



Programme de
Recherches

2017

ANNEXES

Version 1
IFSTTAR
01/02/2017

Table des matières

Annexe 1 : Initiatives ciblées retenues en 2017	4
VibraSimu : Mesure et restitution de vibrations sur simulateur de déplacement.....	6
CasqueRV&SimuMARCHE : Développement d'un simulateur de marche type casque de réalité virtuelle	10
ELECTROCAP : Analyse du comportement électrothermique des supercondensateurs de forte capacité lié aux conditions d'usage critiques pour les applications de stockage embarqué et urbain.	15
CaTiMouS : Caractérisation des Tissus Mous biologiques Superficiels pour la prédiction de l'inconfort dans les transports.....	19
Fos : Fissuration des Os.....	24
PASS2RM : Vulnérabilité du passager d'un deux roues motorisés.....	27
SOFTER – phase 1 : The SOFTER trial for SyndrOme Following Trauma: Early Remedies (Phase 1).....	31
SYSAUTO : Systèmes autonomiques pour le trafic ferroviaire	35
CHUT : Caractérisation des Hématomes chez les Usagers des Transports	38
NEURONE : Développement d'une approche en NEURO-ergonomie : application à l'étude des conducteurs Novices et Experts	45
EGECT: Effet du vieillissement des géomembranes sur les écosystèmes.....	49
VIPER : Vieillesse des peintures biosourcées.....	52
<i>TP-Box (Transverso Profilomètre Box) ou XP-Box (Cross Profilometer Box) :</i> Développement d'un outil d'auscultation à bas-coût pour la détection des défauts de surface transversaux.....	56
OGSEER : Optimisation de la Gestion Socio-Economique et Environnementale des travaux d'entretien sur un Réseau, par analyse géographique du territoire et détermination des impacts des chantiers.....	62
Cycleval : Evaluation de la cyclabilité d'itinéraires selon une échelle d'efforts	66
CyberSecTVI : Cybersecrurité pour les transports et la ville intelligente	69
Particules : Recherche exploratoire sur l'évolution des polluants particuliers des véhicules dans l'atmosphère.....	73
Annexe 2 : Animation réseau retenue en 2017	76
USACT : Usage et acceptabilité des innovations dans les transports	77
GERIECO : Geri écoconduite	81
SMASHS: Sécurité-Mobilité : Approches en SHS.....	85
TransFlab : Outils Probabilistes pour l'analyse de fiabilité	90
END : GERI Évaluation Non Destructive	94
<i>EnR</i> : Energies Renouvelables.....	96
EVAPP: Evaluation et analyse de politiques publiques.....	102

Polluants : Métrologie, sources, devenir des polluants en contexte urbain et routier.....	105
TerriTAP : Territoires Transport Action Publique.....	107
VELO : Vélo.....	111
Annexe 3 : Collaborations structurantes de recherche retenues en 2017	115
OBAMO: Observations et Analyses des Mobilités	117
EPSR : Evaluation des politiques de sécurité routière	124
COSMOS : COonnaissances Scientifiques pour les MOtocyteS	127
BIOMAT : Matériaux Biosourcés.....	131
ECOMAT: Eco-matériaux pour les infrastructures et le bâtiment	136
DEDIR : du Dimensionnement à l'Entretien Durable des Infrastructures Routières.....	140
ImEOG : Impacts des Eurocodes sur la fiabilité, la durabilité et l'économie des Ouvrages Géotechniques (génie civil et bâtiment).....	149
MBDE : Matériaux bitumineux durables et Econologiques.....	153
ECODEM : Evaluation et COntôle non Destructifs des milieux dispersifs du génie civil par des techniques ElectroMagnétiques.....	159
ACORS : Nouvelles applications des armatures composites pour le renforcement interne et externe des structures en béton armé	169
TERRANOVA : Techniques de construction et matériaux nouveaux en terrassement.....	179
EGIDE : Enhanced Geotechnical Investigation and DEsign for sustainable development.....	189
SaNuiT: Cumul des nuisances environnementales et des risques liés aux transports au regard des inégalités sociales et territoriales	197
CaDORoc : Caractérisation et dimensionnement des ouvrages au rocher.....	201
VIBREN : Maîtriser les vibrations environnementales	209
GIEMU : Gestion intégrée de l'eau en milieu urbain.....	212
LOPRODI : Les enjeux logistiques et de transport des nouvelles pratiques de distribution et de production	217
HyCIAU : processus HYdrologiques et CLimatiques au service de l'Adaptation de l'aménagement Urbain.....	221
Annexe 4 : Le projet R5G.....	227

Annexe 1 : Initiatives ciblées retenues en 2017

axe principal	axe secondaire	Dpt	Laboratoire	Acronyme	Intitulé	Nom du référent	Etat potentiel	Année de création	Année de clôture
1	3	COSYS	LEPSIS	VibraSimu	Mesure et restitution de vibrations sur simulateur de déplacement	Stéphane Caro	nouveau	2017	2018
1	3	COSYS	LEPSIS	CasqueRV & SimuMARCHE	Développement d'un simulateur de marche type casque de réalité virtuelle	Nguyen-Thong DANG (Lepsis) Valérie Gyselinck (AME/LPC)	nouveau	2017	2018
1		COSYS	TEMA	ELECTROCAP	Analyse du comportement électrothermique des supercondensateurs de forte capacité lié aux conditions d'usage critiques pour les applications de stockage embarqué et urbain	Alexandre De Bernardinis	nouveau	2017	2018
1		TS2	LBMC	CaTiMouS	Caractérisation des Tissus Mous biologiques Superficiels pour la prédiction de l'inconfort dans les transports	Laura Dubuis	nouveau	2017	2018
1	2	TS2	LBA	FOs	Fissuration des Os	Yves Godio-Raboulet	nouveau	2017	2018
1	2	MAST	EMMS	FOs	Fissuration des Os	Jean-Louis Tailhan	nouveau	2017	2018
1		TS2	LBA	PASS2RM	Vulnérabilité du passager d'un deux roues motorisés	Maxime Llari	nouveau	2017	2018
1		TS2	UMRESTTE	SOFTER-Phase 1	The SOFTER trial for SyndrOme Following Trauma: Early Remedies (Phase 1)	Martine Hours	nouveau	2017	2018
1		COSYS	LEOST	SYSAUTO	Systèmes autonomiques pour le trafic ferroviaire	Paola Pellegrini	nouveau	2017	2019
1		TS2	LBMC	CHUT	Caractérisation des Hématomes chez les Usagers des Transports	Mélanie Ottenio	prolongé	2016	2017
1		TS2	LESCOT	NEURONE	Développement d'une approche en NEURO-ergonomie : application à l'étude des conducteurs Novices et Experts	A. Fort	prolongé	2016	2017
2		MAST	CPDM	EGCT	Effet du vieillissement des géomembranes sur les écosystèmes	Laëtitia Van Schoosr	nouveau	2017	2018
2		MAST	CPDM	VIPER	Vieillissement des peintures biosourcées	Marielle Guéguen-Minerbe	nouveau	2017	2018
2		MAST	LAMES	TP-BOX	Développement d'un outil d'auscultation à bas-coût pour la détection des défauts de surface transversaux	F.Menant, J.M.Martin	suspendu	2016	2017

axe principal	axe secondaire	Dpt	Laboratoire	Acronyme	Intitulé	Nom du référent	Etat potentiel	Année de création	Année de clôture
3		MAST	LAMES	OGSEER	Optimisation de la Gestion Socio-Economique et Environnementale des travaux d'entretien sur un Réseau, par analyse géographique du territoire et détermination des impacts des chantiers	P.Hankach	prolongé	2016	2017
3	1	AME	EASE	Cycleval	Développement d'un capteur de mesure de la résistance au roulement pour les vélos	JM. Prual	prolongé	2016	2017
3		COSYS	LEOST	CybSecTVI	Cybersecrété pour les transports et la ville intelligente	C. Gransart	prolongé	2016	2017
3		AME	LTE	Particules	Recherche exploratoire sur l'évolution des particules des véhicules dans l'atmosphère	Yao LIU, Michel ANDRE	prolongé	2015	2016

VibraSimu : Mesure et restitution de vibrations sur simulateur de déplacement

Axe de rattachement : 1

Mots-clés (6 maxi) : Vélo, vibrations, simulateur, instrumentation, uni de la chaussée

Responsable IFSTTAR Stéphane Caro, Cosys/Lepsis

Durée : 2 ans (2017-2018)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar (thématiques prioritaires, COP), connaissances préalables (références bibliographiques)*). (A titre indicatif, ½ page)

Les simulateurs de conduite et plus largement, les simulateurs de déplacement, s'appuient sur les technologies de la réalité virtuelle. A ce titre, ils mettent en œuvre de multiples modèles et sources de données représentant les différentes composantes du monde réel. Les modèles mis en œuvre portent par exemple sur le tracé et les caractéristiques des routes, le comportement des autres usagers, la dynamique des véhicules, la propagation du son et de la lumière...

Une large part des recherches menées à l'Ifsttar vise à étudier et à modéliser les mécanismes du monde réel, que ce soit dans le domaine des sciences humaines ou des sciences de l'ingénieur. Les équipes de recherche de l'institut créent ainsi une richesse - les modèles - qu'il est parfois possible de valoriser à travers leur implantation sur les simulateurs de déplacement.

Il a ainsi été possible par le passé, d'implanter sur simulateur de conduite, certains aspects du comportement des conducteurs (modèle Archisim), les effets du brouillard sur les feux des véhicules (projet Predit VOIR), et des modèles de motorisation du LTE (R2I Modyves). Nous proposons de poursuivre cette démarche à travers une collaboration entre Ease et le Lepsis en mesurant, en modélisant et en reproduisant les vibrations d'un vélo.

Le travail envisagé s'inscrit dans le pilier "modèles et outils logiciels" du département Cosys et dans l'axe 1 du COP 2013-2016 de l'Ifsttar. Il contribue à plusieurs objectifs de cet axe, tel que décrit ci-dessous.

Objectif D1 : Conception d'outils et de méthodes de modélisation et de simulation

La mise en œuvre d'une nouvelle modalité de restitution sensorielle sur le simulateur vélo (restitution des irrégularités de la chaussée) constitue une amélioration significative de celui-ci. Elle devrait, en améliorant l'immersion des participants et en réduisant le mal du simulateur, contribuer à la validité des expérimentations qui seront menées par la suite. Cette thématique s'inscrit pleinement dans le COP 2017-2021, à travers l'objectif 3. Une version améliorée du simulateur vélo a par ailleurs été proposée dans le cadre des produits STTAR du COP 2017-2021 (produit STTAR n°17).

Objectif A1 : Méthodes innovantes de recueil de données de mobilité

Des travaux en cours entre le Lepsis et le Livic portent sur la mise en œuvre de capteurs grand public (tels que des smartphones) dans un but d'analyse de la mobilité. La comparaison des données recueillies par ces capteurs à celles de capteurs de référence permettra de statuer sur la validité des données recueillies par les outils grand public (dans un but d'analyse de la mobilité) et facilitera le développement des algorithmes de traitement spécifiques à ces outils.

Objectif A2 : Déterminants des comportements de mobilité

La restitution des irrégularités de la chaussée devrait, dans le prolongement de l'initiative ciblée Cycleval, apporter des éléments de compréhension complémentaires sur les déterminants du choix de la modalité de déplacement. Les imperfections de la chaussée, fortement ressenties à vélo, pourraient en effet se révéler être un frein à la pratique du vélo. Il serait pertinent de chercher à évaluer le ressenti des vibrations par les cyclistes dans des conditions contrôlées.

Valeur ajoutée de la demande (*originalité de l'action, réponse à des attentes exprimées, potentiel nouvelles connaissances, verrou scientifique, innovation, optimisation de moyens ou de ressources, ...*) (A titre indicatif, ¼ page)

Sur le plan international, les développements réalisés sur simulateur de déplacement et les recherches associées sont essentiellement tournés vers le rendu visuel et le rendu des accélérations. Peu de travaux ont jusque-là été entrepris pour restituer les vibrations¹. Nous pensons que ce rendu sera bénéfique en termes de validité du simulateur. Nous attendons en particulier, une meilleure immersion, une meilleure perception de la vitesse et une réduction du mal du simulateur.

Les travaux envisagés permettront par ailleurs de constituer une base de données de signaux vibratoires à vélo et de comparer les mesures obtenues par les instruments grand public à celles du vélo instrumenté, dans un but d'analyse de la mobilité.

Ils permettront enfin d'apporter de nouvelles connaissances relatives aux mécanismes perceptifs et à l'inconfort ressenti face aux irrégularités de la chaussée.

Description de la démarche et de la structuration de l'action (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches, des différents sujets traités, ...*) (A titre indicatif, ½ page)

Nous proposons une démarche en quatre étapes qui visent respectivement à collecter des données terrain, à traiter et modéliser ces données, à les restituer sur simulateur vélo, puis à obtenir des connaissances sur les aspects perceptifs et l'inconfort à vélo. Plusieurs de ces étapes sont accompagnées de développements techniques qui permettront de réaliser le travail proposé.

Etape 1 :

- Mise en œuvre du vélo instrumenté nouvellement acquis et implantation d'accéléromètres qui serviront de référence
- Campagne de mesure visant à constituer une base de données de signaux vibratoires
- Résultats attendus : collection de signaux vibratoires obtenus par plusieurs systèmes de mesure

Etape 2 :

- Analyse et modélisation des données recueillies par le vélo instrumenté
- Comparaison des mesures par les capteurs grand public à celles du vélo instrumenté
- Résultats attendus : (1) caractérisation et modélisation des signaux vibratoires ; (2) évaluation des capteurs grand public dans un but d'analyse de la mobilité

Etape 3 :

- Mise en œuvre des vérins nouvellement implantés sur le simulateur vélo (finalisation de l'installation électrique, contrôle/commande des vérins)
- Adaptation de l'existant à cette nouvelle configuration (modifications du plancher et du ventilateur)
- Implantation du modèle obtenu en « étape 2 » ou lecture directe des signaux enregistrés
- Résultats attendus : version améliorée du simulateur vélo

Etape 4, lors de la seconde année :

- Conduite d'une expérimentation sur les aspects perceptifs avec notamment, la poursuite des travaux de recherche en cours sur les mécanismes de perception de la vitesse propre : évaluation du rôle des vibrations dans la vitesse perçue
- Conduite d'une expérimentation sur l'inconfort ressenti face aux irrégularités de la chaussée (susceptible d'être un frein à l'usage du vélo)

¹Thèse INSA-PSA (Amari, 2009) ; projet Shake mené en Suède (Ahlström et al., 2012) ; projet ANR Roadsense (2011-2013).

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

- Base de données de signaux vibratoires
- Evaluation des dispositifs de mesure grand public (par comparaison au vélo instrumenté)
- Version améliorée du simulateur vélo, offrant une restitution des vibrations
- Seconde année : nouvelles connaissances relatives à l'apport des vibrations et à leur perception sur simulateur vélo
- Seconde année : nouvelles connaissances sur l'inconfort ressenti face aux irrégularités de la chaussée

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

Nom- Prénom	Dpt/Labo	Estimation h/mois / an	Principale contribution
Jean-Marie Prual	AME/EASE	3	Vélo instrumenté / campagnes d'essais
Pierre-Olivier Vandanjon			
Alex Coiret			
Sio-Song Ieng	COSYS/LEPSIS	2	Capteurs grand public / traitement et modélisation des données
Stéphane Caro	COSYS/LEPSIS	3	Simulateur vélo / restitution des vibrations / expérimentation : aspects perceptifs
Nadine Chaurand	AME/LPC	2	Expérimentation sur l'inconfort ressenti face aux irrégularités de la chaussée

Nous envisageons de faire appel, de manière ponctuelle, à l'expertise du laboratoire MAST/LAMES dans le domaine de l'auscultation de la chaussée.

Nous nous rapprocherons également de Francis Papon, référent au sein de l'Ifsttar pour les questions qui touchent au vélo.

Partenariats externes (*à minima le nom de l'organisme et le sujet sur lequel il contribue*)

Valorisations possibles

(Vis-à-vis des tutelles de l'Ifsttar, de collectivités, de partenaires institutionnels, académiques ou du monde économique, auprès de la société civile ou du grand public)

Version améliorée du simulateur vélo, tel que proposé pour le COP 2017-2021 (produit STTAR n°17)

Productions scientifiques relatives aux travaux de la deuxième année

Axe 4: Evaluation (*a priori*) des aménagements cyclables. Possible montage d'un projet européen avec le laboratoire EASE.



Vélo instrumenté - © Laboratoire EASE, Ifsttar



Simulateur vélo de l'Ifsttar - © Stéphane Caro, Ifsttar

CasqueRV&SimuMARCHE : Développement d'un simulateur de marche type casque de réalité virtuelle

Axe de rattachement : 1

Mots-clés (6 maxi) : casque de réalité virtuelle, simulateur de marche, navigation piétonne, traversée de rue, self-avatar, dispositif de locomotion

Responsable IFSTTAR Nguyen-Thong DANG, COSYS/LEPSIS

Autre Responsable Valérie GYSELINCK, AME/LPC

Durée : 2 ans (2016-2018)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'ifsttar (thématiques prioritaires, COP), connaissances préalables (références bibliographiques)*). (A titre indicatif, ½ page)

COP 2013-2016 : Axe 1, objectif A1 : « Méthodes innovantes de recueil de données [...] y compris des technologies grand public [...] »

COP 2017-2021 Axe 1 – Objectif 3, sous-objectif : " En améliorant les plateformes de simulation routière, (moto) cycliste et piétonne ".

Le LEPSIS développe depuis plusieurs années des simulateurs de marche, du grand simulateur de traversée de rue à Satory au mini-simulateur de navigation piétonne, pour étudier les comportements des piétons dans des zones critiques comme les intersections dans une ville, ou dans le choix d'itinéraires des piétons en ville. Ces simulateurs sont impliqués dans plusieurs projets de recherche du LEPSIS (COSYS) et du LPC (AME) (e.g, projet FSR SEPIA, projet PREDIT A-PIED, etc.). Le simulateur de traversée de rue de Satory offre un grand espace de déplacement (7,32m de longueur x 3,66m de largeur), couvre un large champ de vision (jusqu'à 300 degrés horizontalement (Dang & Vienne, 2016)) et permet une marche réelle des participants pour une simulation réaliste d'une situation de traversée de rue (Figure 1). Le mini-simulateur de navigation piétonne, à une échelle plus petite, est équipé d'un joystick comme interface de déplacement dans l'environnement virtuel et de trois écrans pour former un espace semi-immersif couvrant un champ de vision horizontal d'environ 150 degrés. Ces deux simulateurs, l'un permettant la marche naturelle et une bonne immersion, l'autre permettant de simuler la navigation piétonne mais moins immersif car ne permettant pas la marche, continuent à être utilisés dans des projets de recherche de l'IFSTTAR.

L'apparition récente de casques de réalité virtuelle (RV) performants ouvre une piste supplémentaire pour le développement des simulateurs de marche. Ces casques permettent une immersion visuelle totale avec des images stéréoscopiques, ce qui n'est pas possible avec nos simulateurs actuels. Technologiquement, les casques de RV ont été développés depuis longtemps déjà, mais présentaient certains défauts, i.e., une grande latence (délai entre le mouvement de tête et l'image diffusée dans le casque) et une mauvaise qualité d'images (champ visuel réduit et résolution pauvre). Leur utilisation a longtemps été limitée à cause de ces défauts. La nouvelle génération des casques de RV, ciblée grand public et performante (avec un champ visuel plus large et une latence minimale) réduit considérablement les symptômes de cinétose (mal du simulateur) et offre un confort certain aux utilisateurs pour un usage plus intensif. Par ailleurs, le développement de ces casques a stimulé celui des dispositifs de locomotion, l'un des éléments clés d'un simulateur de marche, à prix abordable. Ce sont des dispositifs permettant aux utilisateurs de se déplacer sur de grandes distances dans un environnement virtuel en utilisant les périphériques de contrôle de mouvement (e.g. joystick, pédale, etc.) ou bien en marchant réellement dans un petit espace ou sur place.

D'abord réservées aux jeux vidéo, ces avancées technologiques élargissent maintenant les applications potentielles du casque de RV pour la recherche en santé et en transport, à travers les jeux sérieux notamment. On peut par exemple citer l'usage des casques de RV pour l'entraînement des opérateurs à l'atterrissage des avions (Greunke & Sadagic, 2016) ou encore pour la conduite automobile (Aykent et al., 2014). L'usage des casques de RV pour simuler la marche est toutefois encore peu répandu. En Europe, on en trouve en Allemagne à l'Université Technique de Munich où

un casque Oculus Rift est utilisé en combinaison avec des caméras optiques pour simuler les situations de traversée de rue (Feldstein et al., 2016). Au Canada, on peut trouver un tel dispositif à l'université Guelph où un casque de RV et 8 caméras optiques sont utilisés pour constituer un simulateur de traversée de rue (Morrongiello et al., 2015). Ces deux simulateurs utilisent un système de capture de mouvement complexe avec plusieurs caméras optiques pour suivre / reproduire la marche des utilisateurs, suscitant toutefois un coût élevé de conception / utilisation. Parallèlement, des recherches sont menées afin de comprendre la validité de ces nouveaux dispositifs en termes de perception de distance, de vitesse et même de temps écoulé (Bruder & Steinicke, 2014 ; Kim et al., 2015 ; Sarah et al., 2015).

Le développement d'un simulateur de marche à l'IFSTAR utilisant un casque de RV pourrait largement bénéficier de toutes ces avancées technologiques et scientifiques. En plus d'être à bas coût et transportable, un simulateur de marche utilisant un casque de RV apporterait une immersion totale avec des images stéréoscopiques, deux éléments manquants dans nos simulateurs actuels. Avec les casques de RV, les participants seraient immergés dans un monde virtuel tout en se déplaçant sur une courte distance réelle, et tout en se voyant eux-mêmes au travers d'avatars. Côté pratique, la traversée de rue et la navigation piétonne en ville, deux types de situations simulées dans nos recherches actuelles, pourraient être reproduites dans un seul et même simulateur de marche. Mais avant son utilisation dans une visée de recherche, des questions méritent d'être étudiées, comme de savoir si son usage convient à tout type de population, comme les personnes âgées qui sont souvent la cible de nos travaux, et si son recours induit bien réalisme, immersion et confort, au travers de quelques tests utilisateurs.

Valeur ajoutée de la demande (*originalité de l'action, réponse à des attentes exprimées, potentiel nouvelles connaissances, verrou scientifique, innovation, optimisation de moyens ou de ressources, ...*) (A titre indicatif, ¼ page)

L'enjeu principal de cette initiative est de se doter d'un espace de réflexion pour réfléchir en amont aux besoins des chercheurs en matière de simulation pour la navigation piétonne et la traversée de rue. Les avancées technologiques récentes peuvent nous donner l'occasion d'acquérir de nouveaux systèmes de capture de mouvement (ex. Kinect) et/ou des dispositifs de locomotion à coût réduit (ex. 3DRudder, Virtuix Omni) pour une utilisation combinée avec les casques de RV. L'originalité et aussi le défi principal de cette action se trouvent dans l'adaptation de ces dispositifs destinés au grand public à nos exigences de recherche, pour la construction d'un simulateur de marche où la question de validité est primordiale : comment amener les utilisateurs à adopter un comportement naturel et sans acquis préalable dans un simulateur?

Côté technique, le rendu réaliste de l'avatar qui représente le sujet en mouvement (i.e., un self-avatar) et la mise en place d'une interface de locomotion intuitive qui facilite le déplacement dans un environnement virtuel seront parmi les verrous principaux de cette action. Côté scientifique, l'influence des différents facteurs : la stéréoscopie, l'immersion totale dans un casque, la perception de soi-même en situation dynamique au travers d'un self-avatar seront des questions de recherche importantes à approfondir pour de nouvelles connaissances consacrées à la validité de ce type de dispositif de réalité virtuelle.

Description de la démarche et de la structuration de l'action (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches, des différents sujets traités, ...*) (A titre indicatif, ½ page)

1. **Étape 1: Analyse des besoins fonctionnels du simulateur de marche** (*premier semestre de la première année*)
 - *Etat des lieux* : des moyens technologiques disponibles pour les simulateurs de marche type casque de réalité virtuelle.
 - *Séances de travail avec les utilisateurs finaux* : Revoir et développer les besoins fonctionnels du simulateur de marche en tenant compte des points forts / limites des moyens technologiques disponibles, ainsi que le retour d'expérience des simulateurs de navigation piétonne et de traversée de rue existants de Versailles-Satory.
 - *Rédaction* : Cahier des charges fonctionnel du simulateur de marche type casque.
2. **Étape 2: Conception du simulateur de marche type casque de RV** (*premier semestre de la première année*)
 - *Conception* du simulateur de marche utilisant un casque de RV (au point de vue logiciel et organisation des matériels).
 - *Rédaction* : Première partie du rapport technique final (conception du simulateur)

3. **Etape 3: Mise en place de la partie de traversée de rue du simulateur de marche – première partie** (*deuxième semestre de la première année*)
 - *Montage* des dispositifs pour le simulateur de traversée de rue
 - *Développement logiciel* : les composants logiciel de base pour la simulation de traversée de rue + une première version simple du self-avatar
4. **Etape 4: Mise en place de la partie de traversée de rue du simulateur de marche – deuxième partie + Evaluation utilisateur** (*premier semestre de la deuxième année*)
 - *Développement logiciel* : une version plus élaborée du self-avatar.
 - *Test utilisateur* : pour identifier/corriger les problèmes ergonomiques liés au développement technique du simulateur de traversée de rue.
 - *Rédaction* : Deuxième partie du rapport technique final (simulation de la traversée de rue)
5. **Etape 5: Mise en place de la partie de navigation piétonne du simulateur de marche + Evaluation utilisateur** (*deuxième semestre de la deuxième année*)
 - Intégration des dispositifs pour la simulation navigation piétonne.
 - *Développement logiciel* : les composants de base pour la simulation de navigation piétonne.
 - *Test utilisateur* : pour identifier/corriger les problèmes ergonomiques liés au développement technique du simulateur de navigation piétonne.
 - *Rédaction* : Troisième partie du rapport technique final (simulation de la navigation piétonne)

Suite envisagée

Il nous faut poursuivre les évaluations utilisateur, déjà initiées dans la deuxième année de cette initiative. Une autre initiative ciblée peut être envisagée où l'apport de la stéréoscopie et l'immersion visuelle totale produite par les casques de RV va être étudié de manière plus approfondie dans la perspective de la validité du simulateur de marche.

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

Livrables à la fin de la première année :

- Démonstrateur : une première version du simulateur type casque de RV avec la traversée de rue comme scénario

Livrables à la fin de la deuxième année :

- Démonstrateur : la version complète du simulateur de marche type casque de RV avec navigation piétonne et traversée de rue comme scénario.
- Rapport technique de la conception et de la réalisation du simulateur

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

Nom- Prénom	Dpt/Labo	Estimation h/mois par an	Principale contribution
Nguyen-Thong DANG	COSYS/LEPSIS	3	Conception et mise en place du simulateur
Fabrice VIENNE	COSYS/LEPSIS	1	Conception et mise en place du simulateur
Jean-Louis MONDET	AME/LPC	0.5	Conception et mise en place du simulateur
Aurélie DOMMES	COSYS/LEPSIS	0.5	Participation à la conception du simulateur en tant qu'utilisateur
Viola CAVALLO	COSYS/LEPSIS	0.5	Participation à la conception du simulateur en tant qu'utilisateur
Valérie GYSELINCK	AME/LPC	0.5	Participation à la conception du simulateur en tant qu'utilisateur

Partenariats externes (à minima le nom de l'organisme et le sujet sur lequel il contribue)

Nous sommes en contact régulier/en collaboration avec différentes laboratoires de recherche (au travers de nos projets) qui utilisent déjà les casques de RV dans leurs recherches, et nous bénéficierons de leur expérience.

- Centre de Réalité Virtuelle de la Méditerranée (CNRS - Université Aix-Marseille) : la construction du self-avatar pour un usage avec le casque de RV.
- Laboratoire Mémoire et Cognition (Université Paris 5) : l'utilisation du casque de RV pour une simulation de la navigation piéton.
- Université Technique de Munich (Allemande) : l'utilisation du casque de RV pour une simulation de la traversée de rue.

Valorisations possibles

(Vis-à-vis des tutelles de l'IFSTTAR, de collectivités, de partenaires institutionnels, académiques ou du monde économique, auprès de la société civile ou du grand public)

1. Sensibilisation pour la sécurité routière : En partant de l'opération nationale de sensibilisation des enfants aux dangers de la rue «Permis Piéton pour tous les enfants», pilotée et financée par la fondation MAIF et parrainée par la Sécurité Routière, ce simulateur de marche type casque de RV peut proposer un moyen ludique pour sensibiliser les enfants à la sécurité routière. Ce simulateur a l'avantage être transportable pour une installation aisée dans des écoles.
2. Entraînement du piéton enfant et âgé pour sécuriser/optimiser sa traversée de rue : Ce simulateur transportable peut être installé dans différentes structures d'accueil pour les personnes âgées ou bien dans des écoles pour diffuser des programmes d'entraînement pour aider les enfants et les personnes âgées à avoir un comportement sécuritaire dans sa traversée de rue



Figure 1: Dispositifs de simulation piétonne de l'IFSTTAR à Versailles Satory (à gauche : simulateur de traversée de rue, à droite : mini-simulateur de marche) - © LEPSIS

Références bibliographiques

Aykent, B., Yang, Z., Merienne, F. and Kemeny, A. (2014). Simulation sickness comparison between a limited field of view virtual reality head mounted display (Oculus) and a medium range field of view static ecological driving simulator (Eco2). *Driving Simulation Conference Europe 2014 Proceedings*, Sep 2014, Paris, France. Society for Modeling & Simulation International, pp.65-71, 2014.

Bruder, G., & Steinicke, F. (2014, November). Threefolded motion perception during immersive walkthroughs. In *Proceedings of the 20th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* (pp. 177-185). ACM.

Dang, N. T., & Vienne, F. (2016). IFSTTAR Street-Crossing Simulator: Technical Overview and Applications in Road Safety Research. DSC 2016 EUROPE VR.

Feldstein, I.; Dietrich, A.; Milinkovic, S.; Bengler, K. (2016). A Pedestrian Simulator for Urban Crossing Scenarios. In *Proceedings of the 13th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems*, Kyoto, Japan.

Greunke, L., & Sadagic, A. (2016). Taking Immersive VR Leap in Training of Landing Signal Officers. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 22(4), 1482-1491.

Jason Orlosky, Markus Weber, Yecheng Gu, Daniel Sonntag, and Sergey Sosnovsky. 2015. An Interactive Pedestrian Environment Simulator for Cognitive Monitoring and Evaluation. In *Proceedings of the 20th International Conference on Intelligent User Interfaces Companion (IUI Companion '15)*. ACM, New York, NY, USA, 57-60.

Kim, J., Chung, C. Y., Nakamura, S., Palmisano, S., & Khuu, S. K. (2015). The Oculus Rift: a cost-effective tool for studying visual-vestibular interactions in self-motion perception. *Frontiers in psychology*, 6.

Morrongiello, B.A., Corbett, M., Milanovic, M., & Pyne, S. (2015). Innovations in using virtual reality to study how children cross streets in traffic: evidence for evasive action skills. *Injury Prevention*, 21, 266-270

Sarah H. Creem-Regehr, Jeanine K. Stefanucci, William B. Thompson, Nathan Nash, and Michael McCardell. 2015. Egocentric distance perception in the Oculus Rift (DK2). In *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception (SAP '15)*. ACM, New York, NY, USA, 47-50.

ELECTROCAP : Analyse du comportement électrothermique des supercondensateurs de forte capacité lié aux conditions d'usage critiques pour les applications de stockage embarqué et urbain.

Axe de rattachement : Axe 1

Mots-clés (6 maxi) : Supercondensateurs, caractérisation électrothermique, comportement physique, cycles d'usage, modélisation, stockage

Responsable IFSTTAR Alexandre DE BERNARDINIS (CR1 HDR)
COSYS, SATIE TEMA

Autre Responsable Hamid GUALOUS, Professeur, LUSAC (EA 4253), Université de Caen

Durée : 2 ans (2017-2018)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar (thématiques prioritaires, COP), connaissances préalables (références bibliographiques)*). (A titre indicatif, ½ page)

Le problème du stockage de l'électricité est un enjeu crucial pour notre société. Le stockage est de plus en plus présent dans de nombreux domaines de la société (transport terrestre électrique, stationnaire résidentiel, aéronautique...). Les problématiques de la récupération d'énergie (de freinage par ex. pour les véhicules électriques, les trains) permettent d'augmenter l'efficacité énergétique des systèmes énergétiques, et de réduire les consommations et les émissions. Les efforts de recherche académique et industrielle ont permis des avancées majeures en termes d'élaboration de matériaux innovants et dispositifs avec des caractéristiques intéressantes pour des applications de transports publics urbains (tramways, bus électriques, etc.). De manière générale, les travaux actuels sur les éléments de stockage par super-condensateurs ont été orientés soit vers des problématiques matériaux et la compréhension des phénomènes électrochimiques pour apporter des solutions technologiques, soit vers des problématiques de comportement vis-à-vis de vieillissements. Les premiers cherchent à augmenter les densités d'énergie et de puissance des cellules, les seconds à quantifier les durées de vies suivant l'utilisation. Cependant, certaines distributions de grandeurs physiques jouent un rôle fondamental dans le comportement en fonctionnement et leur connaissance s'avérerait être cruciale pour la sécurité et les risques liés à leur utilisation. Cela est d'autant plus vrai que le dispositif est de très forte capacité (plusieurs milliers de Farads) et qu'il est amené à absorber et à restituer des pics de courants élevés. C'est le cas par exemple des champs de températures, de densités de courants et de pressions internes dans l'ensemble de la structure cellulaire. Les effets thermiques qui interviennent au cours des phénomènes de charges et décharges ont pour effet d'élever les températures et modifier les propriétés locales au sein d'une cellule. Ces champs de températures ont elles-mêmes tendance à modifier les champs de pression pouvant aller jusqu'à des déformations, voire des perçages dans les cas ultimes. La connaissance des distributions de températures et de pressions est d'autant plus importante que l'électrolyte organique généralement utilisé (acétonitrile) est plutôt nocif et réduit la plage d'utilisation en température (-30°C à 70°C). Les objectifs du projet sont de caractériser finement de manière expérimentale et de développer des modèles prédictifs des champs tridimensionnels de température, de pression et de densité de courant au sein des cellules élémentaires.

Pour l'IFSTTAR, par le biais du laboratoire SATIE / TEMA, le projet vise à renforcer les travaux sur la problématique du stockage, qui est une des thématiques prioritaires du département COSYS – H2025 et aura des interactions avec les activités des projets de l'ITE (Institut de la Transition Energétique) Efficacy sur le stockage (Pôle gare) et la production décentralisée d'énergie.

Références bibliographiques :

- I. Voicu, H. Louahlia, H. Gualous, R. Gallay. *Thermal Management and forced air-cooling of Supercapacitor Stack. Applied Thermal Engineering*, 85, pp. 89-99, 2015.

