

# **NOUVEAUX MOYENS D'IMAGERIE ET D'INVESTIGATION CND**

## *NEW NDT IMAGING METHODS AND INVESTIGATION*

E. CRESCENZO – IXTREM ; D. DULAY et R. TANEJA – NDT Consultants

### **Résumé**

L'objectif est de présenter à la fois un système d'imagerie révolutionnaire par stéréovision et de récents moyens CND associés permettant de réaliser des imageries 2D et 3D sans avoir recours à aucun moyen mécanique annexe (tracking optique du balayage manuel du capteur à la surface de la pièce à contrôler).

Cet effort de recherche mené conjointement avec la société NDT Consultants a permis d'élaborer un moyen de contrôle performant des structures composites par spectroscopie ultrasonore ainsi que des moyens complémentaires d'analyse par courants de Foucault utilisant des capteurs magnétiques, des ultrasons par contact sec et sans contact par EMAT (nouvelle génération de transducteurs EMA).

Des applications dans d'autres domaines de la mesure seront présentées comme l'imagerie des champs magnétiques dans un espace donné.

### **Abstract**

*The aim is to provide both a revolutionary imaging system by stereo vision and recent associated NDT means to achieve 2D and 3D imaging without have recourse to any annex mechanical means (optical tracking of sensor manual scanning on the piece surface to be checked).*

*This research effort conducted jointly with the company NDT Consultants has allowed to develop an efficient mean to inspect composite structures by ultrasonic spectroscopy, as well as complementary means of analysis by Eddy currents using magnetic sensors, ultrasounds testing by dry contact and free contact using EMAT (new generation of EMA transducers).*

*Applications in other areas of the measure will be presented as imaging magnetic fields in a given space.*

### **ETAT DE L'ART**

Aujourd'hui il existe des systèmes d'imagerie CND 2D utilisant des moyens mécaniques avec des codeurs dont la mise en œuvre n'est pas toujours facile particulièrement sur les pièces à géométrie complexe (nécessite de mettre en place des systèmes mécaniques spécifiques aux types de pièces à contrôler qui sont lourds, encombrants et très onéreux). D'autres systèmes d'imagerie sans mécanique sont basés sur l'utilisation de caméras ou de positionnement de capteurs ou transducteurs par radiofréquence.

Le principal inconvénient de ces systèmes est qu'ils ne sont pas compatibles avec tous les appareillages CND du marché (ultrasons (US) et courants de Foucault (CF)), parfois ils se limitent à une seule fonction d'imagerie (principalement la détection de corrosion par ultrasons) ; autre inconvénient, ils ne permettent pas l'analyse de surfaces importantes et leur vitesse d'acquisition est limitée (principalement avec les systèmes par caméras).

Dans le domaine du CND, l'effort des constructeurs de matériels ces dernières années s'est principalement porté sur des applications ultrasons très ciblées comme le TOFD (time of flight diffraction) et les transducteurs, multiéléments (phased array).

Les technologies EMAT (Electromagnetic Acoustic Transducer) ont peu évolué principalement dues à la fois à la difficulté de concevoir des électroniques portables (énergie nécessaire pour générer des ultrasons par ce principe physique) et de réaliser des transducteurs EMA performants de façon industrielle. Curieusement les technologies Courants de Foucault utilisant les capteurs magnétiques (capteurs Hall et magnétorésistances) ne se sont pas développées comme prévu malgré leur intérêt pour les aviateurs pour la détection de corrosion en profondeur sur les assemblages rivetés. Contrairement, les techniques ACFM malgré leur manque flagrant de sensibilité comparativement à la magnétoscopie se sont beaucoup développées par la recherche de fissures de fatigue dans les assemblages soudés.

Dans le domaine de l'aéronautique la détection de manques d'adhésion sur les structures collées et de délaminages entre les couches de structures composites carbone reste un problème crucial. Les appareils existants utilisent différents principes physiques de détection comme la modification de la fréquence de résonance, l'analyse de vibrations acoustomécaniques à l'aide d'un microphone, ou encore l'analyse des variations de l'impédance acoustique d'un transducteur piézoélectrique et enfin l'analyse des variations d'amplitude et de phase utilisant un couple émetteur / récepteur de transducteurs ultrasons opérant à basse fréquence (25 à 100 KHz).

