



**DÉLIBÉRATION N°2017-10-06-21**  
**du Conseil d'Administration de l'Université de Nantes**

**Séance du 6 octobre 2017**

**POINT 21 : APPROBATION DE L'ADHESION DE L'UNIVERSITE DE NANTES AU GROUPEMENT D'INTERETS SCIENTIFIQUES « EVALAUTION ET CONTROLE NON DESTRUCTIFS DES PAYS DE LA LOIRE » (ECND PDL) ET DE LA CONVENTION DE CREATION**

**LE CONSEIL D'ADMINISTRATION**

- VU** le code de l'Éducation ;
- VU** les statuts de l'Université approuvés par le Conseil d'Administration du 6 juin 2014 et modifiés le 30 janvier 2015 et le 3 juin 2016 ;
- VU** l'avis de la Commission de la Recherche du 11 septembre 2017 ;

**APRÈS EN AVOIR DÉLIBÉRÉ,**

**APPROUVE** avec 27 voix pour et 6 abstentions, l'adhésion au Groupement d'Intérêts Scientifiques « Evaluation et Contrôle Non Destructifs des Pays de la Loire » ainsi que sa convention de création, telle qu'annexée, et autorise le Président à la signer.

À Nantes, le 6 octobre 2017

Le Président de l'Université de Nantes

Olivier LABOUX

**Convention de création**  
**d'un groupement d'intérêt scientifique intitulé**  
**« Évaluation et de Contrôle Non Destructifs » (ECND PdL)**

**Entre**

**L'ECOLE CENTRALE DE NANTES**, Établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel, numéro de SIRET : 194 401 00 6000 11, code APE 803Z, située 1, rue de la Noë - BP 92 101 - 44321 NANTES Cedex 3, représentée par Monsieur Arnaud POITOU, agissant en qualité de Directeur,

Ci-après dénommée l'« ECN »,

Agissant au nom et pour le compte de l'Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM), UMR CNRS 6183 GeM et de l'Institut de recherche en communications et cybernétique de Nantes (IRCCyN), UMR CNRS 6597

**Et**

**L'UNIVERSITE DE NANTES**, Établissement Public à Caractère Scientifique, Culturel et Professionnel, dont le siège social se trouve 1 quai de Tourville – BP 13522 – 44035 Nantes cedex 1 n° SIRET : 194 409 843 00019, représentée par son Président Olivier LABOUX,

Ci-après dénommée « l'Université de Nantes »,

Agissant au nom et pour le compte de l'Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM), UMR CNRS 6183, de l'Institut de recherche en communications et cybernétique de Nantes (IRCCyN), UMR CNRS 6597, de l'Institut d'Électronique et de Télécommunications de Rennes IETR, UMR CNRS 6164, de l'Institut de Recherche en Energie Electrique de Nantes Atlantique IREENA

**Et**

**L'INSTITUT FRANÇAIS DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DES TRANSPORTS, DE L'AMENAGEMENT ET DES RESEAUX**, Établissement public à caractère scientifique et technologique, dont le siège social est situé Cité Descartes, 14-20 Boulevard Newton, 77420 Champs sur Marne, n° SIRET : 130 013 428 00011, représenté par Madame Hélène JACQUOT-GUIMBAL, Directrice Générale,

ci-après désigné « IFSTTAR »,

Agissant au nom et pour le compte du Département Géotechnique, environnement, risques naturels et science de la terre (GERS, Ifsttar), du Département Composants et systèmes (COSYS, Ifsttar) et du Département Matériaux et structures (MAST, Ifsttar)

**Et**

**L'UNIVERSITE DU MAINE**, Établissement Public à Caractère Scientifique, Culturel et Professionnel, dont le siège social se trouve Avenue Olivier Messiaen 72085 - LE MANS cedex 9 FRANCE n° SIRET: 197209166 00010, représentée par son Président Rachid El Guerjouna

Ci-après dénommée « l'Université du Maine »,

Agissant au nom et pour le compte du LAUM de l'IMMM

**Et**

**LE GROUPE ESEO** , établissement d'enseignement supérieur privé reconnu par l'Etat et géré par une association « loi 1901 » sans but lucratif et reconnue d'utilité publique, dont le siège social se trouve 10 Boulevard Jean Jeanneteau, CS 90717 - 49107 Angers Cedex 2 1 n° SIRET: 786 116 715 00065, représentée par son directeur, Olivier PAILLET,

Ci-après dénommée «l'ESEO » ,

**Et**

**ATTM - ASSOC TRANSFERTS TECHNOLOGIES MANS**, Association Loi 1901, dont le siège social se trouve 20 Rue Thalès de Milet, Avenue Olivier Messiaen 72000 - LE MANS FRANCE n° SIRET: 387707102 00019, représentée par son Président Jean-Jacques JOUANGUY.

Ci-après dénommée «CTTM» ,

**Et**

**ESTACA** , établissement d'enseignement supérieur reconnu par l'Etat et géré par une association « loi 1901 » sans but lucratif et reconnue d'utilité publique, dont le siège social se trouve 34 rue Victor Hugo,- 92532 Levallois Perret cedex  
n° SIRET: 784 259 509 00072, représentée par sa directrice, Pascale RIBON,

Ci-après dénommée «ESTACA » ,

**Et**

**LE CENTRE D'ETUDES ET D'EXPERTISE SUR LES RISQUES, L'ENVIRONNEMENT, LA MOBILITE ET L'AMENAGEMENT**, Établissement public administratif, dont le siège social est situé Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F 696/4 Bron Cedex, n° SIRET : 130 018 310 00 230, représenté par Monsieur Bernard LARROUTUROU, Directeur Général,

ci-après désigné «CEREMA» ,

**Et**

l'Institut Catholique d'Arts et Métiers, établissement d'enseignement supérieur associatif (privé à but non lucratif), numéro de SIRET 332323047 01360 situé au 35 avenue du Champ de Manœuvre 44 470 Carquefou représenté par Monsieur Jean-Michel VIOT agissant en qualité de directeur général,

Ci-après désigné «ICAM» ,

L'ECN, L'Université de Nantes, l'IFSTTAR, l'Université du Maine, l'ESEO, CTTM, l'ESTACA, le CEREMA et l'ICAM sont ci-après désignées collectivement les « Parties » et individuellement la « Partie « .

## **Préambule**

Les matériaux de structures industrielles et d'ouvrages du Génie civil sont en constante évolution et gagnent en complexité. Leurs conditions d'usage sont de plus en plus sévères dans une perspective de durée de vie allongée. Dans ce contexte, les méthodes d'Évaluation et de Contrôle Non Destructifs (ECND) jouent un rôle grandissant dans le diagnostic, le suivi de l'état de santé et l'estimation de la durée de vie résiduelle des matériaux et des structures.

La recherche dans le domaine de l'ECND en Région Pays de la Loire bénéficie d'un potentiel humain important et de moyens expérimentaux très diversifiés dont le regroupement géographique et l'excellence scientifique sont des atouts de premier plan.

Le GIS ECND-PdL est issu d'une réflexion collective des acteurs académiques et établissements de recherche appliquée de la Région Pays de la Loire regroupés de 2009 à 2013 dans le projet d'émergence collective ECND-PdL. Ce projet a permis la montée en puissance de la thématique ECND dans la région Pays de la Loire en favorisant l'émergence de travaux collaboratifs y compris entre plusieurs acteurs qui travaillaient peu ou pas ensemble.

L'environnement régional est par ailleurs très favorable : Le pôle de compétitivité EMC2 (Ensemble Mécaniques et Composites Complexes), l'IRT Jules Vernes, L'institut LMAc, la Plateforme Régional d'Innovation PRECEND, le GIS LiRGeC, Le groupe régional COFREND Grand Ouest, WE Network.

Le GIS ECND-PdL pérennisera la structuration de la thématique initiée en 2009 pour une plus grande visibilité nationale et internationale :

- il poursuivra le renforcement de la cohérence des politiques scientifiques des établissements dans le domaine de l'évaluation et du contrôle non destructif,
- il consolidera la dynamique d'animation,
- il favorisera la mutualisation des compétences et des moyens, et déposera des projets pour obtenir des financements en support de ses travaux de recherche collaboratifs,
- il s'articulera avec le contexte régional et inter-régional très porteurs pour la thématique,
- il développera des actions de formation à la recherche et à finalité professionnelle.

Cette structure regroupe les partenaires institutionnels tutelles des équipes de recherche impliquées dans le projet : l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR), l'Ecole Centrale de Nantes et l'Université de Nantes tutelles de l'Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM), UMR CNRS 6183, et de l'Institut de recherche en communications et cybernétique de Nantes (IRCCyN), UMR CNRS 6597, de l'Institut d'Électronique et de Télécommunications de Rennes IETR, UMR CNRS 6164, de l'Institut de Recherche en Energie Electrique de Nantes Atlantique IRENA, le LAUM (Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine), l'IMMM (Institut des Matériaux et Molécules du Mans), le CTTM (Centre de Transfert des Technologies du Mans), L'institut catholique d'arts et métiers ICAM, l'ESEO, le Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (Cerema), EMM\_ESTACA (pôle Matériaux Mécanique et Energétique - Ecole Supérieure des Technologies Aéronautiques de la construction Automobile.

Par ailleurs, le GIS agira en étroite collaboration avec le pôle de compétitivité EMC2 (Ensemble Mécaniques et Composites Complexes), l'IRT Jules Vernes, l'Institut LMAc, la Plateforme Régional d'Innovation PRECEND, le GIS LiRGeC, Le groupe régional COFREND Grand Ouest, WE Network.

## **Article 1 – Objet, forme et composition du GIS**

### **1.1 Objet**

Il est créé entre les Parties un Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) intitulé : ECND-PdL, dont l'objet est de mettre en lumière l'existence d'un pôle régional aux compétences élargies et de plates-formes expérimentales de grande envergure, complémentaires, permettant de répondre de façon concertée aux différents appels d'offres nationaux et internationaux. Ce pôle, visible au plan international, devrait permettre d'attirer des chercheurs renommés ainsi que des étudiants de qualité. En terme de rayonnement scientifique, cette structuration contribuera à la production scientifique des chercheurs, impulsera des collaborations internationales, permettra d'attirer des personnalités scientifiques reconnues au plan international.

Plusieurs axes de recherche ont été dégagés qui vont constituer le socle scientifique du présent projet centré sur les méthodes d'Évaluation et de Contrôle Non Destructifs (ECND) au service du diagnostic, du suivi de l'état de santé et de l'estimation de la durée de vie résiduelle des matériaux et des structures et qui s'appuieront sur les compétences et les moyens expérimentaux et numériques des équipes. Il s'agit de thématiques à forts enjeux économiques et sociétaux (voir annexe 1). Des avancées scientifiques significatives sont attendues grâce à un travail collaboratif des différents acteurs régionaux avec une volonté de transfert technologique vers les maîtres d'ouvrages, bureaux d'études et entreprises du secteur de la construction.

Le GIS mettra en place les moyens permettant de coordonner, d'impulser, de labelliser des projets de recherche en collaboration entre les partenaires aux niveaux régional, national, européen et international ; de mettre en place des actions renforçant la visibilité et l'attractivité du pôle de recherche régional ; de renforcer la synergie et la mutualisation des grands équipements ; de conseiller la politique scientifique de recherche des établissements dans le domaine du génie civil et de la construction; de renforcer l'attractivité régionale dans les domaines de la recherche et de la formation. Les axes scientifiques définis dans la plate-forme scientifique feront l'objet d'ateliers qui permettront de construire des actions de recherche concertées entre les acteurs du GIS.