- H. Gualous; H. Louahlia; R. Gallay; 'Supercapacitors characterization and thermal modelling with reversible and irreversible heat effect' *IEEE Transactions on Power Electronics*, Volume: 26, Issue: 11, Publication Year 2011, Pages 3402 - 3409.
- Monzer Al Sakka, Hamid Gualous, Joeri Van Mierlo 'Thermal modeling and heat management of supercapacitor modules for vehicle applications' *Journal of Power Sources*, Vol. 194, Publication Year 2009, pages. 581 – 587.
- H. Gualous, H. Louahlia-Gualous, R. Gallay, 'Thermal modelling and experimental characterization of supercapacitor for hybrid vehicle applications' *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 45, No. 3, Publication Year 2009, pages. 1035 – 1044.
- A. Hammar, P. Venet, R. Lallemand, G. Coquery, G. Rojat, "Study of Accelerated Aging of Supercapacitors for Transport Applications", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol.57, N°12, pp.3972-3979, dec. 2010.
- S. Butterbach, B. Vulturescu, G. Coquery, Ch. Forgez, G. Friedrich, "Design of a Supercapacitor-Battery Storage System for a Waste Collection Vehicle", *IEEE VPPC2010, Lille*, Sept. 2010.
- O. Caumont, L. Brégéon, M. Diguët, G. Coquery, R. Lallemand, F. Demange, J. Kauv, "9000F supercapacitor for energy storage system in future urban railway transportation systems" *ESSCAP'2010 4th European Symposium on Supercapacitors & Applications*, October 21-22, 2010 Bordeaux.
- G. Coquery, R. Lallemand, F. Demange, J. Kauv. "High power EDLC characterization and reliability tests for light railway applications", *Energy Storage Technology for Railway Applications Seminar*, oct. 2011, Osaka (Japon).
- B. Vulturescu, G. Coquery, A. De Bernardinis, R. Lallemand, *Traction braking energy management for urban light railway vehicles by using supercapacitors: Technology and adapted simulation tools*, *SPRITS'2005, International Conference on SHIP PROPULSION AND RAILWAY TRACTION SYSTEMS*, 4-6 October 2005, Bologna (Italie).

Valeur ajoutée de la demande (*originalité de l'action, réponse à des attentes exprimées, potentiel nouvelles connaissances, verrou scientifique, innovation, optimisation de moyens ou de ressources, ...*) (A titre indicatif, ¼ page)

La problématique scientifique à laquelle tente de répondre cette proposition est la compréhension des phénomènes physiques existants au sein des cellules de supercondensateurs de forte capacité, en particulier liés aux applications de transport, de récupération (véhicule électrique ou freinage des trains), ou de stockage urbain, avec comme objectif de mieux connaître et appréhender les risques d'utilisation et permettre de proposer des règles de sécurité. Le projet proposé devrait donc permettre de mettre au point des outils de compréhension, et de prévision du comportement de ces composants vis-à-vis de la sécurité liée à l'usage. L'approche est aussi bien justifiée pour des cellules neuves que pour des dispositifs vieilliss après cyclage de puissance. Ces composants, de par leurs propriétés dynamiques seront incontournables dans les futures applications qui requièrent la gestion de fortes variations de puissance dans les domaines de l'embarqué ou du stationnaire résidentiel. L'originalité de la recherche réside aussi dans l'exploration des performances liées à la grande capacité de ces composants, jusqu'à présent peu de retours d'expérience nous sont parvenus de l'utilisation et du comportement de ces composants à forte densité de puissance. Le projet ambitionne certes l'amélioration des connaissances, mais les résultats des travaux devraient bénéficier à termes aux industriels fabricants de supercondensateurs. Du point de vue de la modélisation, l'aboutissement de modèles théoriques prédictifs du comportement des supercondensateurs à grande capacité permettra de disposer d'outils évolués de simulation de la gestion d'énergie des systèmes complexes basés multi-sources, et d'aller jusqu'à mettre en œuvre des plateformes temps réel pour le suivi en ligne du comportement de ces dispositifs.

Le potentiel d'innovation de la recherche concernera l'analyse du comportement physique des supercondensateurs de forte capacité et la durée de vie pour des contraintes en tension critiques : lors d'un fonctionnement en décharge profonde par exemple, jusqu'à zéro de tension. Ces situations de fonctionnement peuvent induire des dégradations au niveau des couches de matériaux des cellules qu'il faudra parvenir à diagnostiquer (caractère réversible ou irréversible). Par ailleurs, l'effet du temps de repos (ou de relaxation) sur la durée de vie des modules sera également un facteur à analyser.

L'influence de la température critique de fonctionnement ($> 50^{\circ}\text{C}$) sur le comportement et la durée de vie du composant sera également une voie de recherche privilégiée, en particulier vis-à-vis de la tenue des matériaux d'électrolyte polymère et des interfaces électrode carbone / électrolyte. Ces investigations doivent nous apporter une connaissance renforcée des mécanismes de vieillissement de ces composants, de l'estimation de leur durée de vie sous contraintes de fonctionnement critique, et d'enrichir la modélisation.

Description de la démarche et de la structuration de l'action (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches, des différents sujets traités, ...*) (A titre indicatif, ½ page)

Sur le plan expérimental, des caractérisations électriques seront mises en œuvre avec des méthodes utilisées dans le domaine des électro-chimistes (courbes de polarisation, spectrométrie d'impédance électrochimique, voltammétries cyclique et linéaire...). Des méthodes innovantes seront employées pour caractériser les distributions spatiales des courants dans la structure à l'aide de moyens de mesures de champs proches élaborés spécifiquement. Des thermographies à l'aide d'une caméra IR pourront fournir des cartographies thermiques de surface sur les cellules. Des mesures calorimétriques seront également mises en œuvre sur des cellules en fonctionnement afin de caractériser finement les pertes thermiques et corroborer les mesures par caméra. A cette fin, des micro-capteurs de température pourront être disposés sur l'enveloppe extérieure et obtenir des cartographies discrètes de température. Ces mesures de températures devront pouvoir valider les modèles.

Sur un plan théorique, des modèles électrothermiques de cellules seront développés et permettront de prévoir les comportements couplés entre les densités de courants et la température locale au sein des cellules et les déséquilibres dans des assemblages d'éléments. Les phénomènes mis en jeu étant fortement couplés, des modèles analytiques seront développés dans un premier temps. Ceux-ci devront représenter le comportement de ces dispositifs et permettre de prendre en compte des modèles complexes des paramètres influents et les effets de la température mais ceux aussi éventuels du vieillissement. Des modèles fins multi-physiques à l'aide d'outils éléments finis (Comsol ou Ansys) seront mis en œuvre dans un second temps pour prendre en compte de manière plus fine les géométries des systèmes étudiés.

Les travaux seront dans un premier temps réalisés sur des cellules neuves de grande capacité en fonctionnement, puis seront appliqués sur des éléments identiques qui auront été vieillis de différentes manières représentatives de celui rencontré en usage applicatif (traction/freinage ou encore récupération d'énergie). Cela est rendu nécessaire car avec l'usage et le vieillissement, les caractéristiques se modifient nécessairement et les risques d'utilisation évoluent également. Il a déjà été démontré dans des travaux académiques antérieurs que des composants cyclés finissaient par se percer sous l'effet des pressions internes.

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

En termes de structuration académique, la participation des deux laboratoires partenaires dans les réseaux académiques de la SEE (Société de l'électricité, de l'électronique), aux futures journées des JCGE (Jeunes Chercheurs en Génie Electrique), mais aussi la participation au niveau européen à des échanges académiques ou colloques scientifiques au sein des actions européennes COST (European Cooperation in Science & Technology).

Nous mentionnons également l'objectif de réponse à un AAP du type ANR à l'horizon 2017 / 2018 avec le laboratoire partenaire LUSAC ainsi que d'autres laboratoires académiques dans le domaine du stockage, et l'extension avec un possible partenaire industriel français de supercondensateurs.

Durée effective de la production de la recherche : Sur deux ans :

Recherche opérationnelle (environ 2x 6 mois : sur 2017 et 2018) : La recherche consistera en la définition des méthodologies de caractérisation électrothermique expérimentales à mettre en œuvre pour les supercondensateurs, l'analyse (post traitement) des données d'expérience, et la réalisation de modèles comportementaux.

Valorisation des résultats par des publications (environ 6 mois) : communications à des conférences, revues, brevet.

Partenariats internes et externes

Partenariats externes *(à minima le nom de l'organisme et le sujet sur lequel il contribue)*

Un partenariat est envisagé avec le laboratoire LUSAC (EA 4253) de l'Université de Caen / Basse Normandie dirigé par le Professeur Hamid Gualous. Il a été créé en 1994 avec la volonté de regrouper des compétences pluridisciplinaires afin de développer des travaux de recherche dans le domaine de l'énergie et des matériaux. Le laboratoire LUSAC rassemble des compétences complémentaires dans les domaines scientifiques de la thermique et de la mécanique des fluides, des matériaux pour l'énergie et des systèmes énergétiques électriques à base des énergies alternatives (énergies marines renouvelables, pile à combustible, stockage de l'énergie électrique...). L'axe Systèmes Énergétiques Écoulements et Transferts (SEET) du laboratoire vise le développement de connaissances sur la gestion et le stockage de l'énergie électrique, l'efficacité énergétique, la microfluidique diphasique, les moyens d'intensification des transferts thermiques, la mécanique des fluides.

Dans le domaine du stockage de l'énergie le LUSAC étudie la caractérisation, la modélisation, le vieillissement et le diagnostic des batteries lithium et des supercondensateurs. Les problématiques étudiées portent sur les aspects fondamentaux ou appliqués dans ce domaine. La spécificité par rapport aux études menées au niveau national dans ce domaine réside dans le fait qu'au LUSAC il y a une équipe en génie électrique une équipe en thermique. Ceci constitue un atout majeur pour la modélisation électrothermique et le management thermique des éléments de stockage. L'apport de la coopération scientifique avec le LUSAC sur le volet expérimental (caractérisations électro-thermiques) mais aussi modélisation comportementale multi-physique des supercondensateurs à forte capacité permettra de renforcer et rendre complémentaires les approches scientifiques d'analyse, mais aussi sera le tremplin vers de futurs sujets de thèse en commun ou de réponse aux appels d'offre de projets sur le stockage énergétique.

Valorisations possibles

(Vis-à-vis des tutelles de l'Ifsttar, de collectivités, de partenaires institutionnels, académiques ou du monde économique, auprès de la société civile ou du grand public)

En termes de valorisation scientifique, le projet visera la production d'articles dans des revues internationales sur l'analyse des résultats et la modélisation, ou de chapitre d'ouvrage ou d'état de l'art sur le stockage énergétique. Les travaux pourraient donner lieu à un dépôt de brevet. Pour le grand public : Démonstrations scientifiques et didactiques pour les étudiants lors de journées portes ouvertes, lors des visites de sites IFSTTAR, ou séminaires scientifiques.

Supercondensateurs à forte capacité et banc d'essais de caractérisation et de cyclage à IFSTTAR SATIE-TEMA



CaTiMouS : Caractérisation des Tissus Mous biologiques Superficiels pour la prédiction de l'inconfort dans les transports

Axe de rattachement : Axe 1

Mots-clés (6 maxi) : Biomécanique, tissus mous superficiels, inconfort, blessures superficielles, micro-circulation, physiologie

Responsable IFSTTAR Laura DUBUIS, TS2, LBMC UMR_T 9406 IFSTTAR/UCBL

Autres Responsables Sonia DUPREY, Mélanie OTTENIO, Michelle CARDOSO, Philippe BEILLAS, Stéphane NICOLLE, TS2, LBMC UMR_T 9406 IFSTTAR/UCBL

Durée : 2 ans (2017-2018)

Enjeux et objectifs

Problématique scientifique

Les tissus mous biologiques superficiels tels que la peau, les tissus adipeux ou encore les muscles superficiels sont les principaux constituants de notre corps à interagir avec notre environnement par contact. Tout au long de notre vie, ils subissent des contraintes, se déforment et sont endommagés. Une modélisation bio-fidèle de ces tissus permettrait de comprendre et prédire certains phénomènes rencontrés au quotidien comme l'inconfort ou les blessures superficielles qui dépendent de la déformation de ces tissus. Cependant, la réponse biomécanique obtenue par modélisation est très sensible aux propriétés mécaniques des tissus. Il est donc nécessaire d'implémenter les propriétés adéquates aux tissus modélisés. Bien que la littérature soit relativement riche en ce qui concerne l'identification des propriétés mécaniques des tissus mous, il reste encore plusieurs parties du corps (périnée, dessous des cuisses) ainsi que différentes configurations de chargements (chargements dynamiques ou statiques de longue durée) peu étudiées. Par ailleurs, le caractère multicouche des tissus superficiels complique l'analyse. En outre, la prise en compte du système micro-vasculaire dans la modélisation des tissus superficiels est incontournable pour les applications envisagées. Des changements dans la circulation sanguine sont constatés lors de la compression des cuisses et des fessiers due à une assise prolongée. De récents travaux ont montré que ce changement de vascularisation était à l'origine de la cause de la modification des propriétés mécaniques des tissus mous [Gefen, 2008].

Par conséquent, il est donc nécessaire d'effectuer une caractérisation plus spécifique des tissus superficiels, incluant une quantification physiologique *in vivo*, pour le développement de nos modèles numériques.

Enjeux sociétaux concernés

La caractérisation mécanique des tissus mous biologiques superficiels et son intégration dans les modèles numériques permettront à terme de répondre à différents enjeux de société.

Une approche permettant l'étude des chargements menant à des dysfonctionnements de la circulation sanguine au sein des tissus est pertinente dans le cas de l'évaluation de l'inconfort d'assise sur siège ou sur vélo ou de l'évaluation des risques d'escarres liés à l'alitement ou l'assise prolongés. Si on considère le confort des selles de vélo lors du pédalage, les tissus du périnée sont sollicités en compression ainsi qu'en cisaillement. De plus, les sur-contraintes prolongées réduisent la circulation sanguine au périnée ce qui peut causer de graves troubles de sensibilité et d'impuissance chez les hommes. En effet, près de 60% des pratiquants réguliers [Leibivitch *et al.*, 2005] sont sujets à des engourdissements, irritations, nodules voire impuissance à cause des interactions du périnée avec la selle de vélo. En outre, les pressions internes dans les tissus réduisent la circulation des fluides, notamment du sang [Goossens *et al.*, 1994, 2009]. En effet, des études cliniques [Linder-Ganz *et al.*,

2004 ; Gefen, 2008] ont mis en évidence que les pressions importantes dans les tissus profonds pendant de longues durées causent un raidissement des tissus musculaires et limitent la circulation sanguine causant ainsi une nécrose des cellules du fait du manque d'oxygénation des tissus conduisant à des escarres. Il est donc nécessaire d'être capable de prédire l'obstruction de la microcirculation dans les tissus pour donner des critères objectifs de risque de lésion. Or, la qualité de la microcirculation et des propriétés mécaniques de la peau dépendent fortement de l'âge ainsi que des conditions d'obésité ou non du sujet. Ce sera donc des pistes à approfondir.

Ce projet aura aussi pour but d'évaluer des technologies innovantes telles que la bio-impédance et le NIRS (Near InfraRed Spectroscopy). L'impédancemétrie est une technologie très récemment utilisée dans le milieu médical et sportif. En plus de donner des indications sur l'hémodynamique, nous envisageons d'utiliser la bio-impédance comme un indicateur objectif de l'inconfort lors d'essais de longue durée (plusieurs heures). Nous souhaitons comparer ces résultats avec ceux obtenus avec le NIRS qui permet d'informer sur l'oxygénation des tissus. Cette comparaison nous permettra de choisir la méthode la plus adaptée pour définir un critère d'inconfort et de détérioration précoce des tissus. L'échographie ultra-rapide et l'élastographie ultrasonore seront aussi évaluées pour quantifier des déplacements au sein des tissus et les propriétés mécaniques des tissus sous chargement. L'IRM sera aussi envisagée pour obtenir des champs de déplacements au sein des tissus.

Références

- Gefen, A. (2008). Bioengineering Models of Deep Tissue Injury. *Advances in Skin & Wound Care*, 21(1), 30-36.
- Goossens, R. H. M., Zegers, R., Dijke, G. A., & Snijders, C. J. (1994). Influence of shear on skin oxygen tension. *Clinical physiology*, 14(1), 111-118.
- Goossens, R. H. M. (2009). Fundamentals of pressure, shear and friction and their effects on the human body at supported postures. In *Bioengineering Research of Chronic Wounds* (pp. 1-30). Springer Berlin Heidelberg.
- Leibovitch, I. & Mor, Y. (2005). The vicious cycling: bicycling related urogenital disorders. *European Urology*, 47(3), 277-287.
- Linder-Ganz, E., & Gefen, A. (2004). Mechanical compression-induced pressure sores in rat hindlimb: muscle stiffness, histology, and computational models. *Journal of Applied Physiology*, 96(6), 2034-2049.

Objectifs

1. Effectuer des expériences *ex vivo* et *in vivo* pour caractériser les propriétés mécaniques des différents tissus mous biologiques superficiels (peau, tissus adipeux et muscles superficiels).
2. Coupler les expériences *ex vivo* et *in vivo* avec des mesures physiologiques (bio-impédance, NIRS) pour obtenir des informations d'ordre physiologique et pour identifier les nouvelles technologies les plus appropriées pour l'estimation de l'inconfort.
3. Identifier les propriétés mécaniques à l'aide d'une méthode inverse et analytique pour les implémenter dans les modèles existants.

Articulations avec le COP et intégration dans la stratégie du LBMC et du département TS2

Ces travaux s'intègrent dans l'Axe 1 du COP, ils contribuent au développement de modèles, par des approches multi physiques, pour la simulation virtuelle.

Au niveau du LBMC, cette action s'inscrit dans la thématique transversale « Caractérisation de matériaux à comportement complexes » du projet scientifique 2016-2020.

Également, cette étude pourra s'intégrer dans le projet fédérateur du département TS2 sur « les modèles et les simulateurs pour la mobilité et la sécurité de demain ».

Valeur ajoutée de la demande

Originalité de l'action et innovation

- Lien entre la biomécanique (contrainte, déformation, rupture) et la physiologie (hémodynamique, bio-impédance).
- Intérêt interdisciplinaire (biomécanique, biologie, physique, imagerie).
- Caractérisation de matériaux biologiques spécifiques nécessaire en modélisation biomécanique.
- Exploitation de nouvelles technologies (Bio-impédance, NIRS...).

Verrous scientifiques

- Etablir le lien entre les contraintes dans les tissus et la bio-impédance et la NIRS.
- Approche analytique pour déterminer les caractéristiques matériaux à partir de données d'indentation.
- Sensibilité des modèles.
- Modélisation des phénomènes micro-vasculaires.

Optimisation de moyens et de ressources

Nous pouvons souligner que ce projet favorise l'échange inter-équipes du laboratoire puisque les équipes de *biomécanique des chocs* et de *biomécanique pour l'ergonomie* sont impliquées. En effet, ce projet permet de mutualiser les compétences de chacun, que ce soit en expérimental ou en numérique (voir la principale contribution de chacun dans le tableau des partenariats internes).

Description de la démarche et de la structuration de l'action

Expérimentations nécessaires pour construire puis valider les modèles numériques (WP1 et WP2).

- WP1 : Réalisation d'expérimentations *ex vivo* (mécaniques et physiologiques).

Des essais traditionnels de mécanique (indentation, essai uni-axial, gonflement) seront réalisés sur des tissus humains issus d'un don de corps à la science, en fonction de l'état l'art. Ces essais permettront d'obtenir les données nécessaires pour caractériser les paramètres mécaniques. Également, nous souhaitons tester la bio-impédance ainsi que le NIRS sur des tissus biologiques au repos et sous chargement mécanique.

- WP2 : Réalisation d'expérimentations *in vivo* (mécaniques et physiologiques).

Ces essais *in vivo* consisteront à utiliser l'élastographie, la bio-impédance et le NIRS. Cette étape constitue un des aspects les plus innovants de ce projet. De plus, une étude préliminaire réalisée cette année montrait des résultats encourageants sur le lien entre la durée de l'assise et l'évolution de l'impédance des tissus (stage de DUT mesures physiques du LBMC en 2016).

- WP3 : Modèles numériques et analytiques pour l'identification des propriétés mécaniques.

En utilisant les données issues du WP1, des modèles éléments finis (EF) seront créés pour identifier les propriétés mécaniques et d'anisotropie à l'aide d'une méthode inverse. En parallèle, une méthode analytique permettant d'identifier les propriétés mécaniques hyper-élastiques de certains essais expérimentaux (indentation par exemple) sera développée.

Productions prévues

Une publication sur l'identification par méthode inverse et méthode analytique, avec une description des méthodes expérimentales, est prévue. Les paramètres identifiés y seront donnés dans les résultats. (2018)

Une publication sur le lien entre les mesures de bio-impédance et l'inconfort pour des assises à long terme est également envisagée, en 2018, selon les résultats obtenus.

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

Nom - Prénom	Équipe	Estimation h/mois par an	Principale contribution
DUBUIS Laura (porteuse)	Ergo	3 hm/an	EF / Expérimental <i>in vivo</i> et <i>ex vivo</i>
BEILLAS Philippe	Choc	0,5 hm/an	Expérimental <i>in vivo</i> (élastographie)
CARDOSO Michelle	Ergo	1 hm/an	Expérimental <i>in vivo</i> (NIRS)
DUPREY Sonia	Ergo	2 hm/an	EF / Expérimental <i>in vivo</i> (bio-impédance)
NICOLLE Stéphane	Choc	0,5 hm/an	Expérimental <i>ex vivo</i>
OTTENIO Mélanie	Choc	1 hm/an	Expérimental <i>ex vivo</i> / modèle analytique
SAVONNET Léo (doc)	Ergo	1 hm/an	EF / Expérimental <i>in vivo</i>
SHIRZADI Mehdi (doc)	Ergo	1 hm/an	EF / Expérimental <i>ex vivo</i>

Partenariats externes

Partenaires académiques :

- The Occupational Biomechanics Lab (OPL), University of New Brunswick Fredericton, Canada (pour le NIRS)
- Le Laboratoire de biologie tissulaire et d'ingénierie thérapeutique, UMR 5305 UCBL/CNRS (expertise vascularisation et escarres)

Partenaire clinicien : Matthieu MULLER, Gynécologue à l'hôpital de Morlaix, créateur du centre d'expertise Bretagne du sport-santé au féminin.

Valorisations possibles

Les résultats concernant les essais de chargement de longues durées *in vivo* pourraient permettre d'obtenir de nouveaux critères d'inconfort basés sur la pression appliquée et la durée.

Ces résultats pourraient être valorisés par leur intégration dans le modèle développé par Léo SAVONNET pour *Zodiac Seats France* (Thèse Cifre de Léo SAVONNET) qui sera dédié à la prédiction de l'inconfort pour de l'assise de longue durée ; et pourront être valorisés lors de collaborations futures avec des constructeurs de sièges automobiles ou aéronautiques.

De la même manière, ces résultats pourront être exploités pour de la thèse de Mehdi SHIRZADI (thèse IFSTTAR) sur l'origine des sources d'inconforts des selles de vélo.

En effet, cette étude préliminaire permettra à Laura DUBUIS de proposer un projet innovant à l'ANR et à l'ERC l'année prochaine en tant que jeune chercheuse.

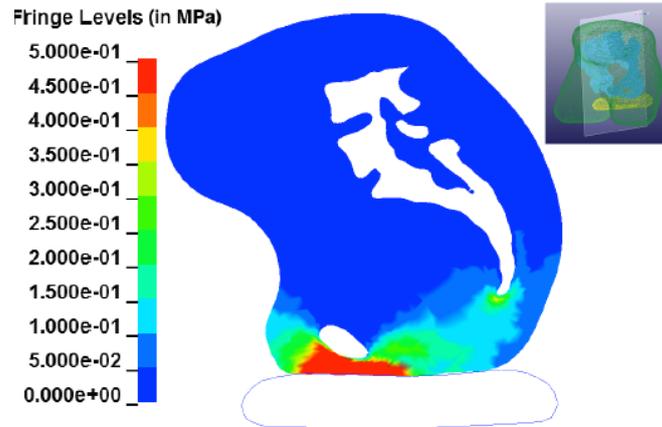


Figure 1 Modèle éléments finis de l'interaction selle de vélo avec le périnée, contraintes dans les tissus mous, coupe sagittale.

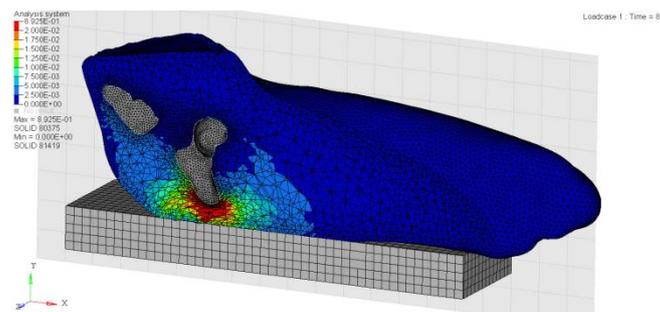


Figure 2 Modèle éléments finis de l'ensemble fessier/cuisses pour l'évaluation de l'inconfort des sièges d'avion, contraintes dans les tissus mous, coupe sagittale. - © LBMC, IFSTTAR/UCBL

Fos : Fissuration des Os

Axe de rattachement : axe1

Mots-clés (6 maxi) : Fissurations osseuses, méthodes statistiques, caractérisation expérimentale, microstructure, propriétés mécaniques

Responsables IFSTTAR Yves GODIO-RABOUTET, TS2, LBA
TAILHAN J.-L., MAST, EMMS

Autre Responsable Nom et organisme
Axe de rattachement : 1
Durée : 2 ans (2017-2018)

Enjeux et objectifs

Si, dans le contexte global de la thématique « Homme Virtuel », le développement de modèles numériques des comportements mécaniques des os est un enjeu évident, les rendre **véritablement prédictifs** des modes de fracture et de la **quantification** et de la **caractérisation** fine des dommages est un objectif majeur de cet enjeu.

Un projet original de collaboration inter-départements (TS2/LBA et MAST/EMMS) a été initié et consiste à s'inspirer des stratégies probabilistes multi-échelles de modélisation, développées pour les structures en composites cimentaires, pour rendre plus fiable, robuste et précise la modélisation des processus de fracture des os. Notons que, dans le cas des structures en béton ([2], [3],...), l'apport de ces stratégies a permis à l'utilisation des modèles numériques de s'ouvrir à de nouvelles perspectives dans divers domaines (durabilité des structures, nucléaire, sismique, etc. ...).

Une étude bibliographique [1], terminée récemment (juillet 2016), a montré que, même si les natures de ces matériaux sont fondamentalement différentes, certaines similitudes peuvent être dégagées : notamment que les processus de rupture des deux matériaux sont des processus de fissuration fortement influencés par l'hétérogénéité et la structure interne des matériaux; que dans ces processus, les ruptures locales fragiles et l'hétérogénéité conduisent à une sensibilité aux effets d'échelles; que les comportements qui en découlent sont fortement aléatoires. Il en résulte que la stratégie de développement élaborée pour la modélisation probabiliste de la fissuration des composites cimentaires est potentiellement adaptable à la modélisation de la rupture des os.

Le projet, présenté ici, se propose de développer :

- (1) **une stratégie expérimentale d'obtention de données exploitables par les modèles probabilistes de fissuration des os,**
- (2) **une base de données** couplant caractérisation mécanique/caractérisation structurale de tissus osseux (avec comme objectif de caractériser le rôle de l'hétérogénéité dans le processus de rupture).

Valeur ajoutée de la demande

L'étude bibliographique évoquée ci-dessus a également montré l'importance fondamentale de la caractérisation expérimentale des propriétés de résistance (ou ténacité) à la création et à la propagation de fissure dans le tissu osseux, en lien direct avec la structure interne du matériau et son hétérogénéité. Cette caractérisation est essentielle à la définition de modèles d'Hommes Virtuels prédictifs des traumatismes dans les tissus osseux.

En outre, actuellement, très peu d'approches abordent dans leurs développements numériques ce lien entre caractéristiques structurales internes et comportement mécanique ainsi que les aspects probabilistes liés à la très forte variabilité des propriétés matériau. La stratégie, entièrement originale nous distingue des approches proposées jusqu'ici pour modéliser l'os.

Actuellement, l'un des principaux verrous (condition sine qua non des développements numériques ultérieurs) est la constitution d'une base de données expérimentale établissant un lien entre connaissance et caractérisation de la microstructure interne du matériau et de ses propriétés mécaniques et leur variabilité.

Description de la démarche et de la structuration de l'action

Le projet, dont l'objectif est l'obtention de données exploitables par les modèles de fissuration probabiliste du tissu osseux, est structuré en deux sujets :

- Sujet 1 : Elaboration de la stratégie d'obtention des données :
 - o (a) Définition d'un programme expérimental (choix des sujets anatomiques, choix des tissus à caractériser et à tester, définition des essais de caractérisation de la microstructure interne du tissu, définition des essais et des moyens de mesures pour la caractérisation mécanique des tissus concernés)
 - o (b) Elaboration et mise en œuvre de partenariats (sur la base de contacts déjà établis avec...)
- Sujet 2 : Constitution de la base de données expérimentales :
 - o (a) Réalisation des montages spécifiques d'essais (si nécessaire), réalisation des campagnes d'essais.
 - o (b) Analyse des résultats obtenus et valorisation.

Compte tenu des données disponibles et des verrous attendus nous privilégierons dans un premier temps l'expérimentation sur des os longs.

Productions prévues

Le produit majeur de ce projet est la constitution d'une base de données expérimentale mettant en exergue le lien entre microstructure interne et propriété(s) mécanique(s) des tissus osseux. (2018)

Le projet vient en appui d'une thèse sur la modélisation probabiliste de la fissuration des tissus osseux. Un premier sujet de thèse ITPE a été proposé sur 2016. Une nouvelle demande de financement de thèse sera déposée à l'occasion de la programmation 2017.

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

Nom- Prénom	Dpt/Labo	Estimation h/mois par an	Principale contribution
TAILHAN JL	MAST/EM MS	2	Pilotage projet – Sujet 1(a) et Sujet 2(b)
GODIO-RABOUTET Y	TS2/LBA	2	Pilotage projet – Sujet 1(a-b) et Sujet 2 (a-b)
ARNOUX PJ	TS2/LBA	0.5	Sujet 1(a) et Sujet 2(b)
THOLLON L	AMU/LBA	1	Sujet 1 (a-b) et Sujet 2(b)
ROSSI P	MAST/LBA	0.5	Sujet 1(a) et Sujet 2(b)

Partenariats externes (à minima le nom de l'organisme et le sujet sur lequel il contribue)

Ce projet de recherche s'articule sur des coopérations existantes avec l'équipe de l'École de Technologie Supérieure de Montréal et de Polytechnique Montréal sur la modélisation multi-échelle du comportement mécanique d'une vertèbre ou encore la modélisation des phénomènes d'ostéogénèse imparfaite sur les os longs.

A l'échelle locale, les collaborations avec le Laboratoire d'Anthropologie bio-culturelle, Droit, Éthique & Santé (UMR 7268, ADES) et les services d'imagerie permettront de nous appuyer dans le processus de caractérisation de l'architecture des tissus aux échelles macroscopiques, mésoscopiques et microscopiques.

Valorisations possibles

Les résultats de ce projet (base de données expérimentale et démarche d'obtention) feront bien évidemment l'objet d'articles dans des revues scientifiques internationales avec comité de lecture et de communications à des congrès scientifiques. (2018).

Dans un deuxième temps, ces résultats expérimentaux seront exploités comme données d'entrée de modèles numériques de fissuration des os qui seront implémentés dans l'Homme Virtuel

Références bibliographiques

[1] J.-L. TAILHAN, Y. GODIO-RABOUTET. *Étude bibliographique sur les similitudes et les différences entre les comportements à rupture des os et ceux des matériaux cimentaires, Rapport d'Etude IFSTTAR, juillet 2016.*

[2] J.-L. TAILHAN, S.D. PONT, P. ROSSI. *From local to global probabilistic modelling of concrete cracking. Annals of Solid and Structural Mechanics, 1(2):103–115, 2010.*

[3] G. RASTIELLO, J.-L. TAILHAN, P. ROSSI, and S. DAL PONT. *Macroscopic probabilistic cracking approach for the numerical modelling of fluid leakage in concrete. Annals of Solid and Structural Mechanics, 7(1-2):1–16, 2015.*

[4] GARO,A, ARNOUX,PJ, WAGNAC,E, AUBIN,CE., *Calibration of the mechanical properties in a finite element model of a lumbar vertebra under dynamic compression up to failure, 2011, Medical & Biological Eng. &Computing, Springer, vol49 n12, 1371-9.*

[5] FRADET L, PETIT Y, WAGNAC E, AUBIN CE, ARNOUX PJ., *Biomechanics of thoracolumbar junction vertebral fractures from various kinematic conditions. Med Biol Eng Comput. 2014 Jan;52(1):87-94. doi: 10.1007/s11517-013-1124-8.*

[6] CAQUETTE C, RAUCH F, VILLEMURE I, ARNOUX PJ, GDALEVITCH M, VEILLEUX LN, HENG JL, AUBIN CE., *Biomechanical analysis of fracture risk associated with tibia deformity in children with osteogenesis imperfecta: a finite element analysis.,J Musculoskelet Neuronal Interact. 2014 Jun;14(2):205-12*

PASS2RM : Vulnérabilité du passager d'un deux roues motorisés

Axe de rattachement : 1

Mots-clés (6 maxi) : 2RM, biomécanique, passager

Responsable IFSTTAR LLARI Maxime, TS2, LBA

Autre Responsable MASSON Catherine, TS2, LBA

Axe de rattachement : Axe 1

Durée : 2 ans (2017-2018)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar (thématiques prioritaires, COP), connaissances préalables (références bibliographiques)*). (A titre indicatif, ½ page)

Il est aujourd'hui communément admis que l'exposition aux risques pour les utilisateurs de deux-roues motorisés est extrêmement élevée par rapport à d'autres types d'usagers de la route en France : lorsqu'on tient compte du nombre de kilomètres parcourus, le risque d'être tué en 2RM est 31 fois plus élevé qu'en voiture [BLAIZOT et al. 2013].

Les études épidémiologiques, et accidentologiques conduites jusqu'ici dans ce domaine se focalisent essentiellement sur l'usager conducteur du 2RM. C'est le cas également pour les aspects normatif et pour le développement technologique des équipements de protection. Dans les cas d'accidents mortels, la distinction entre le conducteur et le passager du 2RM reste une tâche difficile, car les deux occupants ont été éjectés [ZHAO, 2011]. Peu d'études ont été menées pour comparer les types de blessures en détail entre le conducteur et le passager. Les études récentes disponibles dans la littérature [CHIANG et al., 2014] montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre l'Injury Severity Score (ISS) du conducteur et celui du passager. Toutefois ces études sont limitées à un nombre très faible de cas d'accidents (27 paires passager/conducteur) qui ne sont pas forcément représentatifs des différentes situations d'accidents ni des niveaux lésionnels.

