

AVRIL 2011

➤ **Présentation**

- NDT Valor, un pôle de compétences en Essais Non Destructifs..... 2

➤ **Laboratoires partenaires**

- CREATIS ..... 3
- MATEIS..... 4
- LCND ..... 5
- Centre de formation en essais non destructifs et métrologie ..... 6

➤ **Avis d'experts**

- MATEIS ..... 7
  - Contrôle de santé des structures..... 7
  - Imagerie par ultrasons et caractérisation non-destructive ..... 8
  - Émission acoustique et identification des modes d'endommagement ..... 9
- CREATIS..... 10
  - Caractérisation mécanique et par élastographie de gels d'alcool polyvinylique..... 10
  - Caractérisation de surfaces par imagerie ..... 11
  - Illustrations de résultats scientifiques ..... 12
- LCND ..... 13
  - Caractérisation ultrasonore des matériaux et structures réels..... 13
  - Expérimentation, validation, optimisation du diagnostic de CND ..... 14
- AMPERE..... 15
  - Contrôles Non Destructifs par méthodes électromagnétiques, Modélisation numérique et Formation..... 15
- NDT Valor
  - Métrologie des Essais Non Destructifs..... 17
  - Les ondes HF et UHF en Contrôle Non Destructif..... 17

➤ **Formation**

- Essais Non Destructifs ..... 18
- Matériaux - Métallurgie - Analyses ..... 19
- Métrologie - Contrôle Dimensionnel - Mesures physiques - Vide..... 20

# NDT Valor : une approche fédérative et transdisciplinaire



**Michel Descombes**  
Directeur Général  
d'INSAVALOR



**Pr Yves JAYET**  
Responsable  
scientifique  
NDT Valor

**NDT Valor est une plateforme multi-services dédiée aux Essais Non Destructifs basée sur des compétences issues de la recherche et de l'innovation. C'est un département d'INSAVALOR, filiale de valorisation, R&D et formation continue de l'INSA de Lyon.**

NDT Valor est la mise en synergie de l'expertise et des savoir-faire de trois laboratoires de recherche :

**MATEIS – Matériaux : Ingénierie et Science**

(Insa de Lyon) orienté vers la relation microstructures/propriétés, l'étude de la dégradation, de la durabilité des matériaux ainsi que leur caractérisation,

**CREATIS – Centre de Recherche en Imagerie Médicale** (Insa de Lyon) axé vers l'imagerie, la modélisation et les méthodes d'investigation telles que l'IRM, l'échographie, la tomographie par rayons X.

**LCND – Laboratoire de Caractérisation Non Destructive** (Université de la Méditerranée), plus spécifiquement tourné vers l'investigation et la caractérisation de structures réelles.

Cette triple compétence est complétée par l'expérience de plus de 40 ans d'INSAVALOR en formation des personnels de l'ingénieur au contrôleur.

Cette mise en commun de ressources, de moyens et d'expériences, nous permet de présenter **une gamme de services** orientée vers l'étude de solutions innovantes, la modélisation, la mise en œuvre de moyens matériels issus de la recherche mais aussi industriels permettant d'effectuer des essais, des mesures et des études.

**La formation, le transfert de compétences et la qualification** constituent le deuxième volet de prestations que nous offrons. Elles sont garanties par le haut niveau d'expertise de nos collaborateurs : chercheurs, ingénieurs spécialisés, formateurs certifiés.

NDT Valor est localisé sur deux sites géographiques : l'un en Région Rhône-Alpes sur le Campus LyonTech La Doua et l'autre en région PACA sur le campus de l'Université de la Méditerranée.

Cette brochure, entièrement dédiée à NDT Valor, présente les champs d'expérience et l'offre de services et d'expertise de ce nouveau Pôle de compétences en END.

Nous espérons que NDT Valor répondra un jour à vos préoccupations en Essais Non Destructifs.

**Michel Descombes**  
**Yves Jayet**

NDT Valor

Campus LyonTech La Doua  
66, boulevard Niels Bohr – BP 52132  
69603 Villeurbanne cedex  
Tél. : +33 (0)4 72 43 84 03 – Fax : +33 (0)4 72 44 34 24  
ndtvalor@insavalor.fr

LCND – Université de la Méditerranée  
IUT d'Aix-en-Provence  
413, avenue Gaston Berger  
13 625 Aix-en-Provence cedex 1  
Tél. : +33 (0)4 42 93 90 34 – Fax : +33 (0)4 42 93 90 84  
www.ndtvalor.fr

**Réalisation : Editocom**

**11, allée Jacques Decour - 93270 Sevran**  
**SAS au capital de 10 000 €**

**RCS Bobigny B 524 000 635**

**TVA Intracommunautaire : FR32524000635**

**Imprimeur : néotypo**

**1c rue Lavoisier 25044 Besançon cedex**

**Crédits photographiques** : Toutes les photographies ont été fournies par INSAVALOR. Elles sont utilisées sous la responsabilité d'INSAVALOR, tous droits réservés à leurs auteurs.

Tous les textes sont publiés sous la responsabilité de leurs auteurs. Editocom décline toute responsabilité pour les erreurs ou omissions qui pourraient être relevées, malgré le soin apporté à cette réalisation.

**NDT Valor**

# Un pôle de compétences en essais non destructifs fondé sur la recherche et l'innovation technologique

**NDT VALOR**

NDT Valor regroupe le savoir-faire et les compétences de trois laboratoires de recherche : MATEIS et CREATIS de l'INSA de Lyon et LCND de l'Université de la Méditerranée et du Centre de formation END et Métrologie d'INSAVALOR SA. Elle reçoit aussi le soutien de PRO-TISVALOR Méditerranée SAS, la filiale de Valorisation de la Recherche de l'Université de la Méditerranée.

Cette mise en commun des ressources, des moyens et des compétences répond à plusieurs objectifs. **Le premier est celui de satisfaire aux nouveaux enjeux** que représentent les besoins des industriels en Essais Non Destructifs. Ainsi, l'élargissement de l'application des END à des domaines où ils étaient peu utilisés nécessite une adaptation de mise en œuvre des méthodes traditionnelles. L'évolution des matériaux employés dans les industries, comme l'aéronautique, le nucléaire... ne permet plus d'envisager une approche traditionnelle basée sur des modèles simples de phénomènes linéaires, mais au contraire implique de reconsidérer la mise en œuvre des END dans une orientation favorisant la modélisation, la simulation, l'utilisation en parallèle de plusieurs méthodes associées à la fusion de données. De même, les exigences de performance imposent

d'améliorer la qualité de l'imagerie et de la métrologie associée aux essais. La collaboration de plusieurs entités complémentaires (CREATIS, Centre de recherche en Imagerie Médicale, MATEIS, Laboratoire de recherche dans le domaine des Matériaux) permet une approche pluridisciplinaire de résolution des problèmes que posent les nouveaux champs et contraintes de mise en œuvre des END.

**Le second objectif est de proposer une offre intégrée de services en END** allant d'une expertise matériaux à la mise œuvre d'instrumentations existantes ou conçues en fonction du besoin jusqu'au traitement de l'information et des données. La nature des prestations offertes englobe la R&D, les essais et mesures, le conseil mais aussi la formation et la qualification des professionnels en END.



**NDT Valor, des méthodes et des moyens classiques... aux techniques émergentes**

## NDT Valor, une large gamme de services

### RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT

Étude, Développement  
Mise à disposition de matériels  
Réalisation de prototype  
Développement de capteurs et instrumentation  
Dimensionnement, conception, modélisation...  
Aide au transfert technologique

### PRESTATIONS - CONSEIL - ETUDE - EXPERTISE

Essais de faisabilité  
Mesures, étalonnages, vérifications  
Mise au point de méthodes  
Qualification métrologique de processus de moyens  
Réglementation hygiène et sécurité, environnement

### FORMATION - CERTIFICATION

Formation générale en END  
Préparation aux certifications professionnelles : COFREND, ASNT (tous niveaux), CAMARI...  
Appui à la formation initiale  
Formation de formateurs  
Développement de certifications et qualifications

### VEILLE DIFFUSION

Veille technologique  
Diffusion d'information  
Communication  
État de l'art

### TRANSFERT INTERNATIONAL

Appui à la création d'activité sectorielle  
Transfert de savoir  
Accompagnement à l'exportation  
Traduction  
Intervention à l'étranger

### MÉTHODES - TECHNIQUES

Analyse vibratoire	Radiographie
Courants de Foucault	Ressuage
Émission acoustique	Thermographie infrarouge
Endoscopie	Tomographie X
Étanchéité	Ultrasons
Magnétoscopie	
Radar	

### TRAITEMENT - SYSTÈMES

Modélisation, simulation  
Traitement du signal  
Fusion de données  
Traitement d'images  
Contrôle intégré  
Instrumentation capteurs  
Équipements associés prototypes  
Qualification et métrologie

### MATERIAUX - STRUCTURES

Aciers, fontes  
Alliages légers  
Revêtements multicouches  
Composites  
Multimatériaux, collages, assemblages  
Céramiques, verres, polymères  
Bétons, plâtres, pierres  
Bois, cartons, matériaux naturels  
Poudres, granulats  
Bio-matériaux  
Soudures

NDT Valor

# L'expertise d'équipes scientifiques pluridisciplinaires

NDT Valor regroupe 3 laboratoires de recherche aux domaines de compétences complémentaires.

**CREATIS**  
**Centre de Recherche**  
**en Acquisition et Traitement**  
**d'Images pour la Santé**  
**CNRS UMR 5220, INSERM U1044,**  
**INSA de Lyon,**  
**Université Claude Bernard Lyon 1**

*Creatis*

CREATIS, Unité de recherche commune à l'INSA de Lyon, à l'Université Lyon 1, au CNRS (UMR 5220) et à l'INSERM (U1044) regroupe environ 200 personnes dont 60 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents et 70 doctorants. C'est une Unité de recherche pluridisciplinaire en imagerie médicale regroupant des experts en traitement du signal et de l'image, en physique de l'imagerie, en informatique et en médecine.

L'objectif de ses recherches est de répondre aux grandes questions posées par la clinique (maladies cardiovasculaires,

maladies de l'os, maladies neuro-dégénératives, inflammation...).

Ses travaux de recherche ont pour objectif de concevoir, de développer et d'évaluer de **nouvelles méthodes d'acquisition, de mesure ou d'analyse des données**. L'unité développe des travaux théoriques et méthodologiques amonts avec des contributions en simulation in silico (simulateurs de systèmes d'imagerie) et en modélisation des systèmes complexes dynamiques. Les recherches sont menées dans toutes les modalités physiques de l'imagerie médicale : Imagerie par résonance magnétique (IRM), spectrométrie RMN, Ultrasons (US RF), RX, RX monochromatiques à l'ESRF, Tomographie par émission de positons (TEP), Optique.

**CREATIS est composé de 6 équipes de recherche :**

- Imagerie cœur-vasseaux-poumons
- Images et modèle
- Imagerie ultrasonore
- Imagerie tomographique et thérapie par rayonnement
- Méthodes et systèmes en IRM et optique
- Imagerie cérébrale

CREATIS dispose d'une **plateforme de développement logiciel commune (CreaTools)** et d'un **cluster pour le calcul intensif composé de 27 machines multiprocesseurs rassemblant plus des 100 cœurs de processeur**. L'Unité est également impliquée dans plusieurs programmes européens de calcul sur grilles appliqués au domaine biomédical.

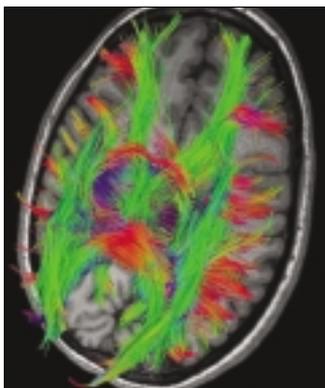
**CREATIS est à l'origine de la création de 3 start-up** : Theralys, Intellimed et CIRMA. Les résultats de l'Unité sont également valorisés dans le cadre de collaborations ou de transfert vers l'industrie (Siemens, Philips, GE-MS, Guerbet, Theraclion...). **8 brevets ont été déposés depuis 2001**.

L'Unité valide ses travaux amonts grâce à l'imagerie multimodale du petit animal (CERMEP-Animage), à l'imagerie de recherche clinique (CERMEP) et transfère vers l'imagerie clinique, en particulier vers les imageurs des Hospices Civils de Lyon (MDCT (RX), IRM 1.5T, 3T, SPECT, PET,US).

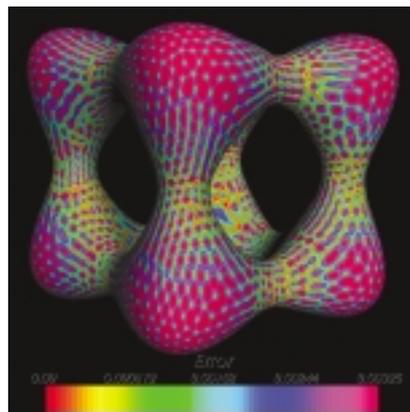
CREATIS est localisé sur plusieurs sites géographiques : Campus LyonTech La Doua à Villeurbanne, Groupement Hospitalier Pôle Est (GHPE) à Bron, Centre Léon Bérard (CLB) à Lyon et le Synchrotron européen (ESRF) à Grenoble.

**10 principales collaborations internationales :**

- Shanghai Jiaotong University,
- Harbin Institute of Technology (Création d'un laboratoire international associé à CREATIS),
- National University of Singapore,
- Universidad de Los Andes Bogota,
- Université Catholique de Louvain,
- Technical University of Denmark Copenhague,
- Thorax Center Rotterdam,



Trajectographie des fibres du cerveau (IRM).



