



HAL
open science

Laboratoire Géophysique et Évaluation Non Destructive - Rapport d'activité - Année : 2021

Xavier Dérobert, Sérgio Palma Lopes

► **To cite this version:**

Xavier Dérobert, Sérgio Palma Lopes. Laboratoire Géophysique et Évaluation Non Destructive - Rapport d'activité - Année: 2021. Université Gustave Eiffel. 2022, 27p. hal-04305708

HAL Id: hal-04305708

<https://univ-eiffel.hal.science/hal-04305708>

Submitted on 24 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Laboratoire Géophysique et Évaluation Non Destructive

Rapport d'activité

Année : 2021

X. Dérobert, S. Palma Lopes

Version : 22 mars 2022

SOMMAIRE

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | EVOLUTION DES EFFECTIFS..... | 3 |
| 2. | ORGANISATION DU LABORATOIRE..... | 6 |
| 3. | REUNIONS..... | 7 |
| 4. | ANIMATION..... | 7 |
| 5. | PROJETS – CONTRATS..... | 9 |
| 5.1. | Axe méthodes d'auscultation différentielle pour la surveillance..... | 9 |
| 5.2. | Axe imagerie haute résolution de la subsurface..... | 12 |
| 5.3. | Axe ondes guidées..... | 13 |
| 5.4. | Axe propagation et diffusion dans les milieux hétérogènes..... | 14 |
| 6. | PUBLICATIONS..... | 19 |
| 6.1. | Publications dans des revues internationales référencées WOSa..... | 19 |
| 6.2. | Livres ou chapitres de livres..... | 20 |
| 6.3. | Thèse de doctorats et HDR..... | 20 |
| 6.4. | Publication dans des revues techniques ou de vulgarisation..... | 20 |
| 6.5. | Actes de colloques internationaux..... | 20 |
| 6.6. | Rapports de recherche, d'expertise, d'études ou d'essais..... | 21 |
| 6.7. | Guides et recommandations..... | 21 |
| 6.8. | Rapports de stages et d'apprentissage..... | 21 |
| 6.9. | Communications à des colloques internationaux sans actes..... | 22 |
| 6.10. | Communications à des colloques nationaux..... | 22 |
| 6.11. | Communications à des colloques nationaux sans acte..... | 22 |
| 6.12. | Indices de rayonnement et d'attractivité académique..... | 22 |
| 6.13. | Produits destinés à des acteurs du monde social, économique et culturel..... | 24 |
| 7. | ENSEIGNEMENT DISPENSE..... | 24 |
| 8. | TABLEAU DE BORD DES PERFORMANCES DU LABORATOIRE..... | 26 |

1. EVOLUTION DES EFFECTIFS

| | Ing. Chercheurs | Tech et admin | doc | Post-doc et autres CDD |
|----------------------|---|--|-------------------------|---|
| Effectif au 01/01/21 | 8 O. Abraham X. Dérobert L. Laguerre (M. Le Feuvre) D. Leparoux S. Palma Lopes F. Treyssède T. Devie M. Lehujeur | 2 O. Durand G. Gugole N. Nedellec | 2 S. Qu V. Buliuk | 3 Post-docs T. Dezert K. Juhel F. Baliva |

Information sur les journées de télétravail de certains agents (le vendredi étant conservé comme journée où tous les agents sont sur site, d'un commun accord) :

| | Lundi | Mardi | Mercredi | Jeudi | Vendredi |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| Donatienne | télétravail | | télétravail | | |
| Fabien | télétravail | | télétravail | | |
| Gautier | | | | | |
| Laurent | | | | | |
| Maximilien | | | | | |
| Nathalie | télétravail | | | télétravail | |
| Odile | | télétravail | | télétravail | |
| Olivier | | | | | |
| Pierric | | | | | |
| Sérgio | | | | télétravail | |
| Thibaud | | | | télétravail | |
| Xavier | | | | | |

- *Personnels permanents*

Arrivées

| Nom | Date recrutement | Date départ |
|--------------|------------------|-------------|
| Pierric Mora | 01-03-2021 | |

Départs

| Nom | Date recrutement | Date départ |
|-------------------|------------------|-------------|
| Nathalie Nedellec | | 01-02-2021 |
| | | 15-09-2021 |

NB : N. Nedellec était assistante des laboratoires GeoEND et CG, rattachée au département GERS

M. Le Feuvre : son retour n'est plus d'actualité, sa demande de réintégration n'ayant pas répondu aux attentes et besoins actuels du laboratoire.

- *Entretiens annuels*

Entretien MTE au printemps : Olivier

Entretiens ITA à l'automne : Gautier, Thibaud, Maximilien

- *Post-docs et CDD*

Arrivées

| Nom | Date recrutement | Date départ |
|-------------------|------------------|-------------|
| Mickael Darche | 01-06-2021 | 30-11-2022 |
| Amira Ben Khalifa | 01-08-2021 | 31-01-2023 |
| Amin Kahrizi | 29-11-2021 | 28-11-2022 |

Michaël Darche, « Physical and Numerical Modelling of surface wave propagation in a medium with periodical inclusions », projet ANR_ASIRI+

Amira Ben Khalifa, « Imagerie de subsurface par technique de sismique réflexion », projet SR2S

Amin Kahrizi : « Passive seismic monitoring on sea dikes », projet Seewall

Chloé Lemasson : poste d'assistante des laboratoires GeoEND et CG, rattachée au département GERS, en remplacement de N. Nedellec (arrivée le 03 janvier 2022, CDD 12 mois)

Départs

| Nom | Date recrutement | Date départ |
|------------------|------------------|-------------|
| Kevin Juhel | | 01-02-2021 |
| Théo Dezert | 01-03-2020 | 31-05-2021 |
| Francesco Baliva | 01-02-2020 | 31-07-2021 |
| Hakim Ferria | 01-10-2016 | 30-09-2021 |

- *Doctorants*

Arrivées

| Nom | Date recrutement | Date départ |
|------------------|------------------|-------------|
| Apolline Laurent | 01-10-2021 | 30-09-2024 |
| Rouba Hariri | 01-10-2021 | 30-09-2024 |

Apolline Laurent, « Imagerie Sismique de la Proche Surface par Inversion de la Forme d'Onde et Downscaling - Approche combinée numérique et expérimentale de laboratoire », co-direction de thèse : Donatienne Leparoux (GeoEND) & Yann Capdeville (LPG Univ Nantes). demi-allocation doctorale Région PdL

Rouba Hariri, « Suivi des gradients de propriétés du béton par capteurs ultrasonores embarqués », directrice de thèse : dir O. Abraham et V. Garnier (LMA, AMU). 18 premiers mois au LMA, doit arriver le 01/04/2023 à GeoEND

info : Marie-Ange Eid (ANR DEMCOM, démarré le 01/10/2021 au MAST/LAMES) « Monitoring de propriétés électriques du béton par capteurs noyés en vue de la modélisation des phénomènes de transport hydrique et ionique au cours de cycles de marée » dir. S. Bonnet (GeM, univ Nantes), co-dir G. Villain (MAST/LAMES), co-encdr S. Palma Lopes.

info : Houssein Ibrahim (ANR ScaNING, démarré le 01/10/2021 au MAST/LAMES) : « Développement de capteurs capacitifs noyés pour déterminer les gradients de teneur en eau dans des structures en béton

armé », dir. G. Villain (MAST/LAMES), co-dir JP. Balayssac (LMDC, INSA Toulouse, UPS), co-encdr X. Dérobert

Départs

| Nom | Date recrutement | Date départ |
|-----|------------------|-------------|
| | | |

Shilin Qu : termine en sept 2022 (prolongation COVID prévue 3 mois)

- *Stagiaires*

Apolline LAURENT (12-01-21 / 12-07-2021), M2R, « Analyse des potentiels de la sismique de surface pour la détection d'anciens puits de mines : Expérimentation à échelle réduite », Projet RP3-F19767 (+ co-financement 4 mois dotation GeoEND), Encadrante : D. Leparoux

Nasr CHAMI (03-05-21 / 31-08-21), M2R univ Nantes, « Construction d'une base de données d'images et radar pour l'aide à l'inspection d'ouvrages d'art par méthodes d'apprentissage supervisé ». Projet FEREC_ADOUCIR. Encadrant : X. Dérobert

Samir SAAD (06-04-21 / 31-08-21), M2R univ Nantes, « Caractérisation électromagnétique et ultra-sonore de bétons atteints de pathologies de type réaction alcali-granulat (RAG) ». Projet IRSN_CONCRETE (+ co-financement 4 mois dotation GeoEND). Encadrant : X. Dérobert

Réflexions sur le transfert du local EM+Elec vers la salle B120 (déménagement prévu courant février 2022) ; local mis à disposition pour des activités US.

- *Correspondant Qualité & OPTIMU (Gautier G.)*

Audit interne : le 09 septembre (2 écarts)

Audit externe : 13 oct. 2021 – Bons retours, dont la notification de la direction du laboratoire

- *Correspondant Hygiène & Sécurité (Thibaud D.)*

- DUER GeoEND : modifié et signé

- *Correspondant Communication (Maximilien L.)*

Nouvelle version du site GeoEND réalisée au format Univ Eiffel (soumise début janv. 2022)

- *Correspondant Informatique (Olivier D.)*

La dotation Informatique du laboratoire est intégrée dans la dotation de fonctionnement : à ce jour 4 658 € :

- *Sentinelle « égalité »*

S. Palma Lopes volontaire pour rejoindre le réseau de sentinelles de la Mission égalité de l'Univ Eiffel. Validé par la direction du département GERS, qui souhaite avoir au moins une sentinelle par campus.

