



HAL
open science

**Compte-rendu de fin du projet ANR-18-CE22-0020
Amélioration de la Connaissance de milieux complexes
composés de fissures et Inversion MultiParamètres**

David Guilbert, Vincent Baltazart, Christophe Bourlier, Xavier Dérobert,
Laurent Ferro-Famil, Nicolas Pinel

► **To cite this version:**

David Guilbert, Vincent Baltazart, Christophe Bourlier, Xavier Dérobert, Laurent Ferro-Famil, et al.. Compte-rendu de fin du projet ANR-18-CE22-0020 Amélioration de la Connaissance de milieux complexes composés de fissures et Inversion MultiParamètres. ANR-FORM-090601-01-01, Institut d'Électronique et des Technologies du numéRique; Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace; Institut Catholique d'Arts et Métiers; Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement; Université Gustave Eiffel. 2023, pp.1-18. hal-04525453

HAL Id: hal-04525453

<https://hal.science/hal-04525453>

Submitted on 28 Mar 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Projet ANR-18-CE22-0020

**Amélioration de la Connaissance de
milieux complexes composés de
fissures et Inversion MultiParamètres**

Programme CE22 2018

A	IDENTIFICATION.....	2
B	RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC.....	2
B.1	Instructions pour les résumés consolidés publics.....	2
B.2	Résumé consolidé public en français.....	3
B.3	Résumé consolidé public en anglais.....	3
C	MÉMOIRE SCIENTIFIQUE.....	3
C.1	Résumé du mémoire.....	4
C.2	Enjeux et problématique, état de l'art.....	4
C.3	Approche scientifique et technique.....	4
C.4	Résultats obtenus.....	4
C.5	Exploitation des résultats.....	4
C.6	Discussion.....	4
C.7	Conclusions.....	4
C.8	Références.....	4
D	LISTE DES LIVRABLES.....	4
E	IMPACT DU PROJET.....	5
E.1	Indicateurs d'impact.....	5
E.2	Liste des publications et communications.....	6
E.3	Liste des éléments de valorisation.....	6
E.4	Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires).....	7

A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	ACIMP
Titre du projet	Amélioration de la connaissance de milieux complexes composés de fissures et Inversion MultiParamètres
Coordinateur du projet (société/organisme)	David Guilbert, Cerema
Période du projet (date de début – date de fin)	Date de début du projet : 01 janvier 2019 Date de fin du projet : 31 octobre 2023
Site web du projet, le cas échéant	

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	David Guilbert Vincent Baltazart Christophe Bourlier Xavier Dérobert Laurent Ferro-Famil Nicolas Pinel
Téléphone	06 84 49 57 55
Adresse électronique	david.guilbert@cerema.fr
Date de rédaction	

Si différent du rédacteur, indiquer un contact pour le projet	
Civilité, prénom, nom	
Téléphone	
Adresse électronique	

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	Christophe Bourlier (IETR), WP2 Laurent Ferro-Famil (Supaero), WP4 Nicolas Pinel (Icam Ouest - IETR), WP2 Vincent Baltazart (Univ. Eiffel), WP3 Xavier Dérobert (Univ. Eiffel), WP5
---	---

B RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC

B.1 RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC EN FRANÇAIS

ACIMP : Amélioration de la Connaissance de milieux complexes composés de fissures et Inversion MultiParamètres

Titre 1 : Diagnostic structurel de la chaussée à l'aide de méthodes d'auscultation radar hyperfréquence

Le projet ACIMP visait la détection précoce, la caractérisation et le suivi (monitoring) de défauts d'interface (décollement) entre les premières couches d'une structure de chaussée. Ces décollements de quelques millimètres d'épaisseur sont assimilés à des fissures horizontales, qui fragilisent la résistance globale de la structure, et peuvent engendrer une fissuration verticale remontante (reflective cracking) avec le trafic. La détection et la localisation précoces de ces défauts structurels de petite taille, ainsi que le suivi de leur

évolution, sont des défis majeurs pour la mise en œuvre de politiques d'entretien et de gestion du réseau routier.

Pour répondre à cette problématique, le projet ACIMP a proposé de mettre en œuvre différents outils d'investigation (modélisation, traitement de données, expérimentations) pour mener une étude à la fois théorique et expérimentale, en s'appuyant sur la grande largeur de bande associée à la technologie radar hyperfréquence à sauts de fréquences. Les configurations de mesures radar et les traitements associés permettent de détecter et de caractériser les défauts, généralement inaccessibles par les méthodes conventionnelles.

Titre 2 : Approche combinée

Pour répondre à la problématique, le projet ACIMP a proposé une approche combinée alliant modélisation du problème direct, traitement à haute résolution temporelle et expérimentations. La modélisation du problème direct (propagation et diffraction des ondes radar) a été résolue par une méthode numérique de type équations intégrales (méthode des moments). Pour le cas de décollements, une méthode asymptotique rapide basée sur l'approximation de Kirchhoff a également été mise en œuvre. Les décollements et autres fissures sont considérés comme des objets enfouis entre des interfaces rugueuses (WP2).

Des techniques de traitement de données spécifiques ont été développées pour les deux configurations radar utilisés, i.e., GPR (WP3) et GB-SAR (WP4). Pour le GPR, un traitement en deux étapes associe une classification des signatures radar et une analyse fine du signal par des algorithmes à haute résolution temporelle. Le WP4 a adapté le principe du radar à synthèse d'ouverture (GB-SAR) à l'auscultation des chaussées et développé les traitements de données ad hoc pour révéler de petites discontinuités horizontales ou verticales. Enfin, les expérimentations ont permis de constituer des bases de données représentatives, en particulier, une base de données couvrant la durée de vie d'une structure de chaussée.

Résultats majeurs du projet :

- Développement d'une méthode rigoureuse de diffraction électromagnétique permettant d'identifier et de décomposer la contribution des fissures à la réponse radar. Cette approche permet de modéliser la diffraction d'une onde hyperfréquence de très large bande dans un milieu stratifié contenant des interfaces rugueuses et une fissure enfouie aux interfaces (décollement, fissure verticale).
- Les deux configurations de mesures radar utilisées dans ce projet, i.e., la méthode conventionnelle (GPR), et la technique alternative du radar à visée latérale (GB-SAR), permettent de détecter et de caractériser de petites discontinuités horizontales et/ou verticales.
- La technique GB-SAR a permis de mesurer la rugosité.
- Les expérimentations ont permis de constituer trois bases de données de signaux radar représentatives de la problématique posée. Deux d'entre elles couvrent la durée de vie d'une structure de chaussée, i.e., 800 000 passages d'essieu.