## **1.2 Forme**

Le GIS ne peut en aucun cas constituer une autorité supérieure à celle des Parties. Il ne constitue pas une structure opérationnelle de recherche, au sens du CNRS. Il n'a pas de personnalité morale.

## **1.3 Composition du GIS**

### **1.3.1 Membres du GIS.**

Le GIS est formé des Parties à la présente convention.

D'autres parties peuvent adhérer au GIS. Leur adhésion est soumise à une décision unanime du Comité de direction ci-après défini. Toute nouvelle adhésion fera l'objet d'un avenant à la présente convention, signé des Parties.

L'activité du GIS est assurée par les laboratoires de recherche ou les structures dont la liste est jointe en annexe n°2 à la présente convention (liste non limitative pouvant être modifiée par avenant sur proposition du Comité de direction).

### **1.3.2 Partenaires ponctuels**

Des organismes publics ou privés, concernés ou intéressés par les questions traitées par le GIS, peuvent participer à des actions spécifiques qu'ils ont décidé de soutenir ou auxquelles ils auront décidé de participer. Les modalités de ce partenariat sont définies par des conventions particulières conclues avec ces organismes au nom du GIS par l'une des Parties, mandatée à cet effet par les autres Parties à la présente convention. Ces conventions sont conclues dans le respect des conditions fixées à l'article 3.1 alinéa 2.

Ces conventions particulières préciseront notamment :

- le programme de recherche concerné dont le détail figurera en annexe ;
- la liste des Connaissances Propres apportées, le cas échéant, par chacune des Parties pour la réalisation du programme de recherche ;
- les responsables scientifiques de chacune des Parties ;
- les moyens spécifiques mis en œuvre ;
- la répartition des travaux et la détermination des livrables attendus ;
- les modalités de financement du programme de recherche dont le budget complet figurera en annexe ;
- la durée du contrat.

## **Article 2 – Les instances du GIS**

Les organes de fonctionnement du GIS sont les suivants :

- le Comité de direction,
- le Conseil Scientifique,
- la Direction composée d'un directeur qui peut se faire assister par des directeurs-adjoints, au nombre maximum de 3.

### **2.1 Le Comité de direction**

#### **2.1.1 Composition**

Il est créé un Comité de direction réunissant un représentant de chaque Partie, désigné par cette Partie.

Le Comité de direction élit en son sein son Président à la majorité simple des membres présents ou représentés, pour deux ans, renouvelable. Il désigne le Directeur du GIS et ces 3 adjoints dont les compétences sont précisées au 2.3 ci-dessous.

Le Directeur du GIS, ses directeurs-adjoints et le Président du Conseil scientifique assistent aux réunions du Comité de direction avec voix consultative.

Les fonctions des membres du Comité de direction sont bénévoles.

#### **2.1.2 Fonctionnement**

Le Comité de direction se réunit au moins une fois par an, sur convocation de son Président qui peut également le réunir à la demande d'une des Parties ou du Directeur du GIS.

En plus des réunions formelles prévues à l'alinéa ci-dessus, le Président peut consulter les membres du Comité de direction par tout moyen de télécommunication que celui-ci aura approuvé.

Il délibère à la majorité qualifiée des deux tiers des membres présents ou représentés, sous réserve des décisions décrites aux articles 1.3.1, 3.2, 3.3, 8.2 et 8.3.

Des personnalités extérieures peuvent être invitées à la demande du Président, du Directeur ou de l'un des membres du Comité, selon l'ordre du jour, à participer aux réunions du Comité de direction en qualité d'experts avec voix consultative.

L'ordre du jour de chaque réunion du Comité de direction est établi par le Directeur du GIS après consultation des membres du Comité et diffusé au minimum quinze jours avant la date de la réunion.

Le Directeur du GIS établit le compte rendu de chaque réunion et l'adresse aux membres du Comité pour approbation avant diffusion.

#### **2.1.3 Compétences**

Le Comité a notamment pour fonction de :

- désigner le Directeur du GIS et ses trois adjoints
- décider des orientations scientifiques, des projets de recherche, de réalisation d'opérations spécifiques, de propositions d'actions pour le GIS sur proposition du Conseil Scientifique et du Directeur du GIS,
- discuter et approuver le programme annuel d'activité,
- délibérer sur le budget prévisionnel et l'exécution du budget en fin d'exercice en conformité avec les articles 3.2 et 3.3 de la présente convention,
- veiller à l'utilisation optimale des moyens du GIS,
- approuver l'éventuelle adhésion de nouveaux membres au GIS, en conformité avec l'article 1.3.1 de la présente convention,
- décider de l'exclusion d'une des Parties, conformément à l'article 9.2

- proposer des modifications à apporter à la présente convention, celles-ci étant entérinées par des avenants,
- désigner les membres du Conseil Scientifique,
- examiner le rapport d'activité prévu à l'article 6 ci-après, et l'avis du Conseil scientifique sur celui-ci.

## **2.2 Le Conseil Scientifique**

### **2.2.1 Composition**

Il est créé un Conseil Scientifique qui se compose de personnalités scientifiques reconnues dans les diverses disciplines concernées par l'activité du GIS, membres ou non des Parties au GIS, désignées par le Comité de direction sur proposition du Directeur du GIS. Ces membres ont un mandat de 4 ans, renouvelable.

A la création du GIS, le Conseil Scientifique sera constitué de vingt et un membres des Parties se répartissant de la façon suivante :

- un membre du GERS (Ifsttar) ;
- un membre du COSYS (Ifsttar) ;
- un membre du MAST (Ifsttar)
- un membre du GeM (ECN et Université de Nantes) ;
- un membre de l'IRCCyN (ECN et Université de Nantes) ;
- un membre de l'IETR ;
- un membre de l'IREENA ;
- un membre de LAUM (Université du Maine);
- un membre de l'IMMM(Université du Maine);
- un membre ICAM ;
- un membre du CTTM ;
- un membre de l'ESEO ;
- un membre ESTACA ;
- un membre du CEREMA ;
- un membre du pôle de compétitivité EMC2 (Ensemble Mécaniques et Composites Complexes) ;
- un membre de l'IRT Jules Vernes ;
- un membre de la Plateforme Régional d'Innovation PRECEND ;
- un membre du GIS LiRGeC ;
- un membre du groupe régional COFREND Grand Ouest ;
- un membre de WE Network
- un membre de la Région Pays de la Loire

En cas d'adjonction d'autres équipes de recherche au cours de la durée du GIS, un représentant de chaque équipe sera désigné en tant que membre du Conseil Scientifique.

Le Conseil élit en son sein, à la majorité simple, son Président pour quatre ans, renouvelable, le cas échéant.

Le Directeur du GIS et ses Directeurs-adjoints participent aux réunions du Conseil Scientifique avec voix consultative.

Les fonctions de membre du Conseil Scientifique sont bénévoles.

### **2.2.2 Fonctionnement**

Le Conseil Scientifique se réunit au moins une fois par an sur convocation de son Président ou du Directeur du GIS.

### **2.2.3 Compétences**

Le Conseil Scientifique est un organe consultatif garant de la pertinence et de la qualité scientifique des activités du GIS.

Le Conseil peut faire des propositions d'actions, présenter des recommandations sur les orientations scientifiques, étudier les programmes de recherche et les contrats à entreprendre et les modalités de leur réalisation et examiner les résultats obtenus, labelliser des projets de recherche et des demandes de financement à différentes instances régionales, nationales et internationales.

Le Conseil étudie et donne son avis au Comité de direction sur le rapport d'activité scientifique et financier élaboré par le GIS, tel que précisé à l'article 6 ci-après.

## **2.3 La Direction du GIS**

### **2.3.1 Désignation**

Le Directeur du GIS et ses 3 Directeurs-adjoints, d'organismes différents sont désignés d'un commun accord par les Parties, pour une durée de deux ans. Toutefois pour la première année deux des adjoints ne seront désignés que pour un an pour assurer une gouvernance tournante du GIS tout en garantissant sa continuité. Leur mandat peut être renouvelé. Leur nomination figure en annexe n°3 à la présente convention.

### **2.3.2 Compétences**

Le Directeur du GIS assure la responsabilité de la mise en œuvre des décisions du Comité de direction et de l'utilisation des moyens mis à disposition du GIS.

A cette fin, il :

- coordonne l'activité des laboratoires de recherche listés en Annexe 2 pour la mise en œuvre de l'objet de la présente convention ;
  - est responsable de la mise en œuvre des orientations définies par le Comité de direction et de l'utilisation des moyens mis à la disposition du GIS ;
  - prépare et présente au Comité de direction, pour approbation, le budget prévisionnel du GIS ;
  - propose au Comité de direction la représentation du GIS au sein de toute instance nationale ou internationale ayant à traiter de questions relevant des domaines de compétence du GIS ;
  - prend en charge l'organisation de manifestations, la diffusion d'informations, la mise en place des relations entre les Parties et avec les partenaires visés à l'article 1.3.2 ;
  - rapporte au Comité de direction l'avancement des travaux de recherche et les résultats obtenus au sein du GIS ;
  - adresse aux Parties un rapport annuel d'activité ;
  - rédige le rapport d'activité scientifique et financier, tel que défini à l'article 6 ci-après,
  - le présente au Conseil scientifique et le transmet au Comité de direction ;
  - assure l'interface entre le Comité de direction et le Conseil Scientifique ;
  - est responsable des procès-verbaux des réunions du Comité de direction et du Conseil Scientifique ;
  - prépare et présente le programme annuel d'activité au Comité de direction.
- Le Directeur du GIS pourra confier à ses Directeurs-adjoints tout ou partie des missions précitées, qui seront exécutées sous son contrôle.

Les fonctions de Directeur et Directeur-adjoints sont bénévoles. Le temps consacré à ces fonctions est pris en charge par leur établissement d'origine.

## **Article 3 – Financement et gestion du GIS**

### **3.1. Financement**

Les ressources du GIS sont constituées par des moyens en nature (personnels, locaux, équipements...) et/ou des moyens financiers, notamment sous la forme de cotisations, que chacune des Parties décide



d'allouer au GIS. Ces moyens sont précisés à l'annexe 4 pour le premier exercice, à savoir l'année civile 2017. Les cotisations des Parties pour 2017 fixées en annexe 4 seront réévaluées annuellement par voie d'avenant sur proposition du Comité de direction.

Des financements complémentaires peuvent être recherchés auprès de tiers.

### **3.2. Gestion**

La gestion administrative et financière du GIS est assurée par l'Université du Maine au nom et pour le compte des autres Parties.

Ce dernier agit en ce domaine pour le compte du GIS dans les limites de l'état prévisionnel des recettes et des dépenses approuvé par le Comité de direction et s'engage à tenir une comptabilité budgétaire et analytique correspondante. Il présente un rapport annuel de gestion devant le Comité de direction.

Les contrats ou conventions avec des Tiers sont signés par l'Etablissement Gestionnaire au nom et pour le compte des autres Parties à la présente convention.