Une première étude numérique paramétrique préliminaire [LLARI et al., 2016] conduite au LBA sur les cinématiques du conducteur et du passager, pour le scénario de choc le plus observé, a fourni des résultats très surprenants. Après avoir évalué l'efficacité de notre modèle à partir des données de la littérature, nous avons observé que **le conducteur contribue à augmenter la distance de projection du passager** (en se comportant comme une rampe de lancement). **Les vitesses d'impact tête contre le sol sont en moyenne plus importantes pour le passager que pour le conducteur. La cinématique du conducteur est également modifiée par la présence d'un passager.** Ces résultats posent de nombreuses questions :

Pour une même situation d'accident, quelle sera la différence d'exposition aux risques lésionnels entre conducteur et passager, ou encore vis-à-vis d'un conducteur seul ? Quelle efficacité des dispositifs de protections pour le cas du passager? Quelle influence du véhicule (et de la posture des occupants) sur l'exposition au risque ?

Sur le plan juridique, le code de la route demande pour pouvoir transporter un passager, quel que soit son âge, que la moto dispose de deux sièges ou d'une selle double. L'assise destinée au passager doit être équipée d'au moins une poignée et de deux repose-pied (art. R431-5). Mais il n'existe pas de réglementation et d'études scientifiques sur les influences de la position de ces repose-pieds par rapport au siège et des hauteurs de siège entre les deux occupants., Les positions du passager peuvent être très différentes d'un 2RM à l'autre, avec une surélévation du passager par rapport au conducteur et donc un centre de gravité plus haut. **Quelle est l'influence de ces paramètres sur la cinématique du passager et le risque de blessures ?**

Références bibliographiques :

BLAIZOT S., PAPON F., HADDAK M., AMOROS E., *Injury incidence rates of cyclists compared to pedestrians, car occupants and powered two-wheeler riders, using a medical registry and mobility data, Rhone County, France.* *Accident Analysis and Prevention* 58 (2013) 35-45.

CHIANG V., CHENG J., ZHANG Z.C., LI-TSERNG T., *Comparison of severity and pattern of injuries between motorcycle riders and their pillion passengers: A matched study.* *Injury, Int. J. Care Injured* 45(2014) 333-337

LLARI M., GODIO RABOUTET Y., ARNOUX P.J., *Analyse of a Powered Two-Wheeler (PTW) passenger kinematics and impact conditions.* *ICILSM Conference, 22/26 May 2016, Turin, Italy*

FRANK T., SMITH J., HANSEN D., WERNER S., *Motorcycle Rider Trajectory in Pitch-Over Brake Applications and Impacts.* *SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst.* 1 (2009) 31-42

SERRE T., MASSON C., PERRIN C., MARTIN JL., MOSKAL A., LLARI M., *The motorcyclist impact against a light vehicle: Epidemiological, accidentological and biomechanical analysis.* *Accident Analysis and Prevention* 49 (2012) 223– 228

ZHAO H., CHEN R., DENG G., YIN Z., YANG G., LIU S., CHEN H., WANG Z., *Comparison of injuries sustained by drivers and pillion passengers in fatal head-on motorcycle collision accidents.* *Forensic Science International* 207 (2011) 188–192

Valeur ajoutée de la demande (*originalité de l'action, réponse à des attentes exprimées, potentiel nouvelles connaissances, verrou scientifique, innovation, optimisation de moyens ou de ressources, ...*) (A titre indicatif, ¼ page)

Ce projet de recherche PASS2RM vise à investir les verrous scientifiques et à apporter de nouvelles connaissances sur :

- **les conditions d'accidents** (vitesse, angle d'impact, objet impacté) **impliquant un passager d'un 2RM,**
- **l'évaluation de l'exposition au risque lésionnel du passager** comparé au conducteur,
- **l'évaluation de l'influence d'un passager sur l'exposition au risque lésionnel du conducteur**
- **l'identification des positions à risque pour le passager.**

Description de la démarche et de la structuration de l'action (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches, des différents sujets traités, ...*) (A titre indicatif, ½ page)

L'objectif est de réaliser le 1^{er} essai crash test plein échelle deux roues motorisés avec deux corps données à la science en position de conduite pour représenter le conducteur et le passager d'un 2RM.

[FRANK et al., 2009] avait réalisé ce type d'expérimentation avec deux mannequins de crash (par définition non multi-directionnels). Les limites de cet essai reposent sur l'analyse lésionnelle incomplète et une cinématique potentiellement influencée par les raideurs articulaires des mannequins. Le LBA, en utilisant des corps donnés à la science, contribuera à améliorer la compréhension de ce type d'accident. Un verrou technique réside dans la difficulté de mettre en place et de maintenir les deux sujets en position de conduite et de les instrumenter. Cependant le LBA a acquis une expertise dans la réalisation de crash test 2RM contre véhicule avec un conducteur (corps donné à la science) à travers les projets **PROMOTO (ANR/PREDIT) 2006-2009, et EFFIGAM (DSCR) 2015-2017** [SERRE et al., 2012]. Ce protocole d'essai existant avec un conducteur va être adapté de manière à intégrer un passager à l'arrière de la moto.

Année 2017 :

Réaliser le 1^{er} essai crash test plein échelle 2RM contre véhicule avec 2 corps données à la science de manière à infirmer ou confirmer la pertinence de notre simulation numérique dite nominale. Il permettra de recalibrer le modèle numérique multi corps et d'augmenter sa plage de validation afin de réaliser une étude paramétrique.

Extraire les accidents avec un passager du projet SECU 2RM (FSR, Enquête auprès des accidentés 2RM) et identifier les scénarios lésionnels et comparer les bilans lésionnels passager et conducteur.

Les outils de simulation multi corps seront utilisés afin d'étudier l'exposition au risque du passager et du conducteur (par rapport à un conducteur seul) **en fonction de la configuration d'impact, l'anthropométrie des occupants, la vitesse d'impact, et le type de 2RM**. Cette campagne d'expérimentation numérique servira également au choix de la configuration du 2^{ème} essai.

Année 2018 :

Réaliser un 2^{ème} essai crash test plein échelle avec 2 occupants et un 2^{ème} type de 2RM.

Cette étape est indispensable pour consolider d'une part la connaissance des mécanismes mis en évidence par la simulation et d'autre part, pour fournir des données essentielles à l'évaluation de nos modèles. Enfin, elles permettront de focaliser nos investigations sur les situations à risques

Effectuer une étude de sensibilité sur les positions du siège et des repose-pieds du passager afin d'évaluer les risques liés à la posture du passager sur le 2RM.

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

- Identifier le risque de blessure du passager
- Identifier d'éventuelles positions à risque pour le passager
- Discuter de l'opportunité de revoir le design du siège, des équipements de protection et la nature de leurs standards d'évaluation de manière à prendre en compte ces spécificités liés aux passagers.
- Articles scientifiques.

Ce projet qui se distingue par un focus jamais abordé jusqu'ici sur le passager, a vocation à alimenter des travaux de recherches menées actuellement sur la protection des 2RM au sein du LBA:

- projet de thèse cifre avec INeMOTION sur le design d'un nouveau gilet airbag (technologie pouvant équipée un passager moto). Ce produit est-il adapté au passager ? Si un seul airbag est disponible, est ce qu'il vaut mieux que ce soit le conducteur ou le passager qui le porte ?
- activités du iLab-Spine (protections cervicales, lésions du rachis et de la moelle, en lien avec le projet Spine2RM avec la fondation AMU).
- projet SECU 2RM (FSR) sur la sécurité des 2 roues : les solutions de protection offertes sont elles aussi pertinentes pour le passager ?

Ce projet PASS2RM sera valorisé au sein du groupe de connaissances scientifiques des motocycles COSMOS et donnera lieu à de(s) publication(s).

Il donnera lieu donc à des échanges internes avec le LMA (Thierry SERRE), le LBMC (Karine BRUYERE) et l'UMRESTTE (Jean-Louis MARTIN)

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

Nom- Prénom	Dpt/Labo	Estimation h/mois par an	Principale contribution
LLARI Maxime	TS2/LBA	3	Pilotage de la partie numérique
MASSON Catherine	TS2/LBA	2	Pilotage de la partie expérimentale
ARNOUX Pierre-Jean	TS2/LBA	1	Appui scientifique global et appui sur l'analyse détaillée des lésions

Partenariats externes (à minima le nom de l'organisme et le sujet sur lequel il contribue)

Valorisations possibles

(Vis-à-vis des tutelles de l'Ifsttar, de collectivités, de partenaires institutionnels, académiques ou du monde économique, auprès de la société civile ou du grand public)

DSCR, standards réglementaires, industriels



SOFTER – phase 1 : The SOFTER trial for SyndrOme Following Trauma: Early Remedies (Phase 1)

Axe de rattachement : Axe 1

Mots-clés (6 maxi) : blessé léger ; urgence ; intervention clinique ; essai randomisé, syndrome de stress post-traumatique, prévention

Responsable IFSTTAR HOURS, département TS2, UMRESTTE

Autre Responsable E. Lagarde, INSERM :

Axe de rattachement : AXE 1

Durée : 2 ans (2017-2018)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar (thématiques prioritaires, COP), connaissances préalables (références bibliographiques)*). (A titre indicatif, ½ page)

Enjeux

En 2011, les structures d'urgences hospitalières en France enregistraient 18,5 millions de passages pour 11,6 millions de personnes (DRESS, 2011). Selon l'enquête 2002 de la DRESS, ces passages ont donné lieu à une hospitalisation sur cinq, et ils sont la conséquence d'un traumatisme dans un cas sur deux (DRESS 2002). E Lagarde et son équipe ont mené une étude (PERICLES 2007-2011) au service d'urgence de l'hôpital Pellegrin de Bordeaux auprès de 500 patients qui présentaient un traumatisme crânien modéré et 900 patients contrôles sans blessure à la tête. L'étude montre que 3 mois plus tard, près de 20 % des personnes dans les deux groupes souffrent d'un syndrome post commotionnel (DSM IV), et que celui-ci n'est pas lié à la gravité des blessures, mais fortement associé au stress ressenti lors du séjour dans le service d'urgence [1, 2]. Dans l'étude ESPARR, la prévalence du stress post traumatique après un accident de la route est proche de 1000 personnes par an dans le département du Rhône [4]. Des symptômes non spécifiques s'installent progressivement : maux de tête, irritabilité, troubles du sommeil, troubles de concentration et/ou de mémoire, intolérance au stress quotidien [3, 4], et vont perturber la vie quotidienne en particulier la vie familiale du blessé pendant de longs mois et parfois plusieurs années, générer de nombreuses consultations médicales et soins et parfois empêcher le retour au travail [5-8]. Compte de tenu de l'ampleur du phénomène, une réduction, même faible, de la prévalence du stress post traumatique aurait un impact significatif en termes de santé publique et de coût économique.

Des recherches récentes suggèrent que le **stress vécu lors de l'événement** joue un rôle déterminant, que ce soit chez des traumatisés crâniens [9], dans les autres traumatismes [10, 11], ou pour des pathologies non traumatiques [12]. Empêcher le stress immédiat de s'inscrire dans la mémoire à long terme permettrait d'éviter ce passage au stress post traumatique [13, 14]. Une intervention précoce pourrait court-circuiter cette transcription dans la mémoire à long terme et éviter la chronicisation [15, 16]. Plusieurs options thérapeutiques ont été explorées par un consortium composé d'une équipe Inserm de Bordeaux, leader de l'étude Softer, d'une équipe Ifsttar (Umrestte) prochainement renforcée par une autre équipe Ifsttar (Lescot), et de trois autres équipes, danoise, suédoise et canadienne. Ces options thérapeutiques vont d'une prescription pharmacologique avec l'administration précoce d'hydrocortisone, à des thérapies comportementales telles que des séances de « réassurance », d'hypnose, ou encore une désensibilisation des mouvements oculaires et retraitement (EMDR).

L'objectif principal de l'étude Softer est de réduire les symptômes post traumatiques par une intervention précoce dans les services d'urgence chez des personnes qui ont subi un traumatisme, et cela dans le cadre d'un essai thérapeutique randomisé.

Phase 0 : une étude de faisabilité avec 130 patients est actuellement menée au service d'urgence de l'hôpital Pellegrin de Bordeaux. Son objectif est de tester la possibilité d'intervenir précocement dans un service hospitalier d'urgence : acceptabilité par les équipes de soins des intervenants, acceptabilité de la proposition d'intervention par les blessés. Deux interventions sont testées par rapport à une

prise en charge habituelle : l'EMDR et la réassurance. Les premiers résultats montrent que le protocole est réalisable dans un service d'urgence. La faisabilité d'un nouveau contact 1 mois après l'intervention est en cours d'évaluation. Les résultats sont attendus d'ici mars 2017.

Phase 1 : l'objectif de la phase 1, qui fait l'objet de la présente demande, est de tester la **faisabilité de l'étude dans les hôpitaux lyonnais** qui sont de plus gros centres d'urgence, et dont l'organisation est sensiblement différente. Une intervention dans les centres d'urgence est tout à fait innovante et elle nécessite de connaître les différents contextes de prise en charge. Pour cela, un état des lieux sera réalisé dans les deux principaux services d'urgence lyonnais. Des réunions de coordination entre les différents services impliqués, bordelais et lyonnais seront organisées. Le protocole en France sera finalisé.

Phase 2 : cette phase concerne la conduite de l'**essai thérapeutique randomisé** : les interventions que testeront les partenaires du consortium restent à définir. Le protocole général sera finalisé. Plusieurs demandes de financement seront déposées, ANR et PHRC national.

Le projet s'inscrit dans différentes thématiques prioritaires, portées par TS2 :

- Évaluation et aide à la décision en matière de transport ;
- Les conséquences de la mobilité sur la morbidité ;
- La santé et la mobilité du quotidien ;

Ainsi que dans l'axe 1 du COP, objectif 2.1

Valeur ajoutée de la demande (*originalité de l'action, réponse à des attentes exprimées, potentiel nouvelles connaissances, verrou scientifique, innovation, optimisation de moyens ou de ressources, ...*) (A titre indicatif, ¼ page)

L'ampleur du fardeau de santé publique de ces symptômes post traumatiques appelle une réponse : les procédures d'identification des patients à risque et de prise en charge préventive précoce doivent être identifiées. La prévention de l'état de stress post traumatique est une attente forte des professionnels de santé, des autorités de santé et des assureurs car il représente un casse-tête thérapeutique une fois installé, et des soins sans commune mesure avec la sévérité de l'accident.

A ce jour, aucune prise en charge du stress post-traumatique, souvent proposée après plusieurs jours voire semaine après l'accident ne semble montrer une efficacité réelle mais une approche comparative des méthodes n'a pas été réalisée; de plus, l'approche proposée (intervention immédiate dès la consultation aux urgences) est de fait très novatrice et prometteuse.

Description de la démarche et de la structuration de l'action (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches, des différents sujets traités, ...*) (A titre indicatif, ½ page)

Réunion du 7-9 Novembre 2016 à Odense (Danemark) : réalisation de la liste des méthodes d'intervention proposées et sélection des plus prometteuses. Critères de sélection des patients (âge, type et sévérité des lésions). Discussion sur le protocole de l'étude de faisabilité.

Janvier 2017- avril 2017 : test dans les hôpitaux lyonnais de la faisabilité des interventions retenues (rencontre avec les chefs de service des hôpitaux, organisation locale de la sélection de patients, tests des divers modes d'approche des patients, tests des questionnaires, acceptation de l'intervention par les équipes d'urgence et place des investigateurs,...). Participation du réseau ARVAC au recrutement des patients. 2changes avec les autres équipes du consortium.

Avril 2017 : séminaire de travail à Bordeaux : évaluation collective de la faisabilité, choix définitif des méthodes.

Avril 2017- septembre 2017: finalisation du protocole afin de déposer une lettre d'intention à l'ANR, et examen d'autres sources de financement en particulier par le biais d'un PHRC national

Septembre 2017 – juin 2018 : demande des accords des comités d'éthique et de recherche en santé.

Septembre 2018 : mise en place de la phase 2 de l'étude dans les différents hôpitaux participants.

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

Développement d'un projet scientifique - Consolidation du réseau international et développement de collaborations entre services d'urgence et avec des équipes de recherche - Tests de faisabilité d'une intervention originale dans les services d'urgence de Lyon.

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

Nom- Prénom	Dpt/Labo	Estimation h/mois par an	Principale contribution
Hours Martine	TS2/Umr este	1 H.M/an	Participation à la mise en place du réseau, et à la rédaction du protocole Recherche financement, Mise en place de l'étude dans les services d'urgences lyonnais,
Lafont Sylviane	TS2/Umr este	2 H.M/an	Participation à la mise en place du réseau, et à la rédaction du protocole Recherche financement, mise en place dans les services d'urgences lyonnais et suivi de l'essai
Paire-Ficout Laurence	TS2/LES COT	0,5 H.M/an	rédaction protocole, mise en place dans les services d'urgences lyonnais et suivi de l'essai
Jallais Christophe	TS2/LES COT	0,5 H.M/an	rédaction protocole, mise en place dans les services d'urgences lyonnais et suivi de l'essai

Partenariats externes (*à minima le nom de l'organisme et le sujet sur lequel il contribue*)

- France

Bordeaux : INSERM U1219, Emmanuel Lagarde, Directeur de recherche en épidémiologie, coordinateur du réseau, coordinateur de l'étude SOFTER, spécialiste en matière de connaissance des facteurs individuels d'accidents (notamment impact des prises de médicaments)

Bordeaux : IRESP/INSERM U1219, Pr Rachid SALMI, participation au réseau et rédaction du protocole

Bordeaux, Hôpital Pellegrin : Dr. Guillaume Valdenaire, Chef du service des urgences, participation à l'étude, organisation de l'étude dans le service d'urgence

Lyon, Hôpital Edouard Herriot : Dr Karim Tazarourte, Chef du service des urgences, participation à l'étude, organisation de l'étude dans le service d'urgence

Lyon, Hôpital Lyon Sud : Dr Jean-Stéphane David, Chef du service des urgences, participation à l'étude, organisation de l'étude dans le service d'urgence

- Canada

Toronto (et Odense) : Pr David Cassidy : Professeur à l'Université du sud Danemark et à l'Université de Toronto : spécialiste dans le domaine des troubles musculo-squelettiques (en particulier nombreuses recherches sur le coup du lapin)

- Danemark

Odense : Jan Hartvigsen, Professor/Head of Research Unit/Epidemiologist, Department of Sport Science and Clinical Biomechanics, University of Southern Denmark.

Odense : Tonny Elmoose Andersen, Associate Professor/Researcher, Department of Psychology, University of Southern Denmark.

- Suède

Stockholm : Lena Holm : spécialiste dans le domaine des troubles musculo-squelettiques (en particulier nombreuses recherches sur le coup du lapin, et spécialiste de l'analyse du comportement individuel dans les processus de rééducation fonctionnelle et de réadaptation).

Valorisations possibles

(Vis-à-vis des tutelles de l'Ifsttar, de collectivités, de partenaires institutionnels, académiques ou du monde économique, auprès de la société civile ou du grand public)

Articles sur la faisabilité du programme d'intervention ; évaluation de l'efficacité, le coût-bénéfice des mesures proposées au niveau de la France

Bibliographie

1. Laborey M, Masson F, Ribereau-Gayon R, Zongo D, Salmi LR, Lagarde E: **Specificity of postconcussion symptoms at 3 months after mild traumatic brain injury: results from a comparative cohort study.** *The Journal of head trauma rehabilitation* 2014, **29**(1):E28-36.
2. Lagarde E, Salmi LR, Holm LW, Conrand B, Masson F, Ribereau-Gayon R, Laborey M, Cassidy JD: **Association of symptoms following mild traumatic brain injury with posttraumatic stress disorder vs. postconcussion syndrome.** *JAMA psychiatry* 2014, **71**(9):1032-1040.
3. Laborey M, Masson F, Ribereau-Gayon R, Zongo D, Salmi LR, Lagarde E: **Specificity of Postconcussion Symptoms at 3 Months After Mild Traumatic Brain Injury: Results From a Comparative Cohort Study.** *J Head Trauma Rehabil* 2014 **29**(1):E28-36.
4. Lagarde E, Salmi L-R, Holm LW, Conrand B, Masson F, Ribereau-Gayon R, Cassidy JD: **Association of symptoms following mild traumatic brain injury with posttraumatic stress disorder vs. postconcussion syndrome.** *JAMA Psychiatry* 2014, **71**(9):1032-1040.
5. Tournier C, Hours M, Charnay P, Chossegros L, Tardy H: **Five years after the accident, whiplash casualties still have poorer quality of life in the physical domain than other mildly injured casualties: analysis of the ESPARR cohort.** *BMC Public Health* 2016, **16**(1):13.
6. Chossegros L, Hours M, Charnay P, Bernard M, Fort E, Boisson D, Sancho PO, Yao SN, Laumon B: **Predictive factors of chronic post-traumatic stress disorder 6 months after a road traffic accident.** *Accid Anal Prev* 2011, **43**(1):471-477.
7. O'Donnell ML, Varker T, Holmes AC, Ellen S, Wade D, Creamer M, Silove D, McFarlane A, Bryant RA, Forbes D: **Disability after injury: the cumulative burden of physical and mental health.** *J Clin Psychiatry* 2013, **74**(2):e137-143.
8. Hours M, Khati I, Charnay P, Chossegros L, Tardy H, Tournier C, Perrine AL, Luaute J, Laumon B: **One year after mild injury: comparison of health status and quality of life between patients with whiplash versus other injuries.** *J Rheumatol* 2014, **41**(3):528-538.
9. Hou R, Moss-Morris R, Peveler R, Mogg K, Bradley BP, Belli A: **When a minor head injury results in enduring symptoms: a prospective investigation of risk factors for postconcussional syndrome after mild traumatic brain injury.** *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2012, **83**(2):217-223.
10. Rosenbloom BN, Khan S, McCartney C, Katz J: **Systematic review of persistent pain and psychological outcomes following traumatic musculoskeletal injury.** *Journal of pain research* 2013, **6**:39-51.
11. Wiseman TA, Curtis K, Lam M, Foster K: **Incidence of depression, anxiety and stress following traumatic injury: a longitudinal study.** *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2015, **23**:29.
12. Kongsted A, Bendix T, Qerama E, Kasch H, Bach FW, Korsholm L, Jensen TS: **Acute stress response and recovery after whiplash injuries. A one-year prospective study.** *Eur J Pain* 2008, **12**(4):455-463.
13. Chamberlain MA, Fialka Moser V, Schuldt Ekholm K, O'Connor RJ, Herceg M, Ekholm J: **Vocational rehabilitation: an educational review.** *J Rehabil Med* 2009, **41**(11):856-869.
14. Holm LW, Carroll LJ, Cassidy JD, Skillgate E, Ahlbom A: **Expectations for recovery important in the prognosis of whiplash injuries.** *PLoS Med* 2008, **5**(5):e105.
15. Rothbaum BO, Kearns MC, Price M, Malcoun E, Davis M, Ressler KJ, Lang D, Houry D: **Early intervention may prevent the development of posttraumatic stress disorder: a randomized pilot civilian study with modified prolonged exposure.** *Biological Psychiatry* 2012, **72**:957-963.
16. Kearns MC, Ressler KJ, Zatzick D, Rothbaum BO: **Early interventions for PTSD: a review.** *Depress Anxiety* 2012, **29**(10):833-842.

SYSAUTO : Systèmes autonomiques pour le trafic ferroviaire

Axe de rattachement : 1

Mots-clés (6 maxi) : système autonome, modélisation, gestion du trafic ferroviaire

Responsable IFSTTAR Paola Pellegrini, COSYS, LEOST

Autre Responsable Raffaele Pesenti, Université Ca' Foscari, Venise, Italie

Axe de rattachement : 1

Durée : 2 ans (2017-2019)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar (thématiques prioritaires, COP), connaissances préalables (références bibliographiques)*). (A titre indicatif, ½ page)

L'objectif principal de la recherche concerne la conception et le développement de nouveaux algorithmes et outils pour la gestion du trafic ferroviaire, tenant compte à la fois de l'automatisation et de l'optimisation du trafic. La particularité et l'originalité de la recherche réside dans la méthode de modélisation du système de trafic que l'on propose de mener en se basant sur le concept de système autonome, lequel a été initialement développé dans le domaine de l'informatique. Cet objectif s'intègre dans l'une des thématiques prioritaires du département COSYS de l'IFSTTAR, nommée Automatisation, contrôle et optimisation des systèmes urbains et de transport, et dans les objectifs de l'IFSTTAR définis par le COP.

Le concept de système autonome a été proposé au début des années 2000 dans le domaine de l'informatique. Selon ce concept, un système autonome est une collection d'éléments autonomiques fonctionnellement équivalents qui gèrent leur comportement interne ainsi que les relations entre eux et avec l'environnement en fonction de politiques de gestion établies par les administrateurs du système. Le comportement global du système correspond au comportement émergent qui résulte des actions et des interactions des éléments qui le composent.

Dans cette recherche, nous allons appliquer ce concept à la modélisation de flux de trafic, en particulier dans le cadre du transport ferroviaire. Aujourd'hui, le transport ferroviaire fait de plus en plus l'objet d'études et d'investissements visés à l'utilisation de matériel techniquement très évolué, à la fois pour l'infrastructure et le matériel roulant. Ce nouveau contexte permet d'envisager que les trains deviennent bientôt capables de scruter leur propre état, de communiquer entre eux et avec l'environnement, et ainsi de prendre des décisions sur leur comportement. Ces types de trains intelligents peuvent donc être modélisés en tant qu'éléments autonomiques, opérant des choix autonomes et concertés, car ils considèrent aussi leur entourage courant. De plus, ces décisions doivent être cohérentes avec la politique de gestion définie par les régulateurs du système.

Pour permettre aux trains d'opérer ces choix de manière efficace tant du point de vue individuel que collectif, la conception d'algorithmes pour la prise de décision en environnement dynamique est une nécessité primordiale.

Valeur ajoutée de la demande (*originalité de l'action, réponse à des attentes exprimées, potentiel nouvelles connaissances, verrou scientifique, innovation, optimisation de moyens ou de ressources, ...*) (A titre indicatif, ¼ page)

En plus de représenter une application inédite du concept de système autonome, la recherche proposée possède un caractère très innovant du point de vue de la gestion du trafic ferroviaire. En effet, nous étudions ici un changement radical d'approche, en passant d'un système de gestion du trafic centralisé à un système décentralisé. L'avantage qu'un tel système pourrait avoir est double :

- D'une part, il se prête mieux à faciliter l'intégration de nouveaux acteurs et donc à favoriser la concurrence et la recherche d'efficacité. En effet, aujourd'hui chaque pays européen (à l'exception de l'Angleterre) voit une présence presque monopoliste de l'opérateur ferroviaire historique, favorisé entre autre par les étroits liens existants avec le gestionnaire de l'infrastructure (décideur central) avec lequel l'opérateur constituait une entité unique à l'origine. La décentralisation des décisions sur la gestion du trafic pourrait aider à redimensionner la favorisation de l'opérateur historique.

- D'autre part, le nouveau système pourrait résoudre la question liée à la très grande dimension du problème à traiter. Manifestement, gérer le trafic ferroviaire de manière centralisée et optimale sur un territoire grand comme la France, par exemple, est impossible avec les technologies courantes. Il est donc nécessaire d'avoir recours à de fortes approximations et décompositions du problème, qui risquent de pénaliser la performance globale du système. Au contraire, une gestion décentralisée, qui par nature, décompose le problème global, permettra en principe de traiter chaque conflit de manière optimale.

Description de la démarche et de la structuration de l'action *(description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches, des différents sujets traités, ...)* (A titre indicatif, ½ page)

2017 : étude de l'état de l'art sur les systèmes autonomes et autonomiques dans le cadre du trafic ferroviaire ; définition d'un cadre bien structuré pour le développement de la recherche ; rédaction d'articles et participation à des conférences internationales ; démarrage d'une thèse encadrée par l'IFSTTAR en partenariat avec l'Université Ca' Foscari ; début de la modélisation du trafic ferroviaire comme système autonome.

2018 : finalisation de la modélisation du trafic ferroviaire comme système autonome ; conception d'algorithmes pour la prise de décision en environnement dynamique ; implémentation des algorithmes ; choix des cas d'étude ; définition et début de la phase de test ; encadrement de la thèse démarrée en 2017 ; rédaction d'articles et participation à conférences; montage de projets sur la base de l'expérience acquise dans le domaine.

Productions prévues *(mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.) - Préciser l'échéance prévue (année)*

La production scientifique prévue pour ces deux années de recherche sera consistera, premièrement, en un rapport intermédiaire sur l'état de l'art réalisé sur les systèmes autonomes et autonomiques dans le cadre du trafic ferroviaire. Ensuite, nous envisageons de co-publier un article de revue et deux articles de conférence.

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

Nom- Prénom	Dpt/Labo	Estimation h/mois par an	Principale contribution
Rodriguez Joaquin	COSYS-ESTAS	0.5	Expertise sur le système ferroviaire et sur les problématiques liées à la gestion du trafic
Paola Pellegrini	COSYS-LEOST	1	Expertise sur le système ferroviaire et sur les problématiques liées à la gestion du trafic Expertise sur les algorithmes de décision autonomes

Partenariats externes (à minima le nom de l'organisme et le sujet sur lequel il contribue)

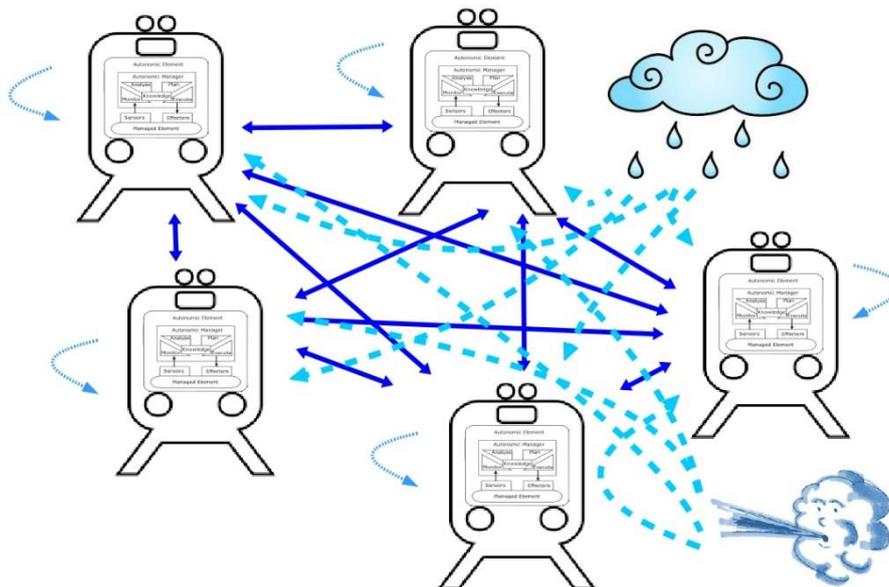
La recherche proposée dans cette fiche sera poursuivie en collaboration avec l'équipe de recherche opérationnelle du Département de Management de l'Université Ca' Foscari de Venise, Italie.

La collaboration entre l'Université Ca' Foscari et l'IFSTTAR a été initialement motivée par la collaboration actives entre Paola Pellegrini, Raffaele Pesenti et Daniela Favaretto précédant l'arrivée de Paola Pellegrini à l'IFSTTAR. Paola Pellegrini a notamment effectué sa thèse dans cette université entre 2003 et 2007, ainsi qu'un an de post-doctorat en 2010. La publication de six articles co-produits dans des revues internationales atteste de la qualité scientifique de cette collaboration. Depuis le recrutement de Paola Pellegrini à l'IFSTTAR, cette collaboration s'est étendue à d'autres chercheurs de l'établissement. Cette collaboration s'est déjà concrétisée dans la publication d'un article coproduit dans la revue *IEEE-TITS* et dans l'organisation de plusieurs visites de courte durée de Paola Pellegrini à l'Université Ca' Foscari et de Raffaele Pesenti à l'IFSTTAR en 2015 et 2016.

Valorisations possibles

Les principaux résultats attendus sont : 1) la modélisation du système de trafic comme système autonome ; 2) la conception d'algorithmes de prise de décisions. Ces résultats seront valorisés grâce à la rédaction d'articles de revues et à la participation à conférences internationales.

Représentation de la modélisation du trafic ferroviaire comme système autonome - © Paola Pellegrini



CHUT : Caractérisation des Hématomes chez les Usagers des Transports

Axe de rattachement : 1

Mots-clés (6 maxi) : hématomes, peau vascularisée, impact, rupture, biomécanique

Responsable IFSTTAR	Mélanie Ottenio, Département TS2, Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs (LBMC) UMR T_9406 Ifsttar-UCBL
Autre Responsable	Karine Bruyère, UMR_T 9406 Ifsttar-UCBL, Marie-Christine Chevallier, UMR T_9406 Ifsttar-UCBL, Stéphane Nicolle, LBMC UMR_T 9406 Ifsttar-UCBL
Durée :	2 ans (2016-2017)

Enjeux et objectifs

Suite à un choc, une rupture de vaisseaux sanguins peut entraîner l'apparition d'un amas de sang, appelé hématome. Ce dernier peut être impressionnant par les couleurs qu'il revêt et son étendue sur le corps. Il est néanmoins souvent bénin, puisque l'organisme est capable de le résorber seul la plupart du temps. Par conséquent, les hématomes sont généralement classés dans les blessures dites légères. Actuellement, aucun outil fiable ne permet la prédiction de ces blessures légères. Le développement d'un tel outil passe nécessairement par la prise en compte de la circulation sanguine dans l'analyse de la réponse mécanique de la peau face à un impact. Or, les études traitant aujourd'hui de la microcirculation du tégument s'intéressent souvent à son rôle physiologique, aux méthodes de mesures du flux sanguin [1] ou encore aux effets d'une sollicitation extérieure sur le débit sanguin [2,3] ; mais quasi aucune ne propose de modèle numérique allant jusqu'à rupture du capillaire, ce qui permettrait de répondre à la problématique.

L'étude des lésions dites légères constitue un nouvel enjeu de recherche pour la sécurité des usagers de mode de transports doux (transport en commun, marche, vélo). Ces lésions sont à la fois fréquentes et susceptibles d'induire des séquelles esthétiques. En particulier, les hématomes sont des lésions dont le risque doit être évalué afin de proposer de nouveaux aménagements intérieurs des transports en commun. Les aménageurs de train, tramway et bus, n'ont aujourd'hui aucune référence ni outil pour réaliser cette estimation. Par ailleurs, les médecins légistes ont souvent recours à la description des hématomes pour évaluer la violence d'une agression ou les circonstances d'un accident. Mieux connaître le lien entre intensité du choc et apparition d'un hématome sur le corps peut donc apporter des réponses objectives à cette discipline. Enfin, la prise en compte du système microvasculaire dans la modélisation de la peau permettra, de manière plus générale, d'envisager tous types d'études liées à des dysfonctionnements de la circulation sanguine en son sein. On pourra par exemple évaluer les conséquences d'une coupure locale de la circulation en raison d'une compression mécanique trop importante, prolongée et/ou répétée (apparition d'escarres lors de longs trajets en transport en commun ; syndrome de Raynaud). La problématique scientifique du projet concerne donc autant ceux qui s'intéressent au confort des usagers, que ceux qui se concentrent sur leur sécurité, et s'ouvre facilement à des thématiques liées à la santé.