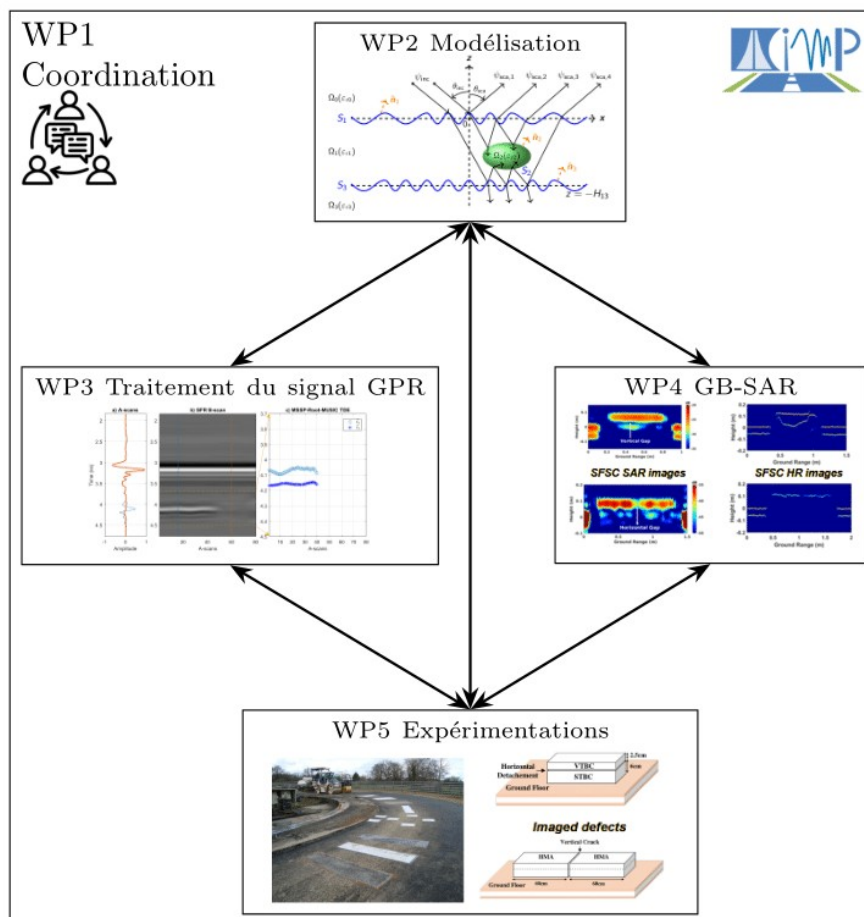
Production scientifique et brevets depuis le début du projet :

La production du projet ACIMP inclut 34 articles scientifiques (revues, conférences internationales et nationales), 3 bases de données publiques, et 2 logiciels, qui sont potentiellement réutilisables dans d'autres projets.

Illustration : La figure suivante illustre les interactions entre les différentes tâches, ainsi qu'un résultat pour chacune.

Informations factuelles :

Le projet ACIMP est un projet de recherche appliquée coordonné par David Guilbert, Cerema. Il associe aussi les laboratoires IETR-CNRS, l'IETR université de Rennes, l'Icam Ouest et l'université Gustave Eiffel. Le projet a débuté en janvier 2019 pour une durée initiale de 48 mois prolongée de 10 mois en raison de la crise du COVID 19. Il a bénéficié d'une aide ANR de 639 245,39 € pour un coût global de l'ordre de 1393197,29 €.



B.2 RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC EN ANGLAIS

ACIMP - Improvement of knowledge of complex media composed of cracks and multiparameter inversion

Title 1 : Structural evaluation of roadways using microwave radar monitoring methods

The ACIMP project aimed at the early detection, characterization and monitoring of debondings (interfacial defects) between the first layers of the pavement structure. These separations, a few millimeters thick, are assumed to be horizontal cracks, that weaken the

overall strength of the structure, and may give rise to vertical cracking (reflective cracking) with traffic. The early detection and localization of these small structural defects, as well as the monitoring of their evolution, are major challenges for the implementation of road network maintenance and management policies.

To address the problem, the Acimp project proposed implementing different investigation tools (modeling, data processing, experiments) to conduct a study that is both theoretical and experimental, relying on the ultra large bandwidth associated with the step-frequency microwave radar technology. Radar measurement configurations and the associated processings make it possible to detect and characterize small defects, that is generally out of reach with the conventional methods.

Title 2 : Combined approach

To address the problem, the Acimp project proposed an approach combining the simulation of the direct problem, high time resolution processing and experiments. A numerical method allowed simulating the radar signal diffracted by the stratified medium. Debondings and other cracks are assimilated to buried objects between rough interfaces (WP2).

Specific data processing techniques have been developed for the two radar configurations used, i.e., GPR (WP3) and GB-SAR (WP4). For GPR, a two-step processing combines classification of radar signatures and refined signal analysis using high time resolution algorithms. WP4 adapted the principle of the synthetic aperture radar (GB-SAR) to the monitoring of roadways and developed ad hoc data processing to reveal small horizontal or vertical discontinuities. Finally, the experiments brought representative databases, in particular, a database covering the whole lifespan of the road structure.

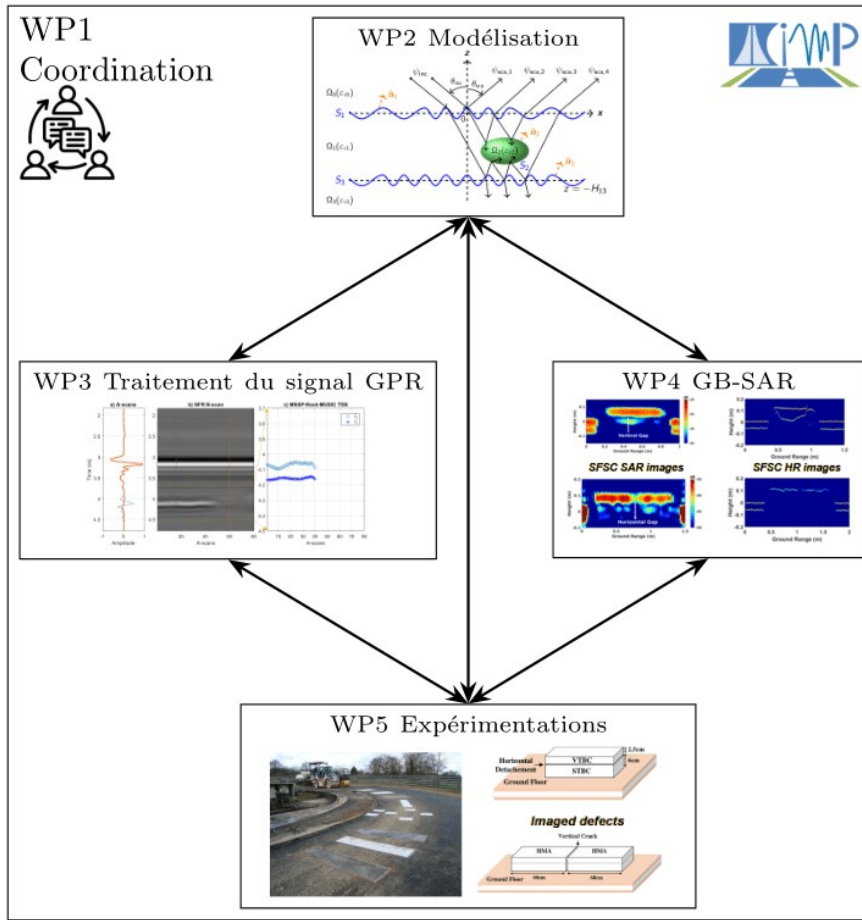
Main project results:

- A rigorous 2D electromagnetic simulation tool enables the diffraction modelling of ultra wide band microwaves in a multilayered medium with rough interfaces and cracks.
- The two radar measurement configurations used in this project, i.e., the conventional method (GPR), and the alternative side-looking radar technique (GB-SAR), allow detecting and characterizing small horizontal and/or vertical discontinuities with the medium.
- The experiments bring three databases of radar signals representative of the problem posed. Two of them cover the lifespan of a road structure, i.e., 800,000 loading passages.

Scientific production and patents since the start of the project:

The scientific production of the ACIMP project includes 34 papers (journals, international and national conferences), 3 public databases, and 2 software programs, which are potentially reusable in other projects.

Illustration : The following figure illustrates the interactions between the different tasks, as well as a result for each.



Facts:

The ACIMP project is an applied research project coordinated by David Guilbert, Cerema. It brings together the IETR-CNRS laboratories, the IETR of the University of Rennes, ICAM-Ouest and the Gustave Eiffel University. The project started in January 2019 for an initial duration of 48 months extended by 10 months due to the Covid19 crisis. It benefited from ANR aid of €639,245.39 for a total cost of around €1,393,197.29.

C MÉMOIRE SCIENTIFIQUE

Mémoire scientifique confidentiel : oui / non

C.1 RÉSUMÉ DU MÉMOIRE

Dans le cadre de la gestion durable d'un réseau routier, le projet ACIMP visait la détection précoce, la caractérisation et le suivi (monitoring) de défauts d'interface (décollements) entre les premières couches d'une structure de chaussée. Ces décollements de quelques millimètres d'épaisseur sont assimilés à des fissures horizontales, qui fragilisent la résistance globale de la structure, et peuvent engendrer une fissuration verticale remontante (« reflective cracking ») avec le trafic.

La littérature et l'expérience de précédents projets ont montré que la technique d'auscultation électromagnétique basée sur le radar géophysique (GPR) présentait un réel potentiel pour répondre à cette problématique. En s'appuyant sur la grande largeur de bande fréquentielle de la technologie GPR à sauts de fréquences et sur deux configurations radar

complémentaires, le projet ACIMP a développé les outils d'investigation suivants, pour détecter, caractériser et suivre les défauts structurels de petites tailles :

- Un outil de simulation électromagnétique « exact » permet de modéliser la réponse d'un milieu stratifié, avec présence d'objet(s) enfoui(s). Il étend les fonctionnalités du code GPILÉ développé par l'IETR et permet de prendre en compte la présence d'une fissure. Le calcul numérique utilise la méthode des moments et permet d'accéder à chacune des composantes du signal, facilitant ainsi l'interprétation des signaux et l'étude paramétrique des grandeurs d'influence.
- Une nouvelle configuration de mesures radar a été explorée pour l'auscultation des chaussées. Elle exploite la technologie radar à synthèse d'ouverture (GB-SAR) associée à une collecte/un traitement de signaux sous différents angles d'incidence.
- Pour la configuration GPR, un outil de prétraitement et de détection permet de classifier les profils des B-scans radar en zones saines et défectueuses. De plus, de nouvelles méthodes de traitement à haute résolution temporelle ont été proposées. Ils permettent d'affiner l'interprétation du signal GPR ; en particulier, les échos complexes, qui proviennent des interfaces défectueuses, peuvent être caractérisés en termes d'épaisseur et de permittivité.
- Trois bases de données de signaux GPR représentatives de la problématique ont été collectées. En particulier, le projet a permis de poursuivre une expérimentation sur le manège de fatigue de l'UGE pour constituer deux bases de données couvrant toute la durée de vie d'une structure de chaussée (800 000 cycles).

C.2 ENJEUX ET PROBLÉMATIQUE, ÉTAT DE L'ART

Le réseau routier français se compose principalement de routes nationales, dont la plupart ont été construites il y a environ 40 ans. Les défauts qui apparaissent en surface peuvent être initiés par des défauts à l'intérieur de la structure (c'est-à-dire, décollements entre couches ou fissures verticales remontantes) bien avant d'être visibles en surface [Saar2000].

Le principal objectif identifié dans la proposition du projet ACIMP concerne la détection précoce de défauts d'interface (décollements) entre les premières couches d'une structure de chaussée. Ces décollements sont assimilés à des fissures horizontales, qui fragilisent la résistance globale de la structure. De plus, avec le trafic, elles peuvent donner naissance à une fissuration verticale remontant vers la surface (« reflective cracking »). Pour les utilisateurs finaux (clients ou autorités adjudicatrices), la détection précoce de ces défauts structurels de quelques millimètres et le suivi de leur évolution (monitoring) sont des défis majeurs pour la gestion durable du réseau routier [Saar2000, IDR2014, Ben2015, Lai2017].

Cette problématique reste mal résolue à l'aide des méthodes d'essai non destructif dynamiques existantes. En comparaison, la littérature et l'expérience de précédents projets ont montré que la méthode radar présentait le meilleur potentiel pour répondre à cette problématique, en détectant les zones de décollement dans les B-scans radar [Ahm2011, Sim2012, Tod2017]. Néanmoins, la problématique de la surveillance des structures nécessite le suivi dans le temps des caractéristiques d'épaisseur, de permittivité et d'étendue des défauts.

Dans ce contexte, le projet ACIMP a proposé de répondre à ce défi en mettant en œuvre différents outils d'investigation (simulation, traitement à haute résolution temporelle, configuration radar alternative, expérimentations à long terme) et en s'appuyant sur la grande largeur de bande fréquentielle associée à la technologie radar à saut de fréquence.

C.3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Pour répondre à la problématique scientifique du § C.2, le projet a été structuré en cinq lots de travail (WP) : gestion du projet (WP1), modélisation électromagnétique du problème direct (WP2), développement de méthodes de traitement à haute résolution temporelle pour estimer les paramètres du milieu adaptées aux configurations de mesures radar GPR (WP3) et GB-SAR (WP4). Le WP 5 met en œuvre le volet expérimental du projet par l'intermédiaire d'expérimentations, de la collecte de mesures radar et de leur mise à disposition sous forme de bases de données.