3. REUNIONS

- *De laboratoire*

Réunions avec CR les : 08 janvier, 05 février, 05 mars, 02 avril, 07 mai, 04 juin, 02 juillet, 03 septembre, 01 octobre, 05 et 29 novembre 2021

- *CODIR GERS*

Réunions les : 19 mars, 09 avril, 17 mai, 07 juin, 05 juillet, 07septembre, 05 octobre, 09 et 26 novembre 2021

Réunion GERS-Budget : lundi 04 octobre 13h30

Rencontre annuelle bilan-programme GERS / VPR : 03 décembre (Bilan / perspectives)

- *CODIR campus Nantes*

Réunions les : 14 sept, 26 nov n2021

Rencontre entre l'exécutif du campus de Nantes (Direction campus, SRH, Services généraux) et la dir. de GéoEND : 15 déc 2021

- *Conseils de département*

Réunions les : 19 mars, 05 octobre et 17 novembre 2021

AG GERS : les 15-16 juin (en visio) et 18-19 octobre 2021 (au Pouliguen)

4. ANIMATION

Réunion de Labo du 01 octobre : intervention de la Mission Égalité professionnelle Femmes/Hommes.

Lancement de « TeamLab » : démarche d'accompagnement du laboratoire sur 9 mois par consultants Performance Humaine (avec soutien Direction campus et DRH-I) : 1ere réunion le 29 novembre, puis 10 décembre 2021.

5. PROJETS – CONTRATS

Suivi des projets/contrats sous ALICE, listés dans les sous-sections ci-dessous.

5.1. AXE METHODES D'AUSCULTATION DIFFERENTIELLE POUR LA SURVEILLANCE

5.1.1 PROJET SCANING

« Suivi des infrastructures neuves et existantes par Capteurs Noyés pour évaluer les Indicateurs Nécessaires à leur Gestion durable »,

Financier ANR - N° activité : RP2-J20113

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : G. Villain (LAMES) / X. Dérobert

Dates : 01-01-2021 / 31-12-2024

Partenaires : LMDC (univ. toulouse), LMA (univ. Aix Marseille), I2M (univ. Bdx), ANDRA, EdF

Résumé : « Pour une gestion durable et sûre des infrastructures de génie civil et pour en prolonger la durée d'exploitation, les gestionnaires d'ouvrages requièrent des informations qualifiées et quantitatives sur l'évolution continue des indicateurs de performance, en particulier, la résistance, le module, la porosité et la teneur en eau des bétons. Le projet SCaNING a pour objectif de développer une approche systémique du suivi de santé des structures neuves ou existantes en béton armé comprenant : la validation de capteurs noyés (électriques, électromagnétiques et ultrasonores), le traitement de la mesure et l'extraction d'observables qualifiées, découplées des principaux facteurs d'influence, la combinaison et la conversion des observables en indicateurs pour le diagnostic. Ces capteurs noyés présentent également l'intérêt de pouvoir étalonner donc de fiabiliser les évaluations non destructives réalisées en surface de l'ouvrage pour une cartographie quantitative de l'ensemble de la structure. »

5.1.2 PROJET CPER ET FEDER PACA « DIGUE 2020 »

« Suivi des infrastructures neuves et existantes par Capteurs Noyés pour évaluer les Indicateurs Nécessaires à leur Gestion durable »,

Financier CPER et FEDER - N° activité : RP3-C17042

Coordinateur C. Chevalier / Correspondant GeoEND : S. Palma-Lopes

Dates : 01-03-2017 / 31-12-2020

Partenaires : IRSTEA, Cerema, LMA (univ. Aix Marseille), ESPACE

Résumé : « La Région Paca compte plus de 2700 km de digues fluviales et maritimes et près de 250 gestionnaires. L'adaptation au changement climatique est un enjeu majeur : son littoral subira notamment l'élévation du niveau de la mer. Face à ce constat, le projet DIGUE 2020 a été réfléchi et élaboré par plusieurs partenaires : les laboratoires, Inrae, Cerema, Univ. Eiffel, ESPACE, et un syndicat mixte d'aménagement des digues, le SYMADREM. Ce projet consiste à mettre en place une plateforme de recherche scientifique sur les digues maritimes avec notamment la construction d'ouvrage en sol chaud soumis à des sollicitations réelles. Le module 3, piloté par l'Univ. Eiffel, a pour objectif d'aborder pour la première fois en France les questions de durabilité encore peu maîtrisées sur une digue en sol-chaux en site maritime : effet du temps, enchaînement des cycles saisonniers, action cyclique à très grand nombre de cycles de la mer, action des vagues, actions physico-chimiques. Après une étude complète sur matériaux modèles en laboratoire menée dans le cadre de la thèse de Margot De Baecque soutenue en décembre 2019, la réalisation de l'ouvrage, incluant la mise en oeuvre de certains dispositifs géophysiques à demeure s'est terminée en mai 2020. L'instrumentation géophysique (électrique et sismique) de l'ouvrage par le laboratoire GéoEND a été finalisé fin juillet 2020 avec l'acquisition de premiers résultats au cours du 2nd semestre 2020. »

5.1.3 COLLABORATION ANDRA-RESISTIVITE 2 (2019-2022)

« Analyse de la robustesse et Inversion des mesures de capteurs noyés de résistivité pour la caractérisation des profils de teneur en eau dans les structures en béton et déploiement sur site »,

Programme de recherche effectué conjointement par l'ANDRA, l'Univ. P. Eiffel et l'Univ P. Sabatier - N° activité :)

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : G. Villain (LAMES) / S. Palma Lopes

Dates : 01-10-2019 / 30-09-2021, prolongé par avenant jusqu'au 31/10/2022

Partenaires : Andra, LMDC (univ. toulouse), Univ Eiffel (MAST/LAMES, GERS/GeoEND et RRO)

5.1.4 DIGUE : ECHELLE TRANSREGIONALE

« Connaissance et surveillance des digues de protection dans leur environnement : vers une échelle transrégionale »,

Financier : Convention MTE / DGPR 2021 - N° activité : RP3-J21052

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : S. Guedon (convention unique pour les projets du dépt. GERS) / S. Palma-Lopes

Dates : janv. 2021/mars 2022

Partenaires : GERS/SRO

Résumé : L'enjeu à long terme est d'accompagner l'instrumentation géophysique à demeure de divers ouvrages de protection contre l'inondation et la submersion pour i) acquérir une meilleure connaissance du vieillissement de chaque ouvrage dans son environnement spécifique (contexte géographique, géologique, climatique, et hydraulique) et ii) bénéficier des retours d'expérience et de connaissance croisés de ces sites de typologies variées avec une vision à l'échelle trans-régionale. Pour atteindre ces objectifs de long terme, il est nécessaire que l'instrumentation de chacun des sites suivis, ainsi que les connaissances acquises, atteignent une certaine maturité. La plateforme de recherche Digue2020 en région PACA est une digue expérimentale en sol traité à la chaux, en conditions réelles et adossée à une digue maritime du SYMADREM. Cet ouvrage a été instrumenté à la mi-2020 avec des flûtes de capteurs géophysiques distribués, des sondes locales de propriétés du sol, et une station météo. La plateforme Digue2020 a vocation à perdurer au-delà du projet du même nom. L'objectif de cette proposition se focalise sur cette plateforme qui offre un cas d'étude en contexte méditerranéen qu'il sera intéressant de relier aux autres ouvrages déjà instrumentés sur le territoire national. Plus précisément, l'objectif vise la consolidation de l'instrumentation et l'accompagnement des premières étapes du suivi temporel et d'exploitation, scientifique et opérationnelle, des données de ce site.

5.1.5 PROJET SEEWALL

« Surveillance des ouvrages de défense à la mer par écoute sismique et mesures multi-physiques »,

Financier : région PdL - N° activité : RP3-J20002

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : Aurélie Ricaud (Calligée) / P. Côte - O. Abraham

Dates : nov. 2019 / mai 2023

Partenaires privés : Calligée (pilote du projet), et Sercel

Résumé : « La prévention de la submersion marine représente un élément clé de la bonne gestion du littoral, souvent fortement urbanisé. Des conditions de houle extrêmes, exercées sur des structures de défense à la mer déjà fragilisées, peuvent mener à des inondations catastrophiques, comme lors de la tempête Xynthia en 2010. Les outils de diagnostic des digues maritimes restent à ce jour principalement limités à l'inspection visuelle — parfois insuffisante pour la détection de phénomènes d'érosion interne — ou au sondage géotechnique ponctuel. Le projet SeeWall a pour objet la mise en place d'un réseau étendu de capteurs sur un ouvrage de défense à la mer, enregistrant en continu le bruit sismique généré par le ressac. Ces vibrations sismiques représentent un outil d'auscultation : parce qu'elles se propagent au sein des structures de

protection, elles permettent d'en déterminer les propriétés mécaniques internes, et notamment la rigidité, via une série de traitements mathématiques. L'objectif est donc de fournir un outil d'observation de l'évolution des défenses côtières au cours du temps, pour une meilleure compréhension de leur comportement, et, à terme, pour une aide au diagnostic... L'enregistrement, simultanément aux vibrations sismiques, de la température par fibre optique et du tassement différentiel apportera des informations complémentaires sur le comportement des digues, et permettra ainsi de renforcer le diagnostic.»