Maillage optimal de surface.

- École Polytechnique Fédérale de Lausanne,
- University of California San Francisco,
- Stanford University (Stanford Medical School).

## Ses moyens techniques

L'Unité dispose de 3 plateaux techniques IRM (2T, 4.7T), ultrasons (échographes avec accès aux données sources (RF) et plateforme ultrasonore motorisée) et rayons X.

**La plateforme IRM** de CREATIS est destiné au petit animal et comprend :

- Un système IRM horizontal 4.7T, aimant Magnex, installé en 2005, avec un diamètre interne du fourreau de gradients de 10 cm, d'une intensité de 270mT/m, équipé d'une console Bruker.
- Un système IRM horizontal 2T (voisin des valeurs de champ utilisé en milieu médical), aimant Oxford, installé en 1994, avec un diamètre interne du fourreau de gradients de 12cm et une intensité de 50mT/m, équipé d'une console SMIS.



Système IRM horizontal 4.7T

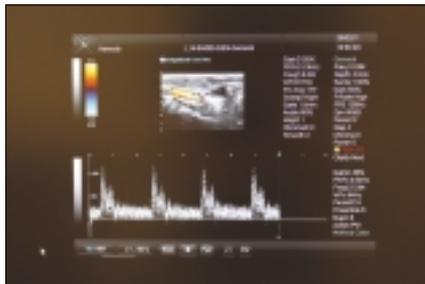
La plateforme IRM est également équipée de 2 postes d'anesthésie gazeuse à l'isoflurane pour l'expérimentation animale ainsi qu'un ensemble d'antennes radiofréquence et d'appareils de mesures.

**Les travaux réalisés sur la plateforme IRM** permettent le développement de nouvelles séquences d'acquisition, la conception de nouvelles antennes spécifiques, l'évaluation de méthodes sur des modèles animaux.

**La plateforme ultrasonore** de CREATIS comprend :

- **2 échographes Ultrasonix 500RP et Ultrasonix MDP.** Ces échographes de recherche sont dits « ouverts » et permettent l'acquisition des signaux bruts direc-

tement à la sortie des capteurs (signaux RF). La programmation de la plupart des fonctions de l'échographe est essentielle pour le développement de nouvelles méthodes de caractérisation ou de formation de voie. L'acquisition rapide (1000 images/s), la synchronisation externe ou l'implantation d'algorithmes directement sur l'échographe sont des fonctions qui sont indispensables pour mettre au point des méthodes innovantes d'aide au diagnostic.

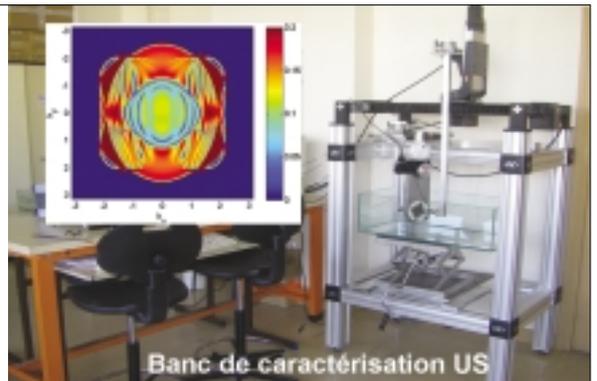


Écran échographe de recherche.

- **Une plateforme de mesure automatisée** qui permet de piloter par ordinateur le déplacement axial, longitudinal et transversal des sondes échographiques utilisées pour les acquisitions.
- **Un ensemble de matériels, produits et de savoir-faire pour la réalisation de fantômes** (objets tests simulant les propriétés physiques des tissus biologiques). De nombreux fantômes sont développés sur la plateforme pour simuler des organes (peau, prostate, sein...) avec des propriétés spécifiques (élasticité, non-linéarité, diffusion acoustique...). Certains fantômes sont développés pour être imagés avec plusieurs modalités d'imagerie simultanément (US/Optique, US/IRM).

**La plateforme d'imagerie par rayons X** (cf. page 12)

➡ [www.creatis.insa-lyon.fr](http://www.creatis.insa-lyon.fr)



Banc de caractérisation US

**MATEIS**  
**Matériaux :**  
**Ingénierie et Science**  
**CNRS UMR 5510 - INSA de Lyon**



**MATEIS** est un laboratoire mixte CNRS/ INSA de Lyon / Université Claude Bernard Lyon 1 de 150 personnes environ (la moitié de permanents). Il optimise les propriétés d'emploi (résistance mécanique sous diverses sollicitations, corrosion, viscoélasticité, plasticité...) des matériaux de structure existants ou vise à en créer de nouveaux, dans un contexte d'allègement des structures et de développement durable.

**Il étudie les quatre classes de matériaux :** métaux, céramiques, polymères, composites sous plusieurs angles : élaboration, observation microstructurale, observation de transformations thermomécaniques ou électrochimiques in situ, caractérisation non destructive, modélisation fondée sur la microstructure.

Les secteurs d'application concernent la production d'énergie, l'allègement des transports terrestres et aériens, la santé. À ce titre, la caractérisation non destructive intervient dans le domaine de la détection précoce de défauts dans les pièces de structure (tuyauteries sous pression en métal ou composites, pièces sollicitées à haute température). Alliée à l'observation des mécanismes de dégradation des matériaux, elle permet une évaluation fine de l'état d'endommagement des pièces et permet d'envisager une estimation de leur durée de vie résiduelle.

➡ [www.mateis.insa-lyon.fr](http://www.mateis.insa-lyon.fr)

**LCND**  
**Laboratoire de Caractérisation**  
**Non Destructive**  
**Université de la Méditerranée**



Le LCND a été créé en 1989. C'est un laboratoire de l'Université de la Méditerranée et de l'Ecole Doctorale ED 353, et en phase de rattachement au LMA (Laboratoire de Mécanique et Acoustique, CNRS UPR 7051). L'effectif 2011 est d'une vingtaine de personnes, enseignants-chercheurs, doctorants, et ingénieurs contractuels. Sept thèses ont été soutenues de 2006 à 2010, trois thèses sont en cours.

**Le thème de recherche principal concerne la caractérisation non destructive par ultrasons des matériaux et structures**, et est organisé autour de 4 sous thèmes de recherche :

1. Étude et modélisation des matériaux et structures
2. Étude et modélisation de la propagation ultrasonore
3. Méthodes expérimentales et validation
4. Optimisation du diagnostic

Cette structuration représente la démarche complète nécessaire pour la caractérisation. Tout d'abord, il est indispensable de décrire le matériau à l'échelle ultrasonore, selon sa géométrie, son état mécanique, ses propriétés physico-chimiques, ... Il faut ensuite prendre en compte les interactions (linéaires ou non) entre l'onde ultrasonore et cette description du matériau, en termes de diffusion, vitesse, atténuation, bruit de structure, déviation, ... Les deux autres sous-thèmes, concernant le développement de moyens expérimentaux et d'analyse des données indispensables à la validation des modèles développés précédemment, font partie des atouts et des spécificités reconnues du LCND.

Le laboratoire a le plus souvent travaillé en partenariat avec des industriels possédant une forte capacité R&D comme le CEA et EDF. Citons notamment deux partenariats forts et durables, avec le



CEA Cadarache sur le développement de méthodes d'évaluation ultrasonore pour l'inspection en service et la surveillance continue des réacteurs refroidis par sodium liquide (IVème Génération), et avec EDF R&D pour la caractérisation ultrasonore des soudures et du béton.

On peut aussi citer des travaux dans des projets ANR « ACTENA : évaluation de la contrainte dans des bétons » « SENSO : stratégie de fusion de données de CND sur béton » « SISTAE, bruit de structure et probabilité de détection » ou des projets FUI comme « CRISTAL : caractérisation de la position des fibres dans un composite carbone thermoformé ».

Le laboratoire est pilote d'un projet RGCU (ACDC/C2D2), et du projet ANR 2011 MACS-ADH sur la caractérisation du collage. Il participe aussi à deux autres dossiers ANR pour 2011 (EVADEOS et MOSAICS). Il a eu la responsabilité du Thème « Bruit de Structure » dans le GDR 2501 « Ultrasons », et collabore avec différents laboratoires universitaires : LMA (UPR 7051 Marseille), MATEIS (UMR 5510, INSA de Lyon), CiNam (UMR 3118), CREATIS (URA 1216, INSA de Lyon), Los Alamos National Laboratory (USA), Sungkyunkwan University (Corée du Sud), le Département de Génie Civil,

Université de Sherbrooke (Canada). Citons également les partenariats passés et présents avec : CEA Cadarache, CEA Saclay, CEA Valduc, CEREM, CETIM, CT.TuilesBriques Paris, CREUSOT FORGE (AREVA), COMEX NUCLEAIRE, CREAS Ascometal, EUROCOPTER, MBDA, SNECMA, EADS, EDF Direction des Etudes et Recherches, LCPC, EDF CEIDRE, CTCPA Avignon, IRSID, TECHNICATOME, Sonaxis, ...

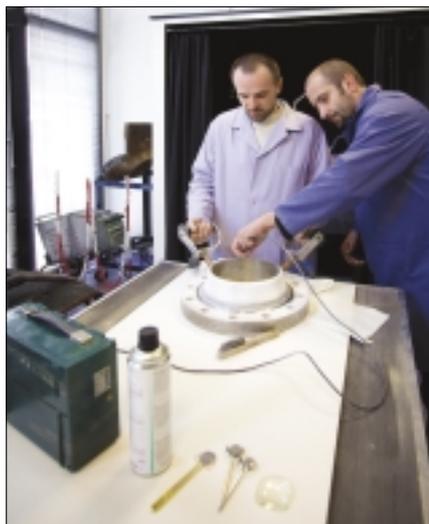
Le LCND a organisé plusieurs colloques, dont Diagnobéton 2007, congrès initié par les collaborations entre les pays francophones sur le Contrôle Non Destructif et l'Instrumentation des ouvrages d'art, la XIII International Conference on Nonlinear Elasticity in Materials 2008, le 1er séminaire CEA-LCND (2009) sur les besoins en contrôles ultrasonores pour les réacteurs nucléaires refroidis par du sodium liquide.

Les enseignants-chercheurs du LCND sont fortement impliqués dans l'enseignement du CND, en formation initiale et continue (Master Recherche Marseille, Ingénieurs IT2I PACA, ESIL, Polytech GC, IUT GMP Aix, INSACAST Lyon).

➡ [www.lcnd.fr](http://www.lcnd.fr)

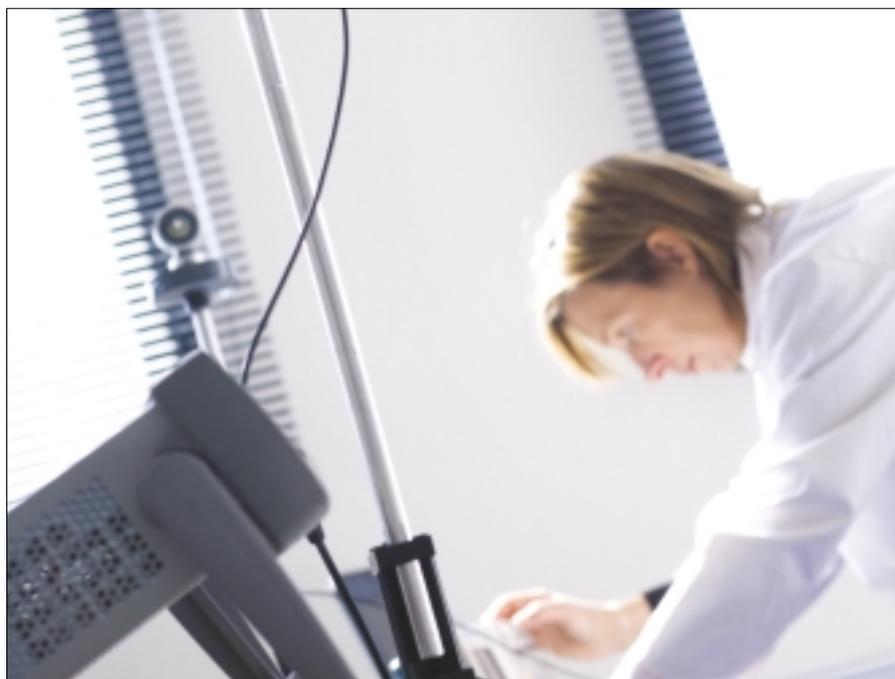
# Laboratoires partenaires

**Centre de formation  
en Essais Non Destructifs  
et métrologie-Insavalor**



Associé à ces 3 laboratoires, NDT Valor comprend également un **Centre de Formation en Essais Non Destructifs et Métrologie**.

Ce centre, spécialisé dans le transfert de compétence, l'intercomparaison des méthodes et de métrologie assure des prestations de formation, de conseil, de développement d'instrumentation, de métrologie et de qualification pour toutes méthodes ■



[www.insavalor.fr](http://www.insavalor.fr)

## CONSULTING UALOR

UN PÔLE DE COMPÉTENCES EN  
**CONSEIL ET INGÉNIERIE ÉDUCATIVE À L'INTERNATIONAL**  
FONDÉ SUR LA RECHERCHE ET L'INNOVATION TECHNOLOGIQUE

INGÉNIERIE DES COMPÉTENCES

INGÉNIERIE PÉDAGOGIQUE

FORMATION

EXPERTISE / AUDIT

ASSISTANCE TECHNIQUE

QUALIFICATION / CERTIFICATION

CONSEIL / ORGANISATION



**L'INSA de Lyon et INSAVALOR interviennent aujourd'hui sur plusieurs continents afin de proposer leurs services aux acteurs internationaux du monde de l'enseignement supérieur et répondre aux besoins des grandes entreprises multinationales.**



© 2011 www.insa-lyon.fr - Crédit photos : iStockphoto - G. M. / Insa-lyon



## MATEIS – Matériaux : Ingénierie et Science

# Activités dans le domaine de la caractérisation non destructive

### Structural Health Monitoring (Contrôle de Santé des Structures)<sup>(1)</sup>

Un axe de recherche fort de MATEIS-ENDV est le Structural Health Monitoring, pour lequel il a été un partenaire important dans deux programmes de recherche européens (DAMASCOS et ADVICE).