C.4 RÉSULTATS OBTENUS

WP1 :

L'organisation de la gestion du projet a été mise en place par Cédric Le Bastard, le coordinateur initial du projet au Cerema. Des réunions plénières régulières ont rassemblé les responsables des différents WPs. Les mesures prévues dans le WP5 ont conduit à des expérimentations communes impliquant les acteurs de tous les WPs. Des outils collaboratifs ont été déployés pour faciliter les échanges et la préservation du travail.

Par rapport au tableau initial de 2018 des personnes impliquées dans le projet, on note le départ du coordinateur du projet, C. Le Bastard, en août 2019 pour des raisons professionnelles, remplacé par deux collègues du Cerema, J.N. Gaudin jusqu'à décembre 2020, puis par D. Guilbert. On observe également le changement de statut de l'Ifsttar depuis 2021, maintenant Université Gustave Eiffel (UGE), les changements d'affectation de L. Ferro-Famil (WP4) durant l'été 2022 pour Supaero (son doctorant a déménagé à Toulouse quelques mois après), et de A. Ihamouten (WP5) du Cerema pour l'UGE.

La pandémie de Covid-19 a nécessité des ajustements dans l'organisation pour maintenir un contact étroit entre les partenaires, surtout avec les doctorants, avant que le système de web-conférence ne se généralise. Néanmoins, cette période a ralenti les interactions potentielles entre WPs. Des retards ont été observés dans les WPs 3 & 5. Du côté de l'UGE et du Cerema, des aides institutionnelles ont permis de prolonger de 3 mois le financement du post-doctorant et du doctorant (WP3). Le projet a été prolongé de dix mois, en accord avec l'Agence Nationale de la Recherche (ANR).

WP2 :

Les travaux réalisés par M. Marc Songolo au cours de son doctorat (Songolo et al., 2022) ont permis d'étendre un code de calcul numérique rigoureux développé par le laboratoire. L'extension concerne la prise en compte d'objets enfouis entre deux interfaces rugueuses pour simuler l'apparition de fissures horizontales (décollements) ou verticales (« reflective cracking ») à l'interface de deux couches de chaussée. Cette extension du modèle GPILÉ, basée sur la méthode des moments (MoM), permet de traiter les cas de fissures horizontales et verticales. Sa résolution permet de décomposer la contribution des différents diffuseurs et d'isoler celle d'une fissure, tout en constituant un outil efficace de validation pour les méthodes asymptotiques telles que l'approximation de Kirchhoff plan tangent pour le cas des fissures horizontales (Pinel et al., 2020).

En relation avec les WPs 3 & 5, des comparaisons de A-scans (réponses temporelles pour une position spatiale du récepteur) entre simulations et mesures ont été effectuées. Il est à noter que la MoM ne prédit pas l'élargissement de l'écho de surface observé sur les mesures

lorsqu'on ne prend pas en compte le comportement de l'antenne. En lien avec le WP5, une analyse de la mesure de la rugosité de la chaussée a été effectuée pour établir ses caractéristiques statistiques (densité de probabilité et fonction d'auto-corrélation des hauteurs).

WP3 :

Dans le cadre du WP3, une stratégie de traitement en deux étapes est appliquée aux signaux radar. Dans une première étape, des techniques de classification statistique permettent de détecter les zones incluant des défauts d'interface (décollements) dans les profils radar (B-scans). Une fenêtre temporelle est automatiquement positionnée sur la zone à analyser, favorisant ainsi les performances des algorithmes à haute résolution temporelle.

Le post-doctorat de Shreedhar Todkar (18 mois) a été dédié à cette étape, résultant en deux outils logiciels en Web API Matlab. Le premier outil, *gprProcessor*, relit, calibre et pré-traite toutes les données radar acquises dans le WP5. Le second outil, *gprDetector*, segmente les zones de la structure de chaussée incluant un défaut de décollement dans les images B-scans, en utilisant différents outils de classification (Todkar et al., 2019 et 2021). Ces outils ont été déposés en août 2022 et ont fait l'objet d'une publication en congrès (Todkar et al., 2023).

La seconde étape implique des algorithmes à haute résolution temporelle pour analyser plus finement les profils sélectionnés et déterminer les caractéristiques des décollements, tels que la profondeur, la permittivité et l'épaisseur (thèse de Bachir Tankeu). L'algorithme à sous-espace PUMA, adapté à la problématique de TDE pour le GPR, a été utilisé. Les performances des variantes de PUMA ont démontré la capacité de détecter des décollements de quelques millimètres d'épaisseur sur des données expérimentales du manège de fatigue (WP5).

WP4 :

Deux modes de mesure GPR innovants (GB-SAR) ont été développés et mis en œuvre lors de campagnes de mesure pour démontrer l'intérêt des mesures radar 3D en visée latérale [Yit2017]. Le premier reproduit directement des configurations 3-D en rétrodiffusion, mais s'est avéré mal adapté en raison d'une faible résolution verticale et d'une complexité de mesure trop élevée. Le deuxième mode en géométrie bi-statique de type « propagation vers l'avant », fonctionnant en champ proche avec des signaux à large bande, a montré une excellente résolution verticale, validée lors des mesures sur le manège de fatigue de structures de chaussée de l'université Gustave Eiffel en 2019 et 2020.

Une technique d'imagerie Forward-SAR (pour véhicule en déplacement) a été étudiée en parallèle, car elle permet une amélioration de la résolution horizontale. Une campagne de mesure sur des échantillons de chaussée a confirmé une bonne détectabilité des fissures horizontales et surtout verticales, ces dernières n'étant pas détectées par la solution GPR classique, et a permis la caractérisation des propriétés diélectriques des milieux.

WP5 :

Le WP5 a été dédié à la collecte de signaux radar sur des structures de chaussées présentant des défauts de collage entre les deux premières couches. Ces données ont servi à évaluer le modèle numérique du WP2 et les méthodes de traitement associées aux deux configurations de mesures radar utilisées dans les WPs 3 & 4 (GPR et GB-SAR).

Une première campagne a été menée sur le manège de fatigue de l'université Gustave Eiffel en utilisant différentes techniques radar, après différents niveaux de chargement (co-financements MEDDE/DGPR, fondation FEREC et ANR ACIMP). La synthèse de ces résultats a donné lieu à un rapport interne et à des articles scientifiques (Dérobert et al. 2021), ainsi qu'à deux data papers pour valoriser l'ensemble des données collectées (Dérobert et al., 2020a-b).

En 2021, le consortium a conçu une seconde expérimentation comprenant de 2 blocs d'enrobés monocouches et 16 blocs d'enrobés bicouches contrôlés et fabriqués par le Cerema, présentant des compacités et des interfaces différentes. La campagne de mesures a été réalisée en laboratoire avec les différents équipements radar (GPR et GB-SAR). Après traitement, la valorisation croisée des résultats devrait aboutir à des articles scientifiques et à un data paper (Andreoli et al., 2023).