Les Parties désignent l'Université du Maine comme Etablissement Gestionnaire pour la durée de la présente convention.

Les Parties pourront changer d'Etablissement Gestionnaire pendant la durée de la présente convention, sur avis du Comité de Direction. Ce changement sera formalisé par avenant signé des Parties.

L'établissement gestionnaire soumet, pour avis, les contrats et conventions aux autres Parties avant de les signer. Ces dernières disposent d'un délai trois semaines pour faire connaître leur avis ; passé ce délai, l'absence de réponse vaut avis favorable. Une copie des contrats et conventions signés est transmise aux Parties.

### **3.3 Décisions budgétaires**

Le budget prévisionnel et l'arrêté des comptes sont soumis à l'approbation unanime du Comité de direction.

## **Article 4 – Communication d'informations, confidentialité, publications**

Chacune des Parties s'engage à transmettre aux autres Parties les informations nécessaires à l'exécution de la présente convention dans la mesure où elle peut le faire librement au regard des engagements contractés antérieurement avec des tiers.

Chacune des Parties s'interdit de diffuser ou de communiquer à des tiers des informations qui lui auront été désignées comme confidentielles par la Partie dont elles proviennent et dans ce cas s'engage à ce que ces informations désignées comme confidentielles :

- ne soient divulguées de manière interne qu'aux seuls membres de son personnel ayant à les connaître et ne soient utilisées par ces derniers que pour l'exécution de l'objet de la présente convention,
- ne soient ni divulguées, ni susceptibles de l'être, soit directement, soit indirectement aux tiers ou à toute personne autre que celles mentionnées à l'alinéa ci-dessus, sans le consentement préalable et écrit de la Partie propriétaire,
- ne soient ni copiées, ni reproduites, ni dupliquées totalement ou partiellement lorsque de telles copies, reproductions ou duplications n'ont pas été autorisées par la Partie de qui elles émanent et ce, de manière spécifique et par écrit.

Les obligations définies ci-dessus cessent de s'appliquer aux informations qui :

- sont dans le domaine public ou qui y tombent autrement que par le fait de la Partie destinataire de l'information ;
- sont déjà en la possession ou sont communiquées à la Partie destinataire par des tiers non tenus au secret.

Il est expressément convenu que la divulgation par les Parties, entre elles, d'informations au titre de la présente convention, ne peut en aucun cas être interprétée comme conférant, de manière expresse ou implicite, à la Partie qui les reçoit, un droit quelconque (au terme d'une licence ou par tout autre moyen) sur les matières, les interventions ou les découvertes auxquelles se rapportent ces Informations.

Les publications et communications des études accomplies dans le cadre de la présente convention mentionnent les co-auteurs et font apparaître le nom du GIS et le lien avec les Parties.

Pendant la durée du GIS et les deux ans qui suivent, chaque Partie s'engage à soumettre ses éventuels projets de diffusion pour les publications issues des travaux du GIS à l'accord des autres Parties. Si la Partie qui soumet ne reçoit pas une réponse dans les trente (30) jours après la réception du projet de publication ou de présentation, elle peut procéder à sa publication ou présentation.

Au cas où une invention potentiellement brevetable serait identifiée dans un manuscrit pour publication ou présentation, les Parties conviennent que la publication de ce manuscrit peut être retardée afin de permettre le dépôt approprié de brevet sur cette invention pendant un délai ne pouvant pas excéder douze (12) mois à partir de la date où la publication du manuscrit est soumise pour avis. Durant ce délai, un dépôt de brevet est préparé ou la décision de ne pas déposer un tel brevet est prise.

Les dispositions du présent article ne peuvent faire obstacle à l'obligation qui incombe aux chercheurs impliqués d'établir leur rapport annuel d'activité pour la Partie dont ils relèvent, cette communication à usage interne ne constituant pas une divulgation au sens des lois sur la propriété industrielle.

#### **Article 5 – Propriété, protection et exploitation des résultats**

On entend par " Résultats issus du GIS ", toutes les connaissances issues de travaux du GIS et susceptibles ou non d'être protégées au titre de la propriété intellectuelle, y compris les bases de données, les logiciels, ainsi que le savoir-faire.

##### **5.1 Connaissances non issues du GIS**

Chacune des Parties conserve la propriété exclusive des résultats des travaux, brevetés ou non, du savoir-faire, des connaissances et des droits de propriété intellectuelle et/ou industrielle lui appartenant, développés ou acquis antérieurement à l'entrée en vigueur de la présente convention ou indépendamment de celle-ci (ci-après les Connaissances Propres ».

Sous réserve des droits des tiers, chacune des Parties dispose d'un droit d'usage non exclusif, non transférable sur les résultats, brevetés ou non, savoir-faire et connaissances visés au précédent strictement nécessaires à l'accomplissement de l'objet du GIS. Ce droit d'usage sera concédé au cas par cas, sur demande écrite d'une Partie, par acte séparé, à des conditions à convenir entre les Parties concernées.

##### **5.2 Résultats issus du GIS**

Les Résultats issus du GIS sont réputés être la copropriété des Parties ayant participé à leur obtention à proportion de leurs moyens intellectuels, financiers et matériels. Les éventuelles demandes de brevets sont déposées aux noms conjoints des Parties copropriétaires.

Dans ce cas, un règlement de copropriété est établi entre les Parties copropriétaire, en matière de protection et d'exploitation de ces résultats d'une part, de répartition des redevances d'autre part. Ce règlement définit en particulier les quotes-parts de copropriété des résultats et des retours financiers correspondants en cas d'exploitation et désigne l'une des Parties pour assurer la maîtrise d'œuvre de la gestion des droits de propriété et des contrats d'exploitation, pour le compte commun.

Les Parties propriétaires de Résultats issus du GIS s'engage à les mettre à la disposition des autres Parties, qui peuvent les utiliser librement pour leurs besoins de recherche, à l'exclusion de toute exploitation commerciale.

#### **Article 6 – Responsabilité**

Chacune des Parties prend en charge la couverture de son personnel conformément à la législation applicable dans le domaine de la sécurité sociale, du régime des accidents du travail et des maladies professionnelles dont il relève et procède aux formalités qui lui incombent.

Chaque Partie est responsable, dans les conditions de droit commun, des dommages de toute nature causés par son personnel au personnel de toute autre Partie.

Chacune des Parties conserve la propriété des matériels et équipements mis à la disposition de(s) l'autre(s) Partie(s) dans le cadre de la présente convention.

Chaque Partie est responsable, dans les conditions de droit commun, des dommages qu'elle cause du fait ou à l'occasion de l'exécution de la Convention aux biens mobiliers ou immobiliers d'une autre Partie.

Chacune des Parties est responsable suivant les règles de droit commun des dommages qu'elle cause aux tiers à l'occasion de l'exécution de la convention.

Les Parties reconnaissent que les Connaissances Propres, les Résultats et les autres informations communiquées par l'une des Parties à une autre Partie dans le cadre de l'exécution de la Convention sont communiquées en l'état, sans aucune garantie de quelque nature qu'elle soit.

Ces Connaissances Propres, ces Résultats et ces autres informations sont utilisés par les Parties dans le cadre de la Convention à leurs seuls frais, risques et périls respectifs, et en conséquence, aucune des Parties n'aura de recours contre une autre Partie, ni ses sous-traitants éventuels, ni son personnel, à quelque titre que ce soit et pour quelque motif que ce soit, en raison de l'usage de ces Connaissances Propres, ces Résultats et ces autres informations, y compris en cas de recours de tiers invoquant l'atteinte à ses droits de propriété intellectuelle.

#### **Article 7 – Evaluation**

Tous les ans, le Directeur du GIS rédige et présente un rapport d'activité scientifique et financier au Conseil Scientifique du GIS pour avis, et est transmis pour information au Comité de direction. Lors de la réunion du Comité de direction suivant l'envoi du rapport, le Comité examine l'avis du Conseil Scientifique.

L'activité du GIS est évaluée régulièrement par les instances compétentes des Parties, selon les règles respectivement en vigueur dans ces organismes.

#### **Article 8 – Durée**

La présente convention est conclue pour une durée de quatre ans à compter de sa date de signature. Elle peut être renouvelée pour des périodes de même durée par voie d'avenant à la présente convention.

Nonobstant l'échéance ou la résiliation de la présente convention, les dispositions des articles 4 et 5 resteront en vigueur pendant cinq (5) années après l'échéance ou la résiliation de la convention.

#### **Article 9 – Retrait, exclusion, résiliation, litiges**

##### **9.1 Retrait**

Une Partie peut se retirer du GIS à la fin de chaque exercice, avec un préavis d'un mois dûment notifié au Directeur du GIS qui informe l'ensemble des Parties par lettre recommandée avec avis de réception.

L'exercice de cette faculté de retrait par une Partie ne la dispense pas de remplir les obligations contractées jusqu'à la date de prise d'effet dudit retrait.

Nonobstant ce retrait, les dispositions des articles 4 et 5 resteront en vigueur pendant cinq (5) années après l'échéance ou la résiliation de la convention.

### **9.2 Exclusion**

Le Comité de direction peut prononcer l'exclusion d'une des Parties en cas de manquement grave à l'une quelconque de ses obligations, après un préavis d'un mois notifié à cette Partie par lettre recommandée avec avis de réception précisant le motif d'exclusion.

L'exclusion doit être votée à l'unanimité des membres présents ou représentés, la Partie concernée étant préalablement entendue et ne prenant pas part au vote.

Nonobstant l'exclusion, les dispositions des articles 4 et 5 resteront en vigueur.

### **9.3 Résiliation**

La présente convention est résiliée plein droit par l'arrivée du terme de sa durée contractuelle. Sa résolution peut aussi être décidée à l'unanimité des membres du Comité de direction convoqués sur un ordre du jour précisant que la résolution est demandée.

### **9.4 Litiges**

Pour toute difficulté susceptible de naître à l'occasion de l'exécution ou de l'interprétation de la présente convention, les Parties s'efforcent de régler leur différend à l'amiable. Si ce différend subsiste plus de six mois, est porté devant les juridictions compétentes de droit français.

## ANNEXE 1

### PLATE-FORME SCIENTIFIQUE

La plate-forme scientifique du Groupement d'Intérêts Scientifiques (GIS) ECND\_PdL (Évaluation et Contrôle Non Destructifs en Pays de la Loire) telle que présentée ci-dessous est le résultat d'un travail de concertation entre l'ensemble des acteurs académiques de la Région Pays de la Loire de l'évaluation et du contrôle non destructifs, du suivi des structures et de la fiabilité. Elle s'appuie sur les compétences des différentes équipes de recherche ligériennes ainsi que sur des moyens expérimentaux mutualisés. Elle est le fruit d'une réflexion sur les enjeux économiques et sociétaux propres aux domaines couverts par le GIS.

Au niveau des applications, le GIS se doit d'être identifié et de disposer des outils collaboratifs et de communication pour travailler avec l'industrie des matériaux composites, de l'acier, du génie civil et des Énergies Marines Renouvelables (EMR). Cette dernière industrie, en particulier, pose de nouveaux défis technologiques (capteurs en environnement difficile) et méthodologiques (traitement de l'information) pour lesquels le GIS devra apporter des solutions innovantes.