En résumé, le projet consiste dans un premier temps à :

1. Proposer des expérimentations *ex-vivo* pour mesurer les conditions d'apparitions d'un hématome. L'objectif est de mettre au point un protocole expérimental d'impact sur la peau permettant de quantifier les paramètres physiques caractérisant le choc, l'état du réseau vasculaire (architecture initiale, endommagement lié au choc) et les conséquences en terme de flux sanguin (hématomes).

2. Construire un modèle numérique de peau prenant en compte la circulation sanguine capable à terme de prédire l'apparition de blessures légères.

Cette étude permettra le développement d'outils de prédictions de risques lésionnels (B3) pour les blessures légères, ce qui permettra la conception d'aménagement sur les véhicules pour améliorer la sécurité et le confort des usagers (B4).

Références bibliographiques:

[1] *Laser speckle contrast imaging accurately measures blood flow over moving skin surfaces*; G. Mahé, P. Rousseau, S. Durand, S. Bricq, G. Leftheriotis, P. Abraham; *Microvascular research*, 81 (2), pp. 183-188, 2011.

[2] *A review of the effects of external pressure on skin blood flow*; D. Santos, T. Carline, R. Richmond, R.J. Abboud; *The Foot*; 13, pp.183-189, 2003.

[3] *Skin microvascular response to pressure load in obese mice*; M.-S. Nguyen-Tu, A.-L. Begey, J. Decorps, J. Boizot, P. Sommer, B. Fromy, D. Sigaudot-Rousset; *Microvascular research*, 90, pp. 138-143, 2013.

Valeur ajoutée de la demande

- Prise en compte de la physiologie (ici, la circulation sanguine) de la peau dans l'analyse de sa réponse mécanique à rupture;
- Intérêts interdisciplinaires (« Biomécaniciens des chocs », « Ergonomie », « Santé ») ;
- Prédiction de blessures dites légères.
- Construction d'un modèle numérique de peau avec vascularisation et validation expérimentale.

Démarche entreprise

Faisabilité:

Construire un modèle numérique prédictif des blessures légères implique une phase de validation expérimentale. Or, l'étude expérimentale sur volontaires se heurte dans le cas présent à un problème éthique. Travailler sur un don de corps à la science pose le problème de l'absence de circulation sanguine. Serait-on capable de revasculariser les capillaires du derme et du tissu adipeux ? Un protocole sur aorte humaine a été mis au point en 2012 au sein de l'équipe « Biomécanique des Chocs » du LBMC et utilisé afin d'étudier les conséquences d'une surpression sanguine faisant suite à un choc (rupture aortique). Pour ce faire, l'aorte a été raccordée à un circuit hydraulique et une montée en pression se faisait par paliers jusqu'à éclatement de l'aorte. L'idée serait maintenant de miniaturiser ce protocole afin de l'adapter à des vaisseaux de diamètre inférieur au millimètre. Un prétest a déjà été effectué sur un morceau de peau prélevée sur sujet cadavérique. A l'aide d'une aiguille, de l'encre de chine a été injectée et s'est propagée avec succès dans un capillaire. Après avoir ligaturé ses extrémités, différents poids ont été lâchés à des hauteurs différentes, jusqu'à éclatement et dispersion de l'encre de chine. Ce prétest nous conforte dans la faisabilité de ce projet.

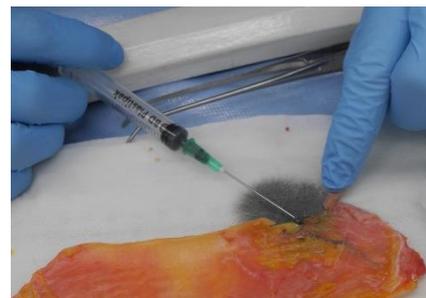


Figure 3: Injection d'encre de chine dans un capillaire de peau (diamètre 0.7mm)

Planification des tâches :

Cette étude a débuté par une analyse bibliographique :

- des critères disponibles en biomécanique des chocs pour la prédiction des lésions de la peau (tous types de sévérité),
- des méthodes et outils de revascularisation,

- des méthodes de détection de l'endommagement des capillaires au cœur de la peau et d'analyse de leur évolution.

A l'issue de l'analyse bibliographique, différents points expérimentaux seront traités :

- la faisabilité des différentes méthodes d'observation des hématomes compatibles avec un essai mécanique sera évaluée,
- la faisabilité de la revascularisation des capillaires sera évaluée,
- un protocole d'essai complet sera défini et mis en œuvre. Il devra permettre : 1) de réaliser des compressions dynamiques des vaisseaux sanguins dans leur milieu environnant, c'est-à-dire avec les différentes couches de la peau (derme et hypoderme) et les tissus sous-jacents (muscles et os dans un premier temps), 2) d'observer les capillaires suivant une des méthodes évaluées précédemment,
- des essais mécaniques sur vaisseaux isolés seront éventuellement réalisés pour compléter l'analyse mécanique.
- une réflexion pour valider les mesures in vivo sera initiée (reconstructions inverses, expérimentation animale...)

En parallèle, une modélisation schématique de la peau vascularisée sera développée pour simuler l'occurrence des hématomes et des lacérations :

- les expérimentations réalisées dans le cadre de cette étude seront simulées pour valider le modèle,
- des simulations de conditions de choc plus réalistes obtenues à partir d'essais sur mannequins de choc (choc de tête sur barre de maintien de passagers debout) seront réalisées pour valoriser le modèle développé.

Partenariats

Ces travaux s'inscrivent dans un projet de recherche sur les lésions de la peau, qui est proposé dans le cadre d'une création de GDR intitulé « Cicatrisation, régénération peau et muqueuses ».

Résultats obtenus en 2016 :

Analyse bibliographique

Définition d'un hématome [1]

Hématome vient du grec « haima » qui signifie sang et « oma » qui est le résultat d'une action. Un hématome est donc un amas de sang (plasma et caillot) localisé dans un organe ou entre deux tissus et faisant suite à une rupture vasculaire. Lorsque l'épanchement de sang se fait juste sous la peau, on parlerait d'ecchymose. Il semblerait qu'il n'y ait pas toujours de rupture de vaisseau sanguin dans le cas d'une ecchymose. Dans ce cas, la paroi du vaisseau est devenue anormalement perméable permettant le passage des globules rouges à travers les capillaires. Ce processus porte le nom d'erythrodiapadèse.

Le projet CHUT s'intéressant aux hématomes superficiels, nous parlerons donc désormais d'ecchymoses.

L'apparition, la taille et la forme de l'ecchymose dépendent de plusieurs facteurs, tels que :

- l'intensité de la force exercée,
- la nature de l'objet vulnérant (une autopsie en médecine légale sait faire la différence entre une ecchymose due à un coup de marteau et une ecchymose faisant suite à une strangulation)

- le degré de vascularisation de la région anatomique touchée,
- la laxité des tissus lésés,
- la dureté du plan anatomique sous-jacent (les ecchymoses cutanées sont moins intenses à hauteur des parties molles qu'à hauteur des structures osseuses),
- l'âge, le diabète, l'hémophilie (ces facteurs peuvent entraîner des ecchymoses massives suite à des chocs mêmes minimes).

Une ecchymose est appelée « bleu » dans le langage courant en raison de son caractère coloré (d'abord rouge, puis noir, bleu violacé, et enfin vert et jaune). Ces colorations correspondent en fait à la dégradation de l'hémoglobine et son analyse permet une datation de la survenue de la lésion.

Il faut savoir que l'ecchymose ne se produit pas systématiquement proche du traumatisme qui lui a donné naissance. En effet, le sang coagulé peut migrer et s'arrêter plus loin. L'organisation tissulaire locale semble jouer un rôle dans ce processus de migration de ces amas de sang.

Schématiquement, on distingue trois étapes dans le mécanisme de l'ecchymose :

1. Coagulation du sang extravasé.
2. Désintégration des globules rouges
3. Dégradation de l'hémoglobine.

Le réseau vasculaire de la peau [2,3,4]

Au repos, le volume sanguin cutané représente plus de 9% du volume sanguin total !

Tandis que l'épiderme n'est pas vascularisé du tout, le réseau sanguin du derme et de l'hypoderme est très dense et très structuré.

Ainsi, dans la partie profonde de l'hypoderme, un premier réseau de vaisseaux anastomosés² de manière complexe s'organise parallèlement à la surface de la peau.

De ce premier réseau plan partent des branches qui traversent l'hypoderme perpendiculairement à la surface cutanée.

Ces branches se réunissent dans le derme profond en un second réseau, toujours parallèle à la surface de la peau et appelé « plexus vasculaire profond ». A nouveau, des artéioles partent en direction de la surface et traversent alors le derme pour se rejoindre au niveau de la jonction du derme réticulaire et papillaire et pour former un troisième et dernier réseau, le plexus vasculaire sous-papillaire. C'est à ce niveau qu'apparaissent les capillaires qui viendront au contact des papilles dermiques.

Durant le trajet, il y a parfois des ramifications qui permettent d'atteindre un lobule graisseux ou un follicule pileux. Enfin, un réseau identique et adjacent permet le trajet retour dans des veinules.

Telles les artères, la paroi des artéioles est composée de trois couches : l'intima, la media et l'adventice. Les diamètres sont néanmoins très infimes, de l'ordre de 20 à 30 micromètres (les capillaires ont, eux, un diamètre 4 fois plus petit que celui des artéioles).

La microcirculation cutanée joue un rôle important dans l'apport nutritif des cellules de toutes les couches de la peau, dans le contrôle de la tension artérielle et dans la régulation thermique.

Quelques techniques d'observations du réseau vasculaire du derme et/ou des hématomes

² Anastomose : jonction de deux vaisseaux (entités creuses) sanguins, artériels ou lymphatiques

La stéréographie à rayons X a été utilisée avec succès sur des échantillons de peau cadavérique de manière à visualiser le réseau microvasculaire cutané en 3 dimensions [6]. La technique utilisée est celle de la radiographie conventionnelle si ce n'est qu'on prend plusieurs clichés en faisant tourner l'échantillon ou l'appareil de prise de vue. *In vivo*, on mesure classiquement le débit sanguin par laser Doppler [7] mais on peut aussi imager les vaisseaux sanguins avec une haute résolution spatiale (de l'ordre du micromètre) par Résonance Magnétique [8]. L'imagerie hyperspectrale [9] a récemment permis la visualisation de la vascularisation de la peau en parallèle du suivi de l'évolution d'une ecchymose. Citons également une technique optique basée sur la polarisation orthogonale de la lumière [10], technique qui permet un accès en temps réel de la microcirculation sanguine, qui a été adapté sur un appareil portable et qui est sensible jusqu'à une profondeur de 3mm.

Sources :

- [1] <https://medecinelegale.wordpress.com/2010/09/06/lecchymose-en-medecine-legale/>
- [2] La peau : Structure et physiologie ; A. Méliopoulos, C. Levacher, R. Balloti ; Ed. Tec et Doc Lavoisier, 2012
- [3] <http://biologiedelapeau.fr>
- [4] The cutaneous microcirculation; I.M. Braverman, JID Symp. Proc.; vol.5 ;1-9 ; 2000
- [6] Three-dimensional venous anatomy of the dermis observed using stereography; N. Imanishi, K. Kishi, H. Chang, H. Nakajima, S. Aiso; J. Anat.; Vol. 212; pp.669-673, 2008
- [7] Cutaneous Blood Flow, Laser Doppler Velocimetry; E. Tur; Int. J. Dermatology; vol. 30; 472-476; 1991
- [8] Magnetic resonance microscopy of human vasculature in vivo at 3 Tesla using a small copper surface coil; E. Laistler et E. Moser; Proc.; 2009
- [9] Characterization of vascular structures and skin bruises using hyperspectral imaging, image analysis and diffusion theory; L.L. Randeberg, E. La Puebla Larsen, L.O. Svaasand; J. Biophoton., vol. 3; 53-65, 2010.
- [10] Orthogonal polarization technique in the assessment of human skin microcirculation; O. Lupi et al., Int. J. Dermatology; 47; 425-431, 2008

Observation du réseau vasculaire par rayons X

Après injection d'un produit de contraste utilisée dans le cadre des radiographies par rayons X, nous avons pu observer le réseau vasculaire du derme du front. Une meilleure diffusion a été atteinte après avoir ligaturé les extrémités des vaisseaux (ce qui a eu pour effet d'augmenter la pression). Cette technique, facile à mettre en œuvre au laboratoire, nous permettra de quantifier l'état initial du réseau vasculaire de chaque échantillon testé lors de nos expérimentations.

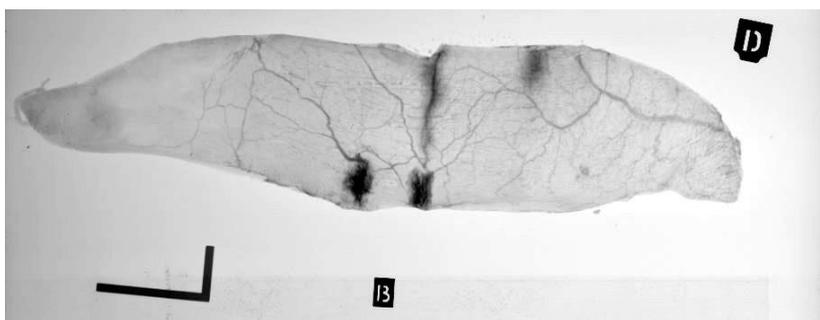


Figure 4: Radiographie du réseau vasculaire de la peau du front

Indentation expérimentale dynamique et quasi statique

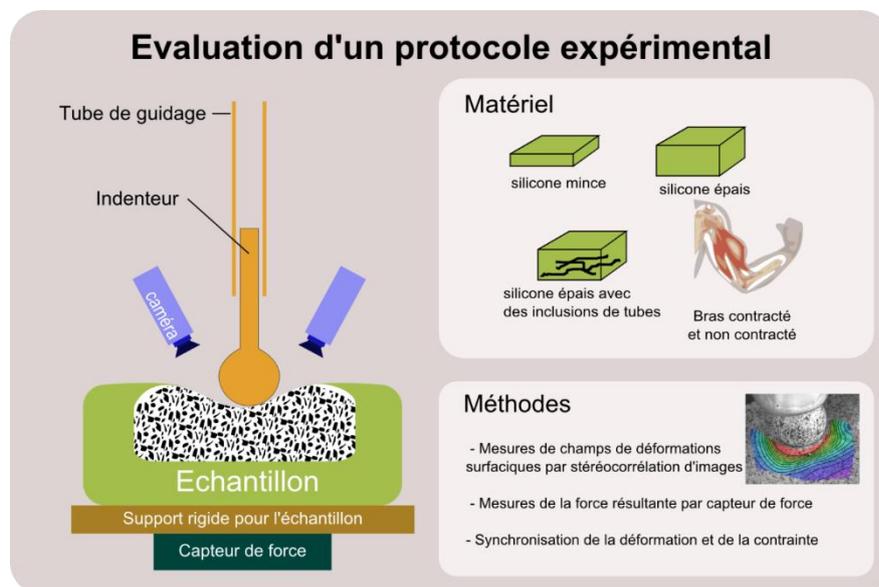


Figure 5: Matériel et Méthodes des pré-essais

Des essais préliminaires d'indentation dynamique et quasi-statique ont été réalisés sur des échantillons de silicone.

Les essais dynamiques ont consisté à lâcher un indenteur sphérique de différentes hauteurs, tandis que les essais quasi-statiques ont consisté à venir appuyer manuellement et très lentement la surface de l'échantillon. La figure 3 illustre la configuration expérimentale de ces pré-essais (en perspective, le même protocole pourrait être appliqué sur un bras *in-vivo* à des faibles niveaux d'impact (non lésionnels)).

Cette campagne expérimentale nous a ainsi permis :

- de vérifier que les vitesses les plus élevées impliquées permettaient une bonne corrélation d'images, et donc de valider cette méthode pour de futurs essais,
- d'évaluer les niveaux d'efforts en jeu. Même si nous devrions valider ces niveaux sur échantillon de peau *ex-vivo*, il est clair que le seul capteur à disposition pour ces essais est sous-dimensionné,
- d'obtenir des données de validation de modèles numériques pour les échantillons de silicone (qui nous servent de modèles physiques).

➤ Initiation d'un modèle numérique par Eléments Finis de peau vascularisée

- Prise en main du logiciel d'éléments finis LS-Dyna,
- Mise en place d'un problème d'indentation sous LS-Dyna avec matériau élastique linéaire et non linéaire en statique et dynamique.

Perspectives

Suite aux essais préliminaires, il a été décidé de poursuivre deux pistes :

- a) La mise en place d'un protocole dédié à la caractérisation des ecchymoses *ex-vivo*,

- b) La mise en place d'un protocole dédié à la caractérisation de la réponse dynamique de la peau *in-vivo* faisant suite à un impact léger. Cette approche *in-vivo* doit permettre d'évaluer l'influence des conditions aux limites physiologiques (notamment la prétension initiale) sur les niveaux réels des déformations surfaciques cutanées.

Concernant le protocole *ex-vivo* (a), il est prévu :

- de mettre en place une méthode de revascularisation plus simple à reproduire que l'injection de produits de contraste dans les capillaires de peau (trop difficiles à localiser et diamètres trop petits). Nous envisageons une injection de produit de contraste sur corps complet, avant prélèvement des différents échantillons. Il reste à évaluer si la diffusion se fera jusqu'au derme.
- de concevoir et de faire usiner des pièces d'adaptation sur une machine dynamique de traction (INSTRON 8800) permettant de réaliser des essais d'indentation statique et dynamique mieux contrôlé. Ne pas avoir utilisé cette machine s'est finalement révélé peu judicieux. Nous pensions que la disposition des caméras aurait posé problème. La configuration finale des pré-essais nous a démontré le contraire.
- de concevoir un système de prétensionneur d'échantillon.

Concernant le protocole *in-vivo* (b), il est prévu :

- de poursuivre la recherche bibliographique sur les techniques de mesures de la micro-circulation sanguine du derme et de prospecter sur l'accès aux techniques optiques qui semblent répondre à nos attentes,
- d'évaluer l'imagerie spectroscopique proche infrarouge, technique pouvant donner des informations sur la quantité d'hémoglobine des tissus, et essayer l'impédancemétrie qui pourrait donner des indications physiologiques liées à la circulation sanguine. Ces deux techniques seront testées car elles seront faciles d'accès.
- de concevoir un dispositif portable permettant une indentation dynamique sur le corps avec des faibles niveaux d'énergie,

En parallèle, la construction du modèle numérique se poursuivra, notamment par l'intégration des capillaires dans la géométrie de la peau.

Productions prévues

- (Fin 2016) : Protocole d'essai *ex-vivo* sur la peau pour l'analyse des mécanismes de lésions superficielles en cas de choc (hématome et lacération) → Communication en congrès international
- (Fin 2017): Mise en œuvre d'essais suivant le protocole défini ; Modèle numérique de la peau vascularisée pour la prédiction des hématomes et des lacérations → Publication internationale
- (Fin 2017) : Protocole d'essai *in-vivo* d'impact dynamique non lésionnel sur la peau en vue de la validation d'un modèle numérique intégrant des conditions physiologiques (conditions aux limites, circulation sanguine...)

Implication prévue

Temps prévus lfsttar :

- Ottenio Mélanie : 3hm/an (incluant un
- Bruyère Karine : 1hm/an
- Nicolle Stéphane : 1hm/an
- Marie-Christine Chevallier : 1hm/an

NEURONE : Développement d'une approche en NEURO-ergonomie : application à l'étude des conducteurs Novices et Experts

Axe de rattachement : 1

Mots-clés (6 maxi) : neuro-ergonomie, imagerie cérébrale, simulateur de conduite, expertise, caractéristiques individuelles, distraction

Responsable IFSTTAR Fort Alexandra, TS2, LESCOT

Autre Responsable

Durée : 2 ans (2016-2017)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'ifsttar, contribution au COP, références bibliographiques*). (A titre indicatif, ½ page)

Objectif général : Il s'agit de faire une étude de faisabilité visant à mieux comprendre les différences interindividuelles de conducteurs novices et experts grâce à l'analyse de l'activité cérébrale. Cela sera effectué au moyen d'une technique de neuroimagerie de pointe : l'imagerie par résonance magnétique (IRM) 3T disponible depuis 2014 au Centre d'Etude et de Recherche Multimodale Et Pluridisciplinaire en imagerie du vivant (CERMEP) à Bron.

Ce projet s'inscrit dans le domaine de la neuro-ergonomie (application des théories et des outils des neurosciences à l'ergonomie) qui vise à expliquer des concepts comme la fiabilité humaine ou encore les performances humaines en situation par le biais du fonctionnement cérébral.

Enjeu : La conduite est une activité complexe réalisée par un grand nombre de personnes aux profils très variés. Certaines catégories d'utilisateurs sont plus susceptibles d'être impliqués dans un accident de la route. C'est le cas notamment des conducteurs novices. En 2014 en France, les 15-29 ans représentaient un tiers des blessés graves et 22% des personnes tuées (Observatoire national interministériel de la sécurité routière). Ceci serait dû à une combinaison de leur jeune âge, inexpérience de la conduite et des comportements à risque (Williams, 2003).

Par ailleurs, si les conducteurs expérimentés ont pu mettre en place des automatismes leur permettant de libérer des ressources attentionnelles, les conducteurs novices auraient besoin de plus de ressources pour gérer la tâche de conduite non encore automatisée. Ainsi Klauer et al. (2014)³ ont observé que la réalisation de tâches secondaires en conduite réelle était associée à une augmentation significative du risque d'accidents ou de presque accidents chez les novices. C'est pour cette raison que nous nous intéresserons à la gestion de doubles tâches chez ces deux groupes de conducteurs. L'impact différencié d'une même tâche distractive chez ces 2 populations n'a, à notre connaissance, jamais été examiné d'un point de vue neurophysiologique.

L'usage d'une technique de neuroimagerie à haute résolution spatiale telle que l'IRM fonctionnelle permettra de mieux comprendre les processus et stratégies cognitives de ces conducteurs dans des situations de conduite spécifiques et de déterminer ce qui les différencie les uns des autres. L'IRMf consiste à enregistrer des variations hémodynamiques (variation des propriétés du flux sanguin) cérébrales locales minimales suite à des stimulations. La localisation des zones cérébrales activées est basée sur l'effet BOLD (Blood Oxygen Level Dependant), lié à l'aimantation de l'hémoglobine contenue dans les globules rouges du sang. Cette technique ne présente aucun danger connu pour la santé des sujets.

³ Klauer, Guo, Simons-Morton, Ouimet, Lee, Dingus (2014) Distracted driving and risk of road crashes among novice and experienced drivers. *The new England Journal of Medicine*, 370,1.

A ce jour, une vingtaine d'articles présentent des travaux de recherche ayant fait appel à l'IRMf pour déterminer les réseaux neuronaux impliqués dans une activité de conduite automobile simulée (par ex : Hsieh et al., 2009; Chung et al. 2014)⁴, mais aucune ne s'est intéressée aux effets de l'expertise.

Valeur ajoutée de la demande (*potentiel d'innovation, originalité de la recherche, potentiel du projet scientifique*) (A titre indicatif, ½ page)

Cette étude de faisabilité est une étape essentielle pour développer les recherches en neuro-ergonomie à l'IFSTTAR. La neuro-ergonomie vise à concevoir des systèmes plus sûrs, garantissant une efficacité plus grande du couple opérateur/système, en se basant sur les connaissances actuelles et émergentes dans le domaine. Cette discipline est donc particulièrement importante dans le domaine de la conduite automobile.

Par ailleurs, cette étude sera la première étape d'une série de recherche visant à examiner les processus neuronaux mis en jeu en conduite automobile en fonction des caractéristiques individuelles. Les analyses au niveau du groupe de par les techniques de moyennage traditionnellement employées dans les protocoles expérimentaux peuvent masquer des résultats importants associés à des sous-groupes d'individus (Parasuraman et Jiang, 2012)⁵.

L'objectif à plus long terme de ce projet est de prendre en compte des caractéristiques individuelles plus fines en s'intéressant aux caractéristiques cognitives (telle que la propension au flow ou les stratégies cognitives privilégiées) et aux traits de personnalité dominants des conducteurs (anxiété, stress, stratégie de coping). Ces travaux permettront de comprendre comment ces caractéristiques individuelles influent sur le comportement de conduite automobile. Ces connaissances pourront être utiles dans le cadre de la prévention routière notamment par le biais de la sensibilisation des conducteurs de façon individuelle et non de façon groupée, un certain nombre de conducteurs ne se reconnaissant pas dans l'image du conducteur « lambda » (par exemple, les personnes devant suivre un stage de récupération de points du permis de conduire).

Démarche entreprise (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches*) (A titre indicatif, ½ page)

Tâche 1 :

Sous-tâche 1.1 : La première sous-tâche de ce projet consiste à trouver un partenaire ayant les compétences nécessaires en IRMf. En effet, pour assurer le recueil de données exploitables et de qualité ainsi que pour nous former à l'analyse des données issues de ce type d'imagerie cérébrale, il nous faut un partenaire ayant une expertise en IRMf. A ce sujet, j'ai contacté le directeur du Centre de Recherche des Neurosciences de Lyon qui sonde actuellement ses équipes sur un intérêt potentiel à ce projet. Une réunion de présentation du projet sera organisée avec les chercheurs intéressés. Parallèlement, je recherche d'autres partenaires potentiels. Les tâches 2 et 3 du projet présenté ici dépendront de la réussite de cette première sous-tâche.

Sous-tâche 1.2 : La deuxième sous-tâche de ce projet est l'adaptation d'un simulateur de conduite à l'environnement d'un imageur par résonance magnétique.

En effet, un IRM nécessite un champ magnétique puissant et stable produit par un aimant supraconducteur. De fait aucun matériel métallique ne peut être utilisé lors de l'examen.

Les verrous méthodologiques concernent principalement la synchronisation des scénarios de conduite avec l'acquisition des images, le développement de scénario et de matériel adaptés (joystick et/ou pédales amagnétiques) à cet environnement (aimant supra-conducteur, angle visuel restreint, contrainte d'être allongé dans un tunnel de 60 cm de diamètre).

Tâche 2 :

Sous-tâche 2.1 : Mise en place du protocole expérimental.

- Création d'un scénario de conduite permettant de caractériser les différences en termes de processus neuronaux mis en jeu par des conducteurs novices et experts lors de la gestion d'une tâche de conduite simulée et de tâches secondaires.

⁴ Schweizer, Kan, Hing, Tam, Naglie, Graham (2013) Brain activity during driving with distraction: an immersive fMRI study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 53 ; Chung, Choi, Kim, You, Hong, Lee et al. (2014) Effects of distraction task on driving: a functional magnetic resonance imaging study. *Biomed Mater Eng.*, 24(6):2971-2977.

⁵ Parasuraman et Jiang (2012) Individual differences in cognition, affect, and performance: Behavioral, neuroimaging, and molecular genetic approaches. *NeuroImage*, 59:70-82.

- Détermination d'une tâche secondaire adaptée
- Détermination de questionnaires permettant la caractérisation des conducteurs sur la base de caractéristiques cognitives et de traits de personnalité

Sous-tâche 2.2 : Rédaction du protocole pour une soumission au CPP

Sous-tâche 2.3 : Sélection des participants âgés de 22 à 24 ans, ayant le permis de conduire soit depuis moins de 6 mois (novices) soit depuis plus de 3 ans (experts). Le faible nombre de participants lors de cette étude de faisabilité nous contraints à sélectionner un groupe de participants homogènes sur la base de leurs caractéristiques cognitives et traits de personnalité.

Sous-tâche 2.4 : Détermination des questionnaires adéquats permettant de prendre en compte les caractéristiques individuelles. Cette sous-tâche doit permettre de préparer les études futures.

Tâche 3 :

Sous-tâche 3.1 : Passations de l'expérience et analyse des résultats issus de l'IRM (logiciel SPM), des performances de conduite et des questionnaires.

Sous-tâche 3.2 : Spécification des questions de recherches pouvant être adressées par ce type d'approche expérimentale et des applications possibles des résultats de ces recherches.

Partenariats (*nom des partenaires externes (notamment pour les collaborations de recherche) et principal apport de chaque partenaire*)

IFSTTAR- COSYS-LEPSIS

Rôle : adaptation du simulateur à l'environnement de l'IRM, développement d'un scénario type CERMEP (Centre d'Etude et de Recherche Multimodale Et Pluridisciplinaire en imagerie du vivant)

Rôle : aide à l'adaptation du simulateur à l'environnement de l'IRM

XXXXXX (sous-tâche 1.1)

Rôle : participation au développement d'un protocole adapté pour l'étude de l'impact de l'expertise sur les processus neuronaux mis en jeu au cours d'une tâche de conduite simulée et participation à l'analyse des résultats

Productions prévues

Cette initiative ciblée vise deux productions majeures :

- le développement d'une méthodologie pour l'utilisation de protocoles sur simulateur de conduite dans l'environnement de l'IRM
- une première expérimentation visant à établir les différences en termes de réseaux neuronaux mis en jeu lors de la gestion d'une tâche de conduite et de tâches secondaires selon le niveau d'expertise des conducteurs. Les résultats de cette expérimentation seront utilisés pour définir plus finement les questions de recherche pouvant être adressés par cette méthodologie.
- La mise en place d'un consortium qui sera prêt pour répondre à des appels d'offre nationaux.

Résultats obtenus en 2016 :

Tâche 1 : La première sous-tâche (1.1) du projet visait à trouver un partenaire ayant les compétences nécessaires en IRMf. Les discussions avec le CERMEP ont permis de résoudre ce point et d'arriver à un accord sur l'aide apportée tant au niveau de la mise en place de l'expérimentation (niveau technique et scientifique autour du protocole le plus adapté) que de l'analyse des données.

La deuxième sous-tâche est en cours. Une revue de la littérature a été effectuée afin de faire le point sur les différentes approches qui ont été utilisées jusqu'à ce jour dans l'étude des processus cérébraux mis en jeu en conduite automobile par IRMf.

Suite à cela, un choix a été fait quant au matériel à mettre en place dans notre étude. L'achat d'un joystick amagnétique est en cours et des tests seront effectués à l'automne pour s'assurer du bon fonctionnement.

Tâche 2 : La revue de la littérature effectuée doit également nous permettre de définir le protocole expérimental qui sera mis en place pour l'étude. L'objectif est de finaliser ce protocole pour fin septembre.

Dès que le choix sera finalisé, un dossier CPP sera soumis. Nous recherchons actuellement un médecin investigateur.

Programme pour l'année à venir :

La finalisation des scénarios de conduite nécessaire à la réalisation de l'étude sera effectuée au deuxième trimestre 2017 pour permettre la réalisation de l'étude dans l'été et une analyse des données à l'automne 2017. Suite à cela, une réflexion sur les questions de recherches pouvant être adressée par ce type d'approche expérimentale sera menée en vue de répondre à un appel d'offre permettant d'étendre ces travaux.

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 10 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : 4 hm/an

Valorisations possibles

Une fois la faisabilité de pratiquer des enregistrements de l'activité cérébrale via l'IRMf au cours de situations de conduite simulée, il sera possible de répondre à un appel d'offre de l'ANR. Cette proposition de projet visera à poursuivre nos recherches chez les conducteurs novices et experts mais en prenant en considération d'autres caractéristiques individuelles telles que celles citées plus haut.

D'autres financeurs pourront également être sollicités le cas échéant (DSCR, Maif, ...)

EGECT: Effet du vieillissement des géomembranes sur les écosystèmes

Axe de rattachement : Axe 2

Mots-clés (6 maxi) : Géomembranes, vieillissement, contamination, environnement,

Responsable IFSTTAR Laetitia Van Schoors IFSTTAR MAST CPDM

Autre Responsable Fabienne Farcas, Marielle Gueguen Minerbe IFSTTAR MAST CPDM

Axe de rattachement : Axe 2 – ARD A4 « Durabilité des polymères, câbles et armatures »

Durée : 2 ans (2017-2018)

Enjeux et objectifs

Les géomembranes sont classiquement utilisées dans les ouvrages hydrauliques comme les bassins, les canaux et les barrages. Ce sont des produits manufacturés sous forme de nappe dont au moins l'un des constituants est à base de polymère. Elles sont utilisées en contact avec le sol ou d'autres matériaux dans le domaine de la géotechnique ou du génie civil. Leur fonction principale est d'assurer une étanchéité. Il existe différentes natures chimiques de géomembranes qui sont insolubles dans l'eau et très faiblement perméables à la vapeur d'eau. Ainsi les phénomènes d'extraction de composants de ces géomembranes induits par le vieillissement des matériaux sont rarement discutés. Or, dans les cas des polyoléfinés comme le polypropylène (Bertholdo et al. 2004) ou le polyéthylène (Billigam 1993, Rowe 2005, Thörnblom et al. 2011), après un certain temps d'immersion, différentes études ont montré pour d'autres applications une extraction vers le milieu environnant des antioxydants. Les effets nocifs des antioxydants (AO) sont principalement étudiés dans les tuyaux d'eau potable ou les emballages alimentaires en plastique. Ainsi Brocca et al. (2002) ont identifié un certain nombre de substances organiques dans des eaux potables en contact des tuyaux en polyéthylène et notamment des dérivés des antioxydants phénoliques. Skjevraak et al. (2003) ont quant à eux observé la présence d'esters d'aldéhydes, de cétones d'hydrocarbones aromatiques et de terpénoïdes dans de l'eau potable en contact avec des plastiques de type PVC, PEHD et polyéthylène réticulé (PEX) ainsi que la présence de produits de dégradation de trois antioxydants phénoliques dans le biofilm formé à la surface de tuyaux en PEHD en contact avec de l'eau (Skjevraak et al. 2005). Les auteurs démontrent ainsi une bio-assimilation de ces produits et leur potentiel toxique. Aujourd'hui, l'exposition chimique des milieux naturels à ces molécules reste encore peu explorée.

Actuellement à notre connaissance aucune étude n'a été réalisée sur les produits susceptibles d'être extraits des géomembranes EPDM (éthylène-propylène-diène monomère) au cours du temps, alors que cette nature chimique de géomembranes est très utilisée. Il a été toutefois observé que ces matériaux subissent quelques évolutions de leurs caractéristiques au cours du temps. A titre d'exemple, après 18 ans de vieillissement dans des bassins de retenue d'eau aux îles Canaries, une géomembrane en EPDM utilisée présente des chutes d'allongement à la rupture, une augmentation de la dureté et de la résistance au poinçonnement, et des microfissures (Blanco et al. 2013). Notons que les évolutions physico-chimiques liées au vieillissement de cette nature de géomembranes ne sont que très rarement abordées dans la littérature, alors que ce sont ces paramètres qui permettent d'évaluer l'état de vieillissement intrinsèque de cette nature chimique de polymère. En effet, comme les évolutions mécaniques ne sont pas linéaires avec le temps de vieillissement, aucune extrapolation ne peut être utilisée à partir de ces mesures pour évaluer l'état de vieillissement de ces géomembranes.