C.5 EXPLOITATION DES RÉSULTATS

La valorisation des résultats s'est principalement faite à travers des publications scientifiques (11 articles en revues, 17 congrès internationaux, 1 chapitre d'ouvrage et 2 articles de vulgarisation). La collecte de données expérimentales a été valorisée par l'intermédiaire de 3 data papers. Les deux outils logiciels du WP3 (*gprProcessor* et *gprDetector*) ont été déposés à l'APP et transférés à la start-up Fi-NDT.

Le projet est susceptible d'avoir contribué à un projet national sur le contrôle de l'épaisseur des couches d'accrochage des structures de chaussées (thèse Cerema G. Andreoli, 2023).

Des actions de valorisation sont prévues après la date de clôture du projet, notamment une session GPR aux Journées Techniques Routes du Ministère (MTECT) 2025 pour présenter les résultats. Dans l'immédiat, les doctorants ont été invités à participer à la session poster des JTR 2024. L'exploration de la possibilité de proposer une édition/rédaction d'un numéro spécial d'un journal scientifique est en cours. Enfin, une partie du travail du WP3 mériterait d'être davantage valorisée, comme détaillé dans le § C.6.

C.6 DISCUSSION

WP2 :

Le WP2 a permis d'étendre la modélisation électromagnétique du problème direct de la réflexion par une couche rugueuse à la présence d'une fissure enfouie, qu'elle soit horizontale (décollement) ou verticale (« reflective cracking »). Un modèle rigoureux a été développé en 2D, permettant de valider un modèle asymptotique développé pour le cas de fissures horizontales, valide en 2D comme en 3D (TRL ~3). Le cas de fissures verticales par un modèle asymptotique reste à valider. Les comparaisons avec les mesures n'ont pas été concluantes par manque d'informations sur l'antenne. Le modèle développé constitue en pratique un outil (« digital shadow ») de validation de nouveaux algorithmes de traitement de signal. Il permettra notamment de constituer une base de données d'entraînement d'algorithmes d'intelligence artificielle, par la simulation d'une large gamme de configurations (épaisseur, permittivité et conductivité, rugosité de la couche, dimensions de la fissure, fréquences radar, caractéristiques électromagnétiques et positions des antennes).

WP3 :

Le WP3 a étendu l'utilisation du GPR à la détection et à la caractérisation de matériaux de faible épaisseur (quelques millimètres) dans un milieu stratifié. Deux Web API Matlab ont été développées pour pré-traiter les B-scans radar et localiser les zones de défauts à partir de méthodes de classification (TRL 7-8). On peut espérer que les 2 Web API puissent évoluer dans le cadre d'autres projets et applications de CND. Les algorithmes à haute résolution temporelle, parmi lesquels PUMA se distingue comme le plus prometteur, ont permis de mettre en évidence des variations d'épaisseur et de permittivité de décollements artificiels dans une chaussée-test (TRL 6). Le traitement statistique des résultats relatifs à la base de données [Derobert et al., 2020a] sera poursuivi au-delà du projet.

À plus long terme, les expérimentations ont souligné la difficulté de définir une épaisseur effective (du point de vue électromagnétique) lorsque les interfaces du milieu sont rugueuses. Une notion imprécise de l'épaisseur du matériau entrave l'évaluation rigoureuse de la précision de mesure des algorithmes de traitement du signal.

WP4 :

Le WP4 a clairement atteint ses objectifs initiaux en proposant de nouvelles méthodes d'estimation de paramètres géophysiques basées sur l'imagerie radar à visée latérale. Ces techniques se sont révélées très bien adaptées à la détection de très petits défauts, grâce à des systèmes radar très simples, peu onéreux et d'utilisation aisée. En début de projet, le WP4 envisageait d'appliquer et d'adapter à la caractérisation des chaussées des principes de mesure utilisés pour l'observation de volumes naturels tels que des forêts. À la clôture du projet, des avancées significatives ont été réalisées, mais le développement est encore préliminaire (TRL 3-5). Bien que la mise en œuvre d'une solution opérationnelle soit envisageable et prometteuse, il est impératif de poursuivre le développement afin de franchir les étapes nécessaires.

WP5 :

Les plateformes de tests et mesures réalisées ont permis d'atteindre et de valider un TRL 7-8. Les expérimentations sur le manège de fatigue de l'université Gustave Eiffel ont permis de mettre à disposition de la communauté une base de données radar couvrant toute la durée de vie d'une structure de chaussée (Dérobert et al., 2020a). Cette base peut être utilisée pour tester tout type d'algorithme de traitement du signal ou comme base d'apprentissage pour les méthodes de traitement par intelligence artificielle. Cependant, les retards pris n'ont pas permis de valider les différentes méthodologies des WPs 3 & 4 en conditions opérationnelles sur un site réel (sous-tâche 5.5).

C.7 CONCLUSIONS

Malgré de grands changements survenus pendant la durée du projet (plusieurs mutations, la COVID, la création de l'UGE, cf. §C.4), les objectifs suivants du projet ACIMP ont été atteints :

- Un outil de simulation électromagnétique rigoureux permet de modéliser la réponse d'un milieu stratifié contenant des interfaces rugueuses, avec présence d'une fissure enfouie (décollement, fissure verticale...).
- La technologie radar à synthèse d'ouverture (GB-SAR) a été appliquée à l'auscultation des chaussées.
- Pour la configuration GPR, un outil de prétraitement et de détection permet de classifier les profils des B-scans radar en zones saines et défectueuses. De plus, de nouvelles méthodes de

traitement à haute résolution temporelle permettent d'affiner l'interprétation du signal GPR pour caractériser les décollements par leur épaisseur et leur permittivité.

- Les expérimentations ont permis de constituer trois bases de données de signaux radar représentatives de la problématique posée. Deux d'entre elles couvrent la durée de vie d'une structure de chaussée.

Hormis les avancées au niveau scientifique, le projet ACIMP a permis d'établir des interactions durables entre les partenaires. Certains objectifs ont été partiellement atteints et seraient susceptibles de projets futurs. Ainsi, des discussions plus approfondies entre WPs 3 et 4 permettraient d'établir un modèle de signal commun et d'unifier le formalisme du traitement des signaux issus des configurations de mesures radar différentes, i.e., GPR vs. GB-SAR. De même, le code du WP2 pourrait servir à générer une base de données de signaux simulés, imitant la structure artificielle de l'expérimentation sur le manège de fatigue UGE (Dérobert et al., 2020a).

A court terme, nous allons poursuivre la valorisation du projet. A plus long terme, nous espérons pouvoir étendre les méthodologies développées dans ce projet pour le contrôle d'autres structures et matériaux stratifiés du génie civil, e.g., chape d'étanchéité, contrôle des murs et des bâtis anciens.