## **DEVELOPPEMENT D'UN NOUVEL OUTIL DE CND MULTITECHNIQUE ASSOCIANT UN ENSEMBLE DE TECHNOLOGIES TRADITIONNELLES ET « EXOTIQUES » [1] [2] [3] [4] [5]**

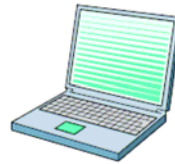
Notre premier objectif a consisté à développer ces technologies quelques peu délaissées comme les techniques électromagnétiques par CF utilisant des capteurs magnétiques comme moyen de détection, les EMAT et enfin la spectroscopie ultrasons à bande étroite en mode de résonance (Narrow Band Ultrasonic Spectroscopy = « NBus ») pour améliorer la détection de manques d'adhésion sur les structures collées et délaminages entre les couches sur les structures aéronautiques en composites).

Notre second objectif a consisté à développer, en partenariat avec la société Anglaise NDT Consultants, un système d'imagerie multi technique d'une nouvelle génération utilisant un système de tracking optique permettant l'inspection de pièces de formes complexes sans avoir recours à des systèmes mécaniques onéreux utilisant des codeurs de position. Le synoptique ci-après résume l'ensemble des possibilités techniques des matériels, capteurs et transducteurs développés.

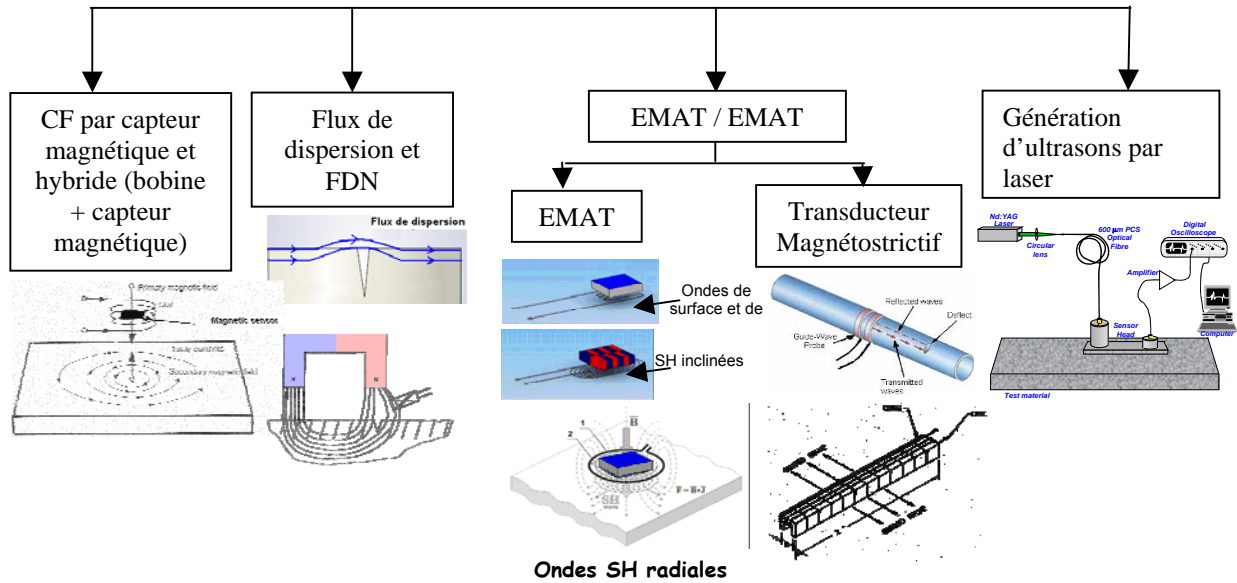
Plateforme  
Zenix US + CF



+



## Contrôle des matériaux métalliques



## Contrôle des matériaux composites



NBus

Spectroscopie ultrasons à bande étroite



Free Scan



**Imagerie ultrasons et Courants de Foucault sur matériaux métalliques et composites**

Figure 1 – Synoptique des techniques développées

## PRINCIPE DU SCANNER « BALAYAGE LIBRE » SANS MECANIQUE DE POSITIONNEMENT

### Système Free scan [6]

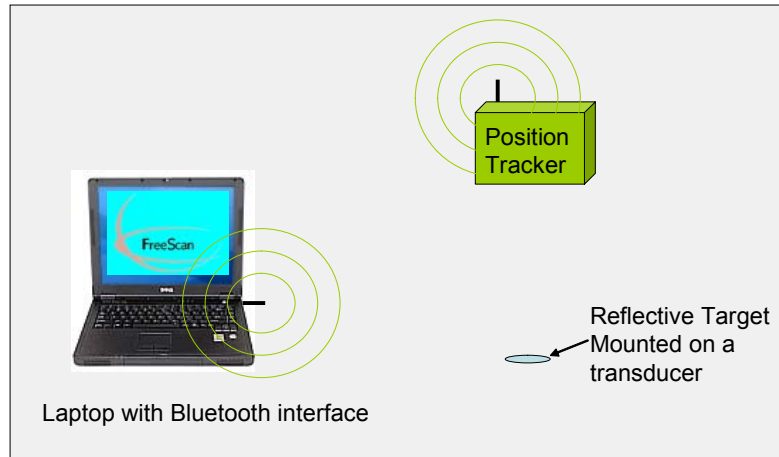


Figure 2 – Schéma de fonctionnement du système Free Scan

#### Principales caractéristiques du scanner optique Free Scan :

- Distance capteur / source lumineuse servant de « traqueur ».
- Vitesse d'acquisition de 30Hz à 1KHz.
- Précision 2 mm en X, Y ; 8 mm en Z
- Résolution 0,1mm en X, Y ; 0,2 mm en Z

#### Remarque particulière :

Ce scanner peut être interfacé avec tous les appareils ultrasons et CF du marché, y compris certains équipements ultrasons multiéléments.

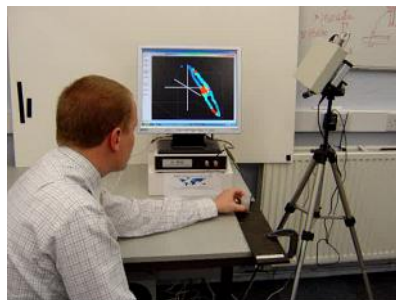


Figure 3 - Exemple d'utilisation du Free Scan appliqué pour la détection et la caractérisation de corrosions ou de défauts par US et CF