L'objectif de cette étude est d'une part d'étudier le vieillissement de géomembranes en EPDM en milieu aqueux par une étude multi-échelle pour mieux comprendre les mécanismes de leur vieillissement et d'autre part d'évaluer la nature des additifs ou de petites fractions de chaînes

macromoléculaires pouvant être relarguées au cours du vieillissement et d'estimer leur impact sur les environnements aquatique et terrestre.

Bibliographie

- Bertoldo M., Ciardelli F. (2004). Water extraction and degradation of a sterically hindered phenolic antioxidant in polypropylene films, *Polymer* 45, pp. 8751–8759.
- Billingham, N.C. (1993) In: Scott GE, editor. Atmospheric oxidation and antioxidants, Amsterdam: Elsevier.
- Blanco M., Touze-Foltz N., Amat B., Castillo F., Aguiar (2013). Comportement d'une géomembrane EPDM 18 ans après son installation dans la retenue d'El Boqueron , Dijon, 9 pages.
- Brocca, D., Arvin, E., Mosbaek, H. (2002) Identification of organic compounds migrating from polyethylene pipelines into drinking water. *Water Research* 36: 3675-3680.
- Rowe, R. K. (2005). Long term performance of barrier systems, *Geotechnique* 5, pp. 631-678.
- Skjevraak, I., Due, A., Gjerstad, K.O., Herikstad, H.(2003). Volatile organic components migrating from plastic pipes (HDPE, PEX and PVC) into drinking water. *Water Research* 37, pp. 1912-1920.
- Skjevraak, I., Lund, V., Ormerod, K., Herikstad, H. (2005). Volatile organic compounds in natural biofilm in polyethylene pipes supplied with lake water and treated water from the distribution network. *Water Research* 39, pp. 4133-41
- Thörnblom, K., Palmlöf, M., Hjertberg, T. (2011), The extractability of phenolic antioxidants into water and organic solvents from polyethylene pipe materials - Part I, *Polymer Degradation and Stability* 96, pp. 1751-1760.

Valeur ajoutée de la demande

Ce projet EGECT à double intérêt, technologique et écologique, il permettra :

- d'un point de vue technologique de mieux comprendre les mécanismes de vieillissement en liaison avec le comportement dans le temps des géomembranes en EPDM et ainsi assurer la pérennité des ouvrages dans lesquels elles sont utilisées ;
- d'un point de vue écologique d'évaluer d'une part les conséquences d'un éventuel vieillissement prématuré responsable de la perte d'étanchéité, pouvant être à l'origine de pollutions des sols et in fine des nappes phréatiques, et d'autre part, d'identifier la nature et la toxicité des composants pouvant être relargués dans l'environnement.

Description de la démarche et de la structuration de l'action

- 1- -Réalisation d'une étude bibliographique sur le vieillissement des géomembranes en EPDM, et sur la toxicité des composants qui les constituent.
- 2- - Mise au point d'un vieillissement accéléré en laboratoire en adéquation avec l'application.
- 3- - Caractérisations multi-échelles des matériaux natifs et vieillis.
- 4- - Compréhension des mécanismes de vieillissement et première estimation de la durée de vie.
- 5- - Evaluation de la toxicité vis-à-vis de l'environnement des produits extraits au cours du vieillissement.

Productions prévues

- Rapport de synthèse
- Acte de colloques GéoAfrica 2017
- Acte de colloques Rencontres Géosynthétiques 2019
- Rédaction d'un article scientifique

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

Nom- Prénom	Dpt/Labo	Estimation h/mois par an	Principale contribution
Fabienne Farcas	CPDM	2	Caractérisation chimique et physico-chimique. Identification des phénomènes de vieillissement
Marielle Gueguen-Minerbe	CPDM	2	Evaluation de l'écotoxicité
Sandrine Moscardelli	CPDM	2	Caractérisation chimique physico-chimique et microstructurale
Issam Nour	CPDM	2	Evaluation de l'écotoxicité
Laetitia Van Schoors	CPDM	2	Vieillissements, caractérisation microstructurale et morphologique

Valorisations possibles

Le projet EGECT qui rentre dans le cadre de l'ARD A4 « Durabilité des polymères, câbles et armatures » permettra de fournir une première estimation de la durabilité de ces géomembranes et de faire évoluer les normes françaises et européennes dans lesquelles d'importantes zones d'ombre subsistent notamment sur le comportement dans le temps de cette nature de géomembranes. Elle permettra également d'estimer la toxicité de ces matériaux dans des environnements pouvant être écologiquement sensibles.

Bassin de la Laigne



© <http://www.cfg.asso.fr/phototheque>

VIPER : Vieillissement des peintures biosourcées

Axe de rattachement : Axe 2

Mots-clés (6 maxi) : Peinture, biosourcé, vieillissement, biodétérioration, IRTF

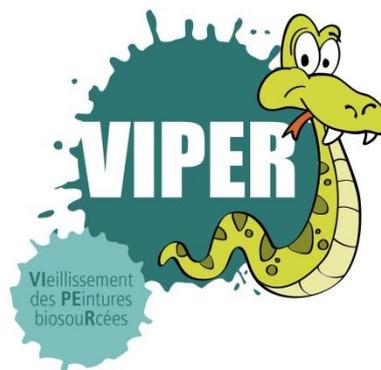
Responsable IFSTTAR Marielle Guéguen- Minerbe IFSTTAR MAST CPDM

Autre Responsable

Durée : 2 ans (2017-2018)

Enjeux et objectifs

Les matériaux que nous utilisons couramment (produits cosmétiques, médicaments, additifs alimentaires, matières plastiques, résines, peintures...) sont massivement formulés à partir de produits issus de la pétrochimie. Or, les enjeux économiques, énergétiques, sanitaires et environnementaux (REACH), la raréfaction des ressources fossiles, additionnés à la politique globale de développement durable, incitent les industries chimiques à développer des produits qui font appel aux carbones renouvelables de la biomasse (matières organique végétale ou animale). Toutefois outre l'absence de réglementation adaptée aux produits biosourcés (Bewa et Le Ravalec 2012), le manque de connaissance sur leur durabilité freine le développement de ces produits.



Dans les domaines du génie civil et particulièrement du bâtiment, la formulation de peintures 100% biosourcées représente un défi important. Certaines peintures industrielles ont une faible teneur en composés biosourcés (30%). Dans le domaine du bâtiment, il existe des peintures intérieures dont 90 % des composants ne sont plus issus de la pétrochimie. Leur teneur en COV est quasiment nulle, mais leurs performances techniques ne sont pas équivalentes à celles des peintures pétrolières (Gorria, 2012). La plupart des recherches porte sur le développement de formulations de peintures biosourcées qui auraient des performances techniques (étalement, séchage, jaunissement, etc.) supérieures à celles des peintures pétrolières (Stemmelen et al. 2015 ; Benyahya et al., 2014 ; Huang et al. 2013). Toutefois assurer les performances techniques et sanitaires d'application des nouvelles peintures vertes est une exigence primordiale qui doit être associée à la garantie d'un maintien durable de ses performances et de ses caractéristiques écologiques et écotoxiques. Or en vieillissant les peintures perdent leurs propriétés d'usage (protection, couleur, etc.) et peuvent devenir une source de pollution par relargage de petites molécules issues de la dégradation du polymère biosourcé et/ou d'additifs. L'utilisation de ressources végétales dans les peintures pose également la question du développement de moisissures.

Comprendre le vieillissement des peintures biosourcées pour améliorer leur durabilité et ainsi faciliter leur développement industriel nécessite de connaître les mécanismes de vieillissements, physique, chimique et biologique des huiles constitutives du liant, composant principal des peintures (environ 70% massique de la peinture). Les effets de différentes expositions sur les propriétés de polymères modèles partiellement biosourcés (Hablott et al 2011, Borugadda *et al.* 2014 ; Malmstein *et al.*, 2013 ; Kuo *et al.*, 2016) et d'huiles végétales constitutives des peintures (Mounier *et al.* 2011 ; Chiavaro *et al.*, 2010 ; Vittadini *et* Pellegrini, 2010 ; Mallégo *et al.*, 2000) ont fait l'objet d'un certain nombre d'études. Mais si la relation entre le vieillissement des polymères biosourcés et la production de composés volatils est abordée (Irshad et al, 2015), aucune étude ne considère la relation entre le vieillissement et la biodétérioration des peintures ni les retombées sanitaires et écotoxiques dues à la dégradation des huiles du liant.

L'objectif de ce projet est d'accéder à des formulations de peintures biosourcées moins dépendantes du pétrole qui soient durables, écologiques et saines. Cet objectif est en adéquation avec les

thématiques de l'axe 2 du COP 2017-2021 et s'intègre à l'ARD B1 (Matériaux alternatifs pour les infrastructures et le bâtiment) de MAST. A travers le projet VIPER, nous proposons de déterminer des indices de vieillissement, physiques, chimiques et biologiques, susceptibles de donner des indicateurs de durée de vie de ces nouvelles peintures vertes qui arrivent sur le marché.

Bibliographie

- Benyahya S., Aouf C., Caillol S., Boutevin B., Pascault J.P., Fulcrand H. (2014) Functionalized green tea tannins as phenolic prepolymers for bio-based epoxy resins, *Industrial Crops and Products*, 53, 296- 307.
- Bewa H, Le Ravalec V (2012) Le contexte de la reconversion de la chimie vers la chimie verte, *Oilseed & fat Crops and Lipids*, 19 (1) ; 5 pages.
- Borugadda V.B., Vaibhav V. Goud (2014) Thermal, oxidative and low temperature properties of methyl esters prepared from oils of different fatty acids composition: A comparative study, *Thermochimica Acta*, 577, 33– 40.
- Chiavaro E., Rodriguez-Estrada M.T., Vittadini E, Pellegrini N. (2010) Microwave heating of different vegetable oils: Relation between chemical and thermal parameters, *LWT - Food Science and Technology*, 43, 1104-1112.
- Elena Vittadini, Pellegrini N, Microwave heating of different vegetable oils: Relation between chemical and thermal parameters, *LWT - Food Science and Technology*, 43, 1104-1112.
- Farcas F., Platret G., Touzé P. (2001) Les indicateurs physico-chimiques de vieillissement de liants de peinture, CEFRACOR, Peintures anticorrosion, Thème B1 : caractérisation du vieillissement, Ed. CEFRACOR, 31 pages.
- Gorria M. (2012) Peintures - Le biosourcé s'invite dans les formules, *Formule Verte*, 7, 28-32.
- Hablot E., Tisserand A, Bouquey M., Avérous L. (2011), Accelerated artificial ageing of new dimer fatty acid-based polyamides *Polymer Degradation and Stability*, 96, 1097-1103.
- Huanga K., Zhangf J., Lia M., Xiaa J., Zhoua Y. (2013) Exploration of the complementary properties of biobased epoxies derived from rosin diacid and dimer fatty acid for balance performance , *Industrial Crops and Products*, 49, 497– 506.
- Irshad A., Delor-Jestin F., Chalard P., Vernay V. (2015) Physico-chemical durability criteria of oils and linked bio-based polymers, *Oilseeds and fats Crops and lipids*, 22, 1 D107, 7 pages.
- Kuo P.Y., De Assis Barrosa L., Sheenc Y.C., Saina M., Tjonga Jimi S.Y., Yana N (2016). Thermal degradation of extractive-based bio-epoxy monomer and network: Kinetics and mechanism *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 117, 199–213.
- Mallégol J., Gardette J.L, Lemaire J. (2012) Long-Term Behavior of Oil-Based Varnishes and Paints. Photo-and thermooxydation of cured linseed oil, *J Am Oil Chem Soc*, Vol. 77, no. 3, 257-263.
- Malmstein M., Chambers A. R., J.I.R. Blake J.I.R. (2013) Hygrothermal ageing of plant oil based marine composites, *Composite Structures*, 101, 138–143.
- Mounier A., Dayt L., Daniel F., Belin C. (2011) Fluorescence des liants employés dans les dorures sur les peintures murales médiévales, *ArcheoSciences, revue d'archéométrie*, 35, 19-28.
- Stemmelen M. , Lapinte V., Habas J.P. , Robin J.J. (2015) Plant oil-based epoxy resins from fatty diamines and epoxidized vegetable oil *European Polymer Journal*, 68, 536–545.

Valeur ajoutée de la demande

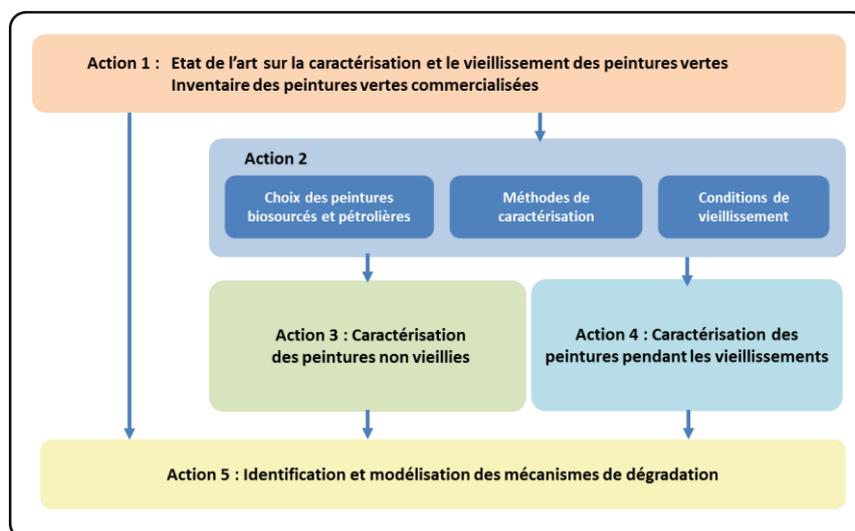
Rendre les peintures moins dépendantes du pétrole par des formulations qui tendent vers 100% de matières renouvelables issues de la biomasse est un défi que se donnent les chimistes du secteur industriel comme du bâtiment. Peu d'équipes de recherche s'intéressent à la durabilité des peintures biosourcées. Or mieux connaître et maîtriser le comportement dans le temps des matériaux biosourcés, comparés à ceux des peintures classiques, représentent des moyens de développer ces nouveaux matériaux et de faire évoluer les normes et les réglementations qui sont aujourd'hui uniquement adaptées aux produits pétroliers.

Dans le projet VIPER, sur la base des connaissances que nous avons sur la caractérisation du vieillissement des peintures anticorrosion (FARCAS, 2001) et le comportement des matériaux biosourcés face à différents types d'environnements (ORSI Mabionat) et par une approche pluridisciplinaire, nous chercherons à établir des relations entre les évolutions des caractéristiques à différentes échelles (chimiques, microscopiques et macroscopiques). Des peintures biosourcées seront soumises à différents paramètres (UV, température, humidité, microorganismes) en tenant compte de la nature des liants et de leur domaine d'application (industrielle, pièces sèches ou humides, etc.). La compréhension des mécanismes de vieillissement permettra de connaître les

produits de dégradation des peintures vertes. La biodétérioration en fonction des critères de vieillissement retenus sera particulièrement développée. En effet ces approches du vieillissement qui nécessitent l'implication de plusieurs compétences ne sont pas abordées par les équipes de recherche.

Description de la démarche et de la structuration de l'action

- 6- Etat de l'art sur la caractérisation et le vieillissement des peintures vertes. Inventaire des peintures vertes commercialisées.
- 7- Choix des peintures biosourcées et pétrolières (utilisées comme témoins pour une même application), des méthodes de caractérisation et des conditions de vieillissement.
- 8- Caractérisation des peintures non vieilles (physiques, chimiques, structurales, biologiques,..).
- 9- Caractérisation des peintures pendant leur vieillissement et des produits de dégradation.
- 10- Identification et modélisation des mécanismes de dégradation.



Productions prévues

- Rapport de synthèse de l'état de l'art et des résultats (décembre 2018)
- Acte de colloques ICBBM 2017 et 2019
- Rédaction d'un article scientifique

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

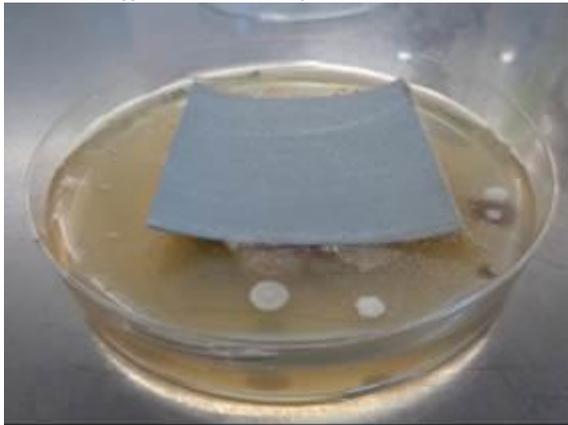
Nom- Prénom	Dpt/Labo	Estimation h/mois par an	Principale contribution
Sandrine Marceau	CPDM	2	Caractérisation structurale et modélisation des phénomènes de vieillissement
Fabienne Farcas	CPDM	2	Caractérisation chimique et physico-chimique. Identification des phénomènes de vieillissement
Dinarzed Diafi	CPDM	2	Vieillissements environnementaux,

			Caractérisation structurale
Issam Nour	CPDM	3	Vieillessement microbien et Caractérisation chimique et physico-chimique

Valorisations possibles

Le projet VIPER s'inscrit dans une thématique prioritaire de la DGALN (Groupe de travail Matériaux biosourcés). Il permettra de fournir des données fiables sur la durabilité des peintures biosourcées dont le marché est en plein développement. Les résultats obtenus permettront de faire évoluer les réglementations liées à ce type de produits, qui s'appliquent actuellement spécifiquement aux peintures pétrolières. Ils permettront également de donner des recommandations aux fabricants et aux utilisateurs sur la formulation et la mise en œuvre de ces matériaux. De plus, la dimension biologique du projet contribue à une meilleure gestion de la qualité de l'air intérieur des bâtiments, renforçant ainsi la protection sanitaire des usagers.

Test de l'effet biocide de peinture



© Marielle Guéguen Minerbe

**TP-Box (Transverso Profilomètre Box) ou XP-Box (Cross Profilometer Box) :
Développement d'un outil d'auscultation à bas-coût pour la détection des défauts de
surface transversaux**

Axe de rattachement : Axe 2

Mots-clés (6 maxi) : Auscultation de surface, défauts transversaux, système bas-coût, réseaux routiers secondaires, analyse et exploitation automatisées.

Responsable IFSTTAR Fabien Menant (LAMES)

Autre Responsable Jean-Marc Martin (LAMES)

Durée : 2 ans (2016-2017)

Enjeux et objectifs

En 5 ans, Le LAMES a développé plusieurs outils (GSR, UniBox et MIRANDA) destinés principalement aux gestionnaires de réseaux routiers afin qu'ils puissent, de façon économique, détecter et surveiller des défauts de surface présents dans le sens longitudinal de la chaussée. Devant le fort intérêt manifesté par les gestionnaires (notamment pour la gestion des réseaux secondaires) ainsi que par les entreprises du domaine (entreprises du BTP, entreprises d'ingénierie routière), il est logique de continuer dans cette voie et de compléter cette gamme d'outils par le développement de systèmes de mesures permettant la détection de défauts supplémentaires. Notre choix s'est porté sur les défauts dits « transversaux » les plus significatifs regroupant, par exemple, les ornières et les affaissements.

Comme pour l'UniBox dans le passé, le défi scientifique est de savoir s'il est possible de mettre au point un système de mesure à bas-coût (relativement au coût des appareils de référence sur le marché) qui permette, avec une précision et une fiabilité qui sera à évaluer, la détection et la caractérisation de défauts transversaux significatifs.

Cette démarche s'inscrit donc dans la volonté de proposer de nouveaux outils permettant une meilleure préservation des infrastructures routières (Axe 2). Ceux-ci s'adressent en premier lieu aux collectivités locales qui ont un réel besoin d'outils adaptés pour gérer les réseaux secondaires (rappelons que ces réseaux représentent environ 400 000 kms en France et qu'ils sont de plus en plus circulés). De fait, ces outils intéressent aussi les laboratoires publics ou privés susceptibles de répondre aux appels d'offres lancés par ces collectivités.

Valeur ajoutée de la demande

Comme pour les outils précédemment cités, ce travail s'inscrit dans une logique d'auscultation moderne qui tient compte à la fois de l'essor de nouveaux types de capteurs et des contraintes économiques actuelles. Désormais, les gestionnaires ont besoin d'avoir plus d'informations que jamais pour évaluer en temps quasi-réel l'état de leur réseau et suivre, de façon rapprochée, l'évolution des défauts existants. Pour répondre à cette demande, le LAMES s'oriente vers le développement d'outils d'auscultation faisant appel à des capteurs dits de « bas-coût » qui n'offrent certes pas le même niveau de précision que les appareils de référence mais dont l'emploi peut, dans certains cas et selon une certaine méthodologie (nombre de relevés, conditions de mesures, etc.), suffire à la construction d'indicateurs exploitables par les gestionnaires.

Actuellement, il n'existe pas, sur le marché, de solutions à bas-coût pour la détection des défauts transversaux en surface de chaussée (mis à part le TUS qui est obsolète et peu adapté à des voies de faible largeur). Le niveau d'innovation est donc maximal (au même titre que le niveau de risque) d'où l'intérêt d'inscrire ce travail dans un projet d'initiative ciblée qui permettrait, au minimum, de procéder à une étude préliminaire (étude de faisabilité) avant la phase de développement proprement dite.

Sur le plan scientifique, l'objectif principal d'une telle démarche est de déterminer le potentiel métrologique associé aux caractéristiques du ou des capteur(s) retenus ainsi qu'aux méthodes

de traitement des mesures. Ainsi, à travers le développement de ce matériel, plusieurs sujets scientifiques comme la maîtrise des incertitudes de mesure où la fusion d'informations multi-capteurs seront probablement abordées.

Démarche entreprise

Le plan de développement suivant peut-être envisagé :

- 1- état de l'art sur les systèmes d'auscultation actuels (précision, conditions de mesures, coût, avis des utilisateurs, etc.) ; analyse de besoins portant sur le développement du nouvel appareil.
- 2- étude des caractéristiques techniques des capteurs et systèmes d'acquisition candidats à la conception du transverso-profilomètre ; sélection des instruments les plus appropriés.
- 3- évaluation intrinsèque des capteurs retenus en laboratoire (sur banc de test) ; simulation de défauts routiers.
- 4- développement des méthodes de traitement des données prenant en compte les caractéristiques des capteurs ; proposition d'indicateurs routiers.
- 5- construction d'un prototype (matériel) et conception d'une composante logicielle ; test sur véhicule d'essai.
- 6- tests en « vraie grandeur » sur routes ; obtention de mesures de références par le passage d'appareils dédiés.
- 7- analyse des résultats et synthèse sur la capacité métrologique du système.
- 8- perspectives (améliorations possibles, couplage avec d'autres systèmes, etc), en vue de développer la version finale, diffusable, de l'appareil.

Partenariats

Partenaire IFSTTAR : équipe SII du Département COSYS (équipe spécialisée dans le développement et l'intégration de systèmes de mesures).

Partenaire externe : en fonction des ressources IFSTTAR disponibles dans les domaines de l'électronique et l'informatique industrielles, des contacts pourraient être pris avec des entreprises spécialisées.

Productions prévues

La finalité du projet est la conception d'un nouvel appareil d'auscultation. Comme pour l'UniBox, si ce produit donnait satisfaction il pourrait faire l'objet d'une qualification matériel mlpc et être diffusé en France et à l'étranger (proposition d'un prototype pour 2018).

En fonction des résultats obtenus et des possibilités de diffusion commerciale, des productions littéraires dans des revues spécialisées (typiquement la RGRA) ainsi que des communications (conférences TRA, SURF, etc.) pourraient être effectuées (à partir de 2017).

Résultats obtenus en 2016 :

Les travaux effectués en 2016 sont en relation avec les points 1 à 3 du plan de développement mentionné dans le paragraphe « Démarche entreprise ».

- 1- état de l'art sur les systèmes d'auscultation actuels et analyse de besoins portant sur le développement du nouvel appareil.

En France, l'appareil à grand rendement le plus utilisé pour ausculter le profil transversal des chaussées sur les réseaux routiers est le TUS (système conçu et développé par le RST). Il s'agit d'un appareil dont l'architecture est de type « règle » pourvu de capteurs à ultrasons répartis à intervalles réguliers sur toute sa longueur. L'ensemble constitue un système de mesure relativement encombrant (Figure 1) qui doit être monté sur un véhicule support au prix

d'efforts d'intégration et de protection conséquents. Cette approche métrologique et technique se retrouve également à l'étranger avec le développement de systèmes analogues au TUS (Figure 2).



Figure 6. Vue du TUS (Transversoprofilomètre à ultrasons) utilisé en France



Figure 7. Transverso-profilomètre vendu par la société ROMDAS (Australie)

Pour la plupart de ces systèmes, la technologie utilisée pour la prise de mesure repose sur l'exploitation de capteurs à ultrasons qui ont l'avantage d'être relativement précis (précision millimétrique) et insensibles à des facteurs environnementaux (luminosité ambiante, humidité de la surface de la chaussée, etc.). En contrepartie, s'agissant de capteurs directs, leur nombre doit être démultiplié pour pouvoir couvrir la largeur d'une voie de circulation (ou du moins une bonne partie) ce qui nécessite une parfaite synchronisation. Par ailleurs, ces capteurs utilisant des ondes acoustiques pour estimer la distance avec la cible, la fréquence de travail associée est limitée (< 50 Hz) ce qui peut représenter une contrainte pour les appareils à grand rendement.

Pour ces raisons, mais également par rapport à l'âge de ce type de systèmes (> 15 ans), il est clair qu'une modernisation de ce genre d'appareils se justifie amplement. Mais celle-ci doit également tenir compte de nouvelles exigences de la part des clients qui recherchent notamment des systèmes de mesures de plus en plus faciles à intégrer (systèmes déplaçables d'un véhicule à un autre), plus compacts et surtout moins chers. Par ailleurs, la lecture des résultats doit être davantage immédiate ce qui implique de repenser également la partie logicielle servant à l'exploitation des mesures.

Si l'on se réfère à la commercialisation récente de l'UniBox et aux premiers retours des utilisateurs/clients, on se rend bien compte qu'il existe un réel besoin de disposer de systèmes de mesures de ce genre qui sont certes un peu moins précis que les appareils dédiés mais qui peuvent néanmoins suffire pour certaines applications (ex : auscultation des réseaux

secondaires, autocontrôle des entreprises de travaux publics, etc.). Enfin, toujours par rapport aux retours commerciaux de l'UniBox, nous avons noté qu'un seuil de prix de vente de 15 000 euros constituait un niveau maximal d'acceptabilité pour le client. Ce critère participe ainsi à l'orientation technologique choisie pour le développement d'une TP-Box.

2- étude des caractéristiques techniques des capteurs et systèmes d'acquisition candidats à la conception du transverso-profilomètre ; sélection des instruments les plus appropriés.

Compte-tenu des limitations des systèmes actuels et des besoins exprimés par les futurs utilisateurs, nous n'avons pas cherché à développer un système analogue au TUS (*i.e.* de type règle à capteurs ultrasons mais en moins chers). Ainsi, nous avons opté pour une solution technologique plus en rupture mais dont nous maîtrisons moins le cadre de développement.

Sur le modèle des appareils très sophistiqués permettant des reconstructions de surface d'objet ou de façades en milieu urbain par exemple, nous avons opté pour un capteur de type LIDAR (télémètre laser à balayage). En effet, ce type d'appareils qui était principalement utilisé dans le domaine de la robotique comme capteur extéroceptif pour prendre des distances face à un obstacle (ex : guidage de robot) sert de plus en plus à « scanner » en 3D différentes scènes environnantes aussi bien en intérieur qu'en extérieur. Dans cette IC, l'idée est de se servir de ce type de scanner comme profilomètre transversal de la chaussée en le positionnant à l'aplomb de celle-ci via une fixation sur le toit d'un véhicule (Figure 3). De cette manière, un seul et unique capteur permettra de reconstituer à un intervalle de distance donné et à chaque scan (ou chaque front de mesure) le profil en travers de la route. Par ce principe, des mesures peuvent être effectuées sur toute la largeur de la voie de circulation (et même au-delà) ce qui pâlie à la limitation du TUS qui ne peut exécuter de mesures en dehors de la largeur du véhicule.



Figure 8. Illustration du principe de mesure par télémétrie laser à balayage (scanner)

Pour s'inscrire dans cette démarche et en veillant à respecter les contraintes économiques (esprit « bas-coût), nous avons retenu, dans un premier temps, le télémètre laser à balayage LMS 111-100 de chez SICK. Ce capteur est un scanner « outdoor » dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- Portée de 0.5 à 20m ;
- couverture de 270° ;
- résolution angulaire de 0.5° ;
- Fréquence de scan de 50 Hz ;

- niveau d'erreur de mesure de 12mm.

A priori ce capteur satisfait la plupart des critères demandés puisqu'il offre un bon compromis entre ouverture angulaire (pour couvrir toute la voie de circulation), précision, robustesse (fonctionnement extérieur) et prix.



Figure 9. Scanner SICK LMS 111-100

3- évaluation intrinsèque des capteurs retenus en laboratoire (sur banc de test) ; simulation de défauts routiers.

Une grande partie du travail accompli dans ce domaine a été d'interfacer le capteur avec un PC. Ce travail a été dès le départ rendu difficile par des problèmes de communication entre ces deux derniers au moyen de la liaison Ethernet (problème de connexion réseau due notamment à la configuration des PC à l'Ifsttar et à une mauvaise identification de l'adresse IP du capteur).

Les capteurs SICK peuvent être pilotés et interrogés en suivant un protocole de communication strict. Celui-ci est basé sur ce que le fabricant appelle des « télégrammes » qui correspondent à des suites d'instructions codées en ASCII ou en hexadécimal. Ce travail étant assez lourd, il a été décidé de travailler en parallèle avec un logiciel propriétaire qui permet de visualiser les données enregistrées par le scanner.

L'un des premiers tests réalisés a consisté à apprécier la qualité des mesures fournies par le scanner à partir de relevés effectués sur une surface parfaitement plane. Ces essais ont révélé que le LMS111 fournissait un niveau de bruit relativement élevé par rapport aux grandeurs que l'on cherche à atteindre ce qui pourrait nuire *in fine* à la qualité de restitution du profil en travers. Cette étude s'est poursuivie, en laboratoire, en présentant des cibles de différentes largeurs au scanner et de savoir s'il était possible de déterminer ces dernières à partir des informations issues du capteur (Figure 5). Dans un second temps, le scanner a été mis en œuvre *in situ* en le positionnant de façon statique au-dessus d'une chaussée présentant un défaut de surface transversal.

Au regard de ces essais, le niveau de performance des mesures brutes (*i.e.* sans processus de filtrage) offert par le LMS111 est à la limite de l'acceptabilité par rapport aux objectifs fixés. Il serait opportun de tester un ou deux scanners supplémentaires pour gagner en particulier en précision quitte à perdre en ouverture angulaire.

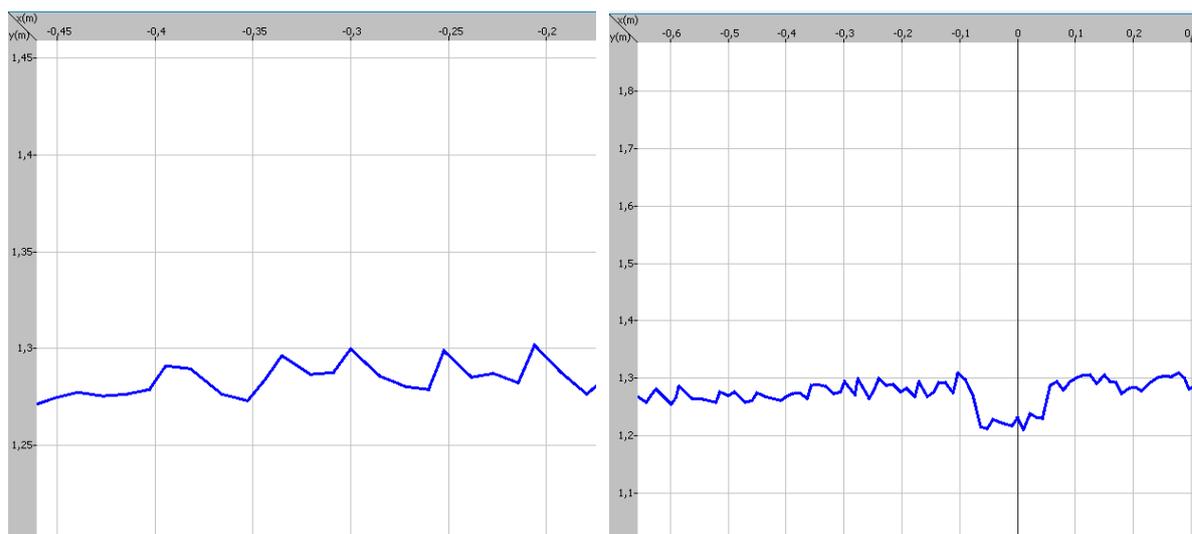


Figure 10. Visualisation de scans (à gauche sur une surface plane et à droite face à une cible de 7 cm d'épaisseur en $x=0cm$)

Programme pour l'année à venir :

Programme 2017 : activité suspendue.

Programme 2018

Pour la seconde partie du projet de développement de la TP-Box, l'essentiel de l'activité consistera dans un premier temps à tester un second scanner et d'évaluer ses capacités métrologiques notamment par comparaison avec celles du LMS111. Une fois le scanner le plus adapté retenu, on finalisera le processus d'interfaçage du capteur puis on exécutera une série de tests sur des sections routières. L'objectif est de mettre au point un système dont les mesures brutes sont les plus précises possibles puis d'intégrer les fonctions de positionnement géographique (coordonnées GPS et abscisse curviligne). Pour cela, on pourra bénéficier du travail effectué dans le cadre du développement de l'UniBox (utilisation d'un GPS bas-coût). Au final, on souhaite ainsi créer des fichiers de mesure (au format MEC) contenant des données permettant de reconstituer les profils en travers successifs le long d'une section routière. Ces informations seront agrégées en utilisant les indicateurs standards et ces derniers seront comparés à ceux calculés à partir des mesures du TUS pour validation.

En fonction de l'avancement des travaux et du temps disponible, on pourra songer à développer, dans un deuxième temps, des méthodes de filtrage numérique pour traiter les mesures brutes et améliorer ainsi la qualité de restitution du profil en travers.