C.8 RÉFÉRENCES

[**Ahm2011**] Ahmad, N., Lorenzl, H., and Wistuba, M. 2011. *Crack detection in asphalt pavements, how useful is GPR ? 6th Int. Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar, June 22-24, 2011, Aachen, Germany*

[**Ben2015**] A. Benedetto, L. Pajewski, *Civil engineering applications of ground penetrating radar*. New York, NY, USA: Springer, 2015

[**IDR2014**] IDRRIM, « *Entretien et préserver le patrimoine d'infrastructures de transport: une exigence pour la France* », livre blanc, octobre 2014 (<https://www.idrrim.com/publications/2771.htm>)

[**Lai2017**] W. W-L. Lai, X. Dérobert, P. Annan, " *A review of Ground Penetrating Radar application in civil engineering: A 30-year journey from Locating and Testing to Imaging and Diagnosis, Civil engineering applications of ground penetrating radar*", NDT&E International, 2017.

[**Saar2000**] T. Saarenketo, and T. Scullion, "Road evaluation with ground penetrating radar", *Journal of Applied Geophysics*, vol. 43, no. 2-4, pp. 119–138, 2000.

[**Sim2012**] J-M Simonin, V. Baltazart, P. Hornych, J-P. Kerzrého, X. Dérobert, S. Trichet, O. Durand, J. Alexandre, et A. Joubert , *Detection of debonding and vertical cracks with ND techniques during accelerated tests, 4th International conference on Accelerated Pavement Testing (APT), Davis, California, USA, september 2012*

[**Sun2017**] M. Sun, C. Le Bastard, N. Pinel, Y. Wang, J. Li, J. Pan and Z. Yu, "Estimation of time delay and interface roughness by GPR using modified MUSIC", *Signal processing*, vol. 132, pp 272-283, March, 2017

[**Tod2017**] S. S. Todkar, C. Le Bastard, A. Ihamouten, V. Baltazart, Xavier Dérobert, C. Fauchard, D. Guilbert and F. Bosc, *Detection of Debondings with Ground Penetrating Radar using a Machine Learning Method*, IWAGPR 2017, Edinburgh, 2017

[**Yit2017**] Yitayew, T. G.; Ferro-Famil, L.; Eltoft, T. & Tebaldini, S. , 'Lake and Fjord Ice Imaging Using a Multifrequency Ground-Based Tomographic SAR System', *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 10(10), 4457-4468, 2017

D LISTE DES LIVRABLES

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
20/11/18	1	Réunion Kick-off ANR	présentation	<u>Cerema</u> - IETR - Icam _ univ. Eiffel	
15/01/19	2	CR + présentation	Réunion 1	<u>Cerema</u> - IETR - Icam _ univ. Eiffel	
28/05/19	3	CR + présentation	Réunion 2	<u>Cerema</u> - IETR - Icam _ univ. Eiffel	
13/12/19	4	CR + présentation	Réunion 3	<u>Cerema</u> - IETR - Icam _ univ. Eiffel	
29/05/20	5	CR + présentation	Réunion 4	<u>Cerema</u> - IETR - Icam _ univ. Eiffel	
07/10/20	6	CR + présentation	Réunion 5	<u>Cerema</u> - IETR - Icam _ univ. Eiffel	
25/02/21	7	CR + présentation	Réunion 6	<u>Cerema</u> - IETR - Icam _ univ. Eiffel	
30/06/21	8	CR + présentation	Réunion 7	<u>Cerema</u> - IETR - Icam _ univ. Eiffel	
23/11/21	9	CR + présentation	Réunion 8	<u>Cerema</u> - IETR - Icam _ univ. Eiffel	
06/03/22	10	CR + présentation	Réunion 9	<u>Cerema</u> - IETR - Icam _ univ. Eiffel	
20/09/23	11	CR	Réunion 10	<u>Cerema</u> - IETR - Icam _ univ. Eiffel	
14/01/21	12	Rapport intermédiaire	Rapport	<u>Cerema</u> - IETR - Icam _ univ. Eiffel	
10/03/22	13	Présentation	Webinaire 3/4 fin ANR	<u>Cerema</u> - IETR - Icam _ univ. Eiffel	
Octobre 2019	14	WP2 – Article TGRS	article	<u>Icam</u>	
Mars 2020	15	WP2 – Article TGRS	article	<u>Icam</u> - IETR - Cerema	
Mars 2019	16	WP4 – Article GRSL	article	Cerema - <u>IETR</u> - Icam _ univ. Eiffel	
Juin 2019	17	WP4 – Article NDT&EI	article	Cerema/univ. Eiffel	
	18	Bases de données	2 datasets	Univ. Eiffel	

E IMPACT DU PROJET

E.1 INDICATEURS D'IMPACT

		Publications multipartenaires	Publications monopartenaires
International	Revue à comité de lecture	11	
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	1	
	Communications (conférence)	11	3
France	Communications (conférence)	6	
Actions de diffusion	Articles vulgarisation	2	
	Autres	3 (data papers)	

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	1
Licences d'exploitation (obtention / cession)	1
Nouveaux projets collaboratifs	Collaboration informelle avec SCUT par l'intermédiaire de l'IETR (Yide Wang) ; voir (Pan et al., 2020, 2021 et 2023)
Colloques scientifiques	Session radar JTR 2025 probable
Autres (préciser)	3 base de données de signaux GPR

E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

Liste des publications multipartenaires (résultant d'un travail mené en commun)		
International	Revue à comité de lecture	<ol style="list-style-type: none"> 1. Todkar S., Le Bastard C., Baltazart V., Ihamouten A., Dérobert X. (2019), "Performance assessment of SVM-based classification techniques for the detection of artificial debondings within pavement structures from step-frequency A-scan radar data", <i>NDT&E Int.</i>, Vol. 107(102128) ; doi :10.1016/j.ndteint.2019.102128 2. Le Bastard C., Pan J., Wang Y., Todkar S.S., Baltazart V., Pinel N., Ihamouten A., Dérobert X., Bourlier C. (2019), "A linear prediction and support vector regression based debonding detection method using step-frequency ground penetrating radar", <i>Geosci. & Remote Sens. Lett.</i>, Vol. 16(3), pp. 367-371 ; doi :10.1109/LGRS.2018.2873045. 3. N. Pinel, C. Le Bastard, C. Bourlier, "Modeling of EM Wave Coherent Scattering From a Rough Multilayered Medium With the Scalar Kirchhoff Approximation for GPR Applications", <i>IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing</i>, vol. 58, no. 3, pp. 1654-1664, 2020 ; doi: 10.1109/TGRS.2019.2947356 4. S. S. Todkar, C. V. Baltazart, Le Bastard, A. Ihamouten, X. Dérobert, One-Class SVM based outlier detection strategy to detect interlayer debondings within pavement structures using GPR data, <i>Journal of Applied Geophysics</i>, Volume 192, September 2021; doi :10.1016/j.jappgeo.2021.104392 5. J. Pan, Y. Wang, C. Le Bastard, V. Baltazart, A time-delay estimation approach for coherent GPR signals by taking into account the noise pattern and radar pulse, <i>Signal Processing</i>, Volume 176, November 2020, doi :10.1016/j.sigpro.2020.107654 6. J. Pan, M. Sun, Y. Wang, C. Le Bastard, V. Baltazart, Time Delay Estimation by a Modified Orthogonal Matching Pursuit Method for Rough Pavement, <i>IEEE Trans. Geosc. Remote Sensing</i>, vol. 59, no 4 ; doi :10.1109/TGRS.2020.3006509, 2021 7. Dérobert 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", <i>Remote Sens.</i>, Vol 13(8), 10.3390/rs13081474. 8. Tchana Tankeu, B., Baltazart, V., Wang, Y., & Guilbert, D. (2021). PUMA applied to time delay estimation for processing GPR data over debonded pavement structures. <i>Remote Sensing</i>, 13(17), 3456, doi :10.3390/rs13173456. 9. M. Songolo, N. Pinel, C. Bourlier, "Full wave modeling of