5.1.1 END ET STRUCTURATION SHM

« Dossier Animation de Réseau pour l'activité END et la structuration de la filière SHM France y compris au niveau IFSTTAR »,

Financier : VPR - N° activité : RP2-S18001

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : V. Le Cam / O. Abraham

Dates : 01-01-2018 / 31-12-2021

Partenaires : CEA, INRIA, Precend

Résumé : « Le contrôle de santé des structures (SHM) est une filière nommément existante et parlante au niveau international mais peu ou pas structurée au niveau national. Les demandes des partenaires académiques proches (INRIA, CEA, ParisTech, LAAS,...) ou industriels (SNCF Innovation, Vinci, Sixense...) convergent vers un besoin, qu'au niveau français, une structuration de la filière soit réalisée. IFsttar, par ses travaux, son COP et son statut est bien positionné pour cela. IFSTTAR (ou l'ex LCPC) ont par ailleurs organisé les conférences internationales EWSHM 2002 et EWSHM 2014. Une conférence a été organisée le 15 mars 2018. La première rencontre a été un véritable succès avec plus de 115 participants (au CEA Saclay) issues aussi bien de du monde académique que socio-économique. A l'issue de cette journée des listes classifiées d'acteurs potentiels en SHM ont été dressées. Plusieurs rencontres ont eu lieu ensuite entre dirigeant pour donner corps à la suite de la démarche de structuration Nouvelle journée de travail le 15 novembre 2018 à la COFREND. La 2ieme journée SHM France s'est tenue à Ifsttar MLV et a regroupé plus de 110 personnes du monde des END et du SHM le 14 mars 2019. »

5.1.1 INFRASTAR

« Innovation and Networking for Fatigue and Reliability Analysis of Structures – Training for Assessment of Risk (H2020 ITN MSCA)»,

Lien Internet : <http://infrastar.eu/>

Financier ITN MSCA - N° activité : RP2-C16056

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondants GeoEND : O. Abraham, H. Ferria

Dates : 01-05-2016 / 31-12-2021

Grand nombre de partenaires internationaux (cf. résumé)

Résumé : « INFRASTAR vise à développer les connaissances et l'expertise pour un management optimal et fiable des structures. Appliqué aux ponts et aux éoliennes, ce projet répond à 3 défis majeurs: 1 / modélisation avancée du comportement du béton à la fatigue, 2 / nouvelles méthodes d'évaluations non destructives pour la détection précoce des dommages, 3 / approche probabiliste de la fiabilité de la structure en fatigue. Les méthodes existantes et l'état de l'art reposent sur un conservatisme excessif qui induit des coûts de maintenance élevés, et fait obstacle au développement durable et à la compétitivité. INFRASTAR propose des solutions innovantes pour la gestion des infrastructures. Piloté par l'IFSTTAR, ce projet implique 12 doctorants répartis dans 5 instituts de 5 pays européens. Le consortium comprend 4 partenaires académiques (AAU, BAM, EPFL, IFSTTAR) et 4 partenaires industriels (COWI, GUD, NEOSTRAIN, PHIMECA). L'approche multidisciplinaire engagée améliorera les connaissances pour optimiser la conception de nouvelles structures, pour une vérification plus réaliste de la sécurité structurelle et pour une prédiction plus précise de la durée de vie résiduelle des structures existantes. Ce projet affirme l'engagement de l'IFSTTAR dans la gestion des structures, notamment du parc éolien et la mise en place d'un management efficace basé sur le développement des méthodes de mesures non destructives et leur utilisation dans une politique de maintenance intelligente. »

5.2. AXE IMAGERIE HAUTE RESOLUTION DE LA SUBSURFACE

5.2.1 COLLABORATION CEA/TOTAL/AREVA SR2S

5.2.2 ASIRI+_SDS

« ANR Amélioration des Sols par Inclusions Rigides : Sollicitations Dynamiques et Sismiques »,

Financier : ANR - N° activité : RP3-J20013

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : L. Thorel / D. Leparoux

Dates : 01-03-2020 / 29-02-2024

Partenaires : Cerema, Centrale-Supelec, ECN, Ménard, EdF, SNCF Réseaux, Terrasol, LPG Nantes

Résumé : « La technique de renforcement des sols compressibles par Inclusions Rigides (IR) verticales est aujourd'hui très répandue en France et à l'étranger. Cette technique de fondation composite mêlant des éléments profonds et superficiels, a été initialement développée pour des ouvrages de type remblai (pour des infrastructures de transport), mais s'étend aujourd'hui aux éoliennes et aussi aux bâtiments industriels (type plateformes logistiques), de logements ou bureaux (moins de 4-5 étages), écoles, hôpitaux, etc. Elle s'insère ainsi sur tout le territoire, *urbi et orbi*, impacte le choix des fondations des constructions et des ouvrages linéaires de transport (routes et voies ferrées), touchant ainsi de façon peu visible, mais réelle, les citoyens dans leur cadre de vie et pour leur mobilité. »

5.2.3 PROJET HIWAI – ANR (OCT 2016 – SEPT 2021)

« Homogenized seismic full WAVEform Inversion and downscaling”

Financier : ANR - N° activité : RP3-J17015

Coordinateur : Yann Capdeville (LPG, Univ. Nantes) / Correspondante GeoEND : D. Leparoux

Résumé : « Le projet ANR HIWAI (Homogenized seismic full WAVEform Inversion and downscaling, propose une approche de l'imagerie géophysique entièrement nouvelle. La procédure envisagée repose sur le fait que le résultat de l'inversion FWI fournit au mieux une version homogénéisée du milieu réel, aux échelles de longueurs d'ondes investiguées. A partir de ce milieu homogénéisé, l'objectif est de réaliser une étape dite de « downscaling » qui permet, à partir de données connexes a priori (e.g. données de forages, connaissance géotechnique ou géologique ...), de procéder à une inversion par approche globale pour retrouver un modèle du milieu non équivoque, qui soit interprétable en fonction du besoin (paramètres géologiques, pétrophysiques, géomécaniques par exemple). La contribution de GeoEND dans le projet HIWAI repose sur l'expertise des besoins en subsurface, et l'approche par modélisation expérimentale à échelle réduite à travers le banc de mesures MUSC. Dans la première phase des aspects expérimentaux à échelle réduite, nous réalisons un modèle simple contenant une inclusion qui puisse être décrit par homogénéisation et pour lequel les données numériques et expérimentales puissent être finement comparées. »

5.2.4 FUSION 2020

« Fusion de données géotechniques ponctuelles et géophysiques spatialisées pour l'auscultation des barrages EdF »,

Financier : EdF - N° activité : RP2-20021

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : Y. Fargier (RRO) / S. Palma Lopes

Dates : 01-03-2020 / 31-05-2021

Partenaires : EDF (CIH, R&D, TEGG)

Résumé : « La superposition simple de résultats issus de reconnaissances permet un diagnostic d'ouvrage à dire d'expert. Cependant, une analyse plus approfondie offrant une interprétation conjointe des différents résultats n'est jamais réalisée. Les travaux de thèse de Théo Dezert ont permis de montrer qu'une approche de fusion basée sur la théorie des Masses de croyances offre une alternative pertinente permettant de combiner les informations géotechniques et géophysiques de manière plus objective, quantitative et spatialisée afin 1) d'optimiser l'apport conjoint de ces méthodes pour la reconnaissance des ouvrages et 2) identifier le cas échéant des zones potentiellement anormales, et 3) faire ressortir le « conflit » entre sources de données ou encore le manque de données. Dans le cadre de ce projet ces méthodes seront confrontées à des jeux de données issus de plusieurs ouvrages réels. »

5.3. AXE ONDES GUIDEES

5.3.1 PROJET SMOG (2016-2020) – PARIS SCIENTIFIQUE REGION PdL

Titre : « XXX »,

Financement : - N° activité :

Coordinateur : , Contact GeoEND :

Dates :,

Partenaires :

Résumé : « L'objectif du projet est de tirer parti des modes de galerie (en optique et en acoustique) susceptibles de se propager à la surface d'une sphère pour mesurer toutes les composantes du tenseur de déformation en un point au sein d'un matériau dans lequel elle serait enfouie. Deux architectures de capteurs doivent être définies et comparées : une architecture de capteur à ultra-son et une architecture de capteur optique. »

5.3.2 PROJET OMCEND – RFI WEAMEC (2016-2020)

« Ondes Mécaniques dans les Câbles pour leur Évaluation Non Destructive: approche numérique et expérimentale »,