En accord avec la démarche scientifique de cette équipe de recherche, notre domaine de compétences dans le SHM s'étend de la définition et la réalisation de l'instrumentation optimale pour une application donnée, à la définition et l'évaluation de paramètres d'endommagement en passant par la simulation numérique de l'interaction entre les ondes guidées mises en jeu et le défaut recherché (Fig. 2).

Un aller-retour permanent entre modélisation et expérience permet de comprendre et interpréter les signaux

observés, en vue de l'extraction des paramètres d'endommagement pertinents.

Cette démarche est rendue possible par l'expertise que MATEIS-ENDV a acquise au cours des années dans le calcul des propriétés dispersives des ondes guidées, dans les moyens de les exciter et de les détecter, ainsi que dans les techniques de traitement et d'analyse du signal.

On peut par exemple voir sur la figure 3, le principe du déploiement d'un réseau de capteurs sans-fil intégrés sur une structure composite. Des travaux récents ont vu la conception de capteurs auto-alimentés, pour mieux répondre à l'exigence de faible poids et d'encombrement de systèmes aéroportés.

Pour chaque application, nous proposons et évaluons les performances d'indicateurs d'endommagement à partir des signaux enregistrés sur les éléments récepteurs du système. Le but de ce genre de démarche est de fiabiliser un système intégré assurant le monitoring de l'endommagement en temps réel.

### Imagerie par ultrasons et caractérisation non-destructive

MATEIS-ENDV a depuis de nombreuses années développé des compétences dans les Essais Non Destructifs.

Dans toutes ses activités de recherche, MATEIS-ENDV s'appuie sur une bonne maîtrise des techniques expérimentales associée à une connaissance approfondie des modèles de propagation ultrasonore. Ainsi, plusieurs systèmes d'imagerie à base d'ondes de volume, mais également d'ondes guidées ont été développés et utilisés pour des applications de détection de défauts dans toutes sortes de matériaux (métaux, céramiques, composites, multicouches...). Deux dispositifs de microscopie acoustique sont également disponibles et peuvent fonctionner en mode imagerie pour détecter et caractériser la topographie ou les variations de propriétés superficielles des échantillons, mais également en mode mesure de propriétés locales par la technique bien connue d'inversion de la signature acoustique  $V(z)$ .



Fig. 1 : Structure composite équipée d'un réseau de capteurs.

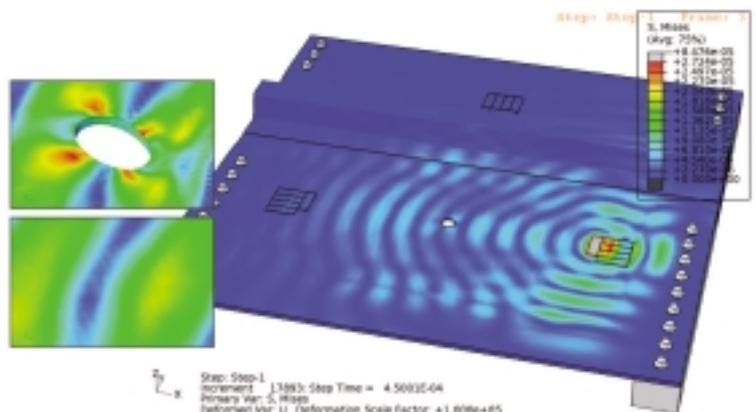


Fig. 2 : Simulation de l'interaction des ondes de Lamb avec un défaut, avec l'aimable autorisation de CENAERO (dans le cadre du projet ADVICE).

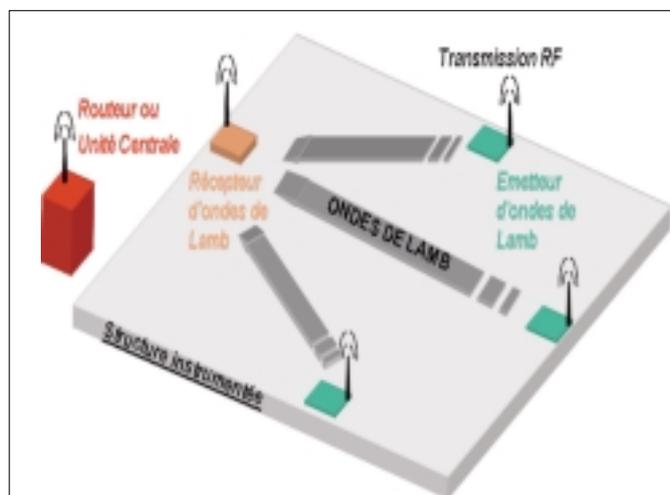
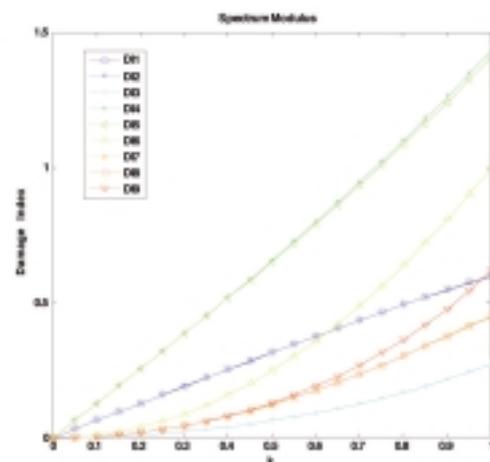
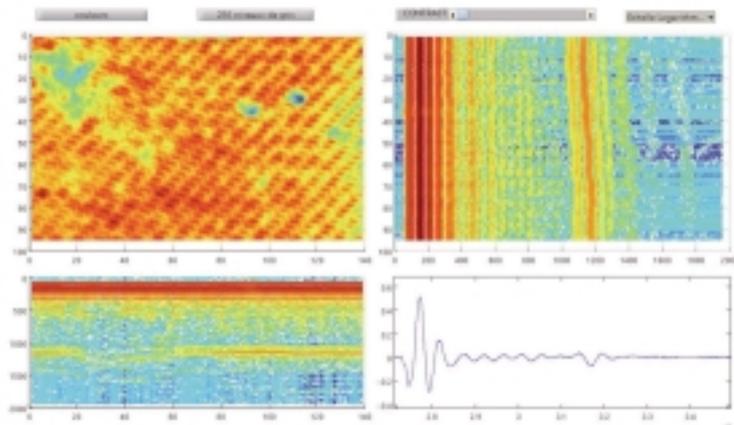


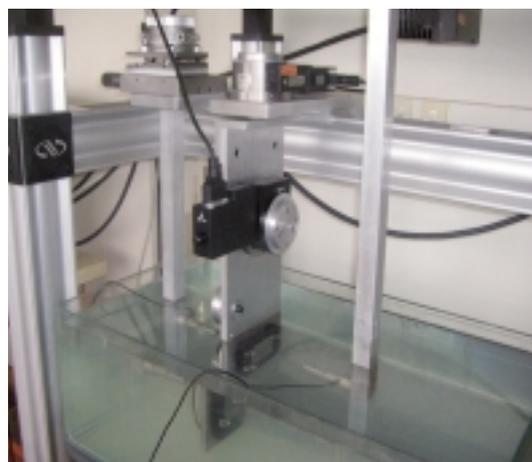
Fig. 3 : Principe d'un système de SHM sans-fil.



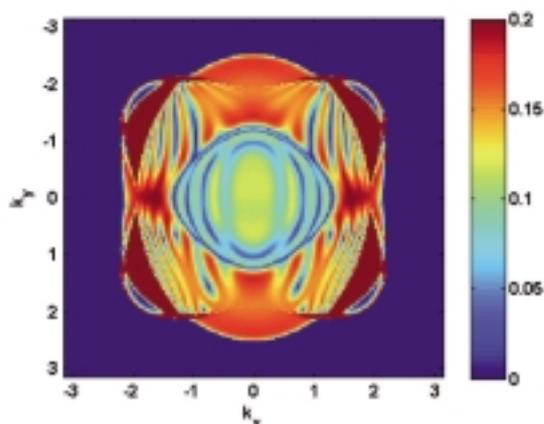
Évolutions comparées de neuf différents indicateurs.



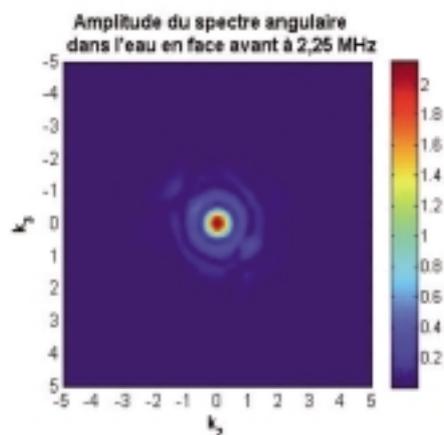
Interface d'un code d'analyse des images.



Système de caractérisation globale des matériaux anisotropes.



Coefficient de transmission d'une lame orthotrope.



Décomposition d'un faisceau ultrasonore en spectre angulaire d'ondes planes.

Ces dispositifs expérimentaux permettent de mettre en œuvre des techniques et méthodes de CND, existantes ou bien mises au point pour le besoin d'un sujet de

recherche particulier. Au niveau de l'exploitation des données acquises, MATEIS-ENDV utilise de multiples techniques de traitement et d'analyse

des signaux : analyse spectrale, ondelettes, transformées de Hilbert. Une des activités importantes de MATEIS-ENDV est la caractérisation de matériaux

anisotropes. Cela consiste d'une part, à mesurer les vitesses des ultrasons dans de nombreuses directions de propagation et à appliquer une technique de résolution du problème inverse, le plus souvent grâce à un algorithme d'optimisation (Gradients conjugués, Levenberg Marquardt, Algorithme Génétique).

D'autre part, pour déterminer l'atténuation dans les milieux anisotropes, la propagation du faisceau ultrasonore est simulée par décomposition en spectre angulaire d'ondes planes et le résultat est comparé au faisceau expérimental transmis.

### Émission acoustique et identification des modes d'endommagement<sup>(2)</sup>

Les secteurs d'application concernent la production d'énergie, l'allègement des transports terrestres et aériens, la santé. A ce titre, la caractérisation non destructive intervient dans le domaine de la détection précoce de défauts dans les pièces de structure (tuyauteries sous pression en métal ou composites, pièces sollicitées à haute température). Alliée à l'observation des mécanismes de dégradation ou de fissuration des matériaux, elle permet une évaluation fine de l'état d'endommagement des pièces et permet d'envisager une estimation de leur durée de vie résiduelle, notamment en couplant les techniques de contrôle non destructifs avec des modèles statistiques ou de mécanique probabiliste de l'endommagement.

Le suivi de l'émission acoustique (EA) des matériaux ou des structures est un moyen bien adapté pour suivre les dégradations ou les endommagements dans les matériaux ou les structures en service. Les mécanismes d'endommagement s'accompagnent de libération d'énergie sous forme d'ondes acoustiques. Des capteurs résonnants ou large bande, disposés à la surface de la structure permettent d'enregistrer les salves d'EA. Après une longue période où les travaux dans ce domaine de l'émission acoustique étaient concentrés sur la détection de phénomènes de dégradation ou de fissuration, les recherches (dans le groupe "Essais Non Destructifs & Prédiction de la Durée de Vie") se sont tournées ces dernières années vers le développement d'approches quantitatives qui permettent d'identifier les modes d'endommagement ou de dégradation sources d'émission acoustique, d'estimer l'état d'en-

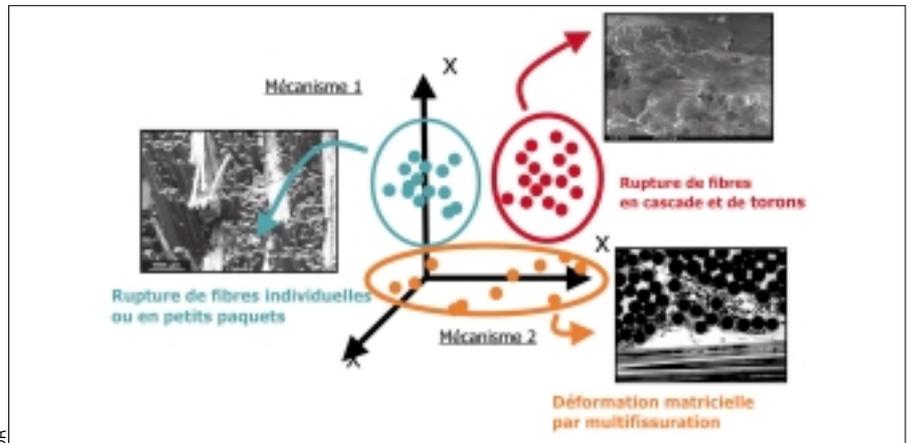


Figure 1 : Identification des modes d'endommagement à partir des signaux d'émission acoustique.

dommagement correspondant, et de développer des modèles de calcul de la durée de vie. L'idée est de prévoir la durée de vie d'une pièce en service en analysant son comportement durant la sollicitation. En effet, les événements endommageant se produisant au début de la mise en service influent fortement sur la durée de vie, on peut les qualifier d'événements précurseurs. La connaissance de ces derniers est alors indispensable à l'évaluation de la durée de vie restante.