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 6 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : XX hm/an

OGSEER : Optimisation de la Gestion Socio-Economique et Environnementale des travaux d'entretien sur un Réseau, par analyse géographique du territoire et détermination des impacts des chantiers

Axe de rattachement : 3 (ex 3D)

Mots-clés (6 maxi) : gestion ; Impacts socio-économiques ; cartographie/SIG ; simulation ; traitement de données ; aide à la décision

Responsable IFSTTAR Pierre HANKACH, MAST, LAMES

Autre Responsable

Durée : 2 ans (2016-2017)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar, contribution au COP, références bibliographiques*). (A titre indicatif, ½ page)

Les enjeux sociétaux, économiques et environnementaux liés aux travaux d'entretien et d'amélioration d'un réseau de transport sont très importants. Ces enjeux comprennent notamment :

- le service rendu à la population, aussi bien en termes de mobilité qu'en termes de développement des activités sociales et économiques;
- les nuisances subies par différentes parties prenantes durant la phase des travaux (bruit, trafic, pollution, etc.) et ultérieurement durant l'exploitation ;
- les impacts des travaux vis-à-vis de l'environnement.

Traditionnellement, la programmation des travaux d'entretien (souvent assistée par un système d'aide à la gestion, par exemple le système GiRR développé à l'IFSTTAR) repose sur des critères techniques liés à la préservation du patrimoine. Les aspects socio-économiques et environnementaux, pourtant au cœur de la fonction d'un réseau, ne sont pas suffisamment pris en compte dans le processus de décision. Par exemple, lors de l'arbitrage entre deux sections A et B à entretenir, la section A peut être privilégiée à la section B parce qu'elle est légèrement plus dégradée, même si la section B est plus stratégique (par exemple, parce qu'elle assure la desserte d'une grande partie de la population ou d'une activité économique importante).

Jusqu'à présent, la prise en compte de ces critères socio-économiques et environnementaux n'était pas aisée à cause de verrous techniques et de l'indisponibilité des données appropriées. Avec la mise à disposition massive des données ces dernières années (démarche open data, données collaboratives, etc.) ainsi que le développement d'outils SIG et de divers simulateurs (bruit, trafic, pollution, etc.) cette prise en compte est devenue possible et même nécessaire pour répondre aux attentes de la population grâce à un diagnostic multicritère.

L'objectif de cette Initiative ciblée est de permettre la prise en compte des critères socio-économiques et environnementaux dans le processus de programmation des travaux d'entretien. Cette démarche nécessite, lors d'une première étape, de caractériser le territoire et son interaction avec le réseau. Ensuite, les impacts sont identifiés : à court terme, pendant la phase de travaux, notamment divers nuisances (bruits, trafic, pollution, etc.) ; à long terme, notamment l'importance du service assuré à la population et à l'activité économique. Enfin, le processus de programmation est mis à niveau pour prendre en compte ces nouveaux critères.

Cette IC se positionne dans le cadre de la démarche pour améliorer les systèmes d'aide à la gestion actuels et dans la continuité de plusieurs projets dont le laboratoire LAMES a été acteur. En effet, elle permettra d'étendre les capacités du système actuel d'aide à la gestion, développé à l'IFSTTAR depuis une vingtaine d'années, en intégrant des indicateurs socio-économiques et environnementaux, qui s'ajouteront aux indicateurs techniques et budgétaires actuellement pris en compte. Elle s'appuiera sur les résultats de deux projets récents : le projet ANR FURET, qui a étudié les impacts des chantiers de construction dans un milieu urbain et le projet européen EVITA qui a proposé une

formalisation de certains indicateurs environnementaux (appelés E-KPI, pour *Environmental Key Performance Indicators*). Cette IC a pour ambition d'étendre les résultats obtenus dans ces deux projets afin de rendre le calcul et l'intégration des nouveaux indicateurs visés dans un système de gestion possible.

Valeur ajoutée de la demande (*potentiel d'innovation, originalité de la recherche, potentiel du projet scientifique*) (A titre indicatif, ½ page)

L'axe de recherche lancé est très prometteur, et permettra d'aboutir à des systèmes de gestion de l'entretien plus performants. Le fait de prendre en compte les intérêts de la population (en plus des intérêts du gestionnaire qui ont trait à la préservation du patrimoine) dans le processus de programmation des travaux d'entretien est un apport majeur à la pertinence de ces systèmes.

L'approche nécessite de développer des méthodes et algorithmes d'analyse et de fusion de données géographiques, de l'intégration de simulateurs d'impacts et d'étudier la mise à niveau des systèmes d'aide à la décision actuels pour intégrer les nouveaux critères. Notons aussi que notre démarche fera usage de données publiques mises en « open access » après les directives européennes afin de permettre les innovations autour de ces données au bénéfice de la société.

Démarche entreprise (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches*) (A titre indicatif, ½ page)

Nous commencerons par réaliser une bibliographie sur l'étude des impacts des travaux, la délimitation des zones d'influence, les sources de données exploitables pour caractériser le territoire, etc. Ensuite, la démarche se décompose en trois étapes :

1. **Analyse et fusion de données géographiques** pour caractériser le territoire et son interaction avec le réseau. Cette étape s'appuiera sur des données librement disponibles (openstreetmap.org, data.gouv.fr, etc.). Elle permettra notamment d'identifier la répartition de la population à proximité du réseau, la population desservie par les différentes composantes de ce dernier, les points d'intérêts importants, l'activité économique et sa dépendance du service rendu, etc.
2. **Identification des effets des travaux.** Cette étape permettra de déterminer les impacts des travaux à court et long termes. A court terme, les nuisances induites par le chantier sont étudiées afin d'identifier la gêne occasionnée à la population (ce travail a été déjà initié à travers notre participation au projet ANR FURET). Divers simulateurs (bruit, trafic, pollution, etc.) peuvent être intégrés pour délimiter les zones d'influence des travaux. A long terme, une projection des avantages sociaux et économiques est réalisée (service rendu, potentiel économique, etc.)
3. **Intégration des critères socio-économiques et environnementaux dans le processus de décision.** En se basant sur l'analyse de données et l'étude des impacts réalisées, les critères socio-économiques et environnementaux seront intégrés au processus de prise de décision pour programmer les travaux.

Partenariats

- Le laboratoire EASE du département AME à l'IFSTTAR
- Recherche de possibilités de collaborations externes

Productions prévues

Les résultats et retombées de cette IC sont nombreux :

- Identification des données socio-économiques et environnementales du territoire exploitables, et ceci à partir des données partagées en « open data » par les collectivités, villes et institutions publiques (IGN, INSEE, etc.) ainsi que de données collaboratives (openstreetmap, etc.).
- Développement et mise en œuvre de méthodes d'intégration et de fusion des données géographiques (identifiées précédemment) pour préparer une entrée adaptée au calcul des indicateurs. Cette étape est essentielle pour rendre le calcul de ces derniers possibles. Ce

processus pourra nécessiter de faire appel à divers simulateurs (par exemple un simulateur de propagation de bruit) afin de délimiter les zones d'impacts (par exemple la zone géographique exposée au bruit en bordure d'une voie).

- Elaboration d'un indicateur de l'importance stratégique des projets d'entretien reflétant l'importance de l'entretien de l'infrastructure pour l'activité économique, ainsi que les services d'accès et de mobilité assurés à la population et aux usagers, etc. Il prendra en paramètres les caractéristiques du territoire (type de la zone, densité...) desservi par la partie du réseau concernée par l'entretien, les sollicitations (trafic), la disponibilité d'alternatives pour assurer le service (trajets alternatifs), etc., afin d'évaluer pertinemment les bénéfices sociaux et économiques pour les usagers, la population et les commerces liés à un projet d'entretien. L'intégration de cet indicateur dans un système de gestion permettra un arbitrage plus pertinent entre différents projets.
- Développement d'un module de calcul des divers indicateurs socio-économiques et environnementaux, étape primordiale pour leur intégration dans un système de gestion. Parmi ces indicateurs, nous distinguons :
 - Les indicateurs environnementaux E-KPI définis dans le projet Evita, qui ont trait à l'évaluation des conséquences des projets d'entretien de l'infrastructure de transport sur le bruit, la qualité de l'air, la qualité de l'eau, etc.
 - L'indicateur d'importance stratégique.

En plus de l'apport évident à la performance et à la pertinence des systèmes d'aide à la gestion de l'entretien, cette IC jeune chercheur a également pour objectif de développer mon projet scientifique en y intégrant une nouvelle thématique tant importante qui complète les autres aspects de recherche autour des systèmes de gestion. Elle permettra aussi de préparer un sujet de thèse sur cette thématique et de développer notre réseau pour de futures collaborations.

En termes de production, nous prévoyons des communications/publications et un démonstrateur logiciel.

Résultats obtenus en 2016 :

Plusieurs actions ont été menées en 2016. Ces actions permettent de préparer les futures étapes du projet. Parmi ces travaux, citons :

- la constitution d'un répertoire de bases de données exploitables, tel que les bases de données partagées par des institutions publiques spécialisées (INSEE, IGN, etc.) et les bases de données créées de façon collaborative par les utilisateurs (open street map, etc.). Dans ces bases, sont renseignées notamment des informations sur la répartition de la population, les réseaux de transport et les déplacements, la démographie, l'activité économique, les sites particuliers, etc.
- l'importation des bases mentionnées dans un serveur de données central
- la réalisation d'un prétraitement pour faciliter l'exploitation ultérieure, notamment l'uniformisation de la projection géographique, la réalisation d'une correspondance entre les entités des différentes bases, etc.
- la réalisation d'une première analyse cartographique avec des outils de visualisation existants
- la réalisation d'un état de l'art sur les méthodes d'analyse statistique spatiale nécessaire pour la fusion des données
- la réalisation d'un état de l'art et d'un recensement des outils informatiques à disposition (bibliothèques de traitements de données géo-référencées, simulateurs de nuisances, etc.)
- un début de formalisation de certains indicateurs d'impacts des travaux notamment en se basant sur les travaux du projet EVITA, qui a traité des impacts environnementaux des travaux d'entretien.

Programme pour l'année à venir :

Dans la continuité des premiers travaux réalisés en 2016, la poursuite de la recherche traite du développement des méthodes et algorithmes d'analyse et de fusion de données géographiques, de l'intégration de simulateurs d'impacts, de la formulation d'indicateurs, du calcul de ces derniers et de

l'intégration de ces derniers au processus de décision. Les actions de développement suivantes sont identifiées :

Analyse déterministe et fusion des données géographiques

Cette étape permet de caractériser le territoire et son interaction avec le réseau. Elle s'appuiera sur des données librement disponibles (openstreetmap.org, data.gouv.fr, etc.). Elle permettra notamment d'identifier la répartition de la population à proximité du réseau, la population desservie par les différentes composantes de ce dernier, les points d'intérêts importants, l'activité économique et sa dépendance vis-à-vis du service rendu, etc. Cette analyse préliminaire couplée à une fusion des données vise à préparer une entrée adaptée au calcul des indicateurs ; elle est essentielle pour rendre le calcul de ces derniers possibles.

Analyse statistique spatiale

Cette étape permet d'aller plus loin dans l'analyse des données géographiques pour mieux caractériser le territoire. Elle permettra, par exemple, de délimiter des zones d'intérêt par rapport à certains critères, d'établir les interactions spatio-temporelles, de mettre en évidence les autocorrélations spatiales à intérêt (par exemple, la corrélation entre le niveau de service assuré par un réseau de transport avec le développement de l'activité économique).

Cette étude s'appuiera sur les méthodes d'analyse développées en statistique descriptive, statistique spatiale, économétrie, etc.

Identification des effets des travaux

Cette étape permet de déterminer les impacts des travaux à court et long termes. A court terme, les nuisances induites par le chantier sont étudiées afin d'identifier la gêne occasionnée à la population. Divers simulateurs (bruit, trafic, pollution, etc.) peuvent être intégrés pour délimiter les zones d'influence des travaux. A long terme, une projection des avantages sociaux et économiques est réalisée (service rendu, potentiel économique, etc.)

Modélisation et calcul des indicateurs socio-économiques et environnementaux et intégration dans le processus de décision

Le développement et le calcul des divers indicateurs socio-économiques et environnementaux permettent de prendre en compte ces critères dans un système de gestion. Ces indicateurs sont calculés en se basant sur l'analyse de données et l'étude des impacts réalisées. Les indicateurs suivants seront développés :

- un indicateur de l'importance stratégique des projets d'entretien reflétant l'importance de l'entretien de l'infrastructure pour l'activité économique, ainsi que les services d'accès et de mobilité assurés à la population et aux usagers. Il permettra d'évaluer pertinemment les bénéfices sociaux et économiques pour les usagers, la population et les commerces.
- Des indicateurs environnementaux, dont le calcul sera inspiré par les résultats du projet de recherche EVITA, qui ont trait à l'évaluation des conséquences des projets d'entretien du réseau routier sur la fluidité du trafic, le bruit, la qualité de l'air, la qualité de l'eau, etc.

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 6 hm/an

Valorisations possibles

Publications et démonstrateur logiciel.

Cycleval : Evaluation de la cyclabilité d'itinéraires selon une échelle d'efforts

Axe de rattachement : 3 (ex axe 4)

Mots-clés (6 maxi) : résistance à l'avancement, vélo, piste cyclable, cyclabilité, mobilité, énergie

Responsable IFSTTAR PRUAL (AME, EASE)

Autre Responsable VANDANJON (AME, EASE), BLANCHARD (CEREMA)

Durée : 2 ans (2016-2017)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar, contribution au COP, références bibliographiques*). (A titre indicatif, ½ page)

Confronté à des défis sociaux, économiques et écologiques, les politiques publiques de mobilité urbaine font du vélo un axe majeur de développement. Par ailleurs, les maîtres d'ouvrage changent de paradigme en passant d'une culture traditionnelle de mise à disposition d'une infrastructure à une offre de mobilité centrée sur les usages.

L'initiative ciblée que nous proposons se situe au carrefour entre cet axe du développement du vélo et celui du changement de paradigme des politiques publiques de mobilité.

Le Cerema a développé un appareil très performant d'inspection des pistes cyclables pour détecter des désordres : le velaudit. Nous proposons d'ajouter une fonctionnalité à cet outil qui permet de mesurer la difficulté à parcourir un itinéraire.

Il s'agit de passer du velaudit 1.0 centré sur les infrastructures au velaudit 2.0 centré sur les usages.

La proposition de ce nouveau service se base sur les constatations faites lors de notre travail au sein de Novabuild dans la commission sur les pistes cyclables. Nous avons travaillé sur deux points.

1. La transposition des outils de mesures routières sur les pistes cyclables, travail présenté à Vélocity 2005 : [1].
2. Une base de données de matériaux pour les pistes cyclables, travail également présenté à Velocity 2015 : [2].

Lors de ces deux travaux, les cyclistes interrogées nous ont fait part du frein au changement modal que constitue la difficulté de certains itinéraires. C'est un problème bien connu. Pour impulser ce changement modal, certaines collectivités locales ont, ainsi, mis en place des subventions à l'achat de vélo électrique. Au niveau des infrastructures, nous proposons que les pistes cyclables soient évaluées aussi en fonction de leur difficulté à l'usage ce qui est appelé la cyclabilité.

Ce développement s'inscrit dans la thématique de notre équipe sur l'analyse des usages en lien avec l'écoconception.

Valeur ajoutée de la demande

Aucun système d'aide à la mobilité à vélo ne propose un critère de difficulté lié à l'effort en fonction de la météo (vitesse et direction du vent) ainsi que des aspects de protection au vent (bâtiment, rideau d'arbre), de la géométrie longitudinale et de la résistance au roulement.

Dans un premier temps le projet permettrait d'améliorer sensiblement un outil existant comme le Vel'audit en développant un système d'évaluation d'effort dont une partie serait une instrumentation complémentaire au Vel' audit et une autre partie le développement d'un logiciel de traitement des données.

Dans un deuxième temps, le projet permettrait de compléter des outils existants d'aide à la mobilité comme geovelo, en utilisant les modèles validés dans la première partie avec des données de masse (météo, SIG).

Le potentiel scientifique du projet se situe donc bien à la charnière des 2 parties par une méthodologie d'expérimentation, identification, modélisation, validation.

Démarche entreprise (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches*) (A titre indicatif, ½ page)

Etape 1 :

mise au point des capteurs existants du Vel'audit (GPS, central inertiel) par la méthode de fusion de données afin d'avoir des données réalistes sur les profils en long ou par intégration d'un GPS RTK low cost (en partenariat avec COSYS et CEREMA) (2016)

Etape 2 :

choix des capteurs additionnels et instrumentation du Vel'audit (capteur de couple) (2016)

Etape 3 : mise au point et essais (PRER Nantes), dépouillement des données, identification des différentes composantes (résistance au roulement, aérodynamisme, géométrie routière), modélisation pour obtenir les algorithmes de traitement des données de masses (2016-2017)

Etape 4 : validation par comparaison des données d'expérimentation (Vel'audit) avec les sorties du modèle utilisant les données de masses (météo, SIG) sur terrain extérieur (piste cyclable Nantes métropoles et AF3V, Oise), benchmarking avec des applications existantes (ex:<http://www.calculitineraires.fr>, <http://www.geovelo.fr>) (2017)

Etape 5 : mise à disposition des modèles pour une implémentation dans une application grand public (partenariat geovelo, AF3V) (2017)

Partenariats

Cerema nantes : instrumentation et essais avec le Vel'audit

AF3V : groupe d'utilisateurs et spécificateurs

Nantes Métropole : terrain d'application

Nova build : communication pro

Geovelo : implémentation logicielle

ICAM de Nantes : mesure de résistance à l'avancement

Laboratoire XLIM - UMR CNRS n°7252 : mesure de résistance à l'avancement et modélisation énergétique des cyclistes [3]

Ifpen : mesure de résistance à l'avancement et modélisation énergétique, validation smartphone en lien avec géovelo

Partenariats interne :

COSYS, GEOLOC : aide à l'intégration GPS RTK

AR (ex GERI) VELO : communication réseau

COSYS, LEPSIS : échanges autour des modèles et du simulateur vélo

Productions prévues

Développement d'un système de mesure et de traitement de l'information sur le Vel'audit du Cerema afin de lui ajouter un service d'évaluation de la cyclabilité d'un itinéraire. Ce système comprend une partie matérielle et une partie logicielle.

L'information sur la cyclabilité sera synthétisée pour être comprise par les utilisateurs.

L'information synthétisée sera validée par un panel d'utilisateurs en 2017 via l'application Géovélo

Participation au congrès international Climat Chance à Nantes (2016) :

<http://www.climatechance2016.com/>

benchmarking européen : montage projet européen (2017)

Résultats obtenus en 2016 :

en 2016, nous avons organisé 3 réunions en visioconférence avec les partenaires du projet. Nous avons défini ensemble une instrumentation adaptée aux attentes des utilisateurs.

Nous avons terminé l'instrumentation du vélo et procédé à des tests de mise au point, ainsi qu'une première série d'essais sur différents revêtements de la PRER (Piste de Référence et d'Expérimentation Routière), le traitement et l'analyse des données sont en cours.

Programme pour l'année à venir :

essais sur différents site urbain et voies vertes, programmation d'un logiciel de restitution avec visualisation cartographique

mise en place d'une enquête auprès des utilisateurs

mise à disposition des modèles, validés par les expérimentations, aux partenaires industriels

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar :

3 h.m technicien par an

3 h.m chercheur par an

Temps prévus XLIM : 0.5 h.m chercheur par an

Temps prévus Ifpen : 0,5 h .m chercheur par an

Temps prévus ICAM 1 h.m chercheur par an

Temps prévus cerema 1 h.m ingénieur par an

Valorisations possibles

La valorisation s'oriente vers un logiciel d'aide à la sélection d'itinéraires. Ce logiciel reposera sur une évaluation de la cyclabilité des itinéraires selon les pentes, les matériaux, l'exposition au vent, etc.

La valorisation à destination des gestionnaires de pistes sera réalisée sous forme de prestation d'essais ou sous forme de vente de matériel.

Les gestionnaires exploiteront alors les résultats du logiciel pour le développement de leurs pistes ou communiqueront les résultats aux usagers pour le choix d'itinéraires.

Bibliographie

[1] A. Coiret, G. Blanchard, G. Le Denmat, et P. O. Vandanjon, « Transposability of road management devices to the evaluation of comfort and safety of cycling lanes », in *VELOCITY 2015*, 2015, p. 1p.

[2] M. Nedonchelle, F. Gerain, G. Le Denmat, A. Coiret, P. O. Vandanjon, J. M. Prual, L. Vidal, et G. Blanchard, « Pistes cyclables et innovation dans les marchés publics », in *VELOCITY 2015*, 2015, p. 11p.

[3] D. Grossoleil, D. Meizel, « Sur un modèle énergétique de cycliste pour optimiser l'hybridation d'énergie humaine », *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 2014, VOL 48/4-6, pp.473-492

CyberSecTVI : Cybersecrurité pour les transports et la ville intelligente

Axe de rattachement : 3 (ex axe 4)

Mots-clés (6 maxi) : Cyber Sécurité, analyse de risque, menaces, attaques, architecture résiliente

Responsable IFSTTAR Christophe Gansart, COSYS, LEOST

Autre Responsable Nom et organisme

Durée : 2 ans (2016 – 2017)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar, contribution au COP, références bibliographiques*). (A titre indicatif, ½ page)

La Cyber Sécurité est maintenant une problématique majeure dans notre société. Chaque semaine, un nouveau scandale de piratage, de vol de données ou de déni de service est dans la presse. Les infrastructures de transports considérées comme étant des OVI ainsi que les avancées technologiques dans la ville intelligente doivent se protéger contre ces menaces.

Citons un exemple dans le domaine automobile :

« Les constructeurs automobiles se regroupent autour de la cybersécurité par Emilien Ercolani, le 26 août 2015 11:55 *Deux associations, qui comptent parmi leurs membres les plus gros constructeurs automobiles, se rassemblent pour former une alliance pour mieux aborder la cybersécurité dans les véhicules. * Enfin ! Tout le monde se souvient de la récente prise en main à distance d'une Jeep Cherokee aux Etats-Unis. C'était en juillet dernier.

<<http://www.linformaticien.com/actualites/id/37389/automobile-de-grosses-failles-dans-les-ordinateurs-de-bord-demonstration.aspx>>

Les chercheurs Charlie Miller et Chris Valasek ont démontré qu'il existait des failles dans le système Uconnect de Fiat Chrysler notamment. L'opération, réalisée avec le concours d'un journaliste de /Wired/, conduisait le constructeur à rappeler 1,4 million de véhicules

<<http://www.linformaticien.com/actualites/id/37420/fiat-chrysler-rappelle-1-4-million-de-vehicules-aux-etats-unis.aspx>>.

Avec le développement rapide des voitures autonomes, la cybersécurité devient donc un enjeu plus que stratégique pour les constructeurs. Hors de question de voir leurs modèles piratés sur les routes. Il en va bien entendu de la sécurité des passagers. C'est pourquoi l'« Alliance of Automobile Manufacturers <<http://www.autoalliance.org/members>> » et l'« Association of Global Automakers <<https://www.globalautomakers.org/about>> » viennent de s'associer pour créer un centre de partage d'informations et d'analyse (ISAC) en commun, rapporte /Automotive News

<<http://www.autonews.com/article/20150824/OEM06/308249985/automakers-form-alliance-to-bolster-cybersecurity>>/.

Dans ces associations, on retrouve des groupes comme BMW, Fiat Chrysler, Ford, GM, Mercedes-Benz, Toyota, Porsche, etc. En revanche, aucun constructeur français ne fait visiblement partie des associations, même s'ils pourraient rejoindre prochainement l'alliance. Concrètement, tous ces constructeurs vont donc pouvoir échanger et analyser les potentielles vulnérabilités qui pourraient toucher tant leurs systèmes que leurs réseaux. La création de l'ISAC n'est pas prévue avant la fin de l'année, mais une plateforme est déjà ouverte pour la collaboration entre les constructeurs. A terme, une équipe d'experts en sécurité travaillera à temps plein sur ce projet.

Tesla, à l'avant-garde - Certains constructeurs n'ont pas attendu cette initiative pour prendre les devants. Nous pensons notamment à Tesla, qui semble très en avance sur le sujet, et compte dans ses équipes plusieurs spécialistes de la sécurité informatique

<http://www.linformaticien.com/actualites/id/33941/tesla-embauche-des-specialistes-de-la-securite.aspx>. De plus, des chercheurs américains avaient déjà publié un article expliquant à quel point il est complexe de pirater une Tesla Model S. Le constructeur est extrêmement réactif, et comble ses vulnérabilités avec des mises à jour « /over the air /» régulières. D'ailleurs, le « Bugcrowd <https://bugcrowd.com/tesla> » de Tesla permet à tout un chacun de signaler un bug ou une vulnérabilité et d'être rémunéré pour cela. »

Dans le domaine de la ville intelligente et plus particulièrement de la maison connectée, un piratage de compte Gmail a été démontré à partir d'un frigo connecté de la marque Samsung début septembre 2015.

Au sein de l'IFSTTAR, le projet FP 7 SECRET géré par le laboratoire LEOST (par V. Deniau) a bien pris la mesure de l'ampleur du problème depuis déjà trois ans. Des solutions innovantes pour le domaine ferroviaire ont été imaginées et réalisées. Fort de cette expérience, nous souhaitons partager celle-ci avec nos collègues ayant un objet de recherche dans un autre domaine que le monde ferroviaire.

Cette IC veut aborder la problématique de la cyber sécurité et dans un premier temps l'analyse des risques et les solutions pour se prémunir des risques dans les domaines des transports (au travers du projet R5G et du domaine ferroviaire) ainsi que dans le domaine de la ville intelligente (au travers de sense-city).

L'objectif final est de changer la manière de penser des systèmes en y intégrant –dès la conception– la problématique de la sécurité : security by design.

Valeur ajoutée de la demande (*potentiel d'innovation, originalité de la recherche, potentiel du projet scientifique*) (A titre indicatif, ½ page)

La cyber sécurité est un thème de recherche prioritaire du département COSYS.

Les besoins en cyber sécurité se font de plus en plus pressants chaque jour. L'association d'équipes de recherche en télécoms/informatique/CEM ayant une expérience en cyber sécurité (perturbations électro magnétiques intentionnelles) avec des équipes véhicule connecté/autonome et ville intelligente est un plus qui n'a jamais été créé à l'IFSTTAR.

Nous souhaitons arriver à une plateforme ouverte de détection d'attaque et de réaction dans laquelle les partenaires (R5G, sense-city) peuvent venir y insérer des codes permettant de vérifier le bon fonctionnement du système (ex capteur avec des valeurs dans un intervalle défini). En cas de valeur hors intervalle on peut supposer que le système est défaillant et est peut-être face à une cyber attaque.

Démarche entreprise (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches*) (A titre indicatif, ½ page)

Dans un premier temps, nous ferons le tour des solutions actuellement proposées dans le domaine de la voiture connectée (voire autonome) ainsi que des réseaux de capteurs pour la ville intelligente (VI) et réaliserons un travail d'analyse de risques liée aux problèmes de perturbations intentionnelles électro magnétiques qui peuvent perturber le bon fonctionnement des systèmes. Dans un second temps, une évaluation des risques de piratage, intrusion, vol et corruption de données sera menée.

Pour chaque domaine (R5G et VI), nous prendrons un exemple de système de communication et appliquerons dessus des scénarios d'attaque électro magnétiques. Selon le/les protocoles réseau utilisés, nous appliquerons également des attaques au niveau protocolaire. Certaines méthodes d'attaques et de détection ont été réalisées dans le cadre du projet SECRET. Il s'agira de faire évoluer ces méthodes ou de les compléter par la surveillance d'autres données, pour permettre la détection d'autres modes d'attaques de nature protocolaire.

Selon les résultats des phases initiales et selon le temps restant ainsi que les crédits, nous pourrons imaginer une solution d'architecture résiliente à ces modes d'attaque.

Nous souhaitons également rester à jour concernant les avancées vis à vis de nouveaux types d'attaques et de parades. Pour cela nous participerons aux réunions de la plate-forme européenne de cyber sécurité ENISA/NIS (European Union Agency for Network and Information Security).

Partenariats *(nom des partenaires externes (notamment pour les collaborations de recherche) et principal apport de chaque partenaire)*

Projet ELSAT région NPdC alliant cybersécurité et domaine applicatif automobile (en cours d'évaluation par la Région)

Initiative S2R IP2 traitant des problèmes de cyber sécurité pour le monde ferroviaire (lien avec Railenium)

Projet Européen SECRET (FP7) (août 2012-novembre 2015): SECurity of Railways against Electromagnetic aTtacks

Productions prévues *(mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.) - Préciser l'échéance prévue (année)*

Cette initiative devrait permettre aux différents laboratoires impliqués de définir de nouvelles actions de recherche communes. Des expérimentations (démonstrateurs) seront réalisées en fonction de l'avancement des connaissances mutuelles.

Productions :

- Synthèse sur l'évaluation des risques cyber pour les deux cas d'étude R5G et VI
- Expérimentations d'attaques sur les deux cas d'étude (+ rapport)
- Selon les résultats obtenus, définition d'un sujet de thèse commun sur la cyber sécurité
- Positionnement et encrage de l'IFSTTAR sur la problématique cybersécurité pour les transports et les villes du futur par l'obtention de résultats et leurs publications
- Proposer ou intégrer des consortiums de projets collaboratifs sur ce thème

Résultats obtenus en 2016

1) Collaboration intra-IFSTTAR

- Une première réunion d'échange avec tous les partenaires a eu lieu en juin 2016. Cette réunion a permis de mieux se connaître. Un accès à Sense-city nous est offert afin de tester des cas d'attaques sur des réseaux déjà déployés.
- Une cartographie des menaces sur les réseaux de capteurs est en cours de réalisation.
- Un réseau de capteurs fonctionnant en Wi-Fi est en cours d'acquisition afin de tester en laboratoires différents types de menaces et ensuite appliquer les tests sur des réseaux utilisés dans Sense-city. Nous sommes en train d'acheter des cartes Pegase.
- Une réunion plénière doit avoir lieu avant fin 2016.
- Participation à la conférence Sureté et cybersécurité pour les systèmes industriels en octobre 2016.
- Démarrage du projet cyber-sécurité de Shift2Rail le 1^{er} septembre 2016.

2) Collaboration extérieure

- Potentielle participation au projet SNCF-Réseau OPIDE géré par Vincent Le-Cam. Ce projet veut rendre communicant certains objets du monde ferroviaire qui à priori ne le sont pas et permettre ainsi un monitoring de ces objets devenus un peu plus intelligents. La cyber sécurité de ces objets est un élément majeur.

- Projet SECOURT (cyber SEcurité dans les systèmes COmmUnicants pour les Transports) a débuté avec pour application le domaine automobile. Les partenaires sont UVHC, Ecole des Mines de Douai, IEMN, ULCO et l'IFSTTAR. Une discussion est en cours pour obtenir le label R5G.
- Accompagnement thèse Université de Lille 1. Nous poursuivons nos travaux sur la génération et la détection de perturbations électro-magnétiques intentionnelles. Nous travaillons sur des signaux utilisant la modulation OFDM (IEEE 802.11n). Publication soumise sous peu sur cette étude.
- Discussion pour encadrer une nouvelle thèse avec l'IEMN et Telecom Lille1. « Formes d'onde résilientes aux attaques électromagnétiques »

Programme pour l'année à venir :

- Un état de l'art sur les menaces concernant les voitures connectées sera réalisé.
- Poursuite des expérimentations d'attaques.
- Des réunions auront lieu en 2017.
- Poursuite des projets mentionnés ci-dessus.

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 12 hm/an pour les personnels impliqués dans le LEOST (C. Gransart, V. Deniau, M. Heddebaut, ...), R5G (N. Hautière, ...), Sense-city (B. Lebental, V. Le-Cam,...)

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : XX hm/an

Valorisations possibles :

- Définition d'une méthodologie de conception intégrant la sécurité (security by design)
- Définition de protocoles d'attaque, de détection et d'adaptation à la menace (résilience)
- Plateforme ouverte de détection d'attaque et de réaction
- Publications des résultats

Particules : Recherche exploratoire sur l'évolution des polluants particuliers des véhicules dans l'atmosphère

Axe de rattachement : 3

Mots-clés (6 maxi) : particules ultrafines, évolution, propriétés physico-chimique, méthodologie

Responsable IFSTTAR Liu Yao, Michel André, département AME, laboratoire LTE

Autre Responsable Nom et organisme

Axe de rattachement : 3

Durée : 1 an (2017)

Enjeux et objectifs

Le trafic, et principalement le transport routier, est l'une des sources les plus importantes de matière particulaire dans l'atmosphère et en particulier en milieu urbain. À l'échelle régionale et globale, les particules jouent un rôle important sur la santé et sur le changement climatique. Au-delà des émissions directes des véhicules et des trafics, et bien que celles-ci puissent diminuer en raison de différentes améliorations technologiques (filtres à particules, etc.) ou de mesures de restriction ou régulation des trafics, les particules subissent des transformations sous différentes conditions atmosphériques qui entretiennent des niveaux élevés de particules secondaires. Ces phénomènes complexifient l'évaluation et l'aide à la décision pour l'action publique. La transformation de particules est très complexe, et les mécanismes en jeu sont encore mal appréhendés. Ceux-ci dépendent d'abord des concentrations déjà présentes dans l'atmosphère. En fonction du niveau de concentration plus ou moins élevé, différents processus physico-chimiques (par exemple, condensation, nucléation, coagulation,...) peuvent intervenir. D'autre part, la transformation des particules dépend aussi des conditions atmosphériques. L'ensoleillement, la présence d'oxydants atmosphériques et de gouttelettes d'eau nuageuses induisent la formation de particules secondaires par réactivité photochimique. À l'heure actuelle, les quantités de particules secondaires formées - à partir des précurseurs issus de la combustion - peuvent difficilement être estimées en raison du manque de connaissance de ces mécanismes de formation et d'évolution. La contribution du trafic routier est tout autant méconnue et il est donc indispensable de mieux comprendre les paramètres clés de la formation de ces aérosols secondaires.

D'un point de vue expérimental, les travaux sur l'émission de particules des véhicules sont inscrits dans plusieurs projets de recherche (FEVER, CaPVeREA...). Cependant, la transformation de particules émises n'a pas encore été abordée au laboratoire en raison de la complexité de définition méthodologies et de mise en œuvre de dispositifs expérimentaux (échantillonnage, dilution, conditionnement).

Dans le cadre de l'Initiative Ciblée (ex R2I) R2i - Particules, nous avons réalisé un état de l'art de cette problématique de particules secondaires au travers de la littérature scientifique (travaux de Prévot et al., PSI en Suisse, de Gertler et al., Desert Research Institute, etc.) (Rapport R2i Particules fourni en 2015). Nous avons également établi une collaboration avec IRCELYON sur les aspects métrologiques et méthodologiques sur la formation des particules secondaires par la transformation physique et photochimique dans le cadre de deux thèses. Cette exploration des techniques expérimentales et de la littérature nous a permis d'élaborer / affiner un programme de recherche sur cette question, de définir nos propres besoins expérimentaux et d'acquérir une partie des petits matériels et du consommables.