Lien Internet : https://www.weamec.fr/blog/record_project/omcend/

Financier : Région PdL - N° activité : RP3-J16132

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : F. Treyssède

Dates : 01-09-2016 / 31-12-2020,

Partenaires : ECN, GEM

Résumé : « Contexte : L'utilisation des ondes guidées mécaniques revêt un fort potentiel pour l'évaluation non destructive (END) des câbles car elles sont susceptibles de se propager sur de longues distances et sont sensibles à des défauts de petite taille. En raison de la nature multimodale et dispersive des ondes guidées, des modèles de propagation réalistes et hautes fréquences sont indispensables au dimensionnement des techniques d'END et à l'évaluation de leur faisabilité in-situ. Concernant les câbles EMR (Énergies Marines Renouvelables), les modèles à développer doivent être capables de tenir compte de plusieurs difficultés : forte hétérogénéité de la section (multi-brins), contacts entre les constituants, géométrie hélicoïdale, précontraintes,... Ruptures scientifiques et innovation: - Développement d'approches de modélisation et résolution numérique pour la propagation des ondes mécaniques guidées dans les câbles EMR - Validations expérimentales des modèles - Dimensionnement d'une instrumentation permettant d'évaluer la faisabilité des ondes mécaniques pour l'END des câbles (pour les armures des ombilicaux en particulier). Impact technique et économique attendu: - avancées sur la connaissance et l'analyse physique des phénomènes ondulatoires dans les câbles EMR - perspectives applicatives : mise au point de techniques

in-situ fiables et à faible coût pour le contrôle non destructif et la surveillance de l'intégrité mécanique des câbles. »

5.3.3 PONT ILE DE RE – ONDES GUIDEES

« Evaluation des ancrages du Pont de l'île de Ré (viaducs 1 et 2) par Réflectométrie d'ondes guidées ultrasonores »,

Financier : Sixence Systems - N° activité : RP3-F19702

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : L. Laguerre

Dates : 01-01-2018 / 31-12-2022

Partenaires : Sixence, CG17

Résumé : « A la suite de la rupture de l'un des câbles de précontrainte du Pont de l'île de Ré (Août 2018), le laboratoire GéoEND est intervenu en appui scientifique et technique à l'entreprise Sixence Systems (groupe Solétanche-Freyssinet) pour l'auscultation de l'ensemble des câbles des viaducs 1 et 2 (chemin critique menant au câble rompu) au moyen de la technologie USCAN®. La technologie USCAN® est issue des travaux de recherche de l'IFSTTAR sur la réflectométrie des ondes guidées ultrasonores. Le Laboratoire GéoEND a assuré la formation des équipes de Sixence, le suivi de l'instrumentation, le traitement et l'interprétation de l'ensemble des données et la réalisation de mesures ciblées sur le site. Le retour d'expériences d'évaluation a été intégré dans le développement d'un nouveau matériel de terrain, USCAN Précontrainte. »

5.4. AXE PROPAGATION ET DIFFUSION DANS LES MILIEUX HETEROGENES

5.4.1 PROJET ENDE (2014-2021) – PIA ANR

« Evaluation Non Destructive des Enceintes de confinement des centrales nucléaires »,

Financier : ANR PIA RSNR - N° activité : RP2-J21009

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : V. Garnier (LMA), O. Abraham

Dates : 18-11-2020 / 30-09-2021,

Partenaires : LMA (univ Aix), LMDC (univ Tlse), EdF, & CO

Résumé : « La résistance mécanique et la résistance aux fuites des enceintes de confinement des centrales nucléaires est un sujet important pour le suivi des enceintes de confinement et leur qualification lors des épreuves décennales. Une voie nouvelle par rapport aux techniques déjà utilisées est proposée par le projet ENDE : l'évaluation du béton armé par contrôles non destructifs. Ces derniers ont pour but de rendre compte des différents états que subit le béton lors de son cycle de vie. Les indicateurs de durabilité à évaluer sont: la résistance à la compression, le module d'élasticité, la porosité, la teneur en eau, la perméabilité au gaz du béton ainsi que son état de contrainte. Les CND ultrasonores, électromagnétiques et électriques permettent de suivre le béton d'enceinte dans le cadre des épreuves décennales de mise sous pression soit 5 bar ou encore le béton après une APRP (Perte de réfrigérant primaire) ou RTV (Rupture de tuyauterie vapeur) soit 5 bar et 180 °C. De plus, lors de ces sollicitations sont générés des endommagements diffus ainsi qu'une macro-fissuration contribuant aux fuites. Ces deux paramètres sont aussi estimés par la densité locale de microfissures et par la profondeur et ouverture des macro-fissures. L'objectif du projet est de proposer un lien entre le débit de fuite lors de mise en pression des enceintes et les mesures CND. Pour cela les méthodes sont validées au laboratoire puis appliquées in situ notamment sur la maquette VERCORS à échelle 1/3. »

5.4.2 CONTRAT IRSN_CONCRETE

« Caractérisation de bétons soumis à des réactions de gonflement interne »

Financier : IRSN - N° activité : RP2-F21080

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : X. Dérobert

Dates : 02-03-2021 / 31-03-2022,

Partenaires : LAMES

Résumé : « Le volet n°3 du projet CONCRETE porte sur les méthodes de diagnostic et d'auscultation du béton. Dans ce volet, l'axe n°2 traite des méthodes non destructives et vise la détection (et si possible la caractérisation) de pathologies de réactions de gonflements internes (RGI) dans le béton, comprenant les réactions sulfatiques internes (RSI) et les réactions alcali-granulat (RAG). La tâche 3.2.3 (correspondant au présent contrat spécifique) a pour objet la caractérisation en cellules EM, électrique et ultrasonore de bétons atteints de RGI. »

5.4.3 CONTRAT ADOUCIR

« Aide au Diagnostic d'OUvrages par Couplage d'Images et Radar », 30-10-2020 / 05-11-2021,
Coordinateur :

Financier : Fondation FEREC - N° activité : RP2-J21009

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : P. Foucher (Cerema), X. Dérobert

Dates : 18-11-2020 / 30-09-2021,

Partenaires : Cerema

Résumé : « Ce projet vise à explorer l'utilisation de l'intelligence artificielle pour détecter la présence de fissures sur ouvrages en béton tout en analysant la structure interne afin d'identifier et classer les causes de ces désordres. La faisabilité d'une telle approche sera étudiée à la fois en terme d'acquisition avec l'utilisation conjointe d'images visibles et radar à partir de capteurs montés sur drone et en terme de traitement avec l'emploi de techniques d'apprentissage automatique. La mise en place des outils sera dans un premier temps réalisé sur des données simulées ou réelles sur des zones connues. L'ensemble de la chaîne de traitement pourra ensuite être évalué sur tout un ouvrage.»

5.4.4 CONTRAT DEGRE

« Détection Et Géoréférencement Réseaux Enterrés »,

Financier : Fondation FEREC - N° activité : RP2-J21010

Coordinateur D. Guilbert (Cerema) / Correspondant GeoEND : X. Dérobert.

Dates : 18-11-2020 / 30-09-2021,

Partenaires : Cerema, Logiroad

Résumé : « Le géoradar est l'une des techniques les plus utilisées pour la détection des réseaux enterrés. Lors de l'appel à projet FEREC 2018, une chaîne d'instrumentation innovante basée sur une technique radar à saut de fréquence multi-antennes a été développée permettant d'obtenir une information 3D. Cette chaîne d'acquisition permet d'acquérir rapidement des volumes de données importants. Il devient difficile de traiter d'aussi grand jeux de données manuellement. Le but de ce projet consiste donc à développer des outils automatiques de détection et de géoréférencement pour mieux cartographier les réseaux enterrés. Des modèles basés sur l'apprentissage seront développés et évalués. »

5.4.5 CONTRAT ARCHEOGEOPHYSIQUE A CHATELPERRON

« Détection Et Géoréférencement Réseaux Enterrés »,

Financier : DRAC Clermont - N° activité : RAS

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : S. Palma-Lopes

Dates : 2017 / 2020

Partenaires : SRA, DRAC Rhône-Alpes

Résumé : « Dans le cadre des actions menées par le Service Régional de l'Archéologie (SRA) de la Région Auvergne-Rhône-Alpes sur le site paléolithique de Châtel Perron – gisement éponyme des “Grottes des Fées”, le laboratoire GeoEND réalise des investigations géophysiques. »

5.4.6 SMART SCS

« Tomographie US pour l'auscultation de modules bétons steel-concrete-steel via une instrumentation hybride piézoélectrique / fibre optique noyée »,

Financier : CEA - N° activité : RP3-J20049

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : O. Abraham

Dates : 01-01-2020 / 30-06-2021

Partenaires : CEA

Résumé :

5.4.7 CONTRAT ACIMP

« amélioration de la Connaissance de milieux complexes composés de fissures et Inversion MultiParamètres – ACIMP »,

Lien Internet : <https://anr.fr/Projet-ANR-18-CE22-0020>

Financier : ANR - N° activité : RP3-J19011

Coordinateur D. Guilbert (Cerema) / correspondant Univ. Eiffel V. Baltazart / Correspondant GeoEND : X. Dérobert.