Cette plate-forme scientifique servira de base de travail pour la construction de projets de recherche concertés entre les membres du GIS. Trois champs de compétence ont été dégagés. Ils vont constituer le socle scientifique du présent projet centré sur l'Évaluation et le Contrôle Non Destructifs pour le diagnostic, le suivi de l'état de santé et l'estimation de la durée de vie résiduelle des matériaux et des structures.

#### L'Évaluation et le Contrôle Non Destructifs

L'ensemble des techniques et procédés fournissant des informations sur la santé d'une pièce ou d'une structure, sans qu'il en résulte des altérations préjudiciables à leur utilisation ultérieure, est regroupé sous deux appellations principales : Contrôles Non Destructifs ou encore Essais Non Destructifs. Désignés de CND dans la plupart des secteurs industriels hormis le nucléaire, préférant l'appellation Examens Non Destructifs ou le Génie Civil celle d'Évaluations Non Destructives, ils sont également connus comme Essai Non Destructif (END) au niveau normatif (source COFREND).

Ci-après l'expression Évaluation et Contrôle Non Destructifs (ECND) sera utilisée pour couvrir l'ensemble des champs d'application du GIS ECND-PdL.

L'objectif de l'ECND est donc la mise en évidence de toutes les défauts susceptibles d'altérer la disponibilité, la sécurité d'emploi et/ou, plus généralement, la conformité d'un produit à l'usage auquel il est destiné. C'est pourquoi le recours à l'ECND apparaît comme un élément majeur du contrôle de la qualité des produits et de la gestion des risques, assurant ainsi la sécurité des personnes et des biens (source COFREND).

L'ECND d'une structure ou d'un objet peut toujours être effectué à différents stades de son cycle de vie, conduisant ainsi à plusieurs types d'application se différenciant à la fois par le contexte industriel et par la nature du contrôle lui-même (source COFREND) à savoir :

- Pour le **contrôle de conformité** ;
- Pour le **contrôle de fabrication** ;
- Pendant la durée de vie opérationnelle d'une structure pour des **opérations de maintenance**.

L'optimisation du processus de maintenance est considérée aujourd'hui comme un des axes majeur d'amélioration de performances pour les structures à risque. Jusque dans les années 1960, les opérations de maintenances étaient essentiellement correctives et préventives. Celles-ci étaient effectuées soit à intervalle fixe, soit après une défaillance du système avérée. Désormais les industriels tendent à renforcer leur capacité à anticiper les défaillances afin de recourir à des actions préventives les plus justes possibles dans un objectif de réduction des coûts et des risques (source TI-MT9570). Trois processus sont nécessaires à cette activité de maintenance :

- la **détection** qui vise à identifier le mode de fonctionnement du système, son état ;
- lorsqu'une défaillance est apparue, le **diagnostic** permet d'isoler et d'identifier le composant qui a cessé de fonctionner (des effets vers les causes) ;
- le **pronostic** vise la prédiction des états futurs du système (des causes vers les effets).

Les principaux apports du SHM par rapport au CND sont l'intégration et l'automatisation de la mesure dans une stratégie globale de contrôle et de maintenance de structures. Le SHM permet notamment d'améliorer la connaissance des structures par un meilleur suivi, de réduire les interventions de maintenance et d'optimiser les matériaux utilisés.

La finalité de l'approche SHM est le développement de systèmes de maintenance autonomes, continus, capables de détecter en temps réel les dégradations d'une structure et ce afin d'éviter les accidents. La clef réside dans la détection anticipée de dégradations, permettant une maintenance optimale.

Les compétences requises pour répondre, avec des mesures non destructives, aux enjeux liés au cycle de vie des structures, de leur fabrication à leur maintenance jusqu'au démantèlement, peuvent être regroupées en 3 domaines qui serviront de socle commun aux travaux de recherche menés dans le GIS ECND\_PdL :

Champ A- l'instrumentation pour l'ECND

Champ B- la physique des méthodes d'ECND et le traitement de l'information

Champ C- le diagnostic, le pronostic et l'aide à la décision

Les chercheurs peuvent être impliqués exclusivement dans un de ces domaines ou bien intervenir dans plusieurs. En effet le développement de nouvelles méthodes d'ECND repose toujours sur une démarche intégrée, qui part des besoins, identifie les verrous scientifiques pertinents, définit les actions de modélisation numérique et expérimentale menées en parallèle au laboratoire, teste et valide les techniques d'auscultation et les capteurs associés sur sites réels.

#### **Compétence champ A : instrumentation pour l'ECND**

L'acquisition de données est une étape essentielle consistant à collecter et à stocker des informations pertinentes émanant du système physique en cours de fonctionnement. Ces informations peuvent prendre la forme d'événements et d'observations (données de surveillance).

Les données événementielles indiquent avec précision ce qui s'est passé sur le système (fabrication, réparations, opération de maintenance, etc...). Les données dites « observées » sont quant à elles des mesures effectuées sur le système à l'aide de capteurs. Ces données observées informent sur les défauts, le vieillissement du système, sur son « état de santé ».

L'obtention de données « observées » fiables fait entre autre appel à des techniques d'ECND en perpétuelles évolutions pour toujours plus de précision et donc à des programmes actifs de développements scientifiques. Elles sont destinées à caractériser l'état d'intégrité de structures ou de matériaux à un instant précis et/ou au cours du temps. On parle alors dans ce dernier cas de « Structural Health Monitoring » (SHM). Les principaux domaines d'applications du SHM concernent historiquement le génie civil (ponts et barrages), plus récemment l'énergie (plates-formes d'extraction de pétrole et de gaz, éoliennes) et l'aéronautique (projet européen SARIATSU pour Smart Intelligent Aircraft Structures, doté d'un budget de cinquante millions d'euros de 2011 à 2017 par exemple).

Parmi les facteurs ayant contribué à l'essor de l'approche SHM ces dernières années, on peut notamment citer la conception de capteurs spécifiques, éventuellement intégrés à la structure dès sa fabrication, la réduction de la consommation des capteurs et leur capacité de communication sans fil.

Dans les quatre ans à venir le GIS ECND\_PdL portera en priorité des collaborations sur 3 axes :

#### **A.1 L' intégration de capteurs aux matériaux**

Acteurs : GeM, IFSTTAR, LAUM(site ESEO), ICAM, IREENA, IETR

Le génie civil représente 60 % du marché du SHM. Les structures y font l'objet de programmes rigoureux d'inspection, de contrôle et de maintenance. Les systèmes SHM peuvent être intégrés dès la conception, ou ajoutés a posteriori dans le but d'augmenter leur durée de vie. La motivation est alors à la fois économique et sécuritaire.

En Région Pays de la Loire deux grandes familles de capteurs sont maîtrisés, développés et intégrés au sein des structures et matériaux :

- les capteurs **acoustiques** ;

- les capteurs à **fibres optiques**.

Il existe bien sûr d'autres capteurs exploités sur la région mais ils ne disposent pas d'un nombre d'Équivalent Temps Plein (ETP) chercheurs aussi significatif. On peut notamment citer le développement des capteurs de résistivité pour la mesure de Cl- et de teneur en eau dans le béton.

Les capteurs acoustiques sont principalement développés par le LAUM (site ESEO), les recherches en acoustique étant quant à elles menées au LAUM, à l'IFSTTAR et à l'ESTACA. Les capteurs à fibres optiques sont développés par le GeM, l'IFSTTAR et à l'ICAM ; l'IREENA est utilisateur. Ces capteurs intégrés aux structures sont majoritairement utilisés pour :

- déterminer des paramètres de suivi de l'endommagement (ruptures de fibres, fissurations matricielles pour des matériaux composites par exemple) ;
- estimer des paramètres d'environnement (température, déformation, niveaux de contraintes,...) ;
- évaluer la durée de vie restante d'une structure.

À ce jour, les différents acteurs du GIS souhaitent accentuer leurs efforts pour optimiser les capteurs vis à vis des problématiques environnementales d'exploitations en lien avec le contexte économique régional : matériaux composites, structure génie civil, éolien et génie civil offshore,... À titre d'exemple, un capteur pour la mesure ponctuelle de déformations en trois dimensions est en cours de réalisation et son exploitation pour le suivi de structures génie civil est un des challenges des partenaires travaillant autour de la fibre optique.

Cet axe pérennisera les échanges inter-structures académiques. À moyen terme, il s'agit d'établir des connexions entre les deux grandes familles de capteurs pour recouper les informations par le biais de projets industriels et académiques. Enfin, à plus long terme, il est envisagé de concrétiser ces échanges en développant des capteurs à fibres optiques pour la détection de l'émission acoustique au cœur des matériaux et le monitoring des endommagements et des contraintes avec la CODA ultrasonore et le bruit de fond.

En plus de ces activités « phares », IFSTTAR et GEM travaillent au développement et à l'optimisation des performances d'un capteur intégré de mesure de résistivité compatible avec les méthodes d'interrogations géophysiques. On cherche plus spécifiquement à évaluer un seuil de détection des chlorures et à mesurer un gradient de propriétés physiques en procédant à des essais dans des éprouvettes en béton. L'évaluation des performances du capteur de résistivité est basée sur des méthodes statistiques (analyse des courbes ROC par exemple). Notre objectif est de passer des tests en environnement simulé à l'instrumentation de structures réelles.

Très récemment, un nouvel axe de recherche sur des principes innovants de capteurs à base de matériaux fonctionnels en couches minces a été initié à l'IETR, site de Nantes. Il s'agit de matériaux sous forme d'oxydes piézo-, pyro- et ferroélectriques ainsi que des films polymères électrostrictifs permettant par exemple la réalisation de capteurs de température, pression, flexion... Une collaboration naissante avec l'ESEO et le CEREMA d'Angers vise à profiter des couplages multi-physiques présents dans ces matériaux. Ceci permettrait d'obtenir une miniaturisation accrue puisque l'antenne qui assure la fonction passive et autonome de transmission d'information sera directement intégrée dans le capteur. De plus le faible encombrement autoriserait une très grande flexibilité d'utilisation, aussi bien pour le positionnement du capteur (éventuellement enfoui dans la structure à surveiller) que pour la lecture des données aux endroits difficilement accessibles (possibilité de lecture à distance par drones téléguidées). Des études originales sur des micro-générateurs piézoélectriques souples et bas coût sont également en cours. Une des motivations est de récupérer la micro-énergie parasite environnante (vibratoire, électromagnétique), afin de rendre autonome énergétiquement des capteurs.

## **A.2 La mesure de densité par Rayon X**

Acteurs : SUBATECH, CEREMA

Le remplacement des méthodes ionisantes (sources radioactives) par des méthodes d'ECND est une préoccupation commune à tous les secteurs d'activité. Les enjeux sont multiples :

Convention création GIS ECND- PdL

- enjeux méthodologiques et opérationnels pour la définition de nouveaux procédés de contrôle qualité ;
- enjeux scientifiques et de recherche, prospectifs sur le sujet des rayons X dans le domaine des contrôles non destructifs de la densité et des propriétés des matériaux ;
- enjeux sanitaires et sécuritaires liés à la substitution des sources ionisantes posant des problèmes de stockage et de transport ainsi que des risques relatifs à la sécurité des personnes (énergie plus faible, habilitations et autorisations spécifiques pour leur usage) ;
- enjeux financiers (renouvellement source, etc.) et économiques (marché, brevet, diffusion, etc.).