La réponse à ces questions nécessite la mise au point de méthodes de classification des signaux, c'est-à-dire :

- Regrouper les signaux d'EA ayant des caractéristiques semblables par une méthode de classification non supervisée afin d'identifier la signature acoustique des différents mécanismes d'endommagement.
- Développer la méthode de classification en créant une bibliothèque de signaux labellisés permettant de passer à une classification supervisée pouvant être utilisée en temps réel. Une fois que la signature acoustique des mécanismes source est identifiée, une bibliothèque de signaux est disponible afin d'identifier en temps réel le mode d'endommagement et d'estimer sa sévérité. Il suffit alors de comparer le signal reçu à ceux de la bibliothèque (cf. figure 1).

#### La méthodologie étudiée nécessite :

- a) La définition des descripteurs des signaux d'EA à utiliser : en effet, il est souvent nécessaire de définir de nouveaux descripteurs en raison de la forte corrélation qui existe entre les paramètres mesurés en temps réel ;

- b) Le choix et l'optimisation des classificateurs ;
- c) La validation de la partition en classes des données. Les similitudes observées entre les signaux d'une même classe correspondent-elles réellement à un même phénomène physique ou inversement les différences enregistrées entre les classes correspondent-elles à différents mécanismes d'endommagement ?
- d) La labellisation des classes ; cette dernière étape est souvent délicate. Elle consiste à attribuer à une classe un (ou plusieurs) mécanisme source. Elle nécessite une analyse fine des données mécaniques et de l'endommagement des matériaux à l'aide de la microscopie.

Un algorithme de classification résultant de la combinaison de différents classificateurs (classification hiérarchique ascendante, analyse en composante principale et l'algorithme des k-moyenne optimisé par un algorithme génétique) [Huguet 2002, Godin 2004-2005, Moevus 2007, Sibil 2010] a été développé. L'émission acoustique, une fois qu'elle est bien caractérisée, peut devenir un outil prédictif [Momon 2010, Deschanel 2009] ■

(1) Par Philippe GUY  
et Thomas MONNIER  
du laboratoire MATEIS-ENDV  
(Evaluation Non Destructive  
& Durée de Vie) –  
CNRS 5510 de l'INSA  
de Lyon.

(2) Par Nathalie GODIN,  
Stéphanie DESCHANEL,  
Jacques LAMON.

CREATIS – Centre de Recherche en Imagerie Médicale

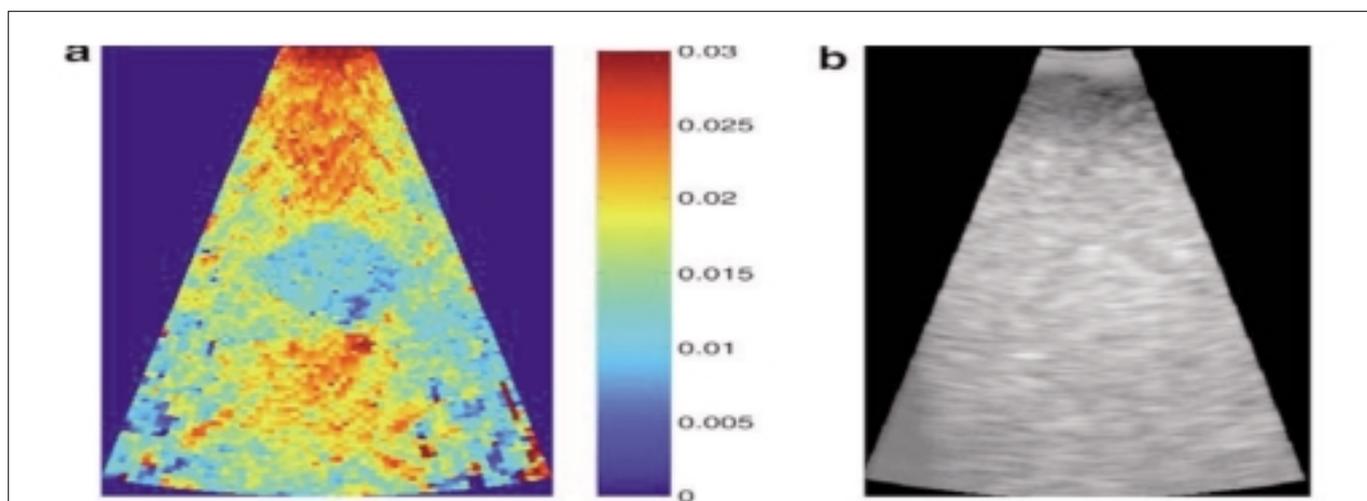
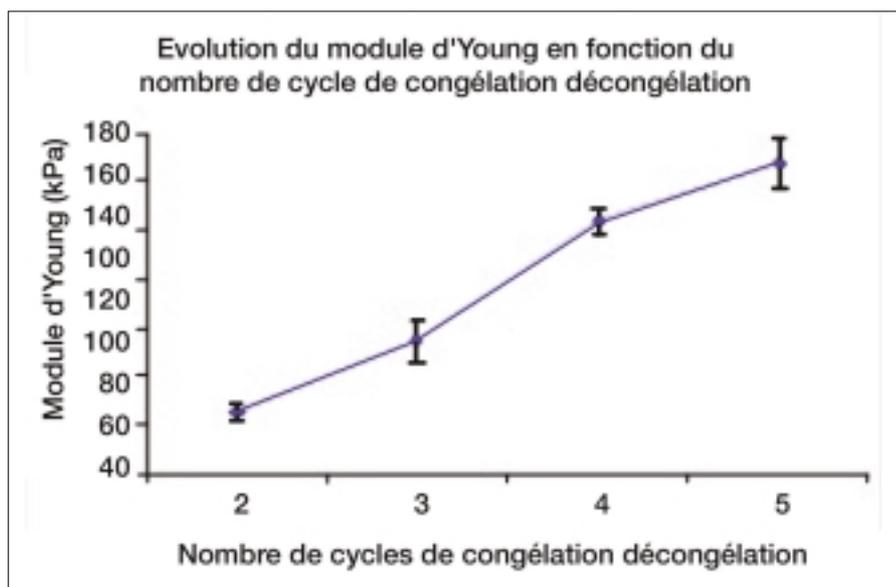
# Caractérisation mécanique et par élastographie de gels d'alcool polyvinylique

L'équipe Imagerie Ultrasonore de CREATIS développe des fantômes physiques en gel d'alcool polyvinylique pour imiter les tissus mous biologiques. Ces fantômes sont utiles pour valider les méthodes de traitement du signal et de l'image qui seront ensuite appliquées aux images provenant des échographes cliniques.

Par exemple, nous développons à CREATIS des méthodes d'élastographie qui permettent de caractériser les propriétés d'élasticité des tissus à partir du traitement des images ultrasonores acquises sur nos échographes. Pour évaluer les performances de ce type de méthode, nous avons réalisé un ensemble de fantômes possédant des valeurs d'élasticité différentes.

À partir de poudre d'alcool polyvinylique diluée à 10 % dans de l'eau distillée et chauffée à une température proche de 100° C, nous réalisons une solution qui est moulée puis placée dans un congélateur. Les fantômes sont soumis à un nombre variable de cycles de congélation/décongélation qui vont faire varier la dureté des gels.

La figure suivante montre qu'entre 2 et 5 cycles de congélation, le module d'Young du fantôme varie entre 65 kPa et 167 kPa. Ces mesures sont réalisées au laboratoire à partir d'un dispositif



automatisé qui est composé d'un moteur de déplacement pas à pas comprimant le fantôme et d'un capteur de pression pour mesurer la force appliquée. La reproductibilité varie de 2 à 8 % indépendamment du nombre de cycle subit.

Cette mesure simple à réaliser, nous a permis de montrer la stabilité à long terme des gels de polyvinyle-alcool et de leurs modules d'Young pour les utiliser de manière fiable après une période de plusieurs mois.

Ces gels ont été également imagés avec les échographes du laboratoire pour calculer des élastogrammes. Ce type d'imagerie permet par exemple de différencier les tissus sains et ceux pathologiques. Un exemple présenté sur la figure page 10 (en bas) montre à gauche une image de déformation du milieu contenant une inclusion et à droite une image ultrasonore classique du même fantôme. Grâce aux connaissances techniques acquises sur des gels imitant les tissus mous biologiques, la reconstruction 3D

du module élastique de fantôme physique et maintenant possible ■

**Didier VRAY, CREATIS**

Références :

F. Duboeuf, A. Basarab, H. Liebgott, E. Brusseau, P. Delachartre, and D. Vray, "Investigation of PVA cryogel Young's modulus stability with time, controlled by a simple reliable technique", *J Med Phys*, vol. 36, no. 2, pp. 656-661, 2009.  
G. Said, O. Basset, J. M. Mari, C. Cachard, E. Brusseau, and D. Vray, "Experimental three dimensional strain estimation from ultrasonic sectorial data", *Ultrasonics*, vol. 44, pp. 189-193, May, 2006.

# Caractérisation de surfaces par imagerie

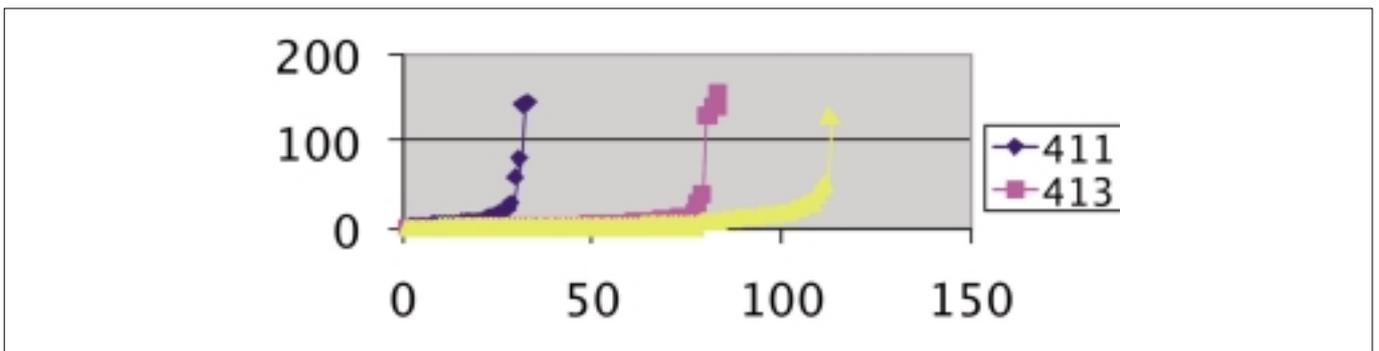
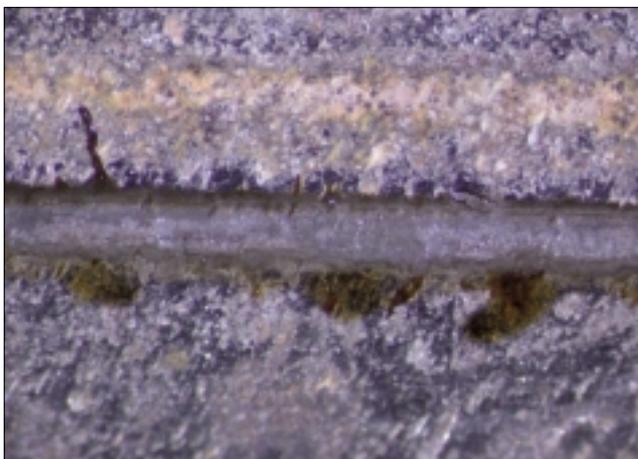
Dans ses missions de transfert industriel et de valorisation, CREATIS réalise des expertises avec des industriels dont le domaine d'activités ne touche pas nécessairement l'imagerie médicale. À titre d'exemple, on présente ici **une étude**

**de comportement de poutre sur banc de sévérisation pour différents lubrifiants.**

Voici un exemple d'images que va fournir l'industriel, sur lesquels des algorithmes de traitement d'images permettront de caractériser l'état des poutres.

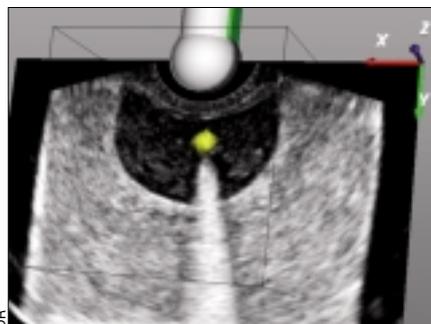
Par traitement d'images, on choisit les zones d'intérêts pertinentes qui permettront de quantifier les paramètres pertinents pour la classification des lubrifiants étudiés ■

**Guy COURBEBASSE - CREATIS**

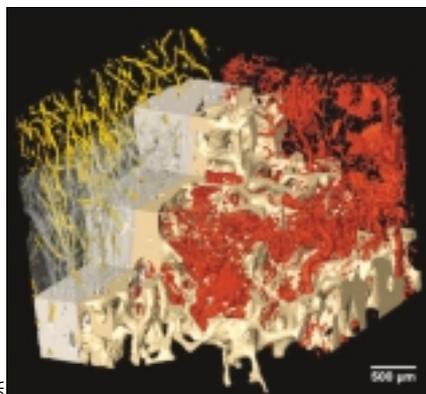


Courbe de classification des objets caractérisant les surfaces de poutre en unités non communiquées (données confidentielles).