Dates : 01-01-2019 / 31-12-2023,

Partenaires : Cerema, IETR (Rennes et Nantes), ICAM

Résumé : « Le réseau routier français se compose principalement de routes nationales, dont la plupart ont été achevées il y a une trentaine, quarantaine d'années. Les défauts de surface de la route sont causés principalement par des fissures, défauts du sous-sol (fissures horizontales non-débouchantes comme les décollements d'interface ou fissures verticales non-débouchantes) qui peuvent survenir bien avant qu'une dégradation visible se produise à la surface du revêtement. Pour les fissures non-débouchantes, dites de surface (essentiellement localisées au niveau de la première couche de la chaussée), une rénovation de la première couche peut être nécessaire (suivant l'étendue et la quantité de fissures). En revanche, pour des fissures dites structurelles (fissures sur plusieurs couches de la structure), des travaux de rénovation plus importants seront alors à réaliser. Par suite, l'évaluation et le suivi des dommages de structure des chaussées deviennent des enjeux majeurs pour la gestion durable du réseau routier. La détection, la localisation et la caractérisation de ces fissures non-débouchantes (horizontales ou verticales) sont des éléments importants de diagnostic qui influencent la mise en œuvre de politiques d'entretien et de gestion. Les défauts sont représentatifs d'un état d'altération de la structure. Les caractéristiques géométriques de ces défauts (forme, largeur, longueur) ainsi que l'étendue et les cheminements d'eau induits par ces défauts est un indicateur très important de durabilité des ouvrages. Cette détection permet de localiser une éventuelle pathologie, d'évaluer l'état de santé de la structure, de prédire son évolution et donc d'améliorer l'aide à la prise de décision. Les enjeux de ce projet sont de réaliser une détection précoce de ces fissures, de les localiser avec une grande précision et de les caractériser géométriquement avec des méthodes d'Évaluation et de Contrôle Non Destructifs (ECND) hyperfréquences. Pour ce faire, deux outils radar seront utilisés : le premier, plus classique, sera un radar géophysique ; le deuxième, novateur pour cette application, sera un

GB-SAR (Ground-Based SAR). La détection et l'évaluation de fissures non-débouchantes dans les chaussées par méthodes radar sont un sujet ambitieux et encore mal résolu. En effet, les radars géophysiques ont à ce jour une résolution insuffisante. Ainsi, on se propose d'une part de mettre en œuvre de nouvelles méthodes de traitement haute résolution avec les radars géophysique et GB-SAR et d'autre part d'utiliser des bandes de fréquences plus grandes que celles actuellement utilisées. En effet, nous souhaitons utiliser pour ces deux systèmes radar des bandes de fréquence faibles (de l'ordre de 0,2 à 2 GHz pour détecter et caractériser les fissures structurelles qui se situent en profondeur) mais aussi des bandes de fréquences ultra-larges (de l'ordre de 5 à 20 GHz, pour les fissures surfaciques). La première innovation de ce projet consiste donc à tirer parti d'un spectre de fréquences plus large que celui utilisé dans la littérature. Ainsi, des modèles électromagnétiques (rigoureux et asymptotiques) seront adaptés ou développés afin de mieux comprendre les phénomènes physiques de diffusion mis en jeu dans un milieu stratifié, composé de fissures. La deuxième innovation est l'extension du GB-SAR à cette application « chaussée ». La troisième innovation réside dans les développements de nouvelles méthodes de traitement haute résolution pour ces deux types de radar (radar géophysique et GB-SAR). Ainsi, le projet sera structuré en 5 tâches : une tâche liée à la gestion du projet, une tâche liée aux modélisations électromagnétiques du problème direct, deux tâches liées aux développements de méthodes haute résolution à faible complexité calculatoire pour l'estimation des paramètres (l'une avec un GPR, l'autre avec un GB-SAR); la dernière tâche est consacrée à la mise en œuvre de la plate-forme expérimentale et aux mesures réalisées sur cette dernière. »

5.4.8 IC2019-LOCALISATION DES RESEAUX PAR TECHNIQUE RSF

« Localisation 3D et classification des réseaux enterrés par radar à sauts de fréquence multi-antennes »,
 Financier : VPR - N° activité : RP2-S19005

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : X. Dérobert

Dates : 11-12-2018 / 31-09-2021

Partenaires : LAMES

Résumé : « La détection et localisation précise des réseaux enterrés est une problématique majeure pour les différentes collectivités territoriales. Depuis la réglementation du travail au voisinage des réseaux de canalisations du 1er juillet 2012 (NF S 70-003), la responsabilité des gestionnaires a été renforcée vers un niveau de précision de la localisation d'une canalisation (classe A) inférieure à 40 cm. L'Ifsttar (GERS/GeoEND) est impliqué dans cette thématique depuis plusieurs années à travers la participation à la rédaction de guides et cahier de recommandation (avec le DGPR et l'action européenne COST TU1208). Les derniers développements des techniques radar (adaptation des résultats de la thèse de B. Guan soutenue en janv. 2018 – direction de thèse : X. Dérobert / G. Villain) devraient améliorer la précision des moyens de reconnaissance en terme de localisation et de caractérisation. L'objet de la demande est de tester les performances et limites des techniques d'auscultation radar impulsif et à sauts de fréquence sur le site test dédié aux réseaux enterrés (80 m2) intégré dans la plate-forme de Sense-City, qui a la particularité exceptionnelle de pouvoir modifier le niveau de sa nappe phréatique et donc proposer différentes configurations environnementales hydriques. Cette action se ferait en lien avec une thèse CIFRE (collaboration LOGIROAD / CEREMA) via un co-encadrement par X. Dérobert. »

5.4.9 RÉSEAU FUSIONGEO2

« Construction et animation d'un réseau national de recherches et applications sur les approches de Fusion d'informations Géophysiques et Géotechniques»,

Financier : subvention actions incitatives VPR - N° activité : RP3-S21006

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : S. Palma Lopes, Y. Fargier (RRO), Th. Dezert

Dates : 2021 / 2022

Partenaires : univ. Clermont Auvergne, Inrae

Résumé : « Partant du constat que la thématique "fusion de données géophysiques et géotechniques" éveille beaucoup d'intérêt chez plusieurs organismes (universitaires, instituts, EDF...), le projet **FuionGeo2** ambitionne de constituer une communauté autour de ce thème : échanges scientifiques, identification de besoins en recherche et des applications, initiation de collaborations.»

5.4.10 RFI LMAc2IDANL

« Projet RFI LMAc Imagerie et identification de défauts dans les milieux multi-diffusants par acoustique non linéaire»,

Financier : Région PdL - N° activité : RP2-J15100

Coordinateur / correspondant Univ. Eiffel / Correspondant GeoEND : O. Abraham

Dates : 01-09-2015 / 30-04-2019,

Partenaires : LAUM

Résumé : « Des travaux récents, menés avec le même partenariat dans le cadre du pôle de compétence ECND_PdL, ont montré que l'interférométrie de la CODA ultrasonore permet de suivre en laboratoire l'endommagement précoce de matériaux très hétérogènes comme le béton. De nouvelles observables, utilisant l'acoustique non linéaire (méthode de modulation non linéaire appliquée à des signaux de CODA), ont été testées avec succès dans des matériaux plus simples (plaque de verre) pour la détection de non-linéarités localisées associées à des fissures, puis ensuite appliquées sur des éprouvettes de béton fissurées. Ces premiers travaux expérimentaux doivent maintenant faire l'objet de développements plus amonts afin d'optimiser et pousser plus loin les méthodes d'imagerie basées sur les ondes multi-diffusées, de pouvoir identifier et quantifier la nature des non-linéarités, de découvrir de nouvelles observables associées aux effets élastiques non linéaires. Ces travaux consisteront d'une part à développer des modèles (problème direct) numériques (différences finies) et semi-analytiques (équation de diffusion et de transfert radiatif) pour simuler la propagation des ondes mécaniques dans des milieux très hétérogènes en présence de différents types de non-linéarités (friction, clappement, quadratique, cubique,...), et d'autre part de concevoir expérimentalement des milieux modèles (liquides puis solides avec des non-linéarités locales contrôlables) pour valider les modèles et tester. »

6. PUBLICATIONS

6.1. PUBLICATIONS DANS DES REVUES INTERNATIONALES REFERENCEES WOSA

• 2021

Wang, A., Leparoux, D., Abraham, O., Le Feuvre, M. (2021). Frequency derivative of Rayleigh wave phase velocity for fundamental mode dispersion inversion: parametric study and experimental application. *Geophysical Journal International*, 224(1), 649-668.

Gaudot I., Beucler É., Mocquet A., Drilleau M., Haugmard M., Bonnin M., Aeratgeerts G., Leparoux D. (2021). 3-D crustal VS model of western France and the surrounding regions using Monte Carlo inversion of seismic noise cross-correlation dispersion diagrams. *Geophysical Journal International*, 224(3), 2173-2188.

Cariou E., Baltzer A., Leparoux D., Lacombe V. (2021). Collaborative 3D Monitoring for Coastal Survey: Conclusive Tests and First Feedbacks Using the SELPhCoAST Workflow. *Geosciences*, 11(3), 114.