Dans l'objectif de poursuivre cette problématique de particules secondaires liées aux transports, Les enjeux et objectifs de cette prolongation d'Initiative Ciblée sont :

- La réalisation de la chambre de simulation atmosphérique
- La faisabilité de l'instrumentation nécessaire pour appréhender l'évolution de particule. (les petits matériels et consommables complémentaires)
- La caractérisation de la chambre (perte, fuite...)
- Le montage d'un programme de recherche sur la question, et la proposition de travaux qui seraient soumis directement à l'ADEME ou en réponse à des appels à projets

Valeur ajoutée de la demande

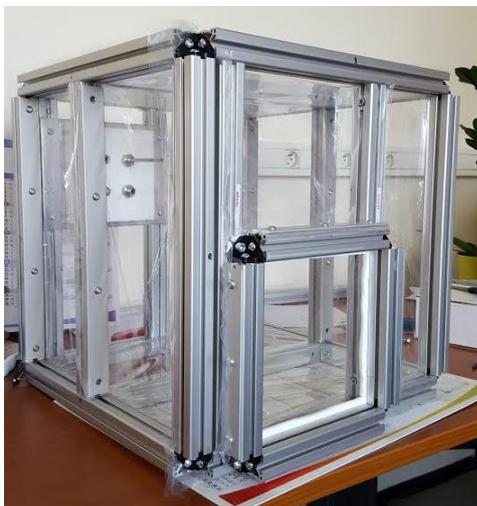
Les principales avancées scientifiques attendues de cette Initiative Ciblée sont :

- D'un point de vue expérimental, cette chambre de simulation atmosphérique (mobile) réalisée sera la première chambre existée en France permettant de coupler directement au banc à rouleau afin de réaliser des études sur l'évolution physique et photochimique des polluants liés à l'émission des véhicules.
- l'amélioration de la connaissance de l'émission de particules ultrafines et de leur évolution
- l'élaboration d'une méthodologie / métrologie satisfaisante pour appréhender ces phénomènes

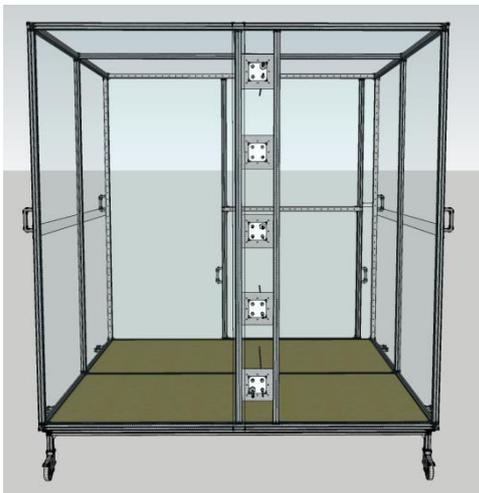
Toutes ces avancées scientifiques permettront ensuite d'élaborer d'un programme de recherche dans le cadre de projet ANR et ADEME.

Description de la démarche et de la structuration de l'action

Travaux réalisés en 2016



Une maquette de la chambre de simulation à l'échelle 1/5 (0,4m x 0,4m x 0,4m) a été réalisée en mars 2016, permettant de voir les éventuelles difficultés techniques sur la construction de la chambre. Une attention particulière a été portée sur l'étanchéité des coins de la chambre.

Travaux prévus en fin 2016 et début 2017	
	<p>Une chambre de simulation de 2m x 2m x 2m sera construite avec la structure en aluminium et la membrane en téflon, sur roulettes.</p> <p>Cette chambre sera équipée de 5 niveaux d'injection et de prélèvement permettant de caractériser la décantation de particules durant le temps de résidence expérimental.</p> <p>Des sondes de température et d'humidité seront installées permettant de contrôler la température et l'humidité relative de la chambre.</p>
Travaux prévus en 2017	
<ul style="list-style-type: none"> • Caractérisation de la chambre : tests de fuite, de perte sur paroi et de blanc • Montage expérimental en couplage avec le banc à rouleau du LTE avec les adaptations • Étude préliminaire de la formation des particules secondaires avec des processus physiques 	

Productions prévues

Construction de la chambre de simulation atmosphérique.

Les études de la formation des particules secondaires liée aux transports.

Valorisations possibles

Cette chambre de simulation sera un dispositif expérimental sur lequel s'appuieront les travaux de la thèse de Cédric Louis. Elle permettra aussi de réaliser des travaux sur la photo-chimie des particules en collaboration avec IRCELYON dans le cadre des projets de recherche et d'une autre thèse qui débute en septembre 2015. Des publications scientifiques seraient envisagées avec les résultats des travaux de recherche.

Annexe 2 : Animation réseau retenue en 2017

axe principal	axe secondaire	Dpt	Lab	Acronyme	Intitulé	Nom du référent	Etat potentiel	année de création	année de cloture
1		COSYS	GRETTIA	USACT	Usages et acceptabilité des innovations dans les transports	Sonia Adelé	en cours	2015	2018
1		COSYS	LIVIC	GERIECO	GERI écoconduite	O. Orfila (cosys), P. Delhomme (Ame), R. Trigui (Ame) A. Pauzie (TS2),	suspendu	2015	2018
1	3	TS2	LMA	SMASHS	Sécurité-Mobilité : Approches en SHS	Marie-Axelle Granier	nouveau	2017	2020
2	1	COSYS	GRETTIA	Transfiab	Outils probabilistes pour l'analyse de fiabilité	L. Bouillaut	en cours	2016	2019
2	3	GERS MAST	GeoEND SMC	END	Evaluation Non Destructive	B. Jacob et F. Anfosso Ledée et O. Abraham	prolongé	2013	2016
2		GERS	GMG	EnR	Energies renouvelables	Thorel (TC), C. Tessier (Mast), Ph Cote (Gers), LM Cottineau (Cosys), B. Gauvreau (Ame)	en cours	2014	2017
3		AME	DEST	EVAPP	Evaluation et analyse des politiques publiques	O.Heddebaut-C.Blanquart-M.André	prolongé	2016	2019
3		GERS	LEE	Polluants	Groupe d'échanges et de coopération sur les méthodes de prélèvement et analyses physico-chimiques des polluants dans les différents milieux : Air, Eau, Sols	Mathieu Goriaux, Véronique Ruban, Michel Legret (à confirmer)	en cours	2014	2017
3		AME	LVMT	TerriTAP	Territoires Transport Action Publique (ex Territoires Locaux)	Alain L'HOSTIS	en cours	2014	2017
3	1	AME	DEST	Vélo	Vélo	Francis Papon (Dest), Emmanuelle Amoros (Umrestte)	prolongé	2012	2016

USACT : Usage et acceptabilité des innovations dans les transports

Axe de rattachement : 1

Mots-clés (6 maxi) : Acceptabilité, innovations, transports

Responsable IFSTTAR : Sonia Adélé, COSYS/GRETTIA

Comité de pilotage

Julien Cestac, AME/LPC

Jean-Marie Burkhardt, AME/LPC Reinhardt Gressel, AME/SPLOTT

Chrystèle Philipps-Bertin, AME/LTE Patricia Champelovier, AME/LTE

Viola Cavallo, COSYS/LEPSIS

Aurélié DOMMES, COSYS/LEPSIS

Axe de rattachement : Axe 1 : Analyser et innover pour une mobilité durable et responsable

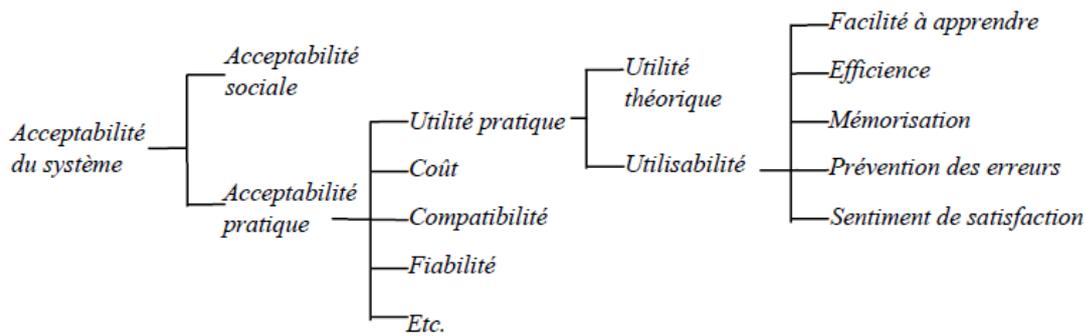
Durée : 4 ans (2015-2019)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar (thématiques prioritaires, COP), connaissances préalables (références bibliographiques)*). (A titre indicatif, ½ page)

L'Animation de Réseau Ifsttar « USACT » se veut un lieu de rencontre privilégié entre les différentes équipes internes et externes à l'IFSTTAR s'intéressant aux processus d'adaptation et de développement des usages induits par les changements techniques, sociaux, organisationnels et d'aménagement dans le domaine des transports et à l'acceptabilité de ces changements. Cette AR permet de mutualiser les connaissances déjà établies et les méthodologies éprouvées dans ce domaine et de proposer des orientations de recherche nouvelles. Les changements auxquels nous nous intéressons concernent ceux qui sont susceptibles d'affecter les pratiques des utilisateurs des systèmes de transport (conducteurs, utilisateurs des TC, cyclistes, piétons) autant que des concepteurs et gestionnaires des réseaux (infrastructure, exploitation, sécurité, poste de conduite ou de pilotage).

La thématique de cette AR se veut transversale aux disciplines s'intéressant aux aspects humains et sociaux de la relation entre les usages, la conception et l'innovation dans le domaine de la mobilité. Ainsi, elle est à même de fédérer un nombre important de chercheurs de différents laboratoires et départements issus de disciplines diverses. De la même manière, elle se situe à l'articulation des axes 1 & 4 du COP. Dans cette perspective, cette AR traite d'enjeux sociétaux divers tels que la préservation de la santé et de l'environnement et l'inclusion sociale (par exemple, l'accès à la mobilité pour tous). Il s'agit aussi d'enjeux en termes de conditions de travail des acteurs du transport.

Le plus souvent, les recherches autour de l'acceptabilité se basent sur des modèles anglo-saxons à causalité trop linéaire (Davis, 1989 ; Ajzen, 1991) détachés du contexte dans lequel l'activité humaine se joue. Nous dépassons ces modèles en mêlant certains de leurs apports principaux dans une approche intégrée mixant les dimensions fonctionnelles et sociales (Séminaire ACTOR, 2011 ; par exemple voir ci-dessous Nielsen, 1993 traduit par Tricot & al., 2003).



Contrairement aux approches existantes, souvent basées sur un temps T, nous étudions la dynamique de l'acceptation de façon longitudinale (Fidock & Carroll, 2011) comme un processus allant de l'acceptabilité a priori à l'acceptation et aux usages réels a posteriori. Cela suppose par exemple d'examiner les processus, les interactions et les facteurs liant le développement (continu) des usages, la conception et l'acceptation des solutions.



Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), 179-211.

Davis, F.D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(2), 319-339.

Fidock, J., & Carroll, J. (2011). Why do users employ the same system in so many different ways? *IEEE Intelligent Systems*, 26(4), 32-39.

Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Boston : Academic Press.

Séminaire ACTOR. (2011). En ligne <http://actions-incitatives.ifsttar.fr/geri/capitalisation-geri-termines/actor/seminaires/seminaire-international-du-4-novembre-2011/>.

Tricot, A., Plégat-Soutjis, F., Camps, J. F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité: interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain 2003* (pp. 391-402).

Valeur ajoutée de la demande (*originalité de l'action, réponse à des attentes exprimées, potentiel nouvelles connaissances, verrou scientifique, innovation, optimisation de moyens ou de ressources, ...*) (A titre indicatif, ¼ page)

Les recherches menées à l'IFSTTAR couvrent une multitude de domaines dans lesquels l'acceptabilité, l'acceptation et l'adoption sont des notions clés pour comprendre l'utilisation, le développement des usages et le rôle des différents acteurs (dont l'utilisateur final) dans le devenir des innovations. Il peut s'agir par exemple de l'étude des mesures d'aménagement urbain destinées à limiter les nuisances, des évolutions du monde professionnel et leur impact sur les salariés, des outils d'aide à la mobilité, des nouveaux services de mobilité (par exemple, la mobilité partagée), du véhicule électrique ou automatisé. L'objet de l'Animation de Réseau est de développer les convergences entre les recherches menées dans ces différents domaines. Des échanges ont lieu autour des méthodes utilisées, des pratiques réelles des individus, du système dans lequel l'utilisateur est impliqué mais aussi des sujets d'actualité et donneront lieu à des réalisations communes (réponses à des appels à projet ou publications). La capitalisation des recherches achevées est également centrale dans ce projet de cette AR.

La question des dimensions de l'acceptabilité est également un point de débat. L'acceptabilité (la phase a priori) est souvent déclinée en deux pôles fonctionnel (utilité et utilisabilité) et psychosocial (influences sociales, culture mais aussi confiance ou respect de la vie privée par exemple). Les aspects plus contextuels (ressources et contraintes pour l'activité humaine) restent trop peu étudiés mais déterminants. De nombreux travaux doivent être menés dans ce domaine et notamment pour identifier les facteurs pertinents en fonction du type d'objet physique ou non dont l'acceptabilité est à évaluer. Également, l'acceptabilité étant un processus et non pas un état stable, son évolutivité devra être interrogée. Aussi, les phases d'acceptation, confrontation réussie de l'individu dans sa globalité et de l'innovation dans une situation réelle, et d'intégration dans les usages (adoption ou appropriation) seront mises en perspectives. Enfin, la prospective des usages nécessite une réflexion méthodologique que nous mènerons dans le cadre de cette AR.

Description de la démarche et de la structuration de l'action (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches, des différents sujets traités, ...*) (A titre indicatif, ½ page)

L'ensemble des contributions des différents séminaires figurent sur la page <http://actions-incidentives.ifsttar.fr/geri/usact/>, mise à jour régulièrement. Cette page est accessible également en dehors de l'IFSTTAR pour une meilleure diffusion des actions entreprises.

2015

Un séminaire de lancement a été réalisé le 26 juin 2015 qui a rassemblé 18 personnes issues de 8 laboratoires différents. Ce séminaire avait pour but de faire se rencontrer les acteurs internes à l'IFSTTAR autour des thématiques du GERI. Un second séminaire est prévu en octobre qui aura pour but de favoriser les regards interdisciplinaires autour de l'innovation (économistes, spécialistes de l'infrastructure, géographe, sociologue...) et d'impliquer davantage de laboratoires de l'IFSTTAR.

Une présentation des activités du GERI a été faite à la DSCR en novembre 2015.

2016

Un séminaire a été réalisé en 2016 sur le thème de l'innovation, avec la présence de deux chercheurs invités émérites en sociologie et économie. Ce séminaire était ouvert à des participants externes.

Au total, 30 personnes ont participé à ce séminaire, issues du monde académique (IFSTTAR, ENPC, Paris Sud) et industriel (Renault, RATP, SystemX).

Le réseau a prévu également de s'investir dans l'organisation des décennies de l'IFSTTAR en organisant une table ronde sur la participation des usagers à l'innovation.

2017

L'année 2017 sera consacrée à des actions de publications communes de type numéros spéciaux en parallèle de la poursuite des séminaires.

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

Différents types de productions sont attendues. Les séminaires annuels prévus dans le cadre de cette animation de réseau (dont le but est le partage de connaissances et la réflexion commune) devront déboucher sur des productions scientifiques telles que des numéros spéciaux ou ouvrages. Nous aurions aimé aboutir à ce résultat en 2016 mais la charge de travail des membres du comité de pilotage n'a pas permis la mise en œuvre de cette production qui est donc repoussée à 2017.

La mise en commun des compétences pourra également permettre de répondre (à plus long terme) à des projets de recherche, de monter des projets de thèse ou de post-doc ainsi que des projets d'accueil de chercheurs étrangers jeunes ou moins jeunes.

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

Nom- Prénom	Dpt/Labo	Estimation h/mois par an	Principale contribution
Adelé Sonia	COSYS/ GRETTIA	1	Animation, organisation des séminaires et réunions
Julien Cestac Jean-Marie Burkhardt	AME/LPC	0,5	Participation aux réunions du comité de pilotage Contribution aux séminaires sur les thèmes : participation des usagers à la conception, véhicule autonome, aspects culturels Présence aux séminaires
Chrystèle Philipps-Bertin Patricia Champelovier	AME/LTE	0,5	Participation aux réunions du comité de pilotage Contribution aux séminaires sur le thème : véhicule électrique, acceptation des mesures environnementales Présence aux séminaires
Reinhardt Gressel	AME/SPL OTT	0,5	Participation aux réunions du comité de pilotage Contribution aux séminaires sur le thème : innovation sociale et professionnelle Présence aux séminaires
Viola Cavallo Aurélie Dommes	COSYS/ EPSIS	0,5	Participation aux réunions du comité de pilotage Contribution aux séminaires : acceptabilité des nouvelles technologies Présence aux séminaires

Valorisations possibles

(Vis-à-vis des tutelles de l'Ifsttar, de collectivités, de partenaires institutionnels, académiques ou du monde économique, auprès de la société civile ou du grand public)

L'ensemble de ces éléments ont déjà été évoqués précédemment. Pour rappel : Présentation des activités à la DSCR, participation de représentants académiques et industriels aux séminaires organisés, animation d'une table ronde aux décennies de l'IFSTTAR.

GERIECO : Geri écoconduite

Mots-clés (6 maxi) : écoconduite, facteurs humains, ergonomie, commande optimale, infrastructure, trafic

Responsables IFSTTAR ORFILA Olivier, COSYS-LIVIC ; TRIGUI Rochdi, AME-LTE ; PAUZIE Annie, TP2-LESCOT ; DELHOMME Patricia, AME-LPC

Autre Responsable

Axe de rattachement : 1

Durée : 4 ans (2014-2018)

Enjeux et objectifs (*problématique scientifique, enjeux sociétaux concernés, originalité du projet, articulation avec le COP, références bibliographiques*). Ce paragraphe reste inchangé sur toute la durée de vie de l'outil incitatif.

L'écoconduite est un style de conduite permettant de réduire la consommation d'énergie tout en maximisant la sécurité routière ainsi que le confort des usagers. Ce terme s'apparente donc à une conduite optimale selon plusieurs objectifs. Cependant, les démonstrations des bénéfices de ce style de conduite masquent généralement des freins importants à la généralisation de son adoption par tous les conducteurs. Parmi ces freins, nous pouvons notamment citer la complexité de son enseignement, que ce soit lors d'une formation ou avec un système d'aide à la conduite, et par conséquent, la difficulté de son apprentissage. De plus, dans le cas d'une assistance écoconduite en temps réel avec support d'un système embarqué, se posent les questions d'acceptabilité et d'ergonomie de l'Interface Humain Machine (IHM), ainsi que de son utilisabilité par le conducteur, avec des enjeux d'interférence potentielle et, par conséquent, de sécurité routière. Par ailleurs, les informations diffusées par le système devant être intégrées dans l'activité de conduite, plusieurs aspects liés à cette appropriation par le conducteur doivent être considérés : évolution dans le temps de l'usage effectif ou éventuellement détourné des instructions du système, influence du style de conduite et de l'expérience du conducteur, impact des procédures de « gamification » visant à entretenir la motivation d'utilisation de ces informations d'écoconduite, tout spécifiquement dans le cadre professionnel...

L'écoconduite est aussi trop souvent associée à un couple véhicule-conducteur seul alors que les conséquences doivent se mesurer à l'échelle d'un réseau complet. Enfin, la performance de l'écoconduite dépend du type de véhicule, du groupe motopropulseur et de l'infrastructure. L'IFSTTAR possède toutes les compétences permettant de travailler sur ce sujet dans son ensemble afin de renforcer sa position au niveau national et international.

Au sein de cette « animation réseau » (ex-GERI), nous nous fixons donc les objectifs suivants :

- Relever les principales questions de recherche sur l'écoconduite.
- Bâtir une méthodologie y permettant d'y répondre efficacement.
- Rassembler les connaissances IFSTTAR autour de l'écoconduite :
 - Pour le routier, sur véhicule léger (thermique, hybride, électrique), sur poids lourds
 - Pour le ferroviaire sur train (à préciser)
- Afficher la thématique auprès des pouvoirs publics (ministères de tutelle) et auprès du grand public.
- Renforcer les coopérations entre les laboratoires de l'IFSTTAR
- Préparer des réponses communes aux appels à projets de recherche

Articulation avec le COP

Les thématiques abordées s'articulent avec les objectifs scientifiques de l'Axe 1 du COP : « Analyser et innover pour une mobilité durable et responsable », avec, notamment, des apports potentiels dans les thématiques de cet axe :

- Observer et analyser les comportements et les mobilités des personnes et des biens, ainsi que les usages pour anticiper la mobilité de demain
- Renforcer la sécurité et le confort dans les transports et minimiser les impacts sur la santé
- Gérer, optimiser et évaluer les systèmes de transport
- Concevoir des politiques, des solutions et des services de mobilités innovants.

Références bibliographiques

- Pauzié A., 2011, Eco-driving and methodologies: use of ergonomic mock-up for acceptability evaluation, scientific seminar on Eco-driving methods and training, DECOMOBIL project, Thessaloniki, Greece, 01/12/2011.
- Pauzié A., 2012, Human centred design process for the development of a bus driver support system, European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems, Valencia, Spain, June 14-15, Valero Mora, P. and Pace, J.-F. (Eds). HUMANIST VCE..
- Pauzié A., 2012, Social networking and ecomobility through nomadic devices; ITS World Congress, 22-26 October 2012, Vienna, Austria.
- Pauzié A., 2013, HMI and acceptability of Eco-Driving functionality, ERTICO invited session, ITS European Conference, Dublin, Ireland.
- Pauzié A., 2013, Design, integration and safety of mobile service for ecomobility, Roadmap of ICT for clean and efficient multimodal mobility, , DECOMOBIL project, 28 May 2013, Munich, Germany.
- M. Barth, K. Boriboonsomsin (2009). Energy impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. *Transp. Res. Part D*, **14**, 400-410.
- B. Beusen, S. Broekx, T. Denys, C. Beckx, B. Degraeuwe, M. Gijssbers, K. Scheepers, L. Govaerts, R. Torfs and L. I. Panis (2009). Using on-board logging devices to study the longer-term impact of an eco-driving course. *Transp. Res. Part D*, **14**, 514-520.
- M.A.S. Kamal et al. (2010). On Board Eco-Driving System for Varying Road-Traffic Environments Using Model Predictive Control. Paper presented at the 2010 IEEE International Conference on Control Applications, Yokohama (Japan). Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=05611196>.
- Y. Saboohi, and H. Farzaneh (2009). Model for developing an eco-driving strategy of a passenger vehicle based on the least fuel consumption. *Appl. Energy*, **86**, 1925-1932.
- P. Seewald (2014) Development and Evaluation Methodology of Green Driving Support Systems, ITS Europe, Helsinki.
- M.S. Young et al. (2011). Safe driving in a green world: A review of driver performance benchmarks and technologies to support 'smart' driving. Brunel University, Uxbridge (UK). Published in *Applied Ergonomics* 42 (2011) 533-539.
- E. Versonnen. (2011) Rolling Resistance, Teaching Material, "Powering the Future with Zero Emission and Human Powered Vehicles" 2013 Intensive Program (IP) http://www.ip-zev.gr/files/teaching/T1-1_Rolling%20Resistance.pdf
- A.S. Zeeman, M.J. Booyen (2013) Combining speed and acceleration to detect reckless driving in the informal public transport industry, IEEE, ITSC 2013

Sujets traités

Les sujets traités vont de l'étude du comportement du conducteur à l'optimisation de la gestion de la chaîne de traction de véhicules légers ou poids lourds en passant par l'impact de la conception des voies de circulation, l'assistance à l'écoconduite, son ergonomie et son impact sur le trafic et la simulation de conduite.

D'un point de vue des facteurs humains, les problématiques traitées iront de l'analyse des facteurs liés à l'apprentissage de l'écoconduite au maintien de son acquisition dans le temps. La relation entre l'écoconduite et son impact sur la sécurité routière sera aussi traitée. Enfin, l'ergonomie des interfaces liée aux aides à l'écoconduite sera étudiée.

Les aspects véhicules seront analysés à plusieurs échelles et pour plusieurs types de véhicules : véhicules légers, poids lourds (en coopération avec l'Université d'Evry) et train. Ainsi, l'impact des caractéristiques principales des véhicules ainsi que l'optimisation des commandes et de la gestion d'énergie sur plusieurs types de groupes motopropulseurs seront pris en compte. En effet, les chaînes thermiques, hybrides et électriques feront parties des études.

Aussi, l'infrastructure routière ou ferroviaire, sa conception ainsi que son impact sur l'écoconduite constituera une des tâches du réseau « eco ». Les aspects de communication entre l'infrastructure et les usagers seront pris en compte.

Enfin, tous ces sujets seront analysés de concert d'un point de vue théorique et en simulation de trafic afin de mieux comprendre leurs interactions.

Les résultats majeurs visés sont :

- Un séminaire national centré sur les forces et faiblesses de l'écoconduite avec invités externes.
- Un ouvrage rassemblant les problématiques traitées par l'IFSTTAR. De l'humain à la machine, les différents aspects seront traités en mettant en exergue les points forts et faibles de ce style de conduite. Après une définition de l'écoconduite fondée sur les travaux des chercheurs de l'IFSTTAR et la littérature, les différents chapitres traiteront des problématiques d'apprentissage de ce mode de conduite, des facteurs humains, de l'acceptabilité de l'écoconduite, de l'écoconduite pratiquée par la voiture (voiture automatisée), de la gestion d'énergie, de l'impact de l'infrastructure sur l'écoconduite, de l'impact de l'écoconduite dans le trafic et bien d'autres thèmes qui seront précisément définis au fil de l'eau.
- Journée spécialisée écoconduite avec démonstration de systèmes d'écoconduite et de l'impact de techniques d'écoconduite sur la consommation, de formation à l'écoconduite, présentation des travaux et challenge d'écoconduite.

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 8,5 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : XX hm/an

Produits majeurs visés (*mettre en avant les produits majeurs tels que les publications et ouvrages scientifiques, les articles de vulgarisation, guides, thèses, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, les actes de colloques, etc.*)

Préciser l'échéance prévue ou réalisée (année)

- Un séminaire national avec invités externes (2018).
- Un ouvrage rassemblant les problématiques IFSTTAR (Lancement 2017)
- Journée spécialisée écoconduite (2017)

Partenariats et contrats (*nom des partenaires et externes internes (notamment pour les projets fédérateurs et les ORSI) ; pour les contrats préciser le financeur, nom du projet, descriptif sommaire, période*)

EASE Nantes (Pierre-Olivier Vandanjon, Alex Coiret, Jean-Marie Prual) : impact de l'infrastructure sur la consommation d'énergie (routier et ferroviaire)

LICIT Lyon (Nour Edin El Faouzi) : Simulation de trafic

LTE Lyon (Rochdi Trigui, Serge Pélissier) : gestion de l'énergie, véhicules hybrides, impact sur les batteries

LESCOT Lyon (Hélène Tattegrain, Annie Pauzié) : impact sur la sécurité, ergonomie des aides à l'écoconduite.

GRETTIA MLV (Simon Cohen) : évaluation de trafic

LIVIC Versailles (Guillaume Saint Pierre, Sébastien Glaser, Dominique Gruyer, Olivier Orfila, Hasnaa Aniss) : évaluation de l'écoconduite, commande optimale, systèmes communicants pour l'écoconduite.

LEPSIS MLV (Hocine Imine, Sio Song Ieng, Fabrice Vienne) : écoconduite sur poids lourd, simulation de conduite

LPC Satory (Patricia Delhomme, Julien Nègre) : modèles humains, apprentissage.

RENAULT (Patrick Vincent, Benoît Chagniot) : Assistanes à l'écoconduite informatives et délégatives
Université d'Evry (Lydie Nouvelière) : commande optimale et écoconduite poids-lourds.

Résultats obtenus *(ce paragraphe est initié à la fin de la première année de vie de l'outil incitatif et mis à jour annuellement)*

Organisation d'une réunion de lancement en novembre 2015

Ouverture des premières tâches (base de données, liste des questions de recherche, diaporama en version 1 disponible)

Présentation réalisée devant la DSCR en 2015. Fort intérêt de la part du ministère pour les questions liées à la sécurité et l'impact réel des consignes d'écoconduite. L'ouvrage traitant du sujet est particulièrement attendu.

Organisation d'une réunion thématique sur la question de la définition de l'écoconduite 2016

Lancement du montage d'un projet collaboratif avec Renault en 2016 (soumission prévue en 2017). Ce projet traite de l'assistance informative à l'écoconduite et rassemble la plupart des connaissances de l'Animation de Réseau (LIVIC, LTE, LESCOT, LICIT).

Montage d'une thèse en co-tutelle avec l'USTHB (LEPSIS-LIVIC-LTE) en 2016

Programme pour l'année à venir *(ce paragraphe est initié lors de la création et mis à jour annuellement)*

- Lancement de la rédaction de l'ouvrage
- Mise à jour de la base de données des références bibliographiques majeures utilisées par chaque chercheur.
- Mise à jour de la liste des questions de recherche traitées ou enjeux, en cours de traitement ou envisagées autour de l'écoconduite.
- Mise en place de la liste des acteurs clés sur le sujet au niveau industriel, universitaire et services (formation à l'écoconduite).
- Mise à jour du Diaporama de l'écoconduite globale à l'IFSTTAR, utilisable par chaque laboratoire.
- Mise à jour d'un glossaire pluridisciplinaire.
- Réalisation de la page externe Animation du Réseau Ecoconduite
- Poursuite des réunions thématiques (ex : rôle des accélérations dans l'écoconduite, les différents compromis (sécurité, pollution,...), Acceptabilité du concept d'écoconduite par le conducteur et les autres usagers de la route, la formation ou l'assistance pour l'écoconduite ?)

Valorisations proposées et perspectives

Sans objet

SMASHS: Sécurité-Mobilité : Approches en SHS

Axe de rattachement : 1 et 3

Mots-clés (6 maxi) : sciences humaines et sociales, sécurité, mobilité, transport

Responsable IFSTTAR : Granié Marie-Axelle, TS2, LMA

Autre Responsable ⁶

Axe de rattachement COP : 1 et 3

Durée : 4 ans (2017-2020)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar (thématiques prioritaires, COP), connaissances préalables (références bibliographiques)*). (A titre indicatif, ½ page)

Comme le pose le COP 2017-2021 en cours de finalisation, les travaux menés par l'Ifsttar sont « au cœur des enjeux de la vie quotidienne de nos concitoyens : transport et mobilité, ville et aménagement, sécurité routière, maîtrise des risques »⁷. Un certain nombre des objectifs scientifiques des axes du COP 2013-2016, ainsi que ceux du prochain, inclut les dimensions humaines des transports. Les sciences humaines et sociales se retrouvent ainsi largement impliquées dans le COP 2017-2021 et dans les travaux en cours et à venir de l'Ifsttar, notamment ceux relevant des trois objectifs scientifiques de l'axe 1 (« transporter efficacement et se déplacer en sécurité ») et ceux relevant des objectifs 8 et 9 de l'axe 3 (« aménager et protéger les territoires »). Elles sont également parties prenantes dans toutes les thématiques prioritaires des départements TS2 et AME et dans les thématiques prioritaires 2 et 4 du département COSYS.

Les Sciences Humaines et Sociales (SHS) sont représentées à l'IFSTTAR par de nombreuses disciplines : psychologie, sociologie, ergonomie, anthropologie, économie, géographie, aménagement, urbanisme⁸, etc. Les chercheurs et ITA qui mènent ces travaux sont intégrés dans des laboratoires rattachés aux SHS (comme LPC, SLOTT, LVMT et DEST dans le département AME ou LESCOT dans le département TS2), d'autres dans des laboratoires relevant à la fois des SHS et des SPI (GRETTIA et LTE à AME, LEPSIS à COSYS, LMA à TS2). Ils n'ont pas forcément une bonne connaissance des travaux menés par leurs condisciples au sein même de l'Ifsttar, notamment dans les autres départements que celui auquel ils appartiennent. Ils partagent pourtant des cadres théoriques, des méthodologies, voire des objets de recherche communs dans les champs de recherche de la mobilité et de la sécurité, mais l'absence de lieux et de moments de partage formalisés occasionnent parfois une limitation des collaborations, créées lors d'échanges informels dans le département du chercheur et/ou dans le territoire géographique proche du laboratoire.

Le cadre de l'AR (pour animation de réseaux), proposé dorénavant à l'IFSTTAR, paraît tout à fait propice à la mise en place d'un lieu de rencontre, de partage et d'échange des travaux et des problématisations en SHS à l'Ifsttar, **autour de la question des relations entre mobilité et sécurité dans les transports**.

L'objectif de l'AR, nommée SMASHS (Sécurité-Mobilité : Approches SHS) est de proposer à tous les chercheurs de l'Ifsttar, relevant ou non des SHS, un espace de partage et d'échange autour du **regard des SHS sur différents objets d'études liés à la mobilité et à la sécurité dans les transports**. L'objectif est de dégager, d'interroger, de partager et de faire connaître les approches, les cadres d'analyses, les méthodes et les problématiques SHS afin d'enrichir les projets de recherche, les problématiques scientifiques et créer de nouvelles collaborations, au sein des SHS mais aussi entre SHS et autres disciplines.

⁶ J'ai lancé un appel à volontaire (voir plus bas) pour un co-porteur issu d'un autre département de TS2. Je n'ai pas reçu de candidature à ce jour.

⁷ COP Etat-IFSTTAR, version 5, 22 août 2016, page 4

⁸ Ces personnels relèvent des sections 26 et 36 à 40 du CNRS et des sections 2, 04, 05, 16, 19, 23, 24 et 74 du CNU.

En effet, les défis des prochaines années en termes de recherche concernent en particulier les impacts de la mobilité sur la santé. Ces impacts ne concernent pas seulement les polluants et les nuisances, mais aussi les accidents routiers et leur impact objectif sur la santé des populations.

Pour l'instant, les travaux sur la mobilité et la sécurité routière sont relativement décorrélés. En effet **ces thématiques sont, à l'Ifsttar, investies à titre principal par des départements distincts, AME et TS2. Ceci entraîne le besoin d'une animation scientifique transversale afin de mieux prendre en compte les interactions entre mobilité et sécurité.** En effet, la mobilité a des impacts évidents sur l'accidentalité. Les choix ou absences de choix (liés au lieu de vie, au revenu, à l'âge) dans les modes de déplacements ont des conséquences en termes d'accidents ou de risque accidentel qui doivent être prises en compte car elles renforcent ou inhibe les inégalités face au risque routier. De plus, la santé peut également être un frein à la mobilité : les situations de handicap, le vieillissement de la population, mais également les conséquences des accidents de la route sont des déterminants de la mobilité. L'accidentalité peut effectivement affecter la mobilité, directement (les freins à la mobilité sont l'une des conséquences des accidents), mais aussi indirectement, au travers du sentiment de sécurité et de sûreté, qui varie en fonction du lieu de vie, de l'âge et du genre et affecte la mobilité, notamment des plus vulnérables et des plus fragiles (personnes en situation de handicap, seniors mais aussi enfants).