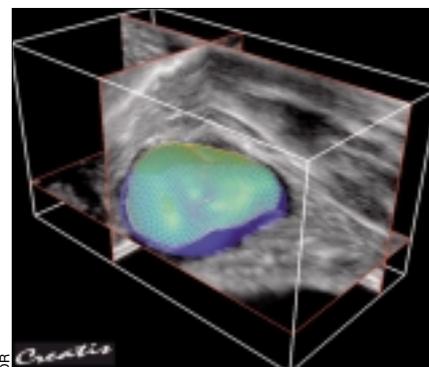
# Illustrations de résultats scientifiques



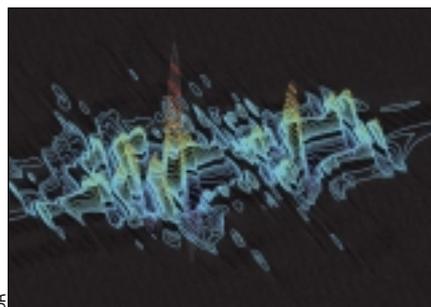
*Imagerie Bimodalité US/Optique sur un fantôme de prostate.*



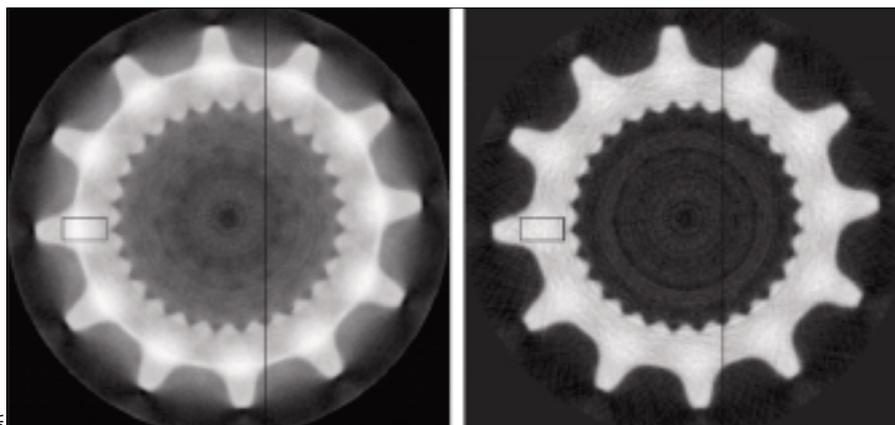
*La micro-tomographie synchrotron a permis, pour la première fois, de visualiser et d'analyser simultanément la microstructure osseuse et le système micro-vasculaire.*



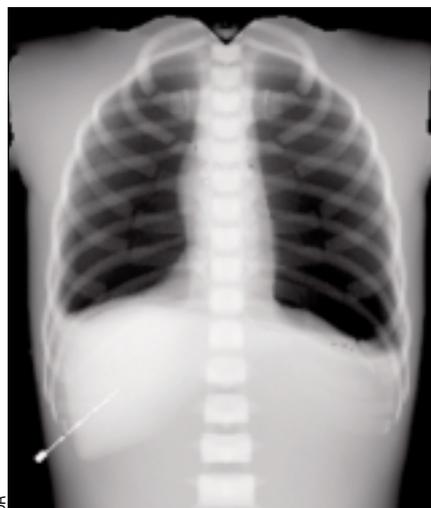
*Segmentation d'un volume d'images US 3D d'embryon de souris pour la quantification du développement embryonnaire.*



*Spectres proton des métabolites cérébraux mesurés in vivo par spectroscopie 2D de résonance magnétique.*



*Reconstruction tomographique d'une pièce fritee sans (à gauche) et avec (à droite) compensation du rayonnement diffusé (images acquises avec une haute tension de 400 kV).*



*Simulation rapide d'image radiographique sur processeurs graphiques (cadence vidéo). Application à l'apprentissage du geste chirurgical sous fluoroscopie.*

## La plateforme d'imagerie par rayons X de CREATIS

La plateforme d'imagerie par rayons X de CREATIS est répartie sur plusieurs sites :

- L'équipe "imagerie tomographique et thérapie par rayonnements" est directement associée à l'ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) de Grenoble (microtomographie, contraste de phase) et au plateau technique du Centre Léon Bérard de lutte contre le cancer (CT, CT 4D, CBCT).
- La plateforme d'imagerie par rayons X comprend également sur le site LyonTech La Doua à Villeurbanne une enceinte d'irradiation (blockhaus) avec plusieurs tubes à rayons X (gamme de tension de 20 kV à 450 kV) et différents détecteurs (caméra à reprise d'écran, amplificateur de brillance, panneaux plans) permettant d'effectuer des acquisitions en radioscopie (2D) et tomodynamométrie à faisceau conique.

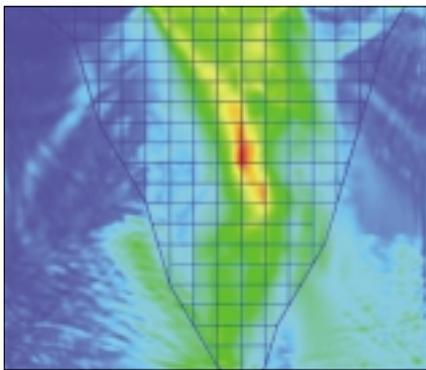
Une part importante des activités du groupe est dévolue à la mise au point d'outils de simulation (participation à la collaboration openGATE, <http://www.opengatecollaboration.org/>) de visualisation 4D (plateforme vv, <http://vv.creatis.insa-lyon.fr>) et de reconstruction (bibliothèque rtk, <http://www.creatis.insa-lyon.fr/~srit/rtk/>), indispensables pour concevoir et optimiser de nouveaux systèmes d'imagerie.

**LCND – Laboratoire de Caractérisation Non Destructive**

# Caractérisation ultrasonore des matériaux et structures réels

*La prise en compte de la réalité de la pièce à caractériser est un point fort du LCND. On cherche à décrire le matériau (et donc la structure) à l'échelle ultrasonore pour améliorer le potentiel de caractérisation. On présente quelques exemples de cette démarche.*

**Caractérisation ultrasonore des soudures multi-passes d'acier inoxydable austénitique<sup>(1)</sup>**



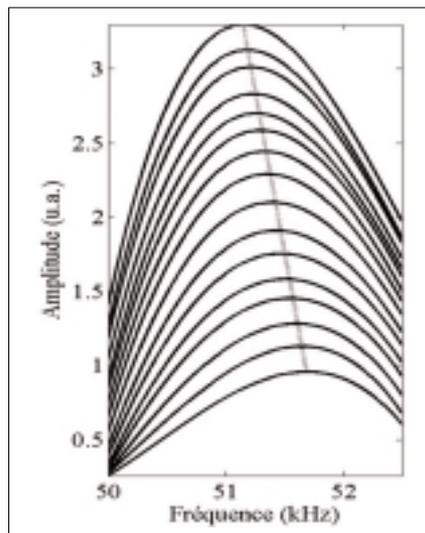
*Propagation ultrasonore simulée dans une soudure.*

Le LCND a développé avec EDF le modèle MINA qui décrit l'orientation locale de la microstructure à partir des informations du cahier de soudage (forme de la soudure et des passes). Il a été montré que cette orientation est gouvernée par l'épitaixie, le gradient de température, et la croissance sélective entre les grains. La connaissance de la direction des grains permet de remonter aux constantes d'élasticité. On prévoit ainsi les phénomènes de déviation et de division du faisceau ultrasonore.

**Caractérisation ultrasonore du béton<sup>(2)</sup>**

L'exploitation de modèles d'homogénéisation dynamique a été étudiée sur des éprouvettes de ciment ou béton avec des billes de polystyrène expansées, et de verre. Ces billes représentent un ensemble de diffuseurs moyens équivalent à un ensemble de fissures de morphologies aléatoires orientées aléatoirement dans la matrice. Ceci a permis de valider le modèle de

Waterman et Truell dans les milieux à fort taux de diffuseurs.



*Comportement non linéaire d'un béton endommagé.*

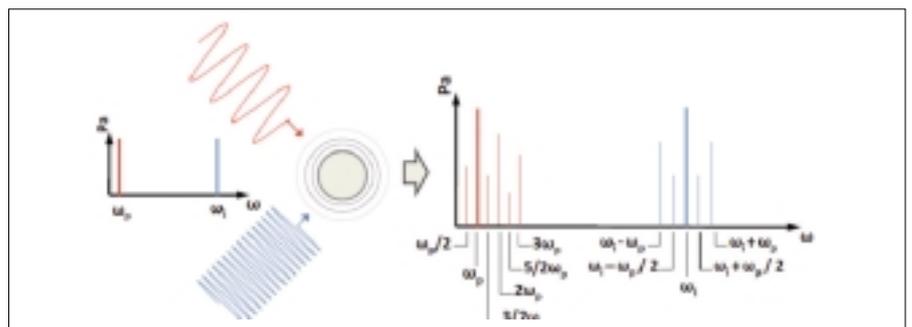
Des travaux concernant l'étude de l'acoustique non linéaire pour la caractérisation du béton sont menés depuis quelques années, en collaboration avec EDF et le LANL (USA). Milieu fortement hétérogène et microfissuré, le béton exhibe un comportement fortement non linéaire caractéristique des matériaux dits «non classiques». Nous avons montré que ces

indicateurs ont une sensibilité souvent décuplée face à l'endommagement par rapport aux mesures standard de vitesse ou d'atténuation. Les études récentes concernent les fissures fermées ainsi que certaines pathologies (carbonatation) difficilement détectables jusqu'alors, et montrent l'intérêt de ces indicateurs pour le CND du béton.

**Caractérisation ultrasonore dans le sodium liquide<sup>(3)</sup>**

Dans le cas de l'inspection en service des futurs réacteurs nucléaires refroidis par les métaux liquides, l'interface liquide-matériau à inspecter est dite composite (liquide-gaz-solide) pour le faisceau ultrasonore. Des rugosités modèles ont été étudiées et les expériences en sodium ont été remplacées par une manipulation équivalente plus facile en eau avec des substrats silicium rendus hydrophobes.

Un modèle a été mis au point en définissant une raideur mécanique créée par un réseau de poche de gaz à une interface liquide - solide. Un autre objectif est la caractérisation de bulles de gaz dans le sodium liquide. Une expérimentation par diffractométrie laser a été menée pour valider une mesure optique développée pour calibrer les mesures ultrasonores. Le caractère fortement non linéaire d'une bulle excitée à sa fréquence de résonance a conduit à utiliser une méthode fondée sur le principe d'interaction d'ondes. On a ainsi pu reconstruire des histogrammes des rayons d'une population de microbulles en accord

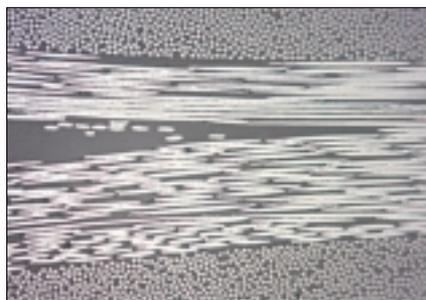


*Principe du mixage de fréquences.*

avec les histogrammes optiques de référence. Les résultats ont permis un dépôt de brevet.

## Caractérisation ultrasonore du déplacement de fibres<sup>(4)</sup>

Dans le cadre d'un projet FUI, on s'intéresse à la caractérisation des produits en composite carbone réalisés par Thermoformage. On étudie notamment le déplacement des fibres qui pourrait apparaître lors de la fabrication des pièces. Un modèle



*Déplacement de fibres de carbone.*

de propagation multicouches a été adapté à ce matériau et ce défaut. L'accent est particulièrement mis sur les formes complexes de pièces et le remplacement des procédures ultrasonores traditionnelles lentes et parfois endommageantes (couplant) ■

<sup>(1)</sup> G. CORNELOUP, C. GUEUDRÉ, J. MOYSAN, MA. PLOIX, I. LILLAMAND

<sup>(2)</sup> V. GARNIER, JF. CHAIX, C. PAYAN <sup>(3)</sup> J. MOYSAN, C. PAYAN

<sup>(4)</sup> C. GUEUDRÉ, G. CORNELOUP

# Expérimentation, validation, optimisation du diagnostic de CND

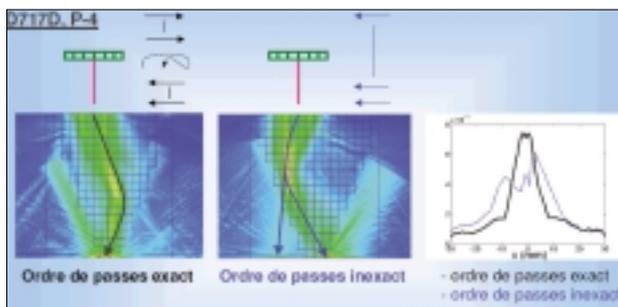
Le LCND a développé des expérimentations innovantes et des méthodes de traitement numérique de données originales, pour résoudre des cas complexes de caractérisation de matériaux et structures réels. On présente quelques exemples de cette démarche.

## Couplage mesures optiques et acoustiques<sup>(5)</sup>

Une expérience de visualisation en eau, appelée OMICA, a été mise au point dans le cadre d'un projet permettant la visualisation de bulles au niveau d'une surface solide par des moyens optiques. Une caméra haute résolution couplée à un microscope longue distance a permis d'obtenir des images de rainures micrométriques, où le gaz reste piégé par la rugosité. Elles permettent de conclure sur la coalescence des poches de gaz, et leur évolution sous ultrasons. Un autre banc acousto-optique MESANGE (cf. photo de couverture) a été réalisé avec pour objectifs de générer un nuage de bulles représentatif de l'engagement du sodium liquide des réacteurs nucléaires à caloporteur sodium, de contrôler de façon fiable les caractéristiques du nuage généré, et de valider la mesure de l'histogramme des rayons des bulles et taux de vide via le mixage de deux fréquences.