Le CEREMA s'intéresse à la substitution des sources radioactives par un **dispositif RX** pour le contrôle de la densité des matériaux selon une précision équivalente à celle des rayons gamma.

À titre d'exemple : un bon compactage des couches de chaussée est un critère essentiel pour leur tenue et leur durabilité. Il est vérifié par une mesure de densité qui comparée à la densité maximale possible compte tenu de celles des composants, donne le taux de compacité à comparer aux prescriptions des cahiers des charges (variable selon type de couche et de formule). Actuellement, la mesure de la densité des enrobés bitumineux composant les chaussées se fait au moyen de sources radioactives de rayonnement gamma. La substitution des sources radioactives par une technologie rayons X présente plusieurs avantages en termes de sûreté, de contraintes de radioprotection liées à l'utilisation, au transport et au stockage des sources radioactives.

C'est un enjeu stratégique pour le CEREMA très attendu par la profession en général (IFSTTAR, USSIRF). L'aboutissement à moyen terme de ce travail est ainsi de **concevoir un prototype de chantier**. Le groupe PRISMA de SUBATECH s'intéresse aux applications des interactions rayonnement matière. Dans ce cadre, il mène des développements conduisant à une utilisation optimale des rayonnements ionisants. Étudier des solutions de substitution des sources radioactives gamma par des dispositifs RX entre donc dans son champ d'action comme enjeu clairement identifié.

Les verrous scientifiques concernent : pour l'analyse multi-élémentaire, le **couplage du générateur RX à un détecteur semi-conducteur résolu en énergie** (<150eV) et le traitement des signaux pour pouvoir analyser directement la nature chimique des éprouvettes ; l'étude de l'influence de la nature chimique et de la teneur en eau sur la mesure de la compacité des éprouvettes avec comme objectif d'aboutir à la définition du cahier des charges du premier prototype pour la mesure de la compacité des chaussées et de la teneur en eau et en liant sur chantier par rayons X.

### A.3 Transmission de l'information, automatisation, robotisation, téléopération

Acteurs : IFSTTAR, IRCCyN, LAUM, IETR

Cet axe de réflexion et de recherche est parallèle et complémentaire à l'axe A1. Si la mesure et la télé-mesure des informations par un réseau de capteurs de terrain (avec ou sans-fil, intégrés dans ou proches de la structure) est une composante essentielle de l'ECND, la transmission de cette information, son automatisation et la confiance que l'exploitant doit pouvoir attribuer aux relevés sont tout aussi importants. Il a souvent été démontré qu'un des freins au déploiement de systèmes de mesure innovants était l'absence ou la faible prise en compte des processus métier et des contraintes de déploiement en contexte opérationnel. Les sujets de recherche et d'expérimentation (passant par essais sur des plates-formes physiques) seront les suivants :

- Réfléchir à la capacité des systèmes à présenter une politique Sûreté de Fonctionnement embarqué : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité et Sécurité ;

- Fiabiliser la qualité de mesure par des stratégies de tests et d'autotest du capteur intelligent. Par l'application temporaire et régulière de nouveaux modèles d'acquisition (changement de seuil, changement de fréquence d'échantillonnage, ...) le capteur intelligent prouve régulièrement au cours du temps sa fiabilité et sa qualité de mesure physique ;

- Proposer des stratégies de modification dynamique de son traitement de l'information : mise à jour (téléchargement) de nouveaux modèles de traitement des données, alarme et mise en veille assumée en cas de batterie faible ;

- Enrichir les réseaux de capteurs de fonctions orientées "end-user" permettant d'améliorer le déploiement (exemple :



obtenir le Rapport signal à bruit RF du capteur), fonctions de watchdog, de keepalive et de log intelligent et paramétrable.

À titre d'exemple, dans ce domaine, on pourra citer des travaux

- sur la collecte des informations avec différents capteurs en réseaux pour que chaque nœud (capteur) devienne intelligent avec sa propre énergie et sa propre puissance de calcul.
- l'exploitation du bruit ambiant pour explorer les informations sur le milieu ou dans les matériaux. Ces méthodes (déjà utilisées en géophysique) sont parfaitement applicables sur les matériaux en composite, à condition d'avoir suffisamment de capteurs dans le réseau avec un niveau suffisant de signal de bruit.
- sur la localisation des objets connectés en employant des signaux sonores larges bandes modulés par étalement de spectre CDMA. Ces méthodes seront testées et évaluées dans les matériaux y compris les matériaux composites dans le cadre du GIS. La localisation est très importante pas simplement pour la détection de défauts mais aussi pour optimiser le routage de l'information dans un réseau où l'énergie disponible est limitée vu la taille de nœud (Energy Aware Networks). L'optimisation de la disposition et de la mise en place des capteurs sur une structure à l'aide d'outils de quantification de la précision *a priori* de l'estimation de la localisation de défauts
- le développement de techniques de traitement du signal permettant l'identification *in situ* de paramètres structuraux à l'aide d'un suivi, entre-autre, des changements de température dans des matériaux.
- l'étude de la transmission numérique d'information entre capteurs par l'utilisation de la structure mécanique comme canal de transmission.

### **Compétence champ B : la physique des méthodes d'ECND et le traitement de l'information**

Les ECND impliquent nécessairement une interaction entre des champs physiques (contrôlés ou naturels) et les objets étudiés, eux-mêmes définis par un ou plusieurs matériaux (homogènes ou pas) et délimités par une géométrie.

Afin de répondre aux demandes des utilisateurs finaux de l'ECND en terme de pouvoir de détection, de résolution, d'optimisation de mise en œuvre avec éventuellement des contraintes d'implémentation fortes (accès limité, coût faible, etc.) l'amélioration, l'adaptation de méthodes d'ECND existantes, le développement de nouvelles méthodes plus performantes, l'exploitation de l'information contenue dans les signaux enregistrés, sont des enjeux majeurs.

Ceci impose :

- le développement d'outils numériques ou de méthodes analytiques décrivant les phénomènes de propagation d'ondes – ou diffusion de champs statiques ;
- en fonction du volume à investiguer et de la résolution attendue, à dimensionner des dispositifs expérimentaux innovants adaptés à la géométrie des objets étudiés que ce soit au laboratoire ou sur le terrain en condition réelle ;
- d'optimiser le rapport signal sur bruit des signaux, de pré-traiter les informations pour en extraire des observables robustes ;
- de formuler et résoudre les problèmes inverses associés en vue de l'imagerie et/ou de la quantification de paramètres intrinsèques.

En Région Pays de la Loire les compétences couvrent les méthodes suivantes :

- les méthodes basées sur les ondes mécaniques : ultrasons, ondes guidées, acoustique linéaire et non linéaire, diffusion multiple ;
- les méthodes électriques et basées sur la propagation électromagnétiques : imagerie électrique, radar, courants de Foucault, thermographie IR ;
- les méthodes ionisantes : RX ;
- les méthodes couplées et le couplage de méthodes.

Dans les quatre ans à venir le GIS ECND\_PdL portera en priorité des collaborations sur 4 axes :

#### **B.1 Les méthodes acoustiques**

Acteurs : LAUM, IFSTTAR, IMMM

### **B.1-a Acoustique Non Linéaire et champ ultrasonore diffus**

L'application des méthodes acoustiques non linéaires pour l'ECND des matériaux dans l'industrie apparaît aujourd'hui comme une technique extrêmement prometteuse en termes de détection et de caractérisation d'endommagement. Les secteurs du génie civil, de l'aéronautique et aussi du nucléaire voient le développement de cette nouvelle méthode comme un moyen de localiser et de dimensionner des défauts non observables par des méthodes acoustiques linéaires. Ils y voient également la possibilité de détecter des changements structuraux de manière précoce et ainsi accroître la fiabilité et la sûreté de fonctionnement des structures et installations. L'originalité de notre approche consiste à envisager cette méthode innovante d'ECND dans une perspective de contrôle de santé intégré et l'imagerie de paramètres intrinsèques non linéaires. Nous proposons d'explorer les potentialités de cette approche pour le diagnostic et l'imagerie de l'endommagement diffus et/ou localisé, à partir des effets d'acoustique non linéaire observés très récemment. Parmi ceux-ci, il faut citer les méthodes en relation avec l'absorption non linéaire (effet Luxembourg-Gorky, résonances non linéaires ou méthode de transfert de modulation), et ceux en relation avec les processus acoustiques non linéaires comportant des effets de seuil (par exemple, excitation des sous-harmoniques et effets de l'hystérésis dynamique). Ces méthodes nécessitent de développer des théories relatives à ces nouveaux phénomènes d'acoustique non linéaire, qui permettent de prendre en compte les paramètres physiques pertinents décrivant le comportement des fissures et des défauts. D'autres processus non linéaires et non classiques (tels la démodulation paramétrique) sont également envisagés. Les matériaux objet de ce projet sont des matériaux hétérogènes (composites, béton, matériaux granulaires,...). Dans cet axe l'utilisation du champs diffus (CODA) sera mise à profit pour suivre des endommagements précoces et détecter des défauts/caractéristiques invisibles aux méthodes ultrasonores linéaires (imagerie de fissures fermées). Un autre verrou est le passage sur site de ces techniques notamment quand les paramètres environnementaux ne peuvent être contrôlés et pour lequel des dispositifs expérimentaux innovants restent à développer et tester.

L'un des défis majeurs liés aux méthodes acoustiques non-linéaires est aussi d'établir un lien entre les endommagements créés au sein des différentes structures et les valeurs des paramètres acoustiques non-linéaires. En effet, les valeurs de ces mêmes paramètres peuvent évoluer de plusieurs ordres de grandeurs dans le cas d'un matériau microfissuré, par exemple. Cependant, il est indispensable d'aller au-delà de ces valeurs, certes sensibles à l'endommagement, en établissant un lien entre les paramètres non-linéaires et le type de défaut tout en étudiant les possibilités d'estimation du potentiel de vie restant des matériaux et structures étudiés.

Dans un premiers temps, il est indispensable d'identifier le mécanisme physique à l'origine des mesures acoustiques non-linéaires. Cela peut se faire à travers la vérification de l'existence de certaines lois physiques, telle que l'évolution en loi de puissance, et ce pour différents types d'indicateurs non-linéaires (quadratique, cubique, etc.). Le développement d'une telle méthode permet de répondre à des problématiques industrielles concrètes. En effet, les mesures acoustiques linéaires peuvent très bien identifier certaines anomalies, tel qu'un changement de phase dans les aciers par exemple. Cependant, cette même mesure est incapable de dire s'il s'agit réellement d'une fissure ou d'un changement de phase (qui représente en soi un défaut "bénin"). L'identification du ou des mécanismes dynamiques mis en jeu permet de mieux comprendre la physique de cette zone "critique" et d'aller au-delà des mesures linéaires.

Par ailleurs, il est également important de vérifier l'évolution des indicateurs non-linéaires en fonction de la déformation dynamique. Ces mesures, appelées "essais acoustoélastiques dynamiques" représentent un moyen très intéressant permettant de savoir si les paramètres non-linéaires étudiés dépendent réellement de la déformation dynamique et de quelle façon. Ainsi, il nous sera possible d'améliorer les modèles physiques de façon à nous rapprocher au mieux du comportement réel des micro-fissures et ce pour une meilleure compréhension des observations expérimentales.