### Une plateforme US – CF intelligente permettant d'effectuer des contrôles non destructifs standards et spéciaux [7]

Cette plateforme, capable de fonctionner de façon autonome (écran LCD intégré au boîtier) ou sur base PC portable, se compose d'une électronique commune d'acquisition CF et US, d'un tiroir pulseur US qui peut être interchangeable avec un tiroir CF multiplexé.

Cette plateforme a été conçue pour permettre les contrôles par flux de dispersion traditionnel et normal, CF par bobine et capteur magnétique (mono et multifréquence), par ultrasons traditionnels, couplage sec, EMAT et laser / EMAT. Cette flexibilité a été obtenue en

développant une électronique à base de FPGA permettant d'effectuer des opérations d'acquisition et de traitement du signal en temps réel.

#### Principales caractéristiques techniques de la plateforme Zénix :



Figure 4 - Plateforme Zenix

##### a) Principales caractéristiques en mode CF

- Gamme de fréquence 1Hz – 2MHz réglable par logiciel
- Numérisation 16 à 32 bits
- Courant d'injection 1A
- Gain 50dB
- Alimentation capteurs magnétiques (Hall, magnétorésistances), couples d'électrodes (mesure de conductivité électrique des liquides) ainsi que des capteurs capacitifs.
- Package logiciels X et Y = f(t) ; module, phase = f(t) ; plan d'impédance, spectroscopie CF (balayage fréquentiel avec analyse X, Y,  $\theta$ , module), filtre multiparamètre configurable par logiciel

##### b) Principales caractéristiques en mode US

- Tension de Burst 0-700V réglable, utilisation en mode mono et multibursts
- Bande passante 30KHz – 10MHz
- Gain réglable 80dB par pas de 1dB
- Numérisation 12 bits – 64MHz
- Calcul FFT et représentation des données après filtrage en temps réel.
- Interface synchronisée avec des sources laser fibrées pour la génération optique d'ultrasons

## **DEVELOPPEMENT DE LA TECHNOLOGIE NBUS [8] [9]**

Cette technique a été développée dans le cadre des projets Européens de Recherche INCA et NANOSCAN par l'Université d'Uppsala en collaboration avec la Société NDT Consultants. Le principe (voir les figures ci-après) est basé sur la mesure des variations de l'impédance électrique d'un transducteur piézoélectrique sachant que des travaux préliminaires de modélisation avaient démontré que l'impédance acoustique du transducteur en présence d'une pièce à contrôler pouvait être corrélée à une mesure d'impédance électrique.