Qi X., Larose E., Moreau L., They R., Abraham O., Henault J.-M., Ultrasonic monitoring of stress and cracks of the 1/3 scale mock-up of nuclear reactor concrete containment structure, *Structural Health Monitoring*, 2021. <https://doi.org/10.1177/14759217211034729>

Chen G., Zhang Y., Abraham O., Pageot D., Chekroun M., Tournat V., Numerical parametric study of Nonlinear Coda Wave Interferometry sensitivity to microcrack size in a multiple scattering medium, *Ultrasonics*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2021.106483>

Lehuteur, M., Chevrot, S., Villaseñor, A., Masini, E., Saspiturry, N., Lescoutre, R., Sylvander, M., 2021. Three-dimensional shear velocity structure of the Mauléon and Arzacq Basins (Western Pyrenees). *BSGF - Earth Sci. Bull.* 192, 47. <https://doi.org/10.1051/bsgf/2021039>

Mora P., "Lamb waves in the wavenumber-time domain: Separation of established and non-established regimes," *Wave Motion*, vol. 103, p. 102736, 2021

Xie F., Lai W.L., Dérobot X. (2021), "GPR Uncertainty Modelling and Analysis of Object Depth based on Constrained Least Squares", *Meas.*, Vol. 183(109799), 10.1016/j.measurement.2021.109799

Todkar S., Baltazart V., Ihamouten A., Dérobot X., Le Bastard C. (2021), "One-class SVM based outlier detection strategy to detect thin interlayer debondings within pavement structures using Ground Penetrating Radar data", *Journ. Applied Geophys.*, Vol.192(104392), 0.1016/j.jappgeo.2021.104381.

Dérobot X., Baltazart V., Simonin J.-M., Todkar S.S., Norgeot C., Hui H.Y. (2021), "GPR monitoring of artificial debonded pavement structures throughout its life cycle during accelerated pavement testing", *Remote Sens.*, Vol 13(8), 10.3390/rs13081474.

Gennarelli G., Catapano I., Dérobot X., Soldovieri F. (2021), "A Ground Penetrating Radar Imaging Approach for a Heterogeneous Subsoil with a Vertical Permittivity Gradient", *Geosci. & Remote Sens. Lett.*, Vol. 59(7), 10.1109/TGRS.2020.3024831.

Xie F., Lai W.L., Dérobot X. (2021), "GPR-based Depth Measurement of Buried Objects based on Constrained Least-square Fitting Method of Reflections", *Meas.*, Vol. 168(108330), 10.1016/j.measurement.2020.108330.

F. Treysède, A model reduction method for fast finite element analysis of continuously symmetric waveguides, *Journal of Sound and Vibration*, Volume 508, 2021, 116204

F. Treysède, M. Gallezot, High-frequency leaky whispering-gallery modes in embedded elastic spheres, *Phys. Rev. B*, Volume 104, 2021, 214101

F. Treysède, P. Cartraud, A two-dimensional formulation for the homogenization of helical beam-like structures under bending loads, *International Journal of Solids and Structures*, Volumes 234–235, 2022, 111270

F. Treysède, L. Laquerre, P. Cartraud, T. Soulard, Elastic guided waves in helical multi-wire armors, *Ultrasonics*, Volume 110, 2021, 106294

Alhadj M.A., Bourguignon S., Palma-Lopes S., Villain G. (2021), Joint inversion of electromagnetic measurements for the determination of water saturation profiles in concrete structures, *Cement and Concrete Research*, Volume 147, 2021, 106500, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106500>.

Dezert T., Palma Lopes S., Fargier Y., Saussaye L., Côte P. (2021), Data fusion of in situ geophysical and geotechnical information for levee characterization. *Bull Eng Geol Environ* 80, 5181–5197 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10064-021-02225-2>

Fargier Y., Villain G, Palma Lopes S., Fares M. (2021), Optimized retrieval of 1D-resistivity profiles in cover concrete by electrical sounding measurements, *Journal of Applied Geophysics*, Volume 193, 2021, 104413, <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2021.104413>.

6.2. LIVRES OU CHAPITRES DE LIVRES

6.3. THESE DE DOCTORATS ET HDR

6.4. PUBLICATION DANS DES REVUES TECHNIQUES OU DE VULGARISATION

- 2021

Jaufer R., Ihamouten A., Goyat Y., Château T., Guilbert D., Todkar S., Dérobot X. (2021), "Cartographie 3D ds réseaux enterrés – Utilisation de modèles de traitement du signal de données RSF et de techniques d'apprentissage ", Rev. Gén. Rtes & Autoroutes, n°983, pp. 56-62.

Jaufer R., Buliuk V., Ihamouten A., Andreoli G., Heinkelé C., Dérobot X. (2021), "Cartographie électromagnétique des anomalies des chapes d'étanchéité dans les ouvrages – Utilisation de l'intelligence artificielle ", Rev. Gén. Rtes & Autoroutes, n°983, pp. 50-55.

Dérobot X., Baltazart V., Simonin J.M., Norgeot C., Todkar S., Durand O., Trichet S., Gouy T., Gugole G. (2021), "Suivi de décollement de couches de chaussées sous trafic contrôlé par techniques d'évaluation non destructives", Rev. Gén. Rtes & Autoroutes, n°983.

6.5. ACTES DE COLLOQUES INTERNATIONAUX

- 2021

Jaufer R., Ihamouten A., Dérobot X., (2021), " Deep learning based automatic hyperbola detection on GPR data for buried utility pipes mapping", IWAGPR 2021 cong. Proc., La Valette (MT), nov.

Baltazart V., Dérobot X., Simonin J-M. (2021), "Time-frequency masks for clutter reduction in processing ground-coupled GPR data", 2021 IEEE CAMA cong. Proc., Antibes (FR), nov.

Fan B., Souriou D., Bosc F., Guilbert D., Kadkhodazadeh S., Ihamouten A., Dérobot X., Fauchard C. (2021), "Dielectric relaxation of iron corrosion products in limestone under saline environment Int Workshop Imp. Spec. Proc., Chemnitz (GE), oct.

Jaufer R., Ihamouten A., Todkar S.S., Bosc F., Goyat Y., Dérobot X. (2021), "Use of Deep Learning on GPR data for parameter inversion of buried cylindrical pipes", NSG-GIPMB conf., Bordeaux (FR), sept.

Andreoli G., Ihamouten A., Fauchard C., Jaufer R., Todkar S.S., Guilbert D., Buliuk V., Dérobot X. (2021), "Numerical modeling using gprMax to identify a subsurface tack coat for SVM classification", NSG-GIPMB conf., Bordeaux (FR), sept.

Abraham O., Chaix J.F., Ciccarone C., Dérobot X., Durand O., Garnier V., Gugole G., Hénault J.M., Legland J.B., Piwakowski B., Rakotonarivo S., Sogbossi H., Verdier J., Villain G. (2021), "Projet SCaNING : Suivi des infrastructures neuves et existantes par Capteurs Noyés pour évaluer les Indicateurs Nécessaires à leur Gestion durable", Diagnobéton conf., Bordeaux (FR), mars.

Villain G., Balayssac J.P., Garnier V., Sbartai M., Yven B., Hénault J.M., Dérobot X., Chaix J.F., Le Cam V., Palma-Lopes S., Abraham O. (2021), " Projet SCaNING : Suivi des infrastructures neuves et existantes par Capteurs Noyés pour évaluer les Indicateurs Nécessaires à leur Gestion durable", Diagnobéton conf., Bordeaux (FR), mars.

Wang A., Bader Eddin M., Abraham O., Durand O., Devie T., Gugole G., Laparoux D., Inversion différentielle des vitesses de phase des ondes de surface avec une différence des diagrammes : application sur des bicouches mortier/béton, Diagnobéton conf., Bordeaux (FR), mars

Cariou E., Chauviteau-Lacoste A., Moreau C., Coll. : A. Dubois, T. Vigneau, D. Linard, J.M. Large, F. Lévêque, D. Leparoux, A. Baltzer, 2021, « Archéologie entre terre et mer, Quand les enjeux s'entremêlent, les approches pluridisciplinaires mènent à des découvertes inattendues ... Exemple du site de Pointe de la Gournaise (île d'Yeu, Vendée) », Cong. Int. HOMER 2021 : Archéologie des Peuplements littoraux et des interactions Homme/Milieu en Atlantique nord équateur, oct., Le Château d'Oléron (FR)

De Baecque M., Chevalier C., Palma-Lopes S., Reiffsteck P. (2021), Influence of sea water and wetting-drying cycles on the erosion of a lime treated soil: perspectives to marine dike improvement. Proceedings of the 10th International Conference on Scour and Erosion (ICSE-10), 18-21 Oct., 2021, Virtual Conference, pp487-496.

Badr J., Balayssac J.P., Villain G., Palma-Lopes S., Fargier Y. (2021), Mesure de la résistivité électrique par capteurs noyés pour évaluer les profils de teneur en eau dans le béton. Diagnobéton conf., Bordeaux (FR), mars, Academic Journal of Civil Engineering, Vol. 38 (2), 38-42.

Dezert T., Palma Lopes S., Fargier Y., Vergnault C., Courivaud J.R. (2021), Geophysical and geotechnical data fusion for protection dikes characterization. Proceedings of the 4th European Conference on Flood Risk Management (FLOODRisk 2020), 22-24 June, 2021, Virtual Conference, DOI 10.3311/FLOODRisk2020.17.21.

6.6. RAPPORTS DE RECHERCHE, D'EXPERTISE, D'ETUDES OU D'ESSAIS

• 2021

Ben Khalifa A., Lehujeur M., Leparoux D., 2021, Compte rendu annuel sur l'avancement du projet SR2S, 48 p.

A. Laurent, D. Leparoux (2021), « Analyse des potentiels en Ondes de Surface pour détecter d'anciens puits de mines : Expérimentation à échelle réduite », rapt sci. Pour GeoDERIS, oct 2021, 26 p.