## Problèmes inverses pour la caractérisation des soudures<sup>(6)</sup>

Deux modèles complémentaires permettent de prévoir la propagation ultrasonore dans les soudures : ATHENA (EDF) est un code éléments finis qui simule la propagation ultrasonore et le modèle MINA (développé par le LCND) qui prédit l'orientation des grains de



*Recherche de l'ordre exact des passes.*

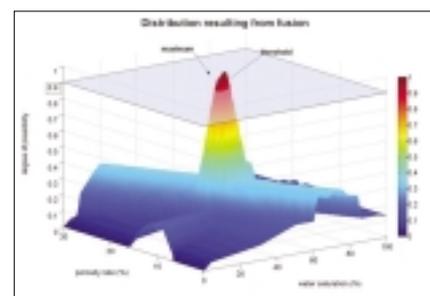
la soudure. Nous proposons une optimisation des paramètres de refusion et d'inclinaison des passes du modèle MINA à partir d'une approche d'inversion, permettant de perfectionner le modèle direct. La méthode d'inversion basée sur les algorithmes génétiques a permis de trouver la solution de l'inversion avec précision. Cette démarche d'inversion a ensuite été appliquée à l'ordre d'enchaînement des passes de la soudure, pour trouver l'ordre d'enchaînement des passes non inscrit dans le cahier de soudage, ou de manière erronée.

## Fusion de données pour la surveillance des ouvrages d'art<sup>(7)</sup>

L'expertise du LCND dans le domaine de la fusion de données de CND a permis de proposer cet axe de recherche dans le cadre du projet ANR SENSO. Des indicateurs de pathologies et de durabilité d'une structure sont évalués par des mesures non destructives : porosité, teneur en eau, teneur en chlorures, rigidité, résistance mécanique, front de carbonatation. Différentes techniques de CND ont été mises en œuvre par les différents partenaires (ondes électromagnétiques radar, ondes mécaniques ultrasonores,

thermographie Infra Rouge, résistivité, capacité). Le traitement statistique des données a permis de sélectionner les observables (résultats des mesures non destructives) à partir de critères fondés sur les variabilités intrinsèque et spatiale et sur la sensibilité des observables face aux pathologies.

Le LCND a élaboré une stratégie de fusion des données fondée sur la théorie des possibilités et la logique floue, dans le but d'estimer deux indicateurs simultanément.



*Résultats de fusion pour la porosité et la saturation en eau.*

Cette stratégie permet de gérer les conflits amenés par les imprécisions des données d'entrée, du fait en particulier de la forte hétérogénéité du béton, et des interdépendances non maîtrisables entre les différents indicateurs ■

<sup>(5)</sup> C. PAYAN, J. MOYSAN <sup>(6)</sup> C. GUEUDRÉ, J. MOYSAN, G. CORNELOUP <sup>(7)</sup> MA. PLOIX, V. GARNIER

**AMPÈRE – Génie Electrique, Électromagnétisme, Automatique, Microbiologie Environnementale et Applications**

# Contrôles Non Destructifs par méthodes électromagnétiques, Modélisation numérique et Formation

Les dispositifs électriques sont toujours plus présents dans tous les domaines industriels et domestiques. Quelle que soit leur échelle, leurs principes et performances sont conditionnés par les phénomènes électromagnétiques. Par ailleurs, en matière de formations initiale et continue, l'électromagnétisme est souvent perçu comme une discipline difficile en raison des notions abstraites utilisées (champs, flux) et du formalisme mathématique (vecteurs et scalaires, équations différentielles ou intégrales).

Le CND par méthodes électromagnétiques (Magnétoscopie, Courants de Foucault, Méthode électrique) n'échappe pas à cette contrainte. Globalement, ces méthodes mettent en jeu des notions de courant (injecté ou induit) et de champ magnétique, mais les exploitent de manière différente (perturbation de l'une ou l'autre de ces grandeurs par le défaut, mesure directe ou indirecte). Les fameuses équations de Maxwell illustrent la complexité des phénomènes, comme le confirment les signatures de défauts en Courants de Foucault. Les performances de ces méthodes dépendent de la localisation et de l'orientation du phénomène « principal » par rapport au défaut, c'est-à-dire de divers paramètres géométriques et physiques du capteur et de la pièce contrôlée.

La résolution « exacte » des équations de Maxwell, c'est-à-dire la modélisation ou

simulation numérique avec des logiciels fait partie des outils dont dispose le domaine du CND pour concevoir des capteurs performants, pour prédire la réponse des capteurs et aider à la détection des défauts in situ (problème inverse), et plus simplement pour la compréhension des phénomènes.

Ces logiciels s'appuient sur les nombreux travaux de recherche qui sont menés au niveau national et au niveau international depuis une vingtaine d'années, et peuvent se répartir en plusieurs catégories :

- **Des logiciels généraux de « calcul de champs » 3D** (exemple : le logiciel *Flux*), dédiés au départ à la simulation de dispositifs électriques de tous types, principes, structures, dimensions, matériaux,... Le CND électromagnétique constitue un domaine d'utilisation parmi d'autres. Sa spécificité (fissure de très faible épaisseur, faibles variations des grandeurs,...) a imposé le développement de démarches et de modules plus adaptés. Ces logiciels utilisent principalement la méthode des Éléments Finis.

- **Des logiciels 3D conçus spécifiquement pour le CND** (exemple : le logiciel *CIVA*) et adaptés à des configurations classiques : capteur absolu/différentiel,... multi-capteur, formes de fissures, déplacements,... Ces méthodes « semi-analytiques » sont basées notam-

ment sur des formulations intégrales de volume. Limités au départ à des structures types (plaque, cylindre, capteurs simples, matériaux non magnétiques), ces logiciels s'enrichissent régulièrement pour mieux répondre à la demande, sans toutefois permettre de pouvoir traiter a priori des structures absolument quelconques.

Parallèlement à ces 2 catégories complémentaires de logiciels 3D, qui impliquent logiquement des temps de calcul non négligeables et un minimum de connaissances sur les méthodes numériques, **une 3<sup>e</sup> catégorie dédiée à la formation trouve sa place. Dans ce cas, la méthode de calcul doit être transparente pour l'utilisateur, et le calcul instantané mais précis.** Même avec les performances actuelles des PC, ils ne peuvent concerner a priori que des géométries sans fissure. Le nombre de paramètres réglables est volontairement limité, et les géométries prédéfinies. **Ces logiciels s'appuient sur :**

- le fameux modèle de Dodd, c'est-à-dire des solutions analytiques des équations de Maxwell limitées uniquement à certaines structures cylindriques.

- la résolution numérique 2D ou 3D axisymétrique des équations de Maxwell par Éléments Finis, qui offrent plus de souplesse par rapport à Dodd, notamment pour la prise en compte de diverses structures de capteurs et de

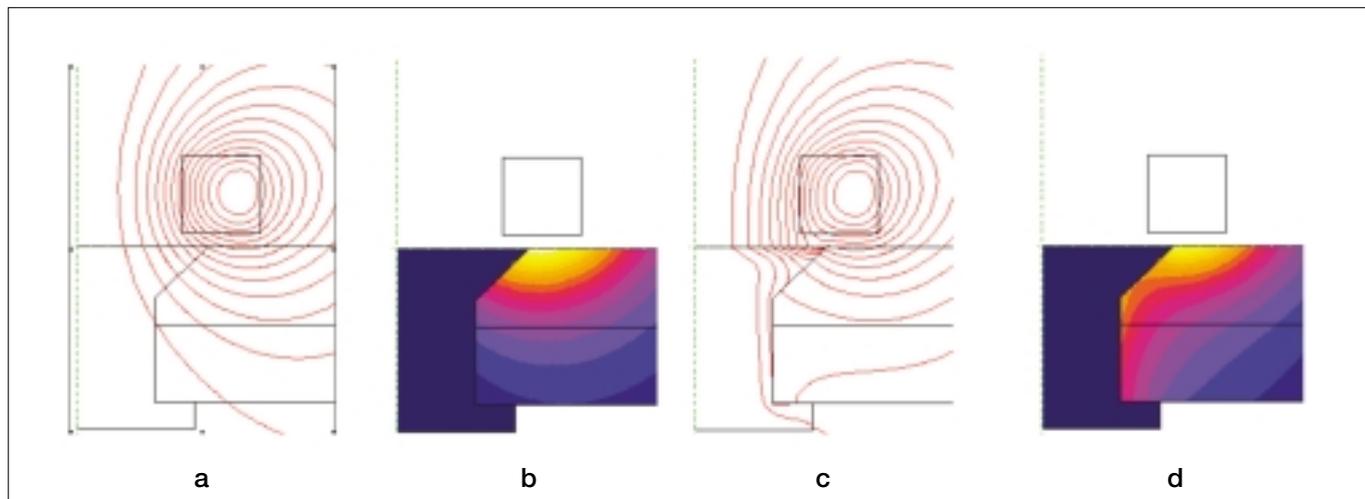


Figure 1 : Visualisation de l'effet respectif des matériaux dans un contrôle par Courants de Foucault d'un assemblage riveté de plaques aluminium - Influence du rivet : (a, b) titane, (c, d) ferromagnétique - Représentation dans un plan de coupe : (a, c) lignes de champ magnétique, (b, d) densité de courant de Foucault.



## AMPERE

Le Laboratoire AMPERE est contractualisé avec le CNRS – UMR 5005 et 3 établissements Lyonnais : Université Claude Bernard Lyon 1, Ecole Centrale de Lyon et INSA de Lyon. AMPERE compte près de 180 collaborateurs. **L'objectif général des recherches menées à AMPERE consiste à gérer et utiliser de façon rationnelle l'énergie dans les systèmes en relation avec leur environnement.**

**Le Laboratoire est structuré en 3 Départements scientifiques :**

**Énergie électrique :** créer et optimiser les dispositifs de transport, de distribution et de conversion de l'énergie Électrique.

**Bio-ingénierie :** faire émerger des concepts fondamentaux, des méthodes et des applications en bio-ingénierie par une synergie entre le Génie Électrique, la Science des micro-systèmes et la Biologie.

**Méthodes pour l'Ingénierie des systèmes :** développer des méthodologies d'analyse et de synthèse pour une conception maîtrisée intégrant les contraintes de commande, de fiabilité et de suivi des systèmes multi-physiques.

**Les recherches menées couvrent un large spectre :** de l'automatique au génie électrique, en passant par l'électromagnétisme et la microbiologie environnementale, du composant au système, du statique aux hautes fréquences (GHz), du fondamental aux applications.

**Les domaines concernés :** Matériaux du Génie électrique, Électronique de puissance, Haute-tension, Compatibilité électromagnétique, Modélisation électromagnétique, Contrôle-commande, Mécatronique, Fluid power, Robotique médicale, Diagnostic et sûreté de fonctionnement, Ingénierie écologique, Transferts de gènes et adaptation bactérienne,...

➔ [www.ampere-lyon.fr](http://www.ampere-lyon.fr)

géométries étudiées. Par exemple, le logiciel *Coufou* a été conçu dans cet esprit et a été introduit depuis longtemps en formations initiale et continue.

Depuis plus de 10 ans en effet, dans le cadre des formations Courants de Foucault niveaux 2 et 3 organisées par INSA-VALOR, une demi-journée est consacrée à la modélisation. A cette occasion, les personnes en formation utilisent des logiciels *Eléments Finis Coufou* et *Efchin* (laboratoire Ampère) pour visualiser les phénomènes (répartition du champ magnétique et des Courants de Foucault, effet de peau), et mieux comprendre l'impact des principaux paramètres : conductivités électriques et perméabilités magnétiques des matériaux, fréquence, voisinage de matériaux de natures différentes (fig. 1), structures des capteurs (bobine seule ou avec circuit magnétique).

Cette demi-journée de modélisation, pendant laquelle paradoxalement l'utilisation de la théorie est presque inexistante, se révèle tout à fait complémentaire des différentes parties d'une formation en CND par Courants de Foucault, un domaine par nature expérimental ■

**Noël BURAI**  
**Laboratoire Ampère**  
**Professeur à l'Université**  
**Claude Bernard Lyon 1**

NDT Valor

# Métrieologie des Essais Non Destructifs

*Comme tout secteur industriel mettant en œuvre des essais et des mesures, les différents fournisseurs de prestations de services en Essai Non Destructif doivent garantir le niveau de qualité des résultats rendus.*

L'intégration des concepts de la métrologie dans le domaine des Essais Non Destructifs est longtemps restée confidentielle et limitée à des applications particulières. Depuis une dizaine d'années, la demande en termes de qualité de mesure se confirme.

**Qualifier une mesure ou un essai non destructif** demande, comme dans d'autres domaines, une double compétence : celle du métrologue rompu à la démarche de l'estimation des sources d'erreur et des incertitudes ainsi qu'au choix d'un traitement statistique adapté, mais aussi celle du spécialiste en Essai Non Destructif qui doit connaître les principes physiques de la méthode utilisée, mais aussi ses limites de performances dans le contexte d'utilisation.

**La spécificité d'un Essai Non Destructif**, qui influence fortement sur sa qualification métrologique, est que l'on est typiquement dans une

situation de mesure très indirecte et dans le cas d'un problème inverse ou si il est mal abordé, il présente le risque que l'incertitude sur les inconnues deviennent prépondérantes sur les observations et par là rendent obsolète l'estimation d'une incertitude.

La prise en compte conjointement des limites du modèle physique de détection et de caractérisation sur lequel s'appuie la méthode, avec la démarche métrologique, est une nécessité pour éviter les erreurs ou des conclusions débouchant sur de la sur-qualité.