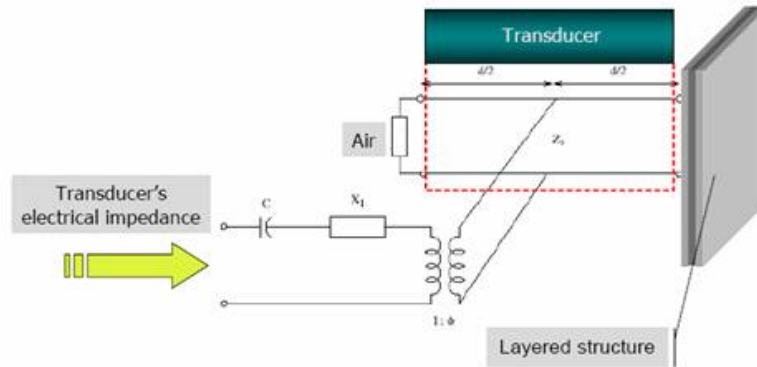


Figure 5 – Schéma de principe

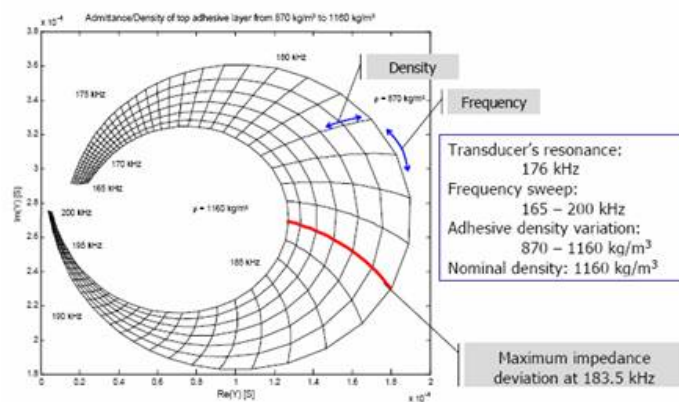


Figure 6 – Diagramme de variation de l'impédance électrique du transducteur en fonction de la densité de l'adhésif et de la fréquence d'excitation

Les variations d'impédance électrique en fonction de la fréquence d'excitation du transducteur permettent de détecter des manques d'adhésion sur des structures aéronautiques collées : type métal / métal ou nids d'abeille ainsi que les délaminations entre couches de structures composites carbone multiplis.

Ce moyen de CND a été couplé avec le scanner optique « Free Scan » pour obtenir des cartographies C Scan.

L'avantage de ce procédé est d'éviter de mettre en place le contrôle ultrasons par jet d'eau en mode transmission, car l'inspection se fait d'un seul côté de la pièce.

## Quelques exemples de résultats obtenus avec ces nouvelles technologies de CND

Sans être exhaustif, nous pouvons mentionner comme principales applications :

### a) Techniques CF utilisant un capteur magnétique

- Contrôle des barres ferromagnétiques à l'état brut (lift off important de 2 à 5mm)
- Détection de corrosion en profondeur sur des structures aluminium collées et/ou rivetées
- Détection de fissures de fatigue sur des assemblages soudés (soudures restées à l'état brut) revêtus d'une peinture anticorrosion d'épaisseur 1 à 2mm.

- b) Techniques par flux de dispersion normal
- Détection de fissures sous revêtements inoxydables ou inconels.
  - Détection de défauts volumiques sous peau jusqu'à 5mm de profondeur sur des pièces ferromagnétiques de fonderie
- c) Techniques US
- La détermination de la résistance mécanique de poteaux téléphoniques ainsi que la détection de pourriture dans les parties enterrées par mesure de vitesse et d'amortissement des ondes ultrasonores en utilisant des transducteurs à guide d'ondes basses fréquences (50 à 100KHz).
  - Détection de décollement d'un revêtement anticorrosion de réservoirs enterrés par EMAT en ondes polarisées 0°.
- d) Techniques magnétiques
- Surveillance magnétique de l'apparition de fissures sur des flexibles pétroliers à structure complexe
  - Suivi de déplacement et d'orientation de protections thermiques marquées magnétiquement pour expérimentation de fonctionnement de propulseur (technique qui consiste à intégrer dans la structure des aimants permanents servant au tracking des mouvements).
- e) Exemples de résultats obtenus avec la technique NBus et comparatif avec les ultrasons C-Scan par transmission