Laguerre L, Treyssède F. (2021), Research Report Task 2.4 "Development and lab prototyping prototyping of novel solutions for steel strand monitoring" DESDEMONA H2020 Project (DEtection of Steel Defects by ENhanced MONitoring and Automated procedure for self-inspection and maintenance), Final Report, November.

Treysède F, Laguerre L, Cartraud P (201), Rapport de Recherche WeAMEC/OMCEND « Ondes mécaniques dans les câbles pour leur évaluation expérimentale : approche numérique et expérimentale, Rapport Final Mars.

Derobert X. & al. (2021), « Caractérisation des interfaces de structures de chaussées par technique radar à sauts de fréquence », projet DGITM, rapport final, 11 p.

Derobert X. & al. (2021), « Caractérisation des interfaces de structures de chaussées par technique radar à sauts de fréquence », projet ANR_ACIMP, rapport intermédiaire, 12 p.

Dérobot X., Saad S., Villain G., Palma-Lopes S. (2021), « Caractérisation électromagnétique, électrique et ultrasonore de bétons soumis à des réactions de gonflement interne », contrat IRSN_CONCRETE, rapport intermédiaire, 16 p.

Dezert T., Fargier Y., Palma Lopes S. (2021), Fusion d'informations géophysiques et géotechniques pour l'évaluation des digues de canaux EDF, Rapport de fin de contrat, Rapport de fin de contrat d'étude de R&D pour EDF-CIH, 2021, 70p.

Badr J., Villain G., Balayssac J.P., Keo S.A., Palma Lopes S., Fargier Y. (2021), Livrables 2 & 3, contrat de R&D « Analyse de la robustesse et inversion des mesures de capteurs noyés de résistivité pour la caractérisation des profils de teneur en eau dans les structures en béton et déploiement sur site », collaboration ANDRA, INSA Toulouse-LMDC et Université Gustave Eiffel, janvier 2021, 35p.

Fargier Y., Badr J., Palma Lopes S., Villain G., Balayssac J.P. (2021), Livrable 1 « Inversion des mesures de résistivité pour déterminer un gradient dans la structure en béton », contrat de R&D « Analyse de la robustesse et inversion des mesures de capteurs noyés de résistivité pour la caractérisation des profils de teneur en eau dans les structures en béton et déploiement sur site », collaboration ANDRA, INSA Toulouse-LMDC et Université Gustave Eiffel, septembre 2021, 20p.

Kremer T., Daize M., Palma-Lopes S., Beucler E., Bonnin M., Longuevergne L., Bodet L. (2021), Caractérisation des systèmes hydrogéologiques par l'application conjointe des méthodes géophysiques électriques et de sismique passive – Etude sur le site de Ploemeur-Guidel, Morbihan. Présentation de restitution de l'Appel d'offre interne 2019-2020 de l'OSUNA, juin 2021.

6.7. GUIDES ET RECOMMANDATIONS

• 2021

Laguerre L., "Réflectométrie ultrasonore par ondes guidées", Fiche B5-7/Méthode Auscultation/ du matériau en place/Câbles, dans Collection Cahiers Interactifs de l'IFSTTAR-Auscultation des ouvrages d'art-CII1.

6.8. RAPPORTS DE STAGES ET D'APPRENTISSAGE

• 2021

IBRAHIM H., Conception d'une sonde de mesure capacitive et résistive pour le monitoring du béton, Rapport de stage de Master 2 Génie civil - Matériaux et structures dans leur environnement (C-ENG MSE), Ecole Centrale Nantes, 2021, 79p.

SAAD S., Caractérisation électromagnétique et ultra-sonore de bétons atteints de pathologies de type réaction alcali-granulat (RAG), Rapport de stage de Master 2 Génie Civil, Université de Nantes, 2021, 45p.

6.9. COMMUNICATIONS A DES COLLOQUES INTERNATIONAUX SANS ACTES

- 2021

Garnier V., Verdier J., Hérault J.M., Abraham O., Piwakowski B., Chaix J.F., Balayssac J.P., Villain G., Dérobot X., Payan C., Rakotonarivo S. (2021), "Non Destructive Testing to assess the concrete of Nuclear Power Plant containment: From laboratory to onsite measurements ", WCNDT cong., Incheon (KO), June.

Palma Lopes S., Dérobot X., Devie T., Gugole G., Roul J., Cabot E., Montaudon M., Sabatié P. (2021), Campagne de reconnaissances géophysiques au Vieil-Baugé, communication au Colloque international "Les êtres et leurs restes. Baugé, XVe siècle, une bataille dans l'histoire des trois royaumes", 23-25 septembre 2021, Baugé, France.

6.10. COMMUNICATIONS A DES COLLOQUES NATIONAUX

- 2021

Souriou D., Kadkhodazadeh S., Fan B., Ihamouten A., Dérobot X., Guibert D., Mattei J.L., Chevalier A. (2021), "Caractérisation d'un matériau magnéto-fonctionnel intégré dans un capteur miniature noyé dans le béton : probabilité de contamination visi-à-vis de la corrosion", Cong. Fr. de Méca, Nantes, sept

Dezert T., Fargier Y., Palma-Lopes S., Guihard V., Fusion d'informations par théorie des masses de croyance pour la caractérisation d'une digue de canal. Actes du 12ème Colloque GEOFCAN, 9 et 10 mars 2021, Grenoble, France, pp69-72, HAL Id:hal-03145437.

6.11. COMMUNICATIONS A DES COLLOQUES NATIONAUX SANS ACTE

- 2021

Mora P., Chekroun M., Raetz S., Tournat V., "Génération non-linéaire d'un mode à vitesse de groupe nulle dans une plaque élastique par interaction non-collinéaire," 2021. GDR MecaWave

Bouteiller V. et al (2021), "Contrôles non destructifs et monitoring de la corrosion de dalles en béton armé exposées aux ions chlorures", Journ. Techn. OA, Paris, oct.

Dérobot X. et al (2021), "Caractérisation électromagnétique et ultra-sonore de bétons atteints de pathologies de réactions de gonflement interne (RAG et RSI)", Séminaire IRSN, Paris, nov.

Dérobot X. (2021), "Auscultation des structures en béton par techniques électromagnétiques et électriques", Journ. Région. COFREND, Marseille, sept.

F. Treysède, M. Gallezot, "Les Whispering Gallery Modes en acoustique, modélisation simulation et existence", Webinaire du GIS ECND-PdL, 22/06/2021

F. Treysède, "Ondes mécaniques et contact : ondes mécaniques guidées dans les structures multi-brins", 1er Webinaire du GDR MecaWave, 04/02/2021

Abraham O., Auscultation des structures en béton par techniques ultrasonores, Journ. Région. COFREND, Marseille, sept.

Abraham O., Lançon H., Présentation des travaux du Groupe Génie Civil, Journ. SHM@COFREND webinar, déc

6.12. INDICES DE RAYONNEMENT ET D'ATTRACTIVITE ACADEMIQUE

6.12.1 PRIX ET DISTINCTIONS

Prix « Stars of Europe » (dec 2020), projet Infrastar, O. Abraham

6.12.2 CONFERENCES INVITEES ET KEYNOTE LECTURES

6.12.3 SEJOURS DE SCIENTIFIQUES INVITES

6.12.4 ACCUEIL DE CHERCHEURS ETRANGERS

6.12.5 ANIMATION ET RESPONSABILITES DANS DES ASSOCIATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

COFREND - COnfédération Française pour les Essais Non Destructifs, O. Abraham (Membre du Conseil Scientifique Permanent), X. Dérobert (Membre du Comité Sectoriel GC)

Groupe Radar – Animateur : X. Dérobert. Partenaires : Cerema, DGAC, IRC-GN, CCRB, WPI, univ cath Louvain

Projet Fédérateur ITE – « Infrastructures de Transition Energétique », D. Leparoux (Co-coordinatrice)

Lien Internet : <http://ite.ifsttar.fr>

OR2C –Observatoire Régional des Risques Côtiers (OR2C) des Pays de la Loire, S. Palma-Lopes (membre COTEC, représ univ G. Eiffel – campus Nantes).

OSUNA – Membre du Comité de Direction de l'Observatoire des Sciences de l'Univers Nantes Atlantique (CODIR de l'OSUNA), S. Palma-Lopes (membre CODIR, représ GERS-GeoEND).

AGAP-Qualité –'AGAP Qualité, représentant de l'Université G. Eiffel, S. Palma-Lopes (membre COAdm, représ univ G. Eiffel).

