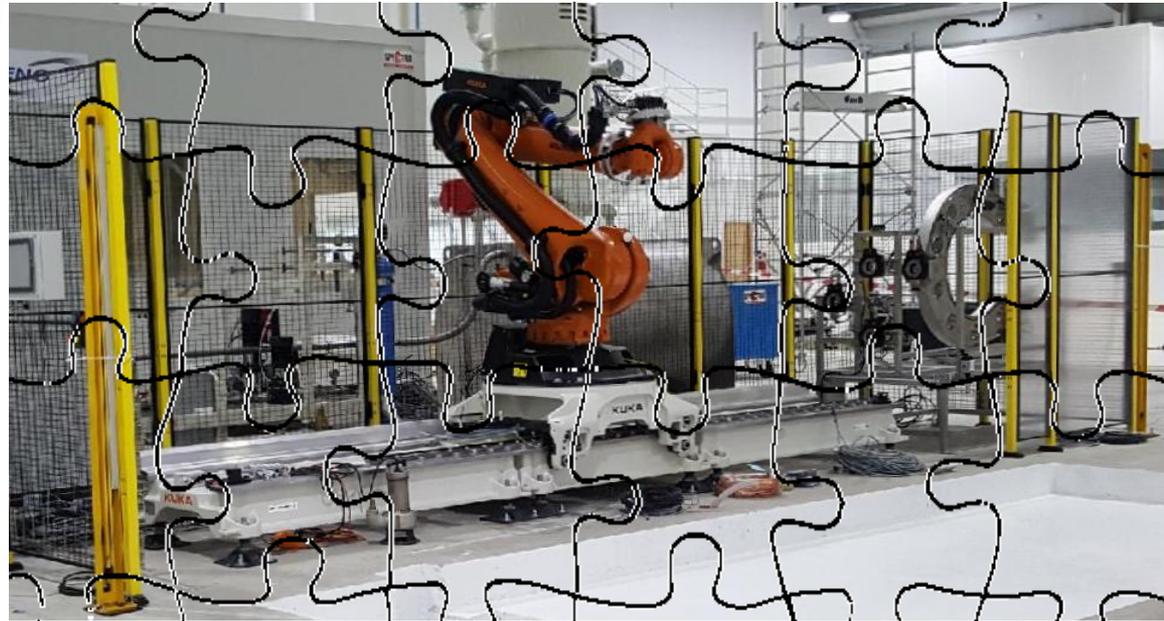
Machines Robotisées (4/4) - Fuselage Auto-Raidis