### **B.1-b L'Émission Acoustique**

L'approche susmentionnée peut être appuyée à l'aide d'une méthode telle que l'Émission Acoustique. En effet, selon la structure étudiée et le type de défaut recherché, les mécanismes physiques majeurs sont divers (slip/stick, clapping, adhesion, etc.) de façon à émettre différentes signatures acoustiques, d'où l'importance de les "d'écouter". A travers cette approche passive, nous proposons d'identifier le mécanisme non-linéaire mis en jeu lorsque la structure ou le matériau est mis en vibration. D'un autre côté, elle permet de quantifier les énergies mises en jeu lors de la création des différents endommagements. Il devient ainsi possible d'établir un lien entre ces énergies et les différents mécanismes non-linéaires de façon à identifier ceux qui interviennent réellement dans la réduction de la durée de vie des matériaux et structures étudiées.

### **B.1-c Ondes de surface et ondes de Lamb (ZGV - Zero Group Velocity)**

- **ultrason laser**

Les méthodes de contrôle non destructif par ultrasons laser font parties des nouvelles générations de techniques visant à contrôler la qualité de grandes structures. Aujourd'hui, des dispositifs industriels tels que LUIS (Dassault et EADS) et LUCIE (Airbus Group) permettent ainsi de contrôler la qualité de structures aéronautiques de grandes tailles avec potentiellement un gain de productivité et une baisse des coûts. Dans ces systèmes, le principe de l'inspection repose principalement sur la génération et la détection d'ondes élastiques de volume se propageant dans l'épaisseur de l'échantillon et interagissant avec les défauts potentiels. À plus hautes fréquences, on peut de même répondre aux problématiques suivantes :

- Détermination des propriétés viscoélastiques des matériaux par ultrasons GHz,
- Détection des fissures nanométrique par imagerie opto-acoustique,
- **Caractérisation de l'adhésion de couches minces,**
- Identification des mécanismes d'endommagement des matériaux par onde de choc.

La détection de défauts plus petits que la longueur d'onde acoustique (quelques centaines de micromètres en ultrasons laser) est difficile avec une méthode linéaire classique. Pour améliorer la détection des petits défauts, une méthode linéaire basée sur la génération et la détection tout optique de modes guidés à vitesse de groupe nulle (ZGV, pour Zero Group Velocity) est proposée. Depuis une dizaine d'année, les modes ZGV sont analysés en ultrasons laser pour la mesure locale et très précise de propriétés mécaniques de matériaux isotropes ou anisotropes. Les modes ZGV correspondent à des résonances locales de la structure inspectée, résonances qui peuvent résulter d'un couplage entre différentes couches d'un assemblage. Contrairement aux résonances d'épaisseur, qui sollicitent les interfaces uniquement en élongation ou en cisaillement, les modes ZGV correspondent à une sollicitation mixte de l'interface. De plus, les résonances ZGV dépendent finement de la qualité du couplage entre les couches. Ces modes sont donc d'excellents candidats pour détecter des défauts d'assemblage bien plus petits en épaisseur que leur longueur d'onde centimétrique.

#### **- Ultrason basses fréquences avec et sans contact**

La méthode ZGV est aussi utilisée à des fréquences de quelques Hz à quelques dizaines de kHz pour détecter des défauts de types vide/fissure (rupture d'impédance mécanique) dans des structures de dimensions décimétriques à centimétriques mais aussi pour remonter à des informations fiables sur les propriétés des matériaux en petite déformation (coefficient de Poisson, amortissement). A cette échelle les travaux visent à tirer profit de mesures multi-composantes et à coupler expérimentation et modélisation pour mettre au point des dispositifs expérimentaux optimaux, rechercher des observables sensibles et in fine développer des algorithmes inverses robustes.

En parallèle, des travaux sur les ondes de surface dans les milieux très hétérogènes sont réalisés pour remonter à des gradients de propriétés dans la matrice à partir de mesure depuis la surface. Les développements récents concernent tant des développement instrumentaux (développements de sondes multi-capteurs en contact sec pour des mesures in situ à grand rendement pour le génie civil) que des modélisations numérique et physiques, sur des matériaux modèles.

#### **B.1-d Imagerie ultrasonore**

Au cours de la dernière décennie, l'imagerie acoustique a connu de grandes avancées en s'orientant vers les bancs d'imagerie à couplage aérien. En effet, pour s'affranchir de l'utilisation de couplant qui peut être gênant dans le cas de structures métalliques par exemple (eau dans les cuves à immersion ou gel pour les sondes échographiques), plusieurs composants des systèmes classiques d'imagerie acoustique ont été repensés pour être adaptés à une mesure sans contact. Le système d'imagerie à couplage aérien au LAUM permet la mesure d'épaisseur et du module élastique hors plan. Le système d'imagerie utilisé est évolutif et plusieurs méthodes acoustiques ont été implémentées pour couvrir des champs d'application variés. Par exemple, la tomographie ultrasonore constitue une évolution importante qui permettrait d'établir une cartographie tridimensionnelle des pièces et défauts.

#### **B.2 La thermographie Infra Rouge active**

Acteurs : IREENA, IFSTTAR, LARIS, LTN, ICAM

La thermographie infrarouge (ThIR) possède quelques caractéristiques spécifiques parmi les méthodes ECND. Elle permet d'observer simultanément de grandes surfaces avec une bonne résolution. Elle est sensible aux hétérogénéités thermiques des matériaux et aux sources de chaleur qui peuvent y trouver leur place. Elle peut donc être couplée avec diverses méthodes qui induisent un échauffement au niveau des défauts. Les mesures sont d'autant plus rapides que les signaux recherchés sont proches de la surface. Dans ce sens, elle peut se substituer à la magnétoscopie ou au

ressuage en éliminant l'emploi de produits consommables potentiellement polluants. Les caméras thermiques à haute sensibilité et haute fréquence d'acquisition sont toutefois des objets onéreux. Néanmoins, l'essor avéré des caméras infrarouges à matrice de microbolomètres non refroidies et à bas coût pourrait ouvrir la voie à des systèmes d'ECND tout en un moins onéreux.

Sur le plan de la production de données de mesure plein champ, les pistes de recherche envisagées s'intéresseront à des approches multi-sources (optique, mécanique, inductive,...) et multi-modes (excitation périodique en temps et/ou en espace, aléatoire, excitation naturelle pour les structures de génie civil, ...). Par exemple, une technique hybride est mise en œuvre à l'IREENA utilisant l'induction magnétique pour l'excitation du matériau testé et la thermographie infrarouge pour l'observation de la réponse à l'excitation. Des outils de modélisation multi-physique (électromagnétique et thermique) et multi-échelle (micro-méso-macro, de la fibre de l'ordre du micron à la pièce de l'ordre du mètre) ont été développés à des fins de conception et d'optimisation des capteurs, des paramètres, etc...

Sur le plan des méthodes d'identification et de caractérisation des défauts (délaminage, fissures, ...), les pistes de recherche s'intéresseront au développement de méthodes d'estimation rapide permettant d'obtenir des cartographies des défauts.

L'ensemble des travaux conduits pourra tirer bénéfice des récentes avancées dans le domaine des GPGPU rendant abordable l'accès à des cartes de calcul autorisant le parallélisme dynamique.

Des études multi-techniques pourraient venir renforcer les voies de recherche évoquées auparavant.

### **B.3 Les méthodes hyper fréquences**

Acteurs : LAUM (site ESEO), IETR, CEREMA, IFSTTAR

Dans les domaines du génie civil et du bâtiment, les méthodes d'auscultation sont couramment utilisées pour répondre à des besoins de détection, de contrôle, de maintenance des ouvrages en service, et de réception des ouvrages neufs. Les méthodes d'ECND sont privilégiées pour des raisons de simplicité de mise en œuvre et de coût réduit. Parmi ces méthodes, la technique radar utilise les propriétés de propagation des ondes électromagnétiques (EM) hyperfréquences pour déterminer la géométrie, la structure d'un milieu diélectrique, détecter, localiser, caractériser et identifier des objets ou couches à l'intérieur de ce milieu. Elle présente l'avantage d'être une technique à grand rendement et sans contact, et d'être particulièrement sensible à la teneur en eau des matériaux auscultés. À ce jour, de nombreux progrès sont encore attendus avec la technologie RADAR pour la caractérisation des matériaux (dans les domaines chaussées, sols, ouvrages d'art et bâtiments anciens), pour la détection et la caractérisation de structure (détection de canalisation de gaz ou autre, estimation de rugosité de surface ...). Les enjeux économiques, environnementaux et l'évaluation du risque font du RADAR un outil prometteur. À titre d'exemple, les mesures nucléaires de teneur en eau et de densité ont longtemps offert une voie efficace de caractérisation de l'état des structures du génie civil, qui conditionne leur comportement mécanique. La réglementation actuelle ne permet plus d'utiliser les sources radioactives permanentes avec la souplesse nécessaire et il est important de développer des alternatives de mesure qui fournissent les mêmes informations sans sources radioactives permanentes. L'utilisation des méthodes non destructives ? basées sur la propagation des ondes EM représente une solution adéquate à ce problème.

Dans le cadre de cet axe, la collaboration entre le CEREMA, l'ESEO, l'IETR et l'IFSTTAR a pour objectif de développer des outils de mesures EM hyperfréquences associés à des traitements et des modélisations basés sur des modèles physiques de propagation et de caractérisation EM capables de prédire l'état de dégradation des ouvrages en bétons hydrauliques, des bâtiments et des sols (i.e. gradients d'indicateurs physiques et hydriques) et améliorer la compréhension des phénomènes physiques rencontrés. Un travail de modélisation HFSS, de réalisation et de caractérisation de nouvelles antennes à lentilles sera porté par le laboratoire radio et hyperfréquences de l'ESEO-IETR afin d'améliorer les performances des radars à sauts de fréquences du CEREMA et de l'IFSTTAR. Le prototype final permettra également de suivre avec une grande précision l'état de dégradation des infrastructures routières à l'image des délaminations entre les différentes couches de chaussées liées au processus de collage par exemple.

Dans le cadre de cet axe, une collaboration entre le CEREMA, l'IETR et l'IFSTTAR a permis de développer un modèle rigoureux directe EM (basée sur la résolution des équations intégrales par une méthode des moments) prenant en compte la rugosité des interfaces et permettant d'isoler les échos réfléchis par les différentes interfaces. Ce modèle permet ainsi de mieux comprendre les phénomènes EM dans le cadre de mesure de faible SER (décollements,

fissures). Il est proposé d'étendre cette modélisation à d'autres situations plus complexes, incluant des homogénéités et/ou un milieu stratifié constitué de N interfaces rugueuses.

Enfin, il est important de noter qu'à travers plusieurs des actions initiées dans cette collaboration, différentes configurations de radar seront développées (adaptées aux problématiques), soit à partir d'une technologie impulsionnelle, soit à partir d'une technologie à sauts de fréquences voire même à partir de guides d'ondes (i.e. cavités résonantes, sondes rectangulaires).

## **B.4 Méthode par Rayon X**

### **B.4.a Analyse des champs de contrainte**

Pour garantir la tenue en service des structures, tout en optimisant les performances et les coûts de fabrication, il est nécessaire d'évaluer de façon fiable la durée de vie des pièces. Pour cela, ils vont prendre en compte d'une part les sollicitations mécaniques (contraintes externes) et d'autre part, les contraintes résiduelles internes à la pièce, dues entre autres à son élaboration et aux traitements thermomécaniques subis.