		<p>electromagnetic scattering by an object buried between two rough surfaces: Application to GPR", <i>Progress in Electromagnetics Research B</i>, vol. 96, pp. 133-152, 2022 ; doi : 10.36227/techrxiv.14925324.v1</p> <p>10. Mengda Wu, Laurent Ferro-Famil, Frederic Boutet et Yide Wang, « Comparison of Imaging Radar Configurations for Roadway Inspection and Characterization », in : <i>Sensors</i> 23.20 (2023), doi : 10.3390/s23208522</p> <p>11. J. Pan, M. Sun, Y. Wang, V. Baltazart, X. Dong, J. Zhao, H. Pan, and H. C. So, Co-prime Sampling based Time-Delay Estimation for Roadway Survey by Ground Penetrating Radar via Off-Grid Sparse Bayesian Learning, soumis à IEEE TGRS, août 2023</p>
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	<p>1. X. Dérobert, A. Ihamouten, V. Baltazart, D. Guilbert, S. Todkar, G. Andreoli, B. Tankeu, J-M Simonin and C. Fauchard, Assessment of flexible pavements by GPR – 20 years of R&D in France, accepté pour publication, 2023</p>
	Communications (conférence)	<p>1. Todkar S.S., Baltazart V., Le Bastard C., Dérobert X., Ihamouten A., Simonin J-M. (2020), Performance analysis of Two-class SVM to detect thin interlayer debondings within pavement structures, EGU2020 conf. proc., Vienna (AU), avril ; doi :10.5194/egusphere-egu2020-22503</p> <p>2. Le Bastard C., Pan J., Wang Y., Todkar S.S., Baltazart V., Ihamouten A., Dérobert X. (2019), "Roadway interface analysis with a support vector regression based linear prediction method using step-frequency Ground Penetrating Radar", IGARSS symp. Proc., Yokohama (JP), July ;doi :10.1109/IGARSS.2019.8899302</p> <p>3. S. Todkar, R. Jaufer, V. Baltazart, C. Fauchard, A. Ihamouten, SVM sensitivity analysis on the influence of the top pavement layer on thin debonding detection using numerical GPR data, GPR 2020, Denver Colorado; doi: 10.1190/gpr2020-103.1</p> <p>4. V. Baltazart, S. S. Todkar, C. Le Bastard, X. Dérobert, J-M. Simonin (2020), Thin-bed data model for the processing of GPR data over disbonded pavement structures, Accel. Pavt Test. Cong. proc., Nantes (FR), sept, Nantes (FR) ; doi : 10.1007/978-3-030-55236-7_65</p> <p>5. Norgeot C., Dérobert X., Simonin J-M., Doué S., Baltazart V., Hui H.Y. (2020), "3D GPR monitoring of artificial debonded pavement structures during accelerated tests", GPR2020 conf. proc., Boulder (US), June. ; doi : 10.1190/gpr2020-054.1</p> <p>6. M. Songolo, N. Pinel, C. Bourlier, "Rigorous numerical method for electromagnetic scattering by an object buried between two rough surfaces", <i>IEEE IGARSS 2021</i>, Brussels, Belgium, 2021 ; doi :10.1109/IGARSS47720.2021.9554063</p> <p>7. Tchana Tankeu, B., Baltazart, V., Wang, Y., & Guilbert, D. (2021). Characterization of debondings within pavement structures using GPR field data and PUMA algorithm. 2021 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA), 15-17 November 2021, Antibes Juan-les-Pins, France</p> <p>8. Mengda Wu, Laurent Ferro-Famil et Yide Wang, Comparison of radar imaging configurations for the characterization and diagnosis of roadways, in : 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, IEEE, 2021; doi: 10.1109/IGARSS47720.2021.9554596</p> <p>9. Laurent Ferro-Famil, Stefano Tebaldini, Ray Abdo, Lekhmissi Harkati et Mengda Wu, 3D SAR imaging using bistatic opposite</p>