**La plateforme NDT Valor développe cette double compétence au travers d'expertises complémentaires :**

- capacité à modéliser le phénomène physique mis en œuvre dans l'application d'une méthode,
- expérience pratique des limites de la méthode,
- pratique métrologique et savoir-faire relatif au traitement mathématique des données.

Nous avons expérimenté sur plusieurs applications cette approche et nous avons notamment engagé une étude sur l'analyse métrologique des résultats de mesure par ultrasons mettant en œuvre des transducteurs multiéléments.

Les premières phases de cette étude ont montré les apports de cette technologie et quelques orientations qui devraient être envisagées pour la mettre en œuvre dans un objectif d'optimisation des performances ■



*Appareil US multi éléments.*

**Michel DESCOMBES**  
**Bernard BOURGEAY**  
**François NOËL – NDT Valor**

NDT Valor

# Les ondes HF et UHF en Contrôle Non Destructif

Les progrès dans la miniaturisation des systèmes électroniques, notamment dans le domaine des fréquences élevées rend possible l'exploration des potentialités de la partie du spectre électromagnétique au-delà de celui des Courants de Foucault traditionnels.

Envisager une fréquence d'émission dans la plage comprise entre la centaine de Mégahertz et de Gigahertz offre de nouvelles perspectives tant sur l'interaction onde matériau et les informations que l'on peut en déduire des hétérogénéités détectées que sur l'investigation de matériaux auquel les Courants de Foucault « classiques » ne pouvaient prétendre.

Augmenter la fréquence entraîne en premier lieu pour les matériaux métalliques (conducteur) une baisse de la profondeur de pénétration standard  $\delta$ , ainsi à 100 Mégahertz elle est dans l'aluminium de l'ordre de quelques centièmes de millimètres, et passe à quelques micron-mètres à 10 Gigahertz : l'interaction onde/défaut s'en

trouve fortement modifiée. Par contre, les matériaux diélectriques et faiblement conducteurs, transparents aux fréquences Courants de Foucault, peuvent alors interagir avec des ondes de fréquences plus élevées.

Il est possible d'identifier plusieurs modes d'interaction en fonction des paramètres tels que la conductivité électrique, les propriétés diélectriques (permittivité/angle de pertes), épaisseur à investiguer et leur valeur relative par rapport à la fréquence.

Il devient ainsi possible soit de s'intéresser au contrôle de matériaux, qui étaient hors du champ classique des Courants de Foucault, soit d'effectuer des investigations classiques avec une interaction onde défaut différente.

Ainsi, nous nous intéressons aux potentialités de ces fréquences sur des matériaux tels que : les plastiques, composites isolants ou partiellement conducteurs, dérivés de produits naturels, mais aussi sur leurs apports dans l'investigation

de matériaux plus classiques comme la surface des métaux et alliages.

Un des avantages de ces méthodes et qu'elles ne nécessitent pas un milieu de couplage au travers d'un contact solide (ou liquide) entre le capteur et le matériau à tester ; elles peuvent donc s'appliquer potentiellement à une grande variété de surfaces.

Lorsque la fréquence augmente, il est nécessaire de tenir compte de la dimension relative entre la longueur d'onde et le dispositif d'émission-réception, phénomène inexistant à plus basse fréquence. Cette contrainte impose de reconsidérer la conception des capteurs et leur positionnement avec la surface du matériau à tester.

NDT Valor travaille au développement d'instrumentations et de techniques de mise en œuvre de ces méthodes au travers de démonstrateurs pouvant être utilisés sur des cas réels ■

**Yves JAYET**  
**Michel DESCOMBES – NDT Valor**

# Une offre de formations basée sur la recherche et l'innovation

## ESSAIS NON DESTRUCTIFS (57 stages)

### Stages généraux

- END et contrôle de santé intégré SHM
- Essais non destructifs - Préparation à l'examen de base niveau 3<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs appliqués aux matériaux composites
- Essais non destructifs « toutes méthodes »
- Introduction à la fusion de données appliquée aux END
- Qualification et métrologie d'un essai non destructif (E.N.D.)
- Sciences des matériaux - Métallurgie et défautologie des produits métalliques<sup>(1)</sup>
- Techniques de contrôle appliquées à la maintenance
- Traitement du signal et de l'image appliqués aux essais non destructifs

### Endoscopie Ressuage

- Essais non destructifs par ressuage niveau 1<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs par ressuage niveau 2<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs par ressuage niveau 3<sup>(1)</sup>
- Examen visuel et télévisuel<sup>(1)</sup>
- Préparation à la recertification en ressuage niveau 2<sup>(1)</sup>

### Magnétoscopie - ACFM Barkhausen

- END par ACFM (Alternating Current Field Measurement)
- Essais non destructifs par magnétoscopie niveau 1<sup>(1)</sup>



- Essais non destructifs par magnétoscopie niveau 2<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs par magnétoscopie niveau 3<sup>(1)</sup>
- L'effet Barkhausen et ses applications
- Préparation à la recertification en magnétoscopie niveau 2<sup>(1)</sup>

### Courants de Foucault Radar

- Essais non destructifs par courants de Foucault niveau 1<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs par courants de Foucault niveau 2<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs par courants de Foucault niveau 2 - Stage complémentaire de préparation à la certification<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs par courants de Foucault niveau 3<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs par courants de Foucault niveau 3 complémentaire<sup>(1)</sup>
- Méthodes électromagnétiques spéciales
- Préparation à la recertification en courants de Foucault niveau 2

### Ultrasons et Émission Acoustique

- END par ultrasons. Méthodes TOFD : applications
- END par ultrasons. Méthodes TOFD : introduction
- Essais non destructifs par émission acoustique
- Essais non destructifs par ultrasons - Capteurs multi-éléments - Phased arrays - Pratique du contrôle
- Essais non destructifs par ultrasons niveau 1 - Stage de base<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs par ultrasons niveau 1 - Préparation à l'examen de certification COFREND<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs par ultrasons niveau 2 : stage de base<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs par ultrasons niveau 2 : stage complémentaire de préparation à la certification<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs par ultrasons niveau 3<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs par ultrasons niveau 3 : préparation à l'examen de certification<sup>(1)</sup>
- Mesure d'épaisseur par méthodes ultrasonores - Préparation à la certification ASNT<sup>(1)</sup>
- Perfectionnement en essai ultrasonore - Immersion
- Préparation à la recertification en ultrasons niveau 2<sup>(1)</sup>

### Radiographie Tomographie

- Essais non destructifs - Pratique de la radioscopie
- Essais non destructifs - Radiologie industrielle niveau 1 - Stage de base<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs - Radiologie industrielle niveau 1 - Préparation à l'examen de certification COFREND<sup>(1)</sup>

(1) Stages préparant aux certifications Cofrend ou ASNT.

- Essais non destructifs - Radiologie industrielle niveau 2 : stage de base<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs - Radiologie industrielle niveau 2 : stage complémentaire<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs - Radiologie industrielle niveau 3<sup>(1)</sup>
- Essais non destructifs - Radiologie industrielle niveau 3 - Préparation à l'examen de certification<sup>(1)</sup>
- Interprétation des films radiographiques<sup>(1)</sup>
- Préparation à la recertification - Radiologie industrielle niveau 2<sup>(1)</sup>
- Radio numérique - Tomographie X appliquée au contrôle qualité
- Sécurité et protection contre les rayonnements ionisants - Préparation à l'examen CAMARI - Formation pratique GAMMA<sup>(1)</sup>
- Sécurité et protection contre les rayonnements ionisants - Préparation à l'examen CAMARI - Formation pratique X<sup>(1)</sup>
- Sécurité et protection contre les rayonnements ionisants - Préparation à l'examen CAMARI. Formation générale théorique<sup>(1)</sup>

## Thermographie Infrarouge

- Thermographie infrarouge - Application à la mesure et au contrôle industriel
- Thermographie infrarouge : initiation

## Étanchéité

- Initiation aux fuites, aux émissions fugitives, au contrôle d'étanchéité
- Technologie et contrôle de l'étanchéité
- Détection des fuites

# MATÉRIAUX MÉTALLURGIE ANALYSES (55 stages)

## Polymères - Plastiques Composites - Peintures

- Acquisition et traitement des paramètres physiques dans le procédé d'injection-moulage

- Caractérisation des matériaux par méthodes thermoanalytiques : DSC, TGA, DTMA. Application à la caractérisation des polymères
- Caractérisation physico-chimique et suivi de polymérisation des thermodurcissables
- Conception d'un produit injecté / matériau et process
- Conception de moules : CATIA V5
- Connaissance des techniques de laboratoire pour la caractérisation des matières plastiques
- Élaboration et mise en forme de matériaux biodégradables ou bio-ressourcés : physico-chimie, rhéologie et transformation
- Expertise des défauts des revêtements dans le secteur des matières plastiques pour l'automobile
- Extrusion réactive
- La peinture et les applications industrielles
- La thermique des moules en plasturgie
- Les gels : de la structure aux propriétés d'usage
- Matières plastiques et procédés tous secteurs d'activité
- Parcours injection : découverte, connaissance et pratique
- Peinture : préparation et applications
- Peintures sur matières plastiques. Quels produits et matériels ?
- Procédés de transformation des thermoplastiques : du granulé à la pièce
- Relations structures-propriétés des polymères
- Spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier. Application aux polymères et matériaux composites
- Viscoélasticité et propriétés mécaniques des polymères

## Collage - Soudage

- Collage des matériaux
- Connaissance des techniques d'assemblage - Pièces plastiques
- Initiation aux adhésifs
- Les procédés de soudage sur les matériaux métalliques
- Les techniques de soudage sur les matériaux métalliques
- Soudage des matières plastiques par laser de puissance

## Matériaux céramiques Verres

- Frittage et traitements thermiques des matériaux céramiques
- Initiation à la technologie verrière
- Les Eco-matériaux
- Les matériaux céramiques pour l'énergie
- Les suspensions céramiques et les procédés de mise en forme associés
- Matériaux céramiques à hautes performances mécaniques et thermiques
- Mise en forme des poudres céramiques par pressage
- Procédés d'élaboration des céramiques
- Spécificités des produits de terre cuite
- Spécificités des produits réfractaires
- Techniques de caractérisation des matériaux céramiques
- Utilisation des matériaux céramiques pour des usages en électronique et électrotechnique

## Métallurgie - Fractologie Corrosion - Protection Peintures

- Contrôle des peintures en atelier et sur chantier
- Corrosion des métaux et alliages - Corrosion et génie industriel
- Inspecteur anti-corrosion par revêtement ACQPA-FROSIO (avec examen)<sup>(1)</sup>
- L'aluminium et ses alliages : propriétés, utilisations
- La corrosion dans l'industrie chimique
- Métallurgie - Relations microstructure/propriétés - Traitements thermiques
- Opérateur en essais mécaniques sur matériaux métalliques
- Processus de ruine par rupture : étude morphologique des faciès de rupture - Application à l'analyse de cas
- Protection anti-corrosion par peintures
- Perfectionnement théorique et pratique
- Techniques de contrôle des revêtements peintures - Mise à niveau préparatoire
- Inspecteur ACQPA-FROSIO

## Caractérisation Méthodes d'analyses

- Caractérisation des matériaux par méthodes ultrasonores
- Caractérisation des matériaux par microscopie électronique à balayage et microanalyse. Nouveaux développements

- ICP - MS et ICP - AES
- Plans de mélange
- Principes de base de la rhéologie et de la rhéométrie
- Spectrométrie d'émission avec torche à plasma : initiation
- Techniques chromatographiques : GC, GC/MS, ATD/GC/MS,  $\mu$ GC/MS,  $\mu$ TD/ $\mu$ GC/MS. Applications au diagnostic environnemental. Cas particulier des COVS

## MÉTROLOGIE CONTRÔLE DIMENSIONNEL MESURES PHYSIQUES VIDE (41 stages)

### Métrologie Incertitudes

- Audit de la fonction métrologie
- Caractérisation des systèmes de mesure
  - Capabilité - R & R
- Incertitudes de mesure : applications au laboratoire
- La fonction métrologie adaptée à votre entreprise : définir et raccorder sa chaîne d'étalonnage interne et vérifier son parc d'instruments
- La métrologie des balances
- Le référentiel NF EN ISO/CEI 17025
- Les outils statistiques appliqués à la mesure
- Métrologie : outil de la qualité au laboratoire
- Techniques d'estimation des incertitudes de mesures dimensionnelles
- Techniques d'estimation des incertitudes de mesures physiques pour opérateurs

### Contrôle dimensionnel Spécifications géométriques Etats de surface

- Bases du contrôle dimensionnel
- Concept GPS (Spécifications Géométriques des Produits)
- La mesure 3D des états de surface
- La mesure des états de surface (normes ISO – matrice GPS)
- La mesure dimensionnelle dans une organisation qualité

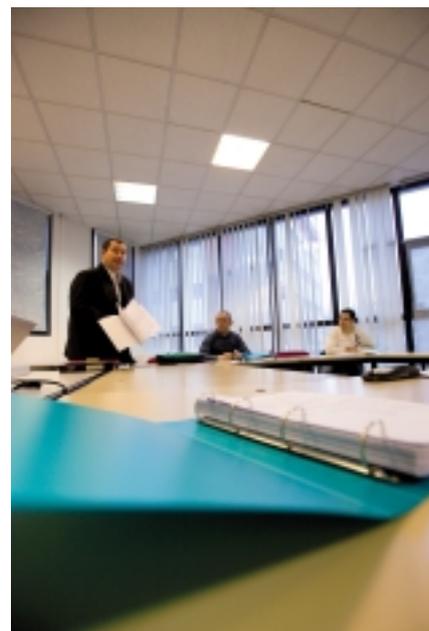
- L'auto-contrôle en fabrication mécanique
- MSP appliquée aux spécifications géométriques - Forme - Position - Orientation - Battement (lois non normales)
- Techniques de contrôles des tolérances géométriques