La diffraction des rayons X (DRX) offre un moyen efficace, rapide et non destructif pour évaluer ces contraintes résiduelles. Cependant, il est nécessaire de savoir interpréter les résultats et surtout d'adapter une méthodologie spécifique au matériau analysé. La diffraction des rayons X permet la mesure directe des distorsions élastiques du réseau cristallin. Elle permet d'obtenir une bonne description du comportement mécanique du matériau car cette technique analyse directement les positions atomiques dans le réseau cristallin. En effet, la raie de diffraction considérée subit un déplacement et un élargissement en relation avec l'état de contrainte à différentes échelles.

La maîtrise de la relation entre microstructure et propriétés d'emploi, a fortiori dans les matériaux hétérogènes, s'avère indispensable pour s'assurer de la bonne tenue en service des pièces. En effet, cette voie permet l'établissement de critères macroscopiques pertinents et fiables puisque intégrant les mécanismes microstructuraux de comportement, d'endommagement, d'usure et de rupture. La caractérisation ainsi que le contrôle des pièces à une échelle suffisamment fine se révèlent donc être une étape indispensable. La quantification des contraintes et des distorsions résiduelles, associées à la microstructure de dislocations par la méthode de diffraction des rayons X, s'inscrit dans cette démarche.

Les grandeurs analysées permettent la compréhension du mécanisme physique responsable de l'amélioration ou de la dégradation du comportement du matériau. De plus, l'hétérogénéité de ce dernier ainsi que l'anisotropie de comportement, induisent des contraintes internes qui doivent être évaluées. Ceci constitue une étape indispensable dans l'identification et la compréhension du mécanisme considéré. Cette évaluation permet également d'intégrer ces contraintes dans les propriétés d'emploi.

Autour de cette thématique, les projets de développement suivant peuvent être cités :

- Développement de la technique de corrélation d'image couplée à la diffraction des rayons X pour l'analyse des champs de déformations totale et élastique sous sollicitation mécanique.
- Analyse des contraintes mécaniques locales par la microdiffraction (source synchrotron, résolution de  $0.5 \times 0.5$  micron<sup>2</sup>) pour cartographier en 2D, à l'échelle sub-micronique, les orientations cristallines et les contraintes dans des polycristaux.
- Analyse *in situ* des champs de contraintes et de déformations lors de sollicitations mécaniques en température.
- Développement d'analyse des champs mécaniques en 3 dimensions par diffraction des rayons X (source synchrotron) via la nouvelle méthode 3DXRD (Three Dimensional X ray Diffraction).

### **B.4.b Couplage RX / US**

Le couplage des mesures ultrasonores et RX dans le but d'affiner les méthodes d'imagerie et de diagnostic des structures et/ou de cross valider les méthodes est un centre d'intérêt de plusieurs membres du GIS. On peut par exemple mentionner :

- Les mesures aériennes ultrasonores sans contact qui offre une configuration idéale pour un couplage avec la tomographie par RX.

- le monitoring de propriétés comme la cicatrisation des matériaux et l'imagerie de contrainte par tomographie par RX et interférométrie de la coda

#### **B.4 Les méthodes inverses , de traitement du signal et de data mining**

Acteurs : IRCCyN, GeM, IFSTTAR, LAUM (Site Univ. Le Mans), CEREMA, IREENA, IETR

Dans le cadre de cette action, le travail consiste à proposer des méthodes inverses, de traitement de signal ou de data mining, à établir leurs limites de performance pour les applications envisagées, à améliorer les performances des systèmes étudiés à partir des méthodes proposées. Dans cette thématique, nous distinguons deux familles de méthodes :

- l'une utilisant un modèle physique de signal et éventuellement des informations a priori ;
- l'autre utilisant seulement la mesure (sans modèle a priori).

##### **B.4-a Approches inverses, exploitation de modèles physiques**

Nous considérons ici des problèmes d'estimation d'un ensemble de grandeurs inconnues, reliées à des mesures par un modèle physique, analytique ou résultant de formulations implicites, et généralement en présence d'incertitudes.

Une première classe de problèmes concerne les problèmes inverses dit mal-posés, i.e., que l'on ne peut pas résoudre sur la seule base des données observées. La prise en compte d'autres informations sur la solution recherchée (information dite a priori) s'avère dans ce cas déterminante. L'objectif est alors de déterminer des informations a priori spécifiques au problème, et que l'on sache exploiter dans des algorithmes de calcul appropriés pour l'estimation. Cet enjeu passe par la définition de cadres d'estimation aux propriétés statistiques solides et par la construction d'algorithmes associés, déterministes ou aléatoires (optimisation, échantillonnage stochastique), efficaces en coût de calcul et satisfaisant des propriétés théoriques de convergence, (efficacité en coût, robustesse à l'initialisation).

Plus spécifiquement des travaux seront réalisés sur :

##### **- La tomographie électrique :**

Celle-ci est destinée à évaluer la résistivité d'un milieu. Pour cela, on injecte du courant dans un échantillon au moyen de deux électrodes, avec les intensités  $I$  et  $-I$ . En interrogeant successivement différentes combinaisons d'électrodes et après une inversion numérique du problème, il est possible d'obtenir une cartographie des résistivités vraies du milieu étudié.

L'inversion est posée au sens d'un problème de minimisation d'une fonction. On cherche à trouver le jeu de paramètres (ici les résistivités) permettant de minimiser l'écart entre une cartographie de résistivité apparente calculée et la cartographie de résistivité apparente mesurée. La résolution du problème direct est effectuée en utilisant soit la méthode des éléments finis soit la méthode des différences finies. La minimisation de la fonction coût (ou écart entre les données calculées et mesurées) est effectuée classiquement avec des méthodes de type minimisation par les moindres carrés.

Nous aspirons à l'avenir développer nos propres méthodes d'inversion. L'idée serait d'être capable de traiter des problèmes possiblement mal conditionnés et en présence d'incertitudes sur la mesure. On souhaite en particulier s'orienter vers des méthodes d'inversion basées sur des approches bayésiennes. En associant la résolution d'un problème direct par la méthode des éléments finis avec les méthodes bayésienne pour l'inversion on espère développer des outils adaptables à une large panoplie de capteurs intégrés. Une application phare est l'estimation du taux de chlorures dans le béton, à l'origine du risque de corrosion, par tomographie de résistivité électrique.

##### **- La déconvolution de signaux ultrasonores et RADAR :**

Ce thème a déjà fait l'objet de travaux en collaboration entre l'IRCCyN et le LAUM, avec notamment la thèse d'Ewen Carcreff pour des données ultrasonores. L'ECND par ultrasons consiste à émettre des ondes acoustiques dans un matériau. Les ondes se propageant dans le milieu, et récupérées par le capteur ultrasonore, permettent dans la mesure du possible de détecter et d'identifier les défauts contenus dans la pièce. Le même procédé peut être appliqué pour évaluer les matériaux, c'est-à-dire pour estimer des paramètres physiques propres, tels que la vitesse des ondes ou le coefficient d'atténuation. Le but de l'utilisateur est de visualiser les échos et d'en déduire une information spatiale sur l'objet inspecté, en particulier les discontinuités, qui présentent des transitions franches dans l'objet (surfaces, arêtes, défauts, etc.). L'analyse du signal peut cependant se révéler difficile à l'œil nu pour plusieurs raisons : bruit, atténuation, diffraction, superposition d'échos, etc. Des techniques d'inversion peuvent alors être employées

pour améliorer la résolution des signaux Cette thématique s'intéresse en particulier à la résolution du problème inverse d'estimation des distances de propagation correspondant à chaque écho. Les travaux initiés ont proposé l'utilisation d'un modèle direct spécifique aux ultrasons, prenant en compte les phénomènes propagatifs d'atténuation et de dispersion, pour des signaux mono-dimensionnels (A-scans). Les travaux à venir pourront porter sur :

- la prise en compte de signatures propres à différents types de défauts (échos de diffraction), permettant d'affiner les modèles et d'envisager de meilleures performances de détection de défauts ;
- l'exploitation de modèles pour des données issues de transducteurs multi-éléments (Synthetic Aperture Focusing Techniques, Focalisation en Tout Point), très utilisées et demandées par les industriels. Ces méthodes d'imagerie, couplées aux approches de déconvolution parcimonieuse, pourront fournir des performances supérieures en termes de reconstruction. Elles seront notamment intéressantes pour réduire le bruit de structure grâce à la capacité de débruitage de la déconvolution ;
- L'utilisation de tels modèles pourrait également contribuer à l'amélioration des méthodes de reconstruction d'images et de tomographie ultrasonore.

**Le contrôle des sols par GPR** (Ground Penetrating Radar) présente, du point de vue de la formation des données, des analogies fortes avec les signaux ultrasonores. Le développement de modèles et de méthodes inspirés des travaux réalisés dans le domaine ultrasonore pourra également faire l'objet de travaux de recherche, associant les compétences en inversion de l'IRCCyN et celles en GPR de l'IFSTTAR.

Enfin, d'autres modalités de mesure à des fins de contrôle ou d'évaluation non destructifs ont également fait l'objet d'approches inverses dans la communauté scientifique, et sur lesquels de solides compétences ont été démontrées parmi les membres du GIS ECND-PdL. Nous pouvons citer par exemple la tomographie par courants de Foucault, par ultrasons, par micro-ondes.

#### **Technique d'analyse spectrale pour le radar géophysique**

Dans cette action, le travail consiste à tester et à proposer des méthodes de traitement de signal haute résolution et à établir leurs limites de performances pour les applications envisagées. L'objectif de ces travaux de recherche est d'une part d'améliorer les performances des radars géophysiques à partir de méthodes de traitement du signal HR (améliorer la résolution) et d'autre part d'estimer de nouveaux paramètres (comme la rugosité) à partir des radars géophysiques. Les applications visées sont : la détection et la mesure de faibles épaisseurs de couches de chaussée, l'estimation de la rugosité d'interfaces de chaussée, la détection et l'évaluation de faible SER (fissure, décollement).

#### **B.4-b Approches guidées par les données**

Lorsque le problème est complexe et que les modèles physiques sont difficilement exploitables ou même définissables, il est possible d'utiliser et de proposer d'autres méthodes utilisant seulement la mesure. Ces méthodes d'apprentissage automatique permettent aussi de détecter et de caractériser certains paramètres.

Dans ce cadre, on s'intéressera plus spécifiquement à la détection et à la caractérisation des décollements de chaussées à l'aide de méthodes d'apprentissage supervisé appliquées sur des signaux GPR.

#### ***Compétence champ C : le diagnostic, le pronostic et l'aide à la décision***

De nombreux outils et méthodes de pronostic de défaillance ont été proposés durant la dernière décennie. Elles diffèrent généralement par le type d'application considérée, alors que les outils mis en œuvre dépendent principalement de la nature des données et connaissances disponibles pour construire un modèle de comportement du système réel incluant le phénomène de la dégradation. Aussi, ces méthodes et outils peuvent être regroupés dans un nombre limité d'approches risques (source TI-MT9570). Nous choisissons ainsi pour la suite de distinguer les approches :

- fondées sur un modèle physique (C1) ;
- guidées par les données de surveillance (C2) ;
- fondées sur l'expérience, c'est-à-dire les approches fiabilistes (C3) ;

Par ailleurs, comme dans toute technologie, le passage du laboratoire (étude de principe, modélisation) à l'utilisation industrielle nécessite un certain nombre d'adaptations liées notamment aux changements de conditions environnementales qui peuvent alors être mal maîtrisées (C4).