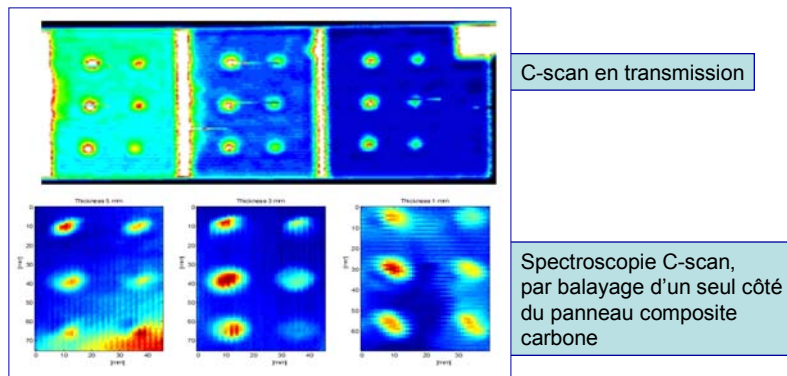


Figure 7 - Comparatif de résultats obtenus sur des panneaux composite carbone avec défauts artificiels, type enlèvements localisés de matière démontrant l'intérêt d'utiliser le moyen NBus pour le contrôle des panneaux composite au lieu de système ultrasons à jet d'eau en mode émission / réception séparées

## CONCLUSIONS

La possibilité pour les industriels, intégrateurs et chercheurs de disposer de nouveaux moyens de CND flexibles (facilement programmables pour une application donnée) et modulaires pour répondre à des besoins spécifiques où les techniques traditionnelles de CND trouvent leur limite présente un grand intérêt. Ce type de moyen évite de développer systématiquement des électroniques d'acquisition et de traitement de données spécifiques, coûteuses pour lesquels les délais de conception et réalisation industrielle sont généralement très importants.

L'imagerie Free Scan à « mouvements libres » sans mécanique de positionnement des capteurs ou transducteurs constitue un avantage incontestable pour les utilisateurs qui ont à examiner par CND des configurations de pièces présentant des profils complexes.

Le fait de disposer d'interfaces de communication universel devrait inciter les utilisateurs à utiliser ce nouveau système d'imagerie qui n'oblige pas de changer leur appareil US ou CF pour les rendre compatibles avec ce système d'imagerie.

Les nouvelles techniques CND présentées devraient à notre avis pouvoir se développer dans les prochaines années avec l'obligation de contrôler des pièces de sécurité de formes de plus en plus complexes et utilisant des multimatériaux. En ce sens, la technologie NBus constitue un moyen efficace de contrôler des structures en composite de nouvelle génération.

L'évolution progressive du CND vers d'autres applications que la recherche de défauts dans les matériaux et la caractérisation de leurs propriétés physiques est très nette depuis quelques années ; en particulier : connaître la répartition du champ magnétique dans les entrefers, pour optimiser les performances des machines électriques ; la cartographie 3D des champs magnétiques pour identifier les risques liés à l'exposition des travailleurs aux champs magnétiques ; la caractérisation des tissus biologiques... Dans ce contexte, l'imagerie magnétique associant les outils Zénix et Free Scan s'avère fort utile pour répondre à ces nouveaux besoins.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] E. CRESCENZO - Evolution des techniques magnétiques, électromagnétiques et laser pour les contrôles en fabrication, en inspection et pour la surveillance des équipements sous pression – ESOPE 2007

[2] E. CRESCENZO, D. CHAUVEAU, D. DULAY, Nouveaux outils de contrôle non destructif pour la recherche et la caractérisation de la corrosion – MATERIAUX 2006

[3] E. CRESCENZO - "Current developments in electromagnetic methods of NDE and NDT" - 14th world conference on NDT New Dehli (India) - Décembre 1996

[4] E. CRESCENZO - "Eddy Flux : a new non destructive testing equipment by flux leakage and eddy current" - Congreso Espagnol de ensayos no destructivos - June 1995

[5] E. CRESCENZO - "Advanced multielectromagnetic techniques" Conférence MTQ à Dortmund - Novembre 1996

[6] Site IXTREM [www.ixtrem.fr](http://www.ixtrem.fr) – Thématique « Produits » – Rubrique « Robotique & Imagerie CND »

[7] Site IXTREM [www.ixtrem.fr](http://www.ixtrem.fr) – Thématique « Produits » – Rubrique « Techniques CND Spéciales » ; « Techniques ultrasons » ; « Techniques électromagnétiques »

[8] Site IXTREM [www.ixtrem.fr](http://www.ixtrem.fr) – Thématique « Produits » – Rubrique « Techniques ultrasons » : NBus, « Détection de collage sur structures aéronautiques ».

[9] T. STEPINSKI and M. JONSON - Narrow band ultrasonic spectroscopy of NDE layered structures – Uppsala University, UPPSALA, Sweden – 16 WCNDT Montreal Canada.