6.12.6 IMPLICATION DANS DES RESEAUX DE RECHERCHE

GDR MecaWave : « GDR MECAWAVE : à l'interface de l'acoustique physique et de la mécanique théorique », F. Treyssède co-porteur

GIS_ECND_PdL « GIS : Evaluation non destructive en Pays de la Loire », O. Abraham (Directrice), X. Dérobert (représ. GERS)

6.12.7 PARTICIPATION A DES COMMISSIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

O. Abraham, Membre du comité scientifique de SHM@COFREND

6.12.8 PARTICIPATION A DES COMITES DE REDACTION DE REVUES

O. Abraham, Membre du comité scientifique de Diagnobéton

<https://diagnobeton2020.sciencesconf.org/resource/page/id/4>

6.12.9 ORGANISATION DE MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES INTERNATIONALES

« **Infrastar training school** », Coordinateurs : O. Abraham : H. Ferria

Lien Internet : <http://trainingschool.infrastar.eu/>

Diagnobéton 2021 (<https://diagnobeton2020.sciencesconf.org/>), O. Abraham, membre du comité d'organisation

6.12.10 ORGANISATION DE MANIFESTATIONS NATIONALES

Doctoriales de la COFREND (https://www.cofrend.com/jcms/prd_596182/en/les-web-doctoriales-2020-de-la-cofrend), O. Abraham, membre du comité d'organisation

Séminaire National Fusion d'informations (distanciel) 01-02 février 2021. Contact : S. Palma Lopes

Fête de la Science, Nantes, 08-10 oct 2021. Contact : G. Gugole

Co-organisation de webinaires mensuels dans le cadre du GDR MecaWave (1 webinaire = 2 exposé d'1/2h

+ questions, suivis en moyenne par 45 participants). Contact :F. Treyssède

Co-organisation du 2nd colloque du GDR MecaWave, 4-8 octobre 2021, Oléron, 30 participants (en présentiel). Contact :F. Treyssède

Co-organisation du 1er Séminaire National Fusion d'Informations, « Fusion d'informations pour la caractérisation des milieux poreux : Applications aux géosciences et au génie civil », 1-2 février 2021, (séminaire en ligne). Contact : S. Palma-Lopes

Co-organisation d'un séminaire « l'électromagnétisme au sein de l'université G. Eiffel » (en distanciel), 08 avril 2021. Contact : X. Dérobert

6.12.11 SIGNATURES DE CONVENTIONS DE PARTENARIATS

6.13. PRODUITS DESTINÉS A DES ACTEURS DU MONDE SOCIAL, ECONOMIQUE ET CULTUREL

6.13.1 ÉCRITURE DE NORMES

6.13.2 ANIMATION OU PARTICIPATION A DES COMMISSIONS DE NORMALISATION EUROPEENNES

6.13.3 ANIMATION OU PARTICIPATION A DE COMMISSIONS DE NORMALISATION FRANÇAISES

6.13.4 BREVETS DEPOSES

6.13.5 DEVELOPPEMENTS MATERIELS

Matériel MACSYS

Matériel porte-antennes radar robotisé

Conception de deux modèles réduits bi-couches en résine epoxy pour modélisation ultra-sonore (projet FO-US)

Matériel sonde ONDULYS (https://www.cofrend.com/upload/docs/application/pdf/2021-07/8-2_ende_14-06-21_industrialisation_sonde_ondulys.pdf)

7. ENSEIGNEMENT DISPENSE

| Nom | établissement d'enseignement | niveau | Intitulé de la formation | nb d'heure 2019 | nb d'heure 2020 | nb d'heure 2021 |
|------------------|------------------------------|--------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Odile Abraham | ECN | M2 Recherche | Génie Civil / CND | 8 | 6 | 6 |
| Odile Abraham | Univ. Nantes – Saint Nazaire | M2 P | Génie Civil / CND | 4 | 4 | 4 |
| Odile Abraham | Training School | docts | Génie Civil / CND | 4 | | 1,5 |
| Fabien Treyssède | ECN/ITII | Bac+4 | Acoustique | 24 | 25 | 25 |
| Laurent Laguerre | Univ. Nantes – Saint Nazaire | M2 P | Génie Civil / CND | 2 | 2 | 2 |
| Xavier Dérobert | ECN | M2 Recherche | Génie Civil / CND | 6 | 6 | 6 |

| | | | | | | |
|---------------------|------------------------------|------------------|--|----|------------|--------------|
| Xavier Dérobert | Univ. Nantes – Saint Nazaire | M2 P | Génie Civil /CND | 6 | 6 | 6 |
| Xavier Dérobert | ICAM | Dernière année | Génie Civil / CND | 4 | 4 | 4 |
| Donatienne Leparoux | Ecole ing. Beauvais | 3ième année Ingé | Géo-Environnement / Initiation à la géophysique de la subsurface | 12 | 11 | 12 |
| Donatienne Leparoux | Univ. Nantes | M1 | Géo-Environnement / Initiation à la géophysique de la subsurface | | 11 | 24 |
| Donatienne Leparoux | ENSG Nancy | 3ième année Ingé | Initiation à la géophysique de la subsurface | 12 | 19 | 20 |
| Sérgio Palma Lopes | Univ. Nantes | M1 | STU-BGE, Introduction à la géophysique de la subsurface | | 11 | 2 |
| Sergio Palma Lopes | Univ. Nantes | M2 R/P | Géosciences planétaires / Introduction à la géophysique de la subsurface | 10 | 11 | 12 |
| Sérgio Palma Lopes | Univ. Nantes – Saint Nazaire | M2 P | Génie Civil / CND | 4 | 4 | 4 |
| TOTAL | | | | | 120 | 128.5 |

8. TABLEAU DE BORD DES PERFORMANCES DU LABORATOIRE

9.1 OBJECTIFS POUR 2021

| Composante de l'activité | Objectif | Indicateurs ou informations de tendance | Cible pour 2021* |
|--|--|---|------------------|
| Recherche | Assurer le rayonnement du laboratoire | Nombre de publication dans des revues internationales scientifiques | 14 |
| | | Nombre de publication dans des congrès scientifiques internationaux | 20 |
| | | Nombre de publications open data | 1 |
| | Pérenniser les activités stratégiques | Nombre de contrats de recherche nationaux déposés (ANR, FUI, indus...) | 2 |
| | | Nombre de contrats de recherche acceptés | 1 |
| | Augmenter les activités internationales | Collaborations internationales | 2 |
| Expertise | Assurer le lien avec la profession | Nombre d'expertise | 1 |
| Enseignement et formation par la recherche | Assurer le partage de connaissances | Nombre annuel d'heures d'enseignement dans les établissements d'enseignement sup. | 100 |
| | | Nombre de thèses soutenues | 0 |
| | | Nombre de thèses en cours | 2 |
| | | Nombre de HDR soutenues | 0 |
| | | Révision de la page Web de GeoEND | 1 |
| | Assurer un remplissage régulier des temps passés sur les activités | Taux de validation sur TP2 Taux de non saisie sur TP2 | 65 % |
| Gestion RH | Assurer une dynamique de progression indiv. & collective | Nombre d'agents ayant suivi une formation | 2 |
| | | Nombre de postes à pourvoir | 1 |
| | | Actions collaboratives (séminaires, auto-évaluation, accompagnement direction, ...) | 3 |
| Qualité | Garantir le maintien du système du référentiel 17025 :2017 | Nombre d'écarts suite à l'audit interne | 2 |
| | | Nombre d'écarts propres à GeoEND suite à l'audit externe | 2 |
| | | Nombre de fiches d'amélioration clôturées | 1 |
| | | Nombre de fiches de satisfaction client reçues | |
| | Garantir le maintien du système du référentiel 9001 | Nombre de documents révisés | 1 |
| | | Nombre de fiches d'amélioration clôturées | 1 |
| Nombre de fiches de satisfaction client reçues | | | |

* Chiffres indicatifs, ne pouvant être des valeurs cibles puisque la co-direction du laboratoire n'a débuté que début avril 2021.

9.2 BILAN POUR 2021

| Composante activité | Objectif | Indicateurs ou info. de tendance | Cible 2021* | Réalisé 2021 | Analyse, commentaires et niveau de performance |
|--|--|--|-------------|--------------|--|
| Recherche | Assurer le rayonnement du labo | Nombre publiés dans des revues int. Sci. | 14 | 19 | |
| | | Nombre publiés dans des congrès sci. Int. | 20 | 12 | |
| | | Nombre publiés open data | 1 | 0 | |
| | Pérenniser les activités strat. | Nombre contrats de rech. Nat. déposés (ANR, ...) | 2 | 2 | |
| | | Nbre contrats rech. acceptés | 1 | | |
| | Augmenter les activités int. | Collaborations internationales | 2 | | |
| Expertise | Assurer le lien profession | Nombre d'expertise | 1 | 1 | |
| Enseignement et formation par la recherche | Assurer le partage de connaissances | Nbre d'heures de cours | 100 | 128.5 | |
| | | Nbre thèses soutenues | 0 | 0 | |
| | | Nbre thèses en cours | 2 | 3 | |
| | | Nbre HDR soutenues | 0 | 0 | |
| | | Révision de la page Web de GeoEND | 1 | 1 | |
| | Assurer remplissage tps / activités | Taux de validation TP2 Taux de non saisie TP2 | 65 % | | |
| Gestion RH | Assurer une dynamique de progression indiv. & collective | Nombre d'agents ayant suivi une formation | 2 | 2 | |
| | | Nbre postes à pourvoir | 1 | | |
| | | Actions collaboratives (séminaires, Teamlab...) | 3 | 1 | |
| Qualité | Garantir le maintien du système de référentiel 17025 :2017 | Nbre écarts audit interne | 2 | 2 | |
| | | Nbre écarts audit externe | 2 | 0 | |
| | | Nbre fiches am. clôturées | 1 | | |
| | | Nbre fiches de satisfaction client reçues | | | |
| | Garantir le maintien du système de référentiel 9001 | Nbre docs révisés | 1 | | |
| | | Nbre fiches am. clôturées | 1 | | |
| | | Nbre fiches satis/client reçues | | | |