		<p>side acquisitions, the bizona concept, in : 2022 19th European Radar Conference (EuRAD), IEEE, 2022; doi: 10.23919/EuRAD54643.2022.9924868</p> <p>10. N. Pinel, C. Bourlier, M. Songolo, "Simulation of GPR scattering from an object buried inside a layered medium with the GPiLE method", <i>IWAGPR</i>, Lisbon, Portugal, 2023.</p> <p>11. Mengda Wu, Laurent Ferro-Famil, Frederic Boutet et Yide Wang, « A New Ground-Based SAR Technique for Roadway Characterization and Deterioration Inspection », in : 2023 20th European Radar Conference (EuRAD), IEEE, 2023</p>
France	Communications (conférence)	<p>12. V. Baltazart, C. Le Bastard, Ch. Bourlier, N. Pinel et al., Développement de méthodes radar d'aide au diagnostic et à la décision pour le suivi de décollements entre couches de chaussées, Journée scientifique du GIS-CND-PdL, 7 nov. 2019, Ec. Centrale de Nantes ; https://ecnd-pdl.fr/animation-scientifique/2019/</p> <p>13. N. Pinel, C. Bourlier, « Caractérisation électromagnétique de sols stratifiés par une méthode asymptotique », Journées Propagation Radioélectrique – Caractérisation de l'environnement, Rennes, 2021.</p> <p>14. M. Songolo, N. Pinel, C. Bourlier, « Caractérisation électromagnétique de sols stratifiés par une méthode numérique rigoureuse », Journées Propagation Radioélectrique – Caractérisation de l'environnement, Rennes, 2021.</p> <p>15. N. Pinel, M. Songolo, C. Bourlier, « Réponse GPR d'un objet enfoui dans un milieu stratifié rugueux par une méthode rigoureuse », Journées ENVIREM, Palaiseau, 2022.</p> <p>16. N. Pinel, C. Bourlier, « Diffusion électromagnétique cohérente par un milieu stratifié contenant des interfaces rugueuses », XXIIèmes Journées Nationales Microondes, Limoges, 2022.</p> <p>17. L. Ferro-Famil, M. Wu, R. Abdo, F. Boutet, S. Tebaldini, « 3D Bistatic SAR imaging using opposite side acquisitions : Principles and Ground-Based SAR experiments », NASA/JPL Multi-static SAR workshop, Caltech, Pasadena, USA, July 2023</p>
Actions de diffusion	Articles de vulgarisation	<p>18. D. Guilbert, C. Le Bastard, C. Fauchard, B. Beaucamp, V. Baltazart, Exploitation des mesures Radar pour la caractérisation des interfaces de chaussée, revue RGRA N° 977, Nov. 2020, Dossier « Premier bilan du projet DVDC »</p> <p>19. Dérobert X., Baltazart V., Simonin J.-M., Norgeot C., Todkar S.S., Durand O., Trichet S., Gouy T, Gugole G., Suivi de décollement de couches de chaussées sous trafic contrôlé par techniques d'évaluation non destructives, Revue Générale des Routes et de l'Aménagement, Dossier «Recherche et Innovation», RGRA n°983, Juillet-Août 2021</p>
	Autres : database	<p>20. Derobert X., Baltazart V., Simonin J.-M., Durand O., Norgeot C., Todkar S. (2020), "Radar database over large debonded areas into pavement structure", Ifsttar ; doi :10.25578/NORXSQ</p> <p>21. Derobert X., Baltazart V., Simonin J.-M., Hui H.Y., Ching P.H. (2020), "Radar database over narrow debonded areas into pavement structure" ; doi : 10.25578/MM9Q0R</p> <p>22. Andreoli, Grégory; Guilbert, David; Dérobert, Xavier; Ihamouten, Amine; Lebouc, Benoit; Cothenet, Alexis; Tchana Tankeu, Bachir; Baltazart, Vincent (2023), "Ground-coupled radar database on samples of hot-mix asphalt layers",</p>

Liste des publications monopartenaires (impliquant un seul partenaire)		
International	Communications (conférence)	<ol style="list-style-type: none">23. Dérobert X., Baltazart V., Simonin J-M., Durand O., Todkar S.S. (2020), "Radar database collected over artificial debonded pavement structures during APT at the Ifsttar's fatigue carousel", Accel. Pavt Test. Cong. proc., Nantes (FR), sept, doi : 10.1007/978-3-030-55236-7_65.24. N. Pinel, "Extension of the scalar Kirchhoff approximation for calculating the coherent scattering from multi-layers with random rough interfaces", IEEE IGARSS 2021, Brussels, Belgium, 2021; doi: 10.1109/IGARSS47720.2021.955466325. Todkar S.S., Baltazart V., Dérobert X., AI-based Graphical User Interface to detect debonded pavement sections from GPR B-scan data, IWAGPR 2023, 5-7 July 2023, Lisbon, Portugal

E.3 LISTE DES ÉLÉMENTS DE VALORISATION

- dépôt APP (IDDN.FR.001.020030.000.S.P.2023.000.20900) des 2 logiciels Web API Matlab *gprProcessor* et *gprDetector*.
- transfert à la société *FiNDT*
- Suite aux expérimentations (WP5), 3 bases de données sont accessibles à la communauté scientifique ; voir *data papers* (Dérobert et al., 2020a), (Dérobert et al., 2020b) et (Andreoli et al., 2023)
- Collaboration informelle avec le SCUT par l'intermédiaire de l'IETR (Y. Wang) et les articles (Pan et al., 2020, 2021 et 2023) ; néanmoins la référence à ACIMP n'a pas été spécifiée dans ces publications.

E.4 BILAN ET SUIVI DES PERSONNELS RECRUTÉS EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Identification				Avant le recrutement sur le projet			Recrutement sur le projet				Après le projet				
Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Date des dernières nouvelles	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. Antérieure, y compris post-docs (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Durée missions (mois) (3)	Date de fin de mission sur le projet	Devenir professionnel (4)	Type d'employeur (5)	Type d'emploi (6)	Lien au projet ANR (7)	Valorisation expérience (8)
Tchana Tankeu Bachir	H		11/2023	Master	Université de Bourgogne, Dijon		Cerema Ouest	Doctorant WP3	36+3	31/12/2023	Recherche d'emploi			Non	Non
Songolo Marc	H	marc.songolo@gmail.com		Master	Hors UE	6	Icam Ouest	Doctorant WP2	36	05/03/2023	CDI	enseignement et recherche publique	Enseignant Chercheur	Non	Oui
Wu Mengda	H	ewumd@gmail.com	11/2023	Master	Hors UE	1	Université de Rennes	Doctorant WP4	36	12/2022	CDD	enseignement et recherche publique	Chercheur	Oui	Oui
Todkar Shreedhar	H	shreedhar.todkar@gmail.com		Doctorat	Université de Nantes	3	UGE	Post doc WPs 3 & 5	18 + 3	31/01/2021	CDI	Autre privé	Ingénieur Recherche Développement Innovation	Non	Oui

Aide pour le remplissage

- (1) **Adresse email** : indiquer une adresse email la plus pérenne possible
- (2) **Poste dans le projet** : post-doc, doctorant, ingénieur ou niveau ingénieur, technicien, vacataire, autre (préciser)
- (3) **Durée missions** : indiquer en mois la durée totale des missions (y compris celles non financées par l'ANR) effectuées sur le projet
- (4) **Devenir professionnel** : CDI, CDD, chef d'entreprise, encore sur le projet, post-doc France, post-doc étranger, étudiant, recherche d'emploi, sans nouvelles
- (5) **Type d'employeur** : enseignement et recherche publique, EPIC de recherche, grande entreprise, PME/TPE, création d'entreprise, autre public, autre privé, libéral, autre (préciser)
- (6) **Type d'emploi** : ingénieur, chercheur, enseignant-chercheur, cadre, technicien, autre (préciser)
- (7) **Lien au projet ANR** : préciser si l'employeur est ou non un partenaire du projet
- (8) **Valorisation expérience** : préciser si le poste occupé valorise l'expérience acquise pendant le projet.

Les informations personnelles recueillies feront l'objet d'un traitement de données informatisées pour les seuls besoins de l'étude anonymisée sur le devenir professionnel des personnes recrutées sur les projets ANR. Elles ne feront l'objet d'aucune cession et seront conservées par l'ANR pendant une durée maximale de 5 ans après la fin du projet concerné. Conformément à la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'Informatique, aux Fichiers et aux Libertés, les personnes concernées disposent d'un droit d'accès, de rectification et de suppression des données personnelles les concernant. Les personnes concernées seront informées directement de ce droit lorsque leurs coordonnées sont renseignées. Elles peuvent exercer ce droit en s'adressant l'ANR (<http://www.agence-nationale-recherche.fr/Contact>).