### Contrôle tridimensionnel

- Contrôles dimensionnels et géométriques par machine de vision
- Étalonnage, suivi métrologique des machines à mesurer tridimensionnelles
- Machines à mesurer tridimensionnelles
  - 1<sup>ère</sup> partie (tous constructeurs)
  - Machines à mesurer tridimensionnelles
    - 2<sup>e</sup> partie (tous constructeurs)
- Méthodes de contrôle 3D avec moyens optiques
- Qualité et incertitudes de mesures sur machines à mesurer tridimensionnelles
- Utilisation du logiciel GEOWIN ou GEOPAK - Mesure tridimensionnelle
- Utilisation du logiciel SCANWIN ou SCANPAK - Mesure tridimensionnelle

### Grandes longueurs Lasers

- Laser Tracker
- Le Ball Bar (diagnostiquer les performances dynamiques et géométriques de vos machines-outils)
- Les théodolites et les tachéomètres : principes et applications à la mesure dimensionnelle
- L'interféromètre laser : maîtriser sa mise en œuvre sur instrumentations dimensionnelles et sur machines-outils
- L'interféromètre laser : principes et domaines d'applications en mesures dimensionnelles et géométriques
- Mesure des grandes longueurs en mécanique



- Spécifier des relevés dimensionnels d'installations ou de produits industriels, analyser les résultats et préconiser des solutions
- Vérification et suivi des machines outils

### Mesures physiques Vide

- Mesure et métrologie du vide
- Mesures physiques à l'usage des opérateurs de contrôle et d'essais
- Théorie et pratique de la technologie du vide

### Capteurs Instrumentation

- Capteurs magnétiques : principes et applications
- Introduction à l'instrumentation industrielle
- Perfectionnement en instrumentation
- Pratique de l'instrumentation industrielle.

Tous ces stages peuvent être déclinés  
en formation sur mesure.

**RETROUVEZ TOUTE L'OFFRE  
DE FORMATION SUR :**

**[www.insavalor.fr](http://www.insavalor.fr)**

**Tél. : 04 72 43 84 00 Fax : 04 72 44 34 24**

# CONTROLES ESSAIS > MESURES

AVRIL 2011 - RÉALISÉ PAR CONTRÔLES ESSAIS MESURES POUR INSAVALOR

## LABORATOIRES

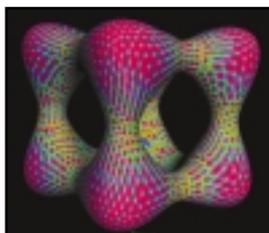
**NDT Valor**  
L'expertise d'équipes  
scientifiques  
pluridisciplinaires

> 3

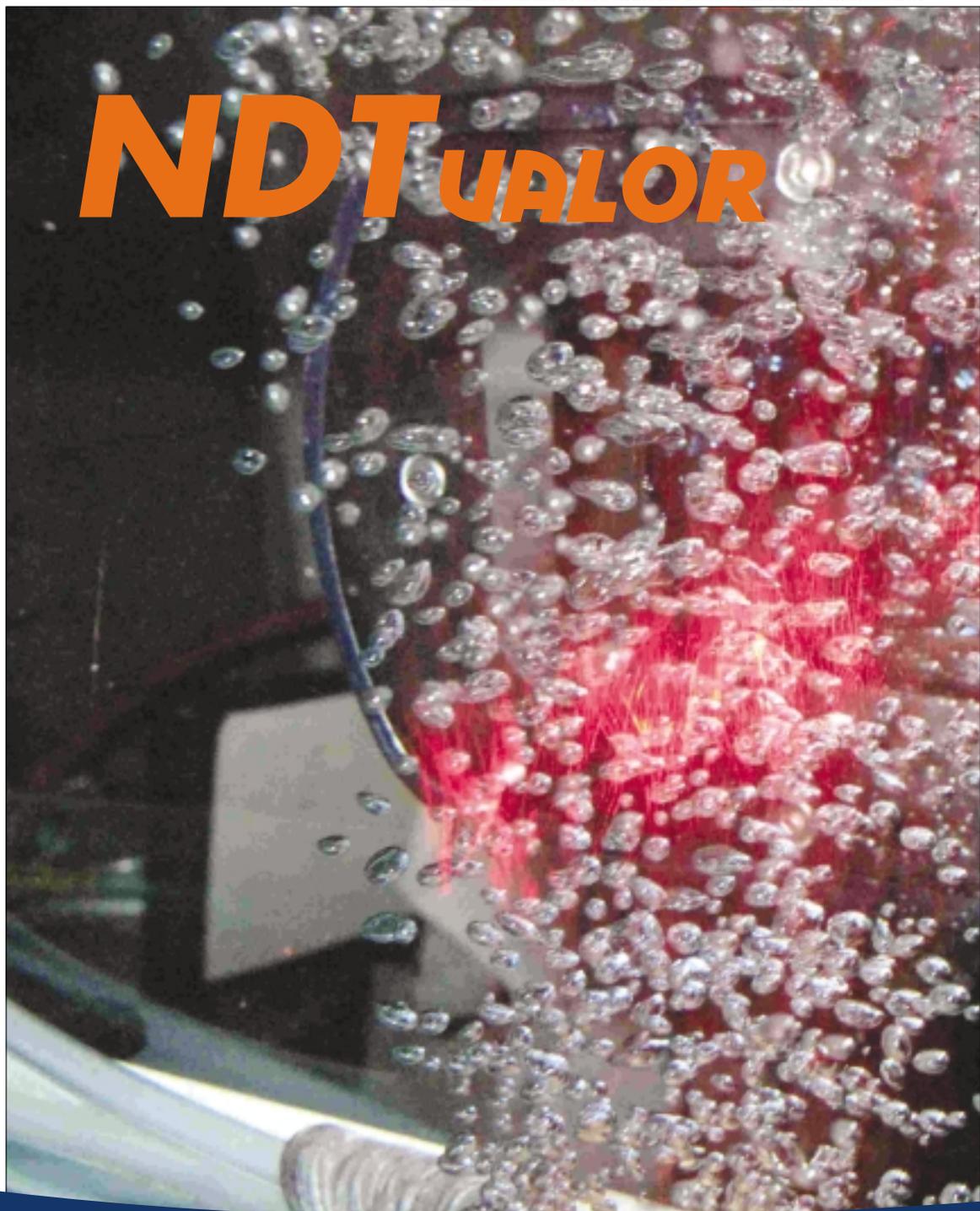


## AVIS D'EXPERTS

**MATEIS** > 7  
**CREATIS** > 10  
**LCND** > 12  
**AMPÈRE** > 15  
**NDT Valor** > 17



## FORMATION > 18



# NDT VALOR

**NDT VALOR**

Un pôle de compétences  
en Essais Non Destructifs  
fondé sur la recherche  
et l'innovation technologique



# INSAVALOR

UNE PASSERELLE ENTRE  
LA RECHERCHE ET LES ENTREPRISES

RECHERCHE  
& DEVELOPPEMENT

VALORISATION

FORMATION CONTINUE



## R&D, VALORISATION :

Promoteur actif de la recherche à l'INSA de Lyon, INSAVALOR favorise les relations entre les laboratoires et les entreprises en quête de solutions technologiques, de compétences et d'innovation pour la mise en place de leurs projets innovants.

**INSAVALOR a la qualification OPQCM,**

une référence déterminante de conseil en management dans les technologies.

**INSAVALOR intervient dans les pôles de compétences suivants :**

- Chimie-Biologie-Santé
- Energie-Environnement-Urbanisation Durable
- Matériaux
- Mécanique
- Micro-Nanotechnologies-Electronique
- Sciences et Technologies de l'Information
- Mathématiques



## FORMATION TOUT AU LONG DE LA VIE

Le métier de la formation est une composante forte de l'activité d'INSAVALOR. Son expertise est bâtie sur l'expérience et le savoir-faire de ses ressources humaines acquis pendant près de 50 ans dans les domaines des sciences de l'ingénieur. Chaque année, INSAVALOR accueille près de 2 500 stagiaires et réalise 450 stages de formation.

L'offre de formation est certifiée par le label **OPQF**.

- Inter-entreprises/Intra-entreprises
- Sur Mesure
- Actions individualisées
- Certifications professionnelles
- Séminaires et formations « avancés » en recherche
- Formations diplômantes : titre d'ingénieurs, Masters Spécialisés, diplômes d'établissement
- Apprentissage/Alternance
- Ingénierie pédagogique
- VAE/DIF/CIF



INSAVALOR  
Campus LyonTech La Doua

66, boulevard Niels Bohr  
BP 52132  
69603 Villeurbanne cedex

Recherche & Développement  
Valorisation  
Tél. 04 72 43 83 93  
Fax 04 72 44 07 32

Formation Continue  
Tél. 04 72 43 84 00  
Fax 04 72 44 34 24

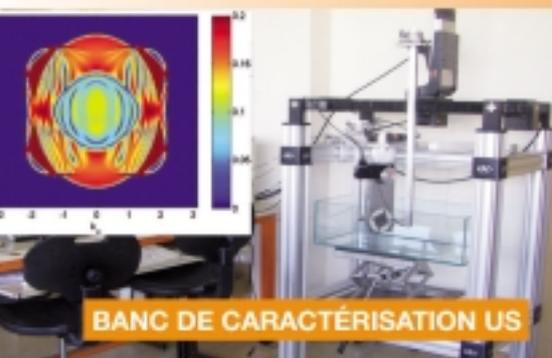
Avec son pôle de compétences **CONSULTING Valor**, INSAVALOR propose des prestations en **conseil et ingénierie éducative à l'international**.

**CONSULTING VALOR**



# NDT VALOR

Un pôle de compétences en Essais Non Destructifs fondé sur l'innovation technologique de 3 laboratoires de recherche en Matériaux, Imagerie Médicale et Caractérisation Non Destructive.  
DES MOYENS EXPÉRIMENTAUX VARIÉS



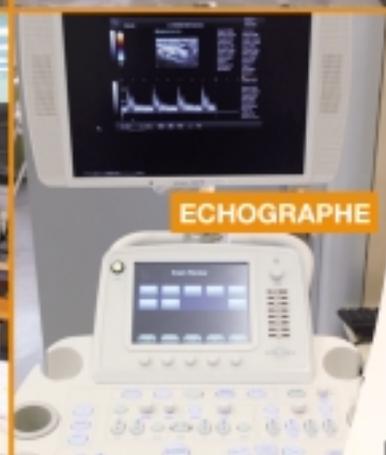
BANC DE CARACTÉRISATION US



CAPTEURS AÉRIENS



CUVE US IMMERSION



ECHOGRAPHE



VIBROMÈTRE LASER



SYSTÈME IRM HORIZONTAL 4.7T



BANC DE MAGNÉTOSCOPIE

## Equipements classiques en END :

AT, ET, LT, MT, PT, RT, UT, VT

## Equipements spécifiques :

- Transducteurs ultrasonores aériens, phased arrays, lasers...
- Plateformes d'imagerie US, RMN, Scanner X...
- Cuves à immersion
- Tomographes
- Bancs de caractérisation
- Caméra IR

## NDT VALOR

Campus LyonTech La Doua  
66, boulevard Niels Bohr  
BP 52132  
69603 Villeurbanne cedex

Tél. : + 33 (0) 4 72 43 84 03  
Fax : +33 (0)4 72 44 34 24

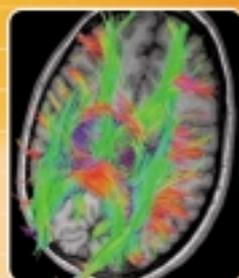
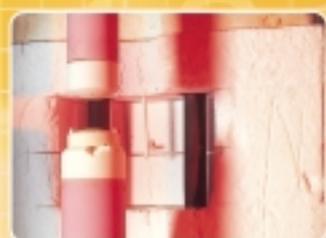
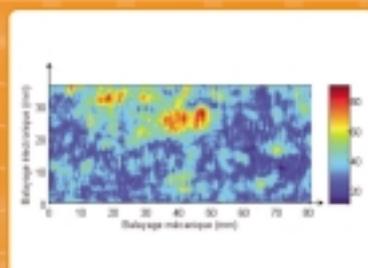
ndtvalor@insavalor.fr

# NDT VALOR

UN PÔLE DE COMPÉTENCES  
EN **ESSAIS NON DESTRUCTIFS** FONDÉ  
SUR LA RECHERCHE ET L'INNOVATION TECHNOLOGIQUE

## NDT VALOR

la synergie entre 3 laboratoires de recherche  
**MATEIS** et **CREATIS**  
de l'INSA de Lyon  
et **LCND** de l'Université  
de la Méditerranée avec  
le Centre de formation  
**END Métrologie** d'INSAVALOR



## NDT VALOR

### UNE LARGE GAMME DE SERVICES

- Recherche & Développement
- Prestations - Conseil - Expertise - Essais - Mesures
- Formation continue - Qualifications
- Transfert international
- Veille - Diffusion



**PRATISVALOR**  
Méditerranée

NDT VALOR  
Campus LyonTech La Doua  
66, boulevard Niels Bohr  
BP 52132  
69603 Villeurbanne cedex

Tél. : + 33 (0) 4 72 43 84 03  
Fax : +33 (0)4 72 44 34 24

ndtvalor@insavalor.fr