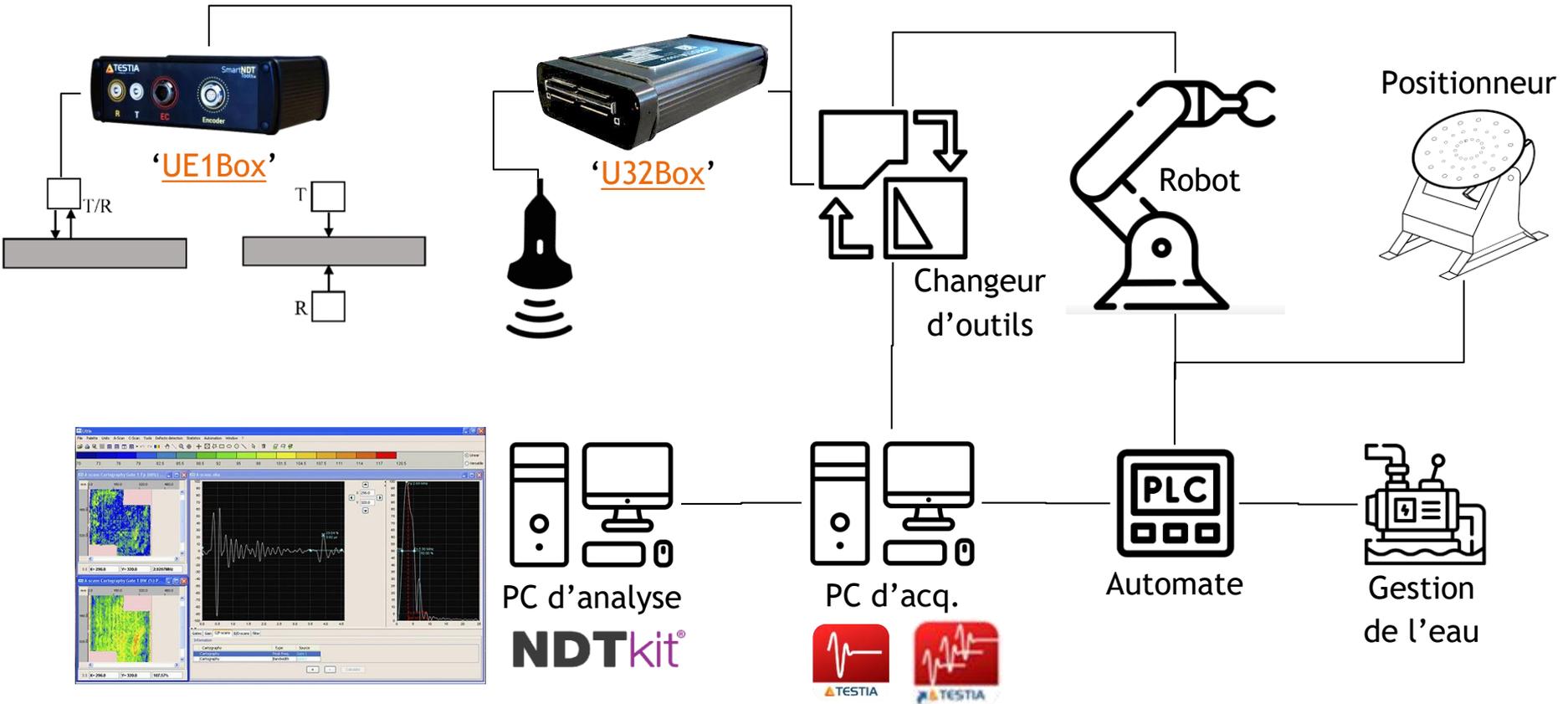
Contexte

Machines
Robotisées

Briques ←
technologiques



Briques Technologiques (1/1)



- ▶ Quatre exemples très différents de **machines robotisées d'inspection par ultrasons** ont été présentés. Tous répondent au besoin de contrôler des pièces **composites** pour des **aérostructures**, dont les spécificités ont orienté vers **diverses techniques** : réflexion ou transmission, immersion complète ou locale (par boîtes à eau ou jets d'eau).
- ▶ Certains (#2 & 4) sont très **génériques** et capables de passer différents types de pièces. D'autres ont été conçus de façon plus **spécifique**, soit pour passer une haute cadence de production (#1), soit parce que les pièces sont particulièrement complexes et singulières (#3). Ils illustrent la capacité de TESTIA à analyser toutes les composantes des problématiques de nos clients, pour proposer les **solutions les mieux adaptées**.
- ▶ La maîtrise des **briques technologiques** qui servent à construire ces machines robotisées d'inspection permet d'envisager à très court terme des **applications en dehors de l'aéronautique**, et/ou sur des **pièces métalliques**, et/ou avec d'autres méthodes CND que les ultrasons.

A tous nos collègues de TESTIA
Aux Clients qui nous ont fait & nous font confiance
& à vous pour votre attention!

1. L. Bernard, J-P. Choffy, G. Ithurralde, D. Simonet, « [NDT Approach and multi-sensors tools for the Inspection of aeronautic Welds](#) », *WCNDT*, 2000.
2. G. Ithurralde, « [Advanced functions of PAUT \(phased arrays for ultrasound testing\) in aeronautics](#) », *ECNDT*, 2006.
3. N. Dominguez, G. Ithurralde, « [Ultra-Fast Ultrasonic Inspection for Aeronautical Composites Using Paintbrush Acquisitions and Data Processing on GPU](#) », *ECNDT*, 2010.
4. P. Louviot, A. Tachattahte, « [Contrôle robotisé en ultrasons par transmission de pièces à profils complexes](#) », *Cofrend*, 2011.
5. S. Barut, V. Bissauge, G. Ithurralde, W. Claassens, « [Computer-aided analysis of ultrasound data to speed-up the release of aerospace CFRP components](#) », *WCNDT*, 2012.
6. B. Campagne, H. Voillaume, L. Gouzerh, F. Bentouhami, « [Laser ultrasonic developments for NDT of aeronautic composite parts](#) », *NDCMN*, 2013.
7. V. Bissauge, G. Ithurralde, « [Contrôle ultrasonore de profilés composites à haute cadence](#) », *Cofrend*, 2014.
8. S. Barut, N. Dominguez, J. Noiret, I. Kameneff, « [A step forward full automatic analysis](#) », *AeroNDT*, 2014.
9. V. Bissauge, G. Ithurralde, J. Marmier, « [Solutions de contrôle par ultrasons assistées pour la fabrication de pièces élémentaires composites](#) », *Cofrend*, 2017.
10. T. Gramberger, W. Haase, Y. Khandhia, W. Baroche, « [Accurate & Flexible Solution for Non Destructive Testing in Aerospace Industry Using Robotised System](#) », *AeroNDT*, 2020.
11. M. Brauns, F. Lücking, Balthasar Fischer, « [Singlesided contact free ultrasound inspection of aerospace composites](#) », *AeroNDT*, 2020.
12. L. Séguin-Charbonneau, J. Walter, L-D. Thérroux, L. Scheed, A. Beausoleil, B. Masson, « [Automated defect detection for ultrasonic inspection of CFRP aircraft components](#) », *NDT & E International*, 2021.
13. G. Ithurralde, I. Kameneff, C. Bertrand, S. Lazar, C. Duteil, R. Bacry, S. Barut, « [Ultrasound data post-processing. Technological transfers from the aerospace industry to the others](#) », *UT-Online*, 2021.
14. F. Glowacz, « Les thermoplastiques dans l'aéronautique, quel marché pour les PME ? - Introduction - Vision du marché global », *Aerospace Valley*, 2021.
15. G. Ithurralde, S. Barut, « [Generic & specific features to image non-destructive evaluation](#) », *ICINDE*, 2022.
16. C. Bertrand, P. Marrier, « Analyse semi-automatique de données ultrasonores sur plaques laminées », *Cofrend*, 2023.