Dans les quatre ans à venir le GIS ECND\_PdL portera en priorité des collaborations sur les axes C2, C3 et C4.

### **C.1 Les approches guidées par les modèles**

Acteurs : GeM, IFSTTAR, IREENA

Ces approches reposent sur une modélisation de l'évolution dans le temps du système intégrant. Au vu des incertitudes inhérentes au phénomène, aux facteurs d'influence et au niveau de connaissance, la tendance lourde est une modélisation stochastique : on cherche à décrire le modèle physique avec un niveau de complexité suffisant. Le pronostic se fera donc en lien avec une approche risque couplant des probabilités d'occurrence et des conséquences.

### **C.2 Les approches guidées par les données**

Acteurs : IFSTTAR, GeM, partenaire hors région INRIA Rennes

L'objectif est ici de reposer le pronostic sur une analyse fine des relations entre les entrées et les sorties du modèle en supposant qu'elles sont mesurées : c'est le cas de la température par exemple (entrée) et de l'évolution d'une contrainte due à la dilatation (sortie). La surveillance prend donc une place capitale et essentielle. On ne cherche pas ici un modèle physique complexe mais un méta-modèle, souvent analytique, respectant les tendances. Ce qui est gagné en investigation scientifique de la dégradation est perdu en précision. Si les mesures sont entachées d'erreurs, elles peuvent conduire à un nombre de mauvaises décisions significatif.

#### **Projet de recherche :**

Le GeM en partenariat avec l'INRIA Rennes souhaite développer des méthodes de détection de défauts dans des structures soumises à conditions évolutives (changement des sollicitations et/ou de la matrice masse et/ou de la matrice raideur). On peut en citer en exemple, la détection des défauts sur des structures de type « jacket » notamment en présence de bio-colonisation.

### **C.3 Les approches fiabilistes**

Acteurs : GeM, LASQUO Angers, IRCCyN

On développe ici des fonctions de fiabilité ou des processus stochastiques calibrés sur des retours d'expériences suffisants. Le développement de capteurs à bas coûts et de techniques ECND automatisées favorise l'essor de ces méthodes en augmentant la densité des retours d'expérience ; les approches bayésiennes permettant de tenir compte de manière efficace de données incomplètes. Elles couvrent de plus en plus les approches décrites dans les paragraphes C1 et C2 :

- en se servant de données ;
- en réactualisant les modèles physiques à partir de ces données ;
- en intégrant l'incertitude de mesure dans le processus de décision.

Il est à noter que d'un point de vue mathématique, ces méthodes peuvent reposer sur des approches statistiques ou probabilistes. Au niveau SHM, elles sont développées actuellement au sein de l'action COST-TU1402, VoSHM.

#### **Projet de recherche :**

Les partenaires du GIS souhaitent développer des méthodes de détection de la variabilité spatiale en présence d'incertitudes de mesure .

Un autre sujet de développement majeur sera l'actualisation, en temps réel, de modèles de dégradations à partir des données d'instrumentation, par exemple de capteurs embarqués. Il existe un partenariat fort avec STX autour de cette thématique avec le financement de plusieurs thèses.

Enfin, on développera des méthodes d'intégration de mesure indirecte de bio colonisation pour la maintenance des structures marines.

### **C.4 Passage du laboratoire au site**

Acteurs : CTTM, IFSTTAR, ICAM, GeM

Le transfert technologique vers un environnement industriel des méthodes ECND actives ainsi que passives est un enjeu capital. En effet, en laboratoire, les bancs de mesures permettent d'avoir des résultats précis dans des conditions environnementales contrôlées (température, humidité, vibrations et bruits environnants...). Sur site, ces conditions ne



sont pas réunies, ce qui implique l'introduction de différentes phases de calibrage de la chaîne de mesure, de dimensionnement des grandeurs à suivre, de prise en compte des biais environnementaux.

De nombreux questionnements apparaissent pour le suivi des structures en cours de fabrication, de transformation et lors de leur utilisation en conditions environnementales réelles :

Dans les ouvrages et structures de génie civil, un état mécanique non conforme aux hypothèses de départ peut apparaître selon le déroulement du chantier, ce qui tend à les affaiblir ;

Pour les structures en matériaux composites ou métalliques, des contraintes internes de fabrication liées au mode de mise en œuvre (réticulation, solidification, refroidissement) et ce particulièrement sur de grandes structures ou sur des assemblages, viennent contrarier la géométrie ou peuvent générer des contraintes fortes de fabrication qu'il faut appréhender ;

L'utilisation extérieure (présence de pluie, brouillard, poussières) peut rendre certaines techniques inopérantes. Des études sur les conditions limites d'utilisations sont alors nécessaires pour cerner la dégradation des performances attendues et pour adapter les stratégies de mesure ;

L'adaptation à un environnement particulier. On pense notamment à l'environnement marin qui nécessite de prendre en compte l'étanchéité et la résistance à la corrosion.

L'adéquation aux grandes structures, qui peut conduire à la multiplication (à limiter) des capteurs. Il faut donc envisager leur autonomie énergétique et la constitution de réseaux de capteurs (avec et sans fils).

Le durcissement des capteurs et de la chaîne d'acquisition pour assurer la pérennité et qualité du signal mesuré.

Enfin, il est opportun d'amorcer le dialogue avec d'autres champs disciplinaires afin de proposer une vision qui impacte le monde industriel et la société à travers l'emploi de capteurs et à la meilleure interprétation possible du signal délivré.

L'objectif de cet axe sera de définir des stratégies d'instrumentation : la complexité des structures industrielles conduit à rechercher une méthodologie apte à rationaliser l'emploi de capteurs pour quantifier les grandeurs principales et pour vérifier que la structure répond conformément aux hypothèses de dimensionnement.

#### **Projets de recherche :**

- Lors du dernier CPER, les partenaires du GIS ECND\_PdL avait proposé un projet nommé « EQUIPAGE ». Cet équipement est destiné au développement, à la validation et au transfert industriel de techniques d'auscultation ou de surveillance non destructives pour les pièces ou structures de grandes dimensions. Il a vocation à faciliter le passage du laboratoire au site des méthodes d'auscultation non destructives (en couvrant un large panel de méthodes d'ECND et d'instrumentation). Les objectifs du projet EQUIPAGE ont pour vocation d'être adaptés et poursuivis dans ce nouveau cadre.
- L'ICAM est en contact avec deux entreprises pour étudier et implanter des méthodes ECND sur des chaînes de production. Le point clef de ce projet consiste à évaluer les performances sur site, les méthodes de mesure développées en laboratoire.
- Dans le cadre du projet SURFEOL, IFSTTAR et GeM travaillent en partenariat avec STX à l'instrumentation de structures offshore pour les EMR. Ce projet comporte deux étapes, la première sur maquette, la deuxième sur structure réelle.
- Le suivi des propriétés mécanique d'un composite, dans un moule ou en fonctionnement, doit prendre en compte l'environnement physique en terme de température ou de gel par exemple. Deux axes de contrôle permettent de répondre en temps réel à d'éventuels défauts nécessitant une intervention externe : un contrôle en cours de fabrication et un contrôle en cours de fonctionnement du matériau composite.
- Le suivi du processus de fabrication des matériaux composites : il s'agit d'instrumenter un moule (capteurs acoustiques, fibre optique) afin de suivre les propriétés notamment mécaniques des structures en cours de fabrication. Ce suivi nécessite une instrumentation haute température qui assure une bonne stabilité et reproductibilité des mesures (durée typique de la polymérisation des résines 2h ~ 4h en fonction de la nature du composite). Ce suivi permet d'un côté de s'assurer du bon déroulement de la phase de polymérisation ayant accès en temps réel aux vitesses longitudinales et transverses dans le composite permettant de révéler un taux de porosité élevé par exemple

et donc d'optimiser son coût énergétique et d'autre part, il permet de définir un état initial/état de référence de la structure.

*- Dans le but de contrôler une pale d'éolienne, un réseau de capteurs permettra de détecter et de localiser un défaut/impact grâce à des ondes guidées (idéales pour les grandes structures). Cela consiste à exploiter l'interaction de ces ondes avec le défaut par méthode échographique appuyée par l'étude de la diffusion d'une onde de surface par un impact ou un défaut non débouchant. Ces mêmes capteurs pourront être utilisés pour réaliser une écoute passive des signaux d'émissions acoustiques pour suivre la cinétique de la propagation d'un défaut ou celles relatives au vieillissement de la structure concernée. D'autre part, ce suivi permet de valider/fournir les métadonnées en temps réel, nécessaires à la réactualisation des modèles physiques pour une meilleure précision. La mise en œuvre de cette technique en temps réel nécessitera une adaptation aux conditions climatiques. Par exemple, en cas de formation de couche de glace sur la pale, les courbes de dispersion de certains modes visant à détecter des défauts surfaciques ou les impacts peuvent changer et altérer le résultat du modèle.*

## **ANNEXE 2**

### **LISTE DES LABORATOIRES DE RECHERCHE ET DES STRUCTURES PARTICIPANT AUX ACTIVITES DU GIS**

Département Géotechnique, environnement, risques naturels et science de la terre (GERS, Ifsttar)

Département Composants et systèmes (COSYS, Ifsttar)

Département Matériaux et structures (MAST, Ifsttar)

GeM UMR 6183 CNRS - Ecole Centrale de Nantes – Université de Nantes

IRCCyN Ecole Centrale de Nantes – Université de Nantes

IETR Université de Nantes

IREENA EA 4642 – Université de Nantes

LAUM-Université du Maine

IMMM-Université du Maine

ICAM

ATTM

ESEO

ESTACA

CEREMA Direction territoriale Ouest, Département laboratoire et CECP d'Angers  
Pôle de recherche en CND

**ANNEXE 3**

**NOMINATION DU DIRECTEUR ET DES DIRECTEURS ADJOINTS DU GIS**

***Odile Abraham (2 ans) IFSTTAR***

***Aroune Duclos (2 ans) LAUM-Université du Maine***

***Yann Lecieux (1 an) GeM-Ecole Centrale de Nantes***

***Gérard Berthiau (1 an) IREENA-Université de Nantes***

ANNEXE 4

COTISATIONS DES MEMBRES POUR L'ANNEE CIVILE 2017

GERS -Ifsttar	500 €
MAST-Ifsttar	500 €
COSYS-Ifsttar	500 €
GeM-Ecole centrale de Nantes, Université de Nantes	500 €
IRCCyN- Ecole centrale de Nantes, Université de Nantes	500 €
IETR-Université de Nantes	500 €
IREENA -Université de Nantes	500 €
LAUM -Université du Maine	500 €
IMMM -Université du Maine	500 €
ICAM	500 €
CTTM	500 €
ESEO	500 €
ESTACA	500 €
CEREMA	500 €

Fait à

, le

en 9 exemplaires originaux.

*Pour l'**Université de Nantes**  
Président  
Olivier LABOUX*