Cette AR permettrait :

- de croiser les problématiques de la mobilité et de la sécurité des transports, afin de mieux prendre en compte leurs nécessaires interactions, en créant ainsi de nouveaux ponts entre les départements de l'Ifsttar et en amplifiant ceux déjà existants ;
- **de soulever des questions plus transversales à nos travaux**, permettant une ouverture et une veille scientifiques, une interrogation nouvelle sur les objets d'application des connaissances (par exemple autour des problématisations, des conceptualisations théoriques, des résultats de travaux, des méthodes, des objets d'études) ;
- **de créer des synergies intra- et inter-départements autour de questionnements de recherche**, et de développer les initiatives communes, en développant ainsi la visibilité des SHS auprès des personnels de l'institut relevant des autres disciplines au sein de l'Ifsttar. Cette initiative commune pourrait notamment permettre de mutualiser les savoir-faire, les ressources humaines et matérielles, afin de permettre une limitation des dépenses autour d'un questionnement de recherche donné ;
- d'offrir aux chercheurs et ITA relevant des SHS un lieu de ressourcement disciplinaire, afin de lutter contre l'isolement scientifique de certains personnels.

Valeur ajoutée de la demande (*originalité de l'action, réponse à des attentes exprimées, potentiel nouvelles connaissances, verrou scientifique, innovation, optimisation de moyens ou de ressources, ...*) (A titre indicatif, ¼ page)

Une enquête auprès des personnels SHS des laboratoires cités dans l'introduction a été menée pendant l'été 2016. A ce jour 37 réponses nous sont parvenues⁹ de chercheurs et ITA appartenant à 11 laboratoires¹⁰, soit 8 DR, 19 CR, 1 MCU, 4 IR et 2 IE qui ont tous acceptés de participer, avec enthousiasme.

Cette proposition d'AR répond à la volonté de la Direction Scientifique d'une **animation scientifique intra-Ifsttar autour des thématiques prioritaires des départements**¹¹, notamment concernant les axes 1 et 3 du prochain COP et les départements AME, COSYS et TS2 sur les **thématiques de l'accessibilité, de la sécurité et du confort des déplacements, et de la mobilité des personnes fragilisées et/ou vulnérables**. Par ailleurs, l'objectif est également de répondre au **besoin et à l'attente**, exprimés dans les réponses récoltées, **de communauté et de visibilité concernant plus largement toutes les disciplines relevant des SHS à l'Ifsttar**.

⁹ Pour certains laboratoires, les personnels n'ont pas été contactés directement car l'ensemble du laboratoire était concerné et le message a été envoyé aux directeurs de laboratoire, sans assurance que celui-ci ait bien été transmis aux personnels.

¹⁰ Dest, Ease, Grettia, Lepsis, Lescot, LMA, LPC, LTE, LVMT, Splott et Umrestte

¹¹ Thématiques prioritaires IFSTTAR, V3.2 – 25 septembre 2015

Cette AR a donc pour volonté première de **rassembler la communauté SHS de l'Ifsttar autour de la question des relations entre mobilité et sécurité dans les transports**. Toutefois, compte-tenu de son orientation et de ses objets d'étude principaux, il est tout à fait **ouvert à la participation des tous les personnels de l'Ifsttar intéressés** par les relations entre mobilité et sécurité qui souhaiteraient mieux connaître les approches, les méthodes et les problématiques SHS. Il est par ailleurs envisageable de l'ouvrir, à court ou moyen terme, aux **chercheurs SHS relevant du CEREMA**, eu égard aux travaux menés conjointement et à leurs propres attentes et besoins.

Pour l'instant, il n'existe pas de **réseau institué en France ayant pour objet les échanges sur les approches SHS des questions reliées au transport**. D'autres réseaux disciplinaires plus larges existent, comme ARPEGE pour la psycho-ergonomie, RPTO (Réseau de Psychologie du Travail et des Organisations), l'ADRIPS (Association pour la Diffusion de la Recherche Internationale en Psychologie Sociale) ou plus spécifique à un objet d'étude comme l'AIFREF (Association Internationale de Formation et de Recherche en Education Familiale). Un réseau sur les approches SHS des relations entre mobilité et sécurité dans les transports, initié par l'Ifsttar, permettrait de favoriser les échanges entre chercheurs de cadres disciplinaires proches, qui travaillent sur des problématiques complémentaires autour d'un objet, le transport, dont les canaux de diffusion des connaissances scientifiques, notamment les revues appliquées « transport » sont très majoritairement anglo-saxons, ce qui ne facilite pas la reconnaissance et le partage au sein de la communauté nationale.

Description de la démarche et de la structuration de l'action (description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches, des différents sujets traités, ...) (A titre indicatif, ½ page)

La proposition est d'organiser annuellement au plus deux séminaires (si possible un sur un site du nord de la France – Marne ou Satory – et un sur un site du Sud – Bron ou Salon –) ouverts à tous sur des thématiques transversales aux différents départements et laboratoires et visant à intégrer simultanément les dimensions de la mobilité et de la sécurité des déplacements. Les thématiques envisagées pourraient concerner par exemple (sans exhaustivité) :

- la question des relations entre comportements et représentations, des changements technologiques et/ou sociaux, des interactions avec l'environnement social et physique
- les déterminants étudiés : l'âge, le genre, les inégalités socio-spatiales, le handicap
- les méthodes : approches quantitatives et qualitatives, observation, questionnaires, focus groupes, expérimentations *in situ* ou *in virtuo*, évaluations d'action, recherche action.

A titre d'exemple, nous proposons qu'un des deux séminaires annuels soit centré sur les méthodes d'étude, en SHS, de la mobilité et de la sécurité et l'autre sur un objet étudié conjointement et de façon complémentaire dans ces deux champs d'étude des transports. Sous réserve d'obtention de l'accord, de la participation et de l'intérêt des membres du réseau SMASHS, le programme pourrait être le suivant pour 2017 et 2018 – des propositions affinées pourront être faites après discussion avec les membres du réseau – :

- séminaire 1 (fin de 1er semestre 2017) : « L'observation des comportements *in situ* comme outil pour les recherches en SHS sur la mobilité et la sécurité dans les transports » ;
- séminaire 2 (fin de 2e semestre 2017) : « Les inégalités sociales et spatiales dans la mobilité et la sécurité » ;
- séminaire 3 (fin 1^{er} semestre 2018) : « L'utilisation de la réalité virtuelle et de la simulation dans les études sur la mobilité et la sécurité dans les transports : approches SHS » ;
- séminaire 4 (fin 2^{ème} semestre 2018) : « Perceptions, représentations, comportements : influences réciproques dans la mobilité et la sécurité ».

Il s'agit d'abord de mieux connaître, de diffuser et de partager les recherches en SHS passées, actuelles et à venir à l'Ifsttar, en croisant les champs d'études : mobilité et sécurité, afin de faire émerger les points d'interactions possibles entre les objets et les chercheurs impliqués. Ces séminaires seront l'occasion non seulement de faire le point sur des résultats de projets de recherche terminés, mais aussi d'aborder des questionnements de recherche en démarrage, des questions vives faisant débat à la fois dans les recherches sur la mobilité et sur la sécurité (comme les tests psychotechniques lors des suspensions et annulations de permis, les véhicules autonomes, les

problématiques de sûreté dans les transports, l'*uberisation* des services, la réalité virtuelle), des problématisations nouvelles (notamment par les doctorants, mais pas seulement), ou de proposer un état des lieux de la littérature par des spécialistes d'une question particulière, afin de participer à la culture scientifique disciplinaire de leurs collègues de l'Ifsttar.

Pour que ces séminaires soient le plus englobant possible quant aux travaux SHS en cours à l'IFSTTAR sur les champs de la mobilité et de la sécurité dans les transports, ils seront construits et organisés par deux moyens distincts :

- identification des thématiques par un comité de pilotage
- appel à proposition d'exposés auprès de la liste de diffusion du réseau SHS constituée en amont.

Il nous semble en effet souhaitable de créer un comité de pilotage, composé d'un représentant de chacun des laboratoires impliqués dans l'AR (ce représentant pouvant être renouvelé annuellement). Ce comité de pilotage aura pour mission principale d'identifier les thématiques des séminaires à organiser. Chacun des laboratoires représentés dans l'AR s'engagera également à prendre en charge, en tant que responsable principal, l'organisation de l'un des séminaires pendant la durée de vie de l'AR (4 ans), sur une thématique qu'il proposerait au comité de pilotage. Ce partage de la charge de travail permettra également que les lieux des séminaires permettent aux différents sites de l'Ifsttar d'être visités par les membres de l'AR¹², permettant ainsi également des visites de laboratoires et d'équipements scientifiques.

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

Le premier objectif de l'AR sera d'identifier la communauté SHS de l'Ifsttar et de créer un **annuaire de compétences** recensant les personnels s'identifiant comme relevant des SHS, de façon principale ou secondaire. Cet annuaire recensera les disciplines des personnels (section CNU et CNRS dont ils relèvent), leurs mots clés et objets d'étude principaux, leurs publications de références. Comme pour le réseau métier en cours de constitution pour les ITA de l'Ifsttar, il permettra d'identifier les personnes ressources sur les différentes thématiques étudiées, appliquées ou non aux transports, et de rendre visibles les différents personnels relevant des SHS, chercheurs et ITA, disséminés dans les différents départements de l'Ifsttar.

Sur le modèle de la liste de diffusion créée dans le cadre du GERI COPIE, toujours fonctionnelle¹³, il est proposé de créer une **liste de diffusion** pour le partage des informations concernant les colloques, les appels à articles dans les revues scientifiques, les appels à projets, les sources de financement, les offres de recrutement (notamment CDD et doctorants) mais également les nouvelles productions scientifiques de ses membres (ouvrages, articles, communications, rapports de recherche), sur le modèle du RISC par exemple¹⁴.

Les **séminaires thématiques** pourraient, à terme, si telle est la volonté des personnes impliquées dans leur organisation et leur contenu, donner lieu à un **ouvrage de synthèse**. En tout état de cause, il sera procédé à une **mise en ligne des présentations powerpoint** de tous les exposés (si leurs auteurs l'autorisent) sur le site internet de l'AR, voire une mise en open access sur le site HAL de l'Ifsttar.

¹² Pour des problèmes de coûts, il est fortement envisagé la possibilité d'effectuer certains séminaires en visioconférence sur les différents sites représentés dans l'AR, voire d'offrir cette possibilité pour tous les séminaires, comme cela est le cas pour l'AR MOBILITAS.

¹³ Elle regroupe actuellement plus de 180 personnes, dans et hors Ifsttar

¹⁴ <http://www.risc.cnrs.fr/>

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

Ont déjà répondu favorablement à notre sollicitation¹⁵ des chercheurs et ITA des laboratoires suivants :

- au sein du département COSYS : LEPSIS, GRETTIA,
- au sein du département AME : DEST, LPC, LTE, LVMT, SPLOTT
- au sein du département TS2 : LESCOT, LMA, UMRESTTE.

Au total, ce réseau sera composé d'un minimum de 36 membres à son démarrage et concernera 11 laboratoires issus de 3 départements de l'Ifsttar, impliqués dans 2 des 3 axes scientifiques du prochain COP. L'invitation de participer au réseau sera proposée à tous les personnels de tous les laboratoires de l'Ifsttar, de façon intégrer également les personnels ne relevant pas des SHS qui seraient intéressés.

Partenariats externes *(à minima le nom de l'organisme et le sujet sur lequel il contribue)*

Cette AR a pour première volonté de rassembler la communauté SHS de l'Ifsttar. Toutefois, compte-tenu de son orientation et de ses objets d'étude principaux et des collaborations déjà existantes, il est tout à fait envisageable de l'ouvrir, à court ou moyen termes, aux chercheurs SHS relevant du CEREMA, voire aux autres établissements de recherche et universitaires français.

Valorisations possibles

(Vis-à-vis des tutelles de l'Ifsttar, de collectivités, de partenaires institutionnels, académiques ou du monde économique, auprès de la société civile ou du grand public)

Les productions du réseau, notamment l'annuaire des compétences en SHS de l'Ifsttar et la mise en ligne des communications effectuées lors des séminaires semestriels peuvent se révéler des outils utiles pour identifier les compétences SHS de l'IFSTTAR auprès de ses tutelles, de ses partenaires scientifiques, notamment académiques, ou de ses partenaires industriels et plus largement privés. La mise en lumière de l'apport des SHS permet de mettre en exergue la place de l'humain comme centrale dans les recherches scientifiques et les innovations technologiques sur les transports, la mobilité, sa sécurité et sa durabilité environnementale et sociale.

¹⁵ Les chercheurs et ITA relevant des SHS autres que la psychologie et de la sociologie ont été contactés tardivement début septembre, par l'intermédiaire des directions de laboratoire. Nous n'avons pas encore eu de réponse de cette partie du personnel et les réponses citées ici ne concernent donc pas ici toutes les disciplines SHS

TransFlab : Outils Probabilistes pour l'analyse de fiabilité

Axe de rattachement : 2 et 1

Mots-clés (6 maxi) : Fiabilité, maintenance, outils probabilistes ,

Responsable IFSTTAR Bouillaut Laurent, COSYS, GRETTIA
 Orcési André, MAST, SDOA

Autre Responsable

Axe de rattachement : 2 et 1

Durée : 3 ans (2017-2019)



Enjeux et objectifs

L'analyse de la mobilité est aujourd'hui un sujet de recherche incontournable pour répondre au besoin croissant de nos sociétés modernes. Elle touche aussi bien les problématiques liées à l'aménagement du territoire, l'économie ou la maîtrise de l'énergie (et tous les vecteurs écologiques qui s'y rapportent), les conceptions et implantations innovantes de réseaux (souvent multimodaux)... ; tout cela visant à permettre une plus grande flexibilité, durabilité, ou résilience des systèmes de transports.

Toutefois, parmi tous les verrous technologiques et scientifiques à lever pour permettre une optimisation de la mobilité, il semble qu'un effort tout particulier doive encore être fourni pour améliorer la maîtrise de la fiabilité des systèmes de transports (aussi bien pour les infrastructures que pour les véhicules de transports particuliers ou en commun).

Les activités rattachées à ce thème s'inscrivent essentiellement dans l'axe 1 Transporter efficacement et se déplacer en sécurité et l'axe 2 Améliorer l'efficacité et la résilience des infrastructures de l'IFSTTAR. Plus précisément, les thématiques proposées répondent à l'objectif 1 Améliorer la fiabilité des transports de personnes et de marchandises dans leurs différents modes et usages, à coût et externalités maîtrisés mais également à l'objectif 4 Adapter les infrastructures et les réseaux aux nouvelles exigences d'exploitation présentés dans le cadre du nouveau contrat d'objectif et de productivité de l'institut.

Toutefois, si un nombre significatif d'équipes de l'IFSTTAR travaille sur ce thème de la fiabilité, leurs travaux sont bien évidemment en liens avec des partenaires (industriels ou académiques) extérieurs mais assez rarement en collaborations inter-laboratoires ou inter-départements. La fiabilité et les approches probabilistes sont des outils appliqués non seulement aux systèmes de transport, mais aussi à bien d'autres sujets, comme la durabilité des structures, la variabilité appliquée aux mesures et matériaux, ... Enfin, même sur un domaine restreint au transport et aux infrastructures de transport, les domaines d'expertises et d'intérêts sont larges. Pour améliorer la visibilité et l'excellence de l'IFSTTAR en fiabilité, la création d'un réseau autour de la problématique du transport semble une étape majeure. Au-delà des collaborations scientifiques que ce réseau peut susciter, la mise en commun de méthodes et d'outils, mais aussi de la formation pourrait être divulguée via ce réseau.

La structuration et l'animation de cette « communauté » fiabiliste pourrait, sans nul doute, améliorer la visibilité de l'institut sur cette thématique qui semble cruciale, bien au-delà des problèmes liés à la mobilité. L'existence d'un tel lieu d'échange permettrait également d'augmenter notre capacité de production par une connaissance réciproque des expertises de chacun sur le sujet. Il favoriserait également la communication autour de ces activités auprès de nos partenaires industriels.

L'objectif de ce réseau serait, à travers un séminaire annuel, de réunir aussi bien les chercheurs IFSTTAR qui travaillent sur des aspects de fiabilité, que nos principaux partenaires industriels. La journée s'articulerait autour de présentations de travaux récents, réalisés par nos équipes de recherche, et une présentation par les industriels des besoins actuels dans le domaine de la fiabilité; L'objectif étant, bien évidemment, de pouvoir tisser des liens, agrandir notre réseau, structurer la recherche sur le sujet au sein de l'IFSTTAR et inciter les collaborations internes et industrielles.

En termes de domaines d'application, l'objectif est de couvrir les domaines suivants :

- ouvrages d'art, routes, infrastructures ferroviaires et fluvio-maritimes

- infrastructures et composants de l'énergie.
- sécurité routière, ferroviaires et fluvio-maritimes
- matériels roulants terrestres et ferroviaires,
- géotechnique, sols et matériaux
- risques naturels et climatiques

Pour chacun de ces domaines, les champs méthodologiques suivants seront considérés :

- modélisation probabiliste des actions et de la résistance
- méthodes fiabilistes
- méthodes d'apprentissage
- maintenance basée sur la fiabilité
- composants et systèmes,
- incertitudes de mesures.

Valeur ajoutée de la demande (*originalité de l'action, réponse à des attentes exprimées, potentiel nouvelles connaissances, verrou scientifique, innovation, optimisation de moyens ou de ressources, ...*) (A titre indicatif, ¼ page)

Cette animation de réseau vise avant tout à permettre une connaissance réciproque des équipes de l'IFSTTAR s'intéressant à la thématique de la fiabilité afin de structurer d'avantage cette activité au sein de l'institut et ainsi améliorer sa visibilité sur cette thématique aussi bien par de potentiels partenaires industriels que par le reste de la communauté fiabiliste française.

L'animation de ce réseau devrait également nous apporter une meilleure capacité à répondre et à remporter des appels d'offre en constituant une entité IFSTTAR-fiabilité plus forte et plus visible.

Enfin, le fait de donner la parole à nos partenaires industriels, institutionnels... pour qu'ils exposent leurs grandes problématiques « fiabilité » du moment devrait également nous permettre d'orienter certains de nos travaux pour pouvoir répondre à ces besoins et ainsi faciliter les échanges et collaborations sur ce thème de la fiabilité.

Pour finir, il pourrait être envisagé, une fois l'animation du réseau stabilisée, de compléter l'activité de *TransFiab* par l'intégration de partenaires académiques à travers l'organisation d'événements tels que des workshops, des journées de formations...

Description de la démarche et de la structuration de l'action (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches, des différents sujets traités, ...*) (A titre indicatif, ½ page)

L'animation de ce réseau porté par Laurent Bouillaut et André Orcési.

Un comité de pilotage est constitué pour se réunir à une fréquence variable en fonction des événements à organiser. Ce comité est constitué des porteurs de *TransFiab* et des animateurs d'axe Bernard Jacob et Claude Rospars.

Un comité de pilotage élargi est constitué pour relayer l'information périodiquement dans les différents départements de l'IFSTTAR et pour rassembler les différents domaines concernés par les activités de *TransFiab* :

- Laurent Bouillaut (thématique fiabilité-maintenance ferroviaire),
- Denis Candusso (thématique énergie),
- Mohamed Ghazel (thématique sécurité ferroviaire),
- Bernard Jacob (thématique ouvrages d'art),
- André Orcési (thématique ouvrages d'art),
- Jean-Michel Piau (thématique chaussées),
- Claude Rospars (thématique ouvrages d'art et énergie).

Productions prévues

Dans un premier temps :

- Un à deux séminaires annuels sous le format « Présentations du savoir-faire internes » et « Présentations des besoins de nos partenaires industriels, institutionnels, académiques... ».

A terme :

- Possibilité d'envisager la coordination de numéros spéciaux dans des revues telles que Transportation research, Journal on Risk and Reliability, RESS...
- Organisation de workshops ou de journées de formations
- Essayer d'obtenir de l'IMdR l'organisation par l'IFSTTAR d'un congrès λμ ...

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

L'animation du réseau *TransFiab* s'articule autour d'un comité de pilotage restreint, complété de référents des laboratoires partenaires, servant de point d'entrée aux membres du COPIL pour le montage des programmes des séminaires annuels et autres événements envisagés.

Nom- Prénom	Dpt/Labo	Estimation h/mois par an	Principale contribution
BOUILLAUT Laurent	COSYS GRETTIA	1	Co-porteur, membre du COPIL, référent GRETTIA
ORCESI André	MAST SDOA	1	Co-porteur, membre du COPIL, référent SDOA
JACOB Bernard	DS	0.5	Membre du COPIL
ROSPARS Claude	MAST SDOA	0.5	Membre du COPIL
GHAZEL Mohamed	COSYS ESTAS	0.2	Référent ESTAS
DAUCHER Dimitri	COSYS LEPSIS	0.2	Référent LEPSIS
HAUTIERE Nicolas	COSYS & R5G	0.2	Référent R5G
CANDUSSO Denis	COSYS SATIE	0.2	Référent SATIE
HANKACH Pierre	MAST LAMES	0.2	Référent LAMES
GAILLET Laurent	MAST SMC	0.2	Référent SMS
COTE Philippe	GERS	0.2	Référent GERS
KOITA Abdourahman	TS2	0.2	Référent TS2

Partenariats externes (à minima le nom de l'organisme et le sujet sur lequel il contribue)

Liste (non exhaustives), des partenaires industriels et institutionnels envisagés pour être invités au second séminaire *TransFiab*, programmé en avril 2017 :

- Bombardier Transport
- CETRA
- Keolis
- RATP
- Union Internationale des Chemins de Fer
- ATEC ITS
- Société du Grand Paris
- SNCF Direction de l'Innovation et de la Recherche
- Institut de Maitrise des Risques
- EDF R&D
- Eiffage
- OXAND
- NECS
- CEA



Résultats obtenus

Organisation de la 1^{ère} journée de la fiabilité à l'IFSTTAR le mercredi 07 décembre 2016.

Cette journée s'articule autour de présentations de travaux d'équipes de recherche de l'IFSTTAR (ESTAS, LEPSIS, GRETTIA, LAMES, LISIS, SATIE, SDOA) et d'échanges visant à préparer la seconde journée TransFiab.

Cette dernière, prévue début avril 2017, donnera la parole à nos partenaires industriels qui présenteront leurs problématiques du moment en termes de fiabilité. Dans un second temps, certaines présentations de travaux IFSTTAR, en rapport avec les problématiques industrielles présentées en début de journée, seront proposées pour amorcées des échanges.

Programme pour l'année à venir

Organisation de deux séminaires en 2017 (avril 2017 et novembre 2017)

END : GERI Évaluation Non Destructive

Axe de rattachement : 2

Mots-clés (6 maxi) : *auscultation, instrumentation, surveillance*

Responsable IFSTTAR : **Odile Abraham, GERS GeoEND**

Autres Responsables :

Axe 2 : Bernard Jacob (DS) + Claude Rospars (DS)

MAST : André Orcesi, Laurent Gaillet, Franziska Schmidt, Jean-François Seignol

COSYS : Vincent Le CAM

GERS : Odile Abraham, Philippe Côte

Axe de rattachement : **2**

Durée : **4 ans (2013-2017)**

Enjeux et objectifs

Le « réseau » END a pour missions :

- *d'animer et de structurer la R&D dans les END ;*
- *de valoriser et d'accroître la visibilité de l'Ifsttar sur cette thématique transversale ;*
- *d'initier, et d'accompagner le montage de projets de recherche.*

Valeur ajoutée de la demande

Donner un cadre institutionnel et expliciter clairement une commande de la direction pour une démarche fédérative au niveau de l'institut trans département.

Démarche entreprise

Organisation de séminaires

Lancement de la création d'un site web

Partenariats

Ifsttar : GERS + MAST + COSYS

Cerema

→ Participation des membres du GERi END sur Nantes à la mise en place du GIS ECND_PdL avec les laboratoires académiques de la Région Pays de la Loire impliqués dans le Evaluation et le Contrôle Non Destructifs (GeM : Univ_Nantes+ECN, LAUM : Univ_le_Mans+ESEO, SUBATECH, ICAM, IREENA, CEREMA, IRCCyN, ...).

Résultats obtenus :

Organisation du séminaire « prestataires/chercheurs » le 15 mars 2016 (similaire à la journée industriels/chercheurs organisée en mars 2015)

Site web <http://evaluation-non-destructive.ifsttar.fr> (migration vers le nouveau format Ifsttar à faire, à cette occasion les présentations de la journée du 15 mars devront être ajoutées).

Programme pour l'année à venir

Participation à l'organisation des 2nd doctoriales de la COFREND (28-29 nov 2016 à l'Ifsttar MLV) et 3ième doctoriales de la COFREND (2017 ou 2018)

Organisation d'un séminaire « prestataires/chercheurs »

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (ordre de grandeur) : 1,5 hm/an,

Valorisations possibles

Participation à l'organisation des 2nd doctoriales de la COFREND

Finalisation du GIS ECND_PdL

Organisation d'un événement majeur sur le domaine (le futur diagnobéton en 2018?)

EnR : Energies Renouvelables

Axe de rattachement : 2

Mots-clés (6 maxi) : Energies renouvelables, EMR, éolien, hydrolien, houlomoteur

Responsable IFSTTAR Pilotage collégial par les Départements impliqués

Autre Responsable MAST : C. TESSIER ; GERS : L. THOREL/Ph.COTE ; COSYS : LM. COTTINEAU ; AME : B. GAUVREAU

Axe de rattachement : 2

Durée : 3 ans (2014-2016)

Enjeux et objectifs (*problématique scientifique, enjeux sociétaux concernés, originalité du projet, articulation avec le COP, références bibliographiques*). Ce paragraphe reste inchangé sur toute la durée de vie de l'outil incitatif.

Depuis moins d'une dizaine d'années, les Energies Marines Renouvelables (EMR) font l'objet d'une volonté de développement accéléré en France, avec le sentiment d'être parfois en retard sur d'autres pays, après les premières techniques mondiales (usine marémotrice de la Rance) réalisées en France il y a plus de 40 ans.

L'enjeu est celui d'une contribution à un mix de production énergétique diversifié, avec une part d'énergie renouvelable en forte croissance.

De nombreux problèmes restent encore à résoudre pour assurer la maturité technologique et économique des différentes filières. Celles-ci ne présentent pas toutes le même degré d'avancement.

Les compétences et les moyens de l'IFSTTAR peuvent être proposés dans le domaine des énergies renouvelables, et en particulier des EMR pour contribuer à progresser vers la maturité technologique des différentes filières.

Par contre, si l'IFSTTAR dispose d'une lisibilité importante dans le domaine du génie civil, sa lisibilité, face à de nouveaux demandeurs et/ou partenaires, demande à être renforcée dans le domaine des énergies renouvelables.

Le premier objectif de cette « Animation réseau » est donc de construire et structurer l'offre de l'IFSTTAR en matière de recherche dans le domaine des énergies renouvelables avec la volonté de :

- Réunir les différentes compétences mobilisables, quelles que soient leur localisation thématique ou géographique
- Faire connaître notre offre, de façon lisible, en proposant une offre globale et cohérente regroupant les différentes contributions possibles
- Renforcer l'information interne mutuelle sur la thématique
- Susciter et faciliter le montage de projets faisant appel aux différentes composantes de l'IFSTTAR

L'accent sera mis dans un premier temps sur les énergies marines renouvelables, mais sera étendue progressivement aux énergies terrestres renouvelables.

En effet, des structures sont en cours de montage (ou de montée en charge) dans le domaine des EMR, et c'est maintenant que l'IFSTTAR doit s'y inscrire. Nous pouvons citer notamment la démarche RFI de la Région Pays de Loire, le réseau Acad'EMR monté par le PRES LUNAM, l'IEED France Energies Marine, les pôles Mer PACA et Bretagne, les implications de l'IRT Jules Verne et du pôle EMC2.

Sujets traités.

Voici, en résumé de ce qui semble récurrent sur le sujet, les principaux défis à relever pour les différentes sources d'énergie possibles. :

- Pour l'énergie des courants :
 - o La conception des structures de maintien, d'installation et de maintenance des hydroliennes
 - o L'appréciation et l'augmentation de leur durée de vie (fouling, abrasion,...)
 - o La caractérisation de la ressource
 - o La dynamique sédimentaire
- Pour l'énergie des vagues (oscillateurs mécaniques) :
 - o Robustesse des éléments
 - o Economie des systèmes au regard de la capacité de production
 - o Simulation
 - o Contrôle actif des éléments
- Energie thermique des mers : les problèmes environnementaux à résoudre sont un préalable aux possibilités de maturité industrielle.
- Eolien posé en mer : (industriellement mature, mais des développements sont à poursuivre)
 - o Faire face à des rotors de plus en plus importants (diamètre 125m)
 - o Problème des fondations : installation, dimensionnement, surveillance ... pour des installations plus importantes, plus éloignées, en site plus profond ...
 - o Caractérisation de la ressource et de l'environnement
 - o R&D sur les turbines
 - o Simulation dans son environnement (interaction avec la houle, effets de sillage,...)
 - o Dynamique sédimentaire
- Eolien flottant : pas la même maturité, pas de consensus
 - o Simulation aérodynamique, hydrodynamique
 - o Dimensionnement et adaptation du contrôle des turbines
 - o Ancrage et câble

Trois défis génériques, auxquels IFSTTAR peut contribuer, peuvent être ajoutés :

- Il s'agit tout d'abord de la connaissance de durabilité des matériaux en milieu marin : connaissance des indicateurs de durabilité, choix des matériaux. Cela concerne aussi bien les matériaux « traditionnels » (acier, béton) ou bien de nouvelles solutions (structures composites, armatures composites, BFUP,...).
- Il s'agit aussi des techniques de surveillance, et surtout de télésurveillance. Le SHM est particulièrement pertinent quand il s'agit de s'assurer du bon état d'un parc de moyens de production d'énergie éloigné en mer, et donc peu accessible. Ce défi doit être relevé en mobilisant nos complémentarités sur la connaissance des matériaux, du fonctionnement des structures, des outils d'instrumentation, et des techniques de CND, d'exploitation et de traitement des données.
- L'impact environnemental (indicateurs SPI, acoustiques en particulier) et l'acceptabilité sociale (SHS)"

Enfin, la problématique de raccordement au réseau électrique, dans des conditions de durabilité et de fiabilité satisfaisante est rencontrée de façon commune à ces différents systèmes. L'IFSTTAR pourrait étudier la possibilité d'utiliser ses compétences en matière de câbles de génie civil pour étudier la durabilité des câbles électriques, notamment en ce qui concerne les effets de corrosion ou de blessure mécanique. Cela ne va pas de soi et doit faire l'objet d'une avancée progressive, s'agissant de matériaux et de conditions d'emploi que nous ne connaissons pas de façon fine. Pour cette même problématique, l'IFSTTAR peut aussi contribuer à l'amélioration des techniques de reconnaissance géophysique adaptées aux fonds marins.

Cet ensemble traduit des préoccupations actuelles des constructeurs et des exploitants des systèmes à mettre en place.

Un autre type de préoccupation va probablement apparaître dans quelques années, mais pas de façon prioritaire pour l'instant. A titre d'exemple, l'éolien posé en mer est actuellement envisagé avec une durée d'utilisation de 20 ans. Cela est relativement court. Si la préoccupation actuelle des contributeurs est de développer la mise en place de ces systèmes dans un cadre rentable pour les industriels et les exploitants, il est fort probable que dans une vingtaine d'années, on s'attache à

savoir si l'on peut, ou pas, prolonger la durée d'utilisation de ces équipements. Cela s'est déjà vu dans d'autres secteurs de production d'énergie ... Les problématiques concerneront alors l'appréciation de l'état des équipements, la remise à niveau et la réparation. Il faudra aussi se préoccuper des techniques de démantèlement.

Nous aurons donc à moyen terme d'autres contributions à apporter; celles-ci n'étant pas, pour l'instant, considérées comme des priorités.

Nous voyons donc que nos compétences et nos moyens, mis au service du Génie Civil principalement pour les infrastructures de transport, peuvent être proposés dans le domaine des EMR pour contribuer à progresser vers la maturité technologique des différentes filières.

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 10 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : XX hm/an

Préciser, en particulier pour les projets fédérateurs et les ORSI, la principale contribution scientifique et/ou technique de chaque partenaire.

Produits majeurs visés (*mettre en avant les produits majeurs tels que les publications et ouvrages scientifiques, les articles de vulgarisation, guides, thèses, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, les actes de colloques, etc.*)

Préciser l'échéance prévue ou réalisée (année)

- Organisation de l'offre au sein de l'IFSTTAR – création d'un groupe de pilotage (fait en 2014), de sous-groupes thématiques (réflexion 2015)
- Insertion de l'IFSTTAR de façon cohérente dans les structures externes (réponse concertée aux sollicitations, information mutuelle régulière) (assurée en 2014 en lien avec la démarche RFI EMR PdL – action à poursuivre de façon continue – RFI WEAMEC lancé mi-2015). 3 projets financés par WEAMEC sur l'AAP 2016 au sein du département GERS : 1) REDENV-EOL (Réduction de l'emprise environnementale des éoliennes flottantes) dans le laboratoire GERS-GMG ; 2) PROSE et 3) OMCEND (ondes guidées dans les câbles) dans le laboratoire GERS-GeoEnd
- Articulation avec les structures fédératives (notamment ECNDPdL et LirGec) (réflexion 2015 – coordination avec Weamec à conduire avec l'ECN)
- Initiation et structuration de projets de recherche. Développement de l'offre auprès de l'IEED, l'ADEME, les Régions, le pôle EMC2, l'IRT Jules Verne, ... (premiers éléments de structuration d'un site Web d'échange interne en 2014 – mise en place prévue en 2015 – éléments regroupés, mise en forme à assurer) – Démarche concertée de dépôt de projets à l'AAP Weamec (fait en 2016)
- Journées d'échange technique. Premier séminaire prévu et tenu en 2015 avec le Cerema (séminaire du 30/9/15)
- Renforcement des partenariats : échanges avec les industriels, effet d'entraînement avec le CEREMA et d'autres partenaires (CSTB,...) (structuration de pages Web externes et brochure spécifique en 2015 – les éléments de la brochure sont regroupés, mise en forme à réaliser)

Partenariats et contrats (*nom des partenaires et externes internes (notamment pour les projets fédérateurs et les ORSI) ; pour les contrats préciser le financeur, nom du projet, descriptif sommaire, période*)

Les premiers temps seront consacrés à la structuration interne IFSTTAR, pour associer ensuite progressivement des partenaires externes.

Le « réseau » EnR inscrira son action dans les structures externes existantes (voir ci-dessus).

Une réflexion sur la complémentarité avec le Cerema a été engagée en 2015 à travers le séminaire Ifsttar/Cerema du 30/9/15. Il est ressorti le besoin d'avoir une meilleure connaissance mutuelle (y compris interne Cerema) et une implication en commun avec le Cerema dans Weamec est à l'étude.

Thèses

Thèses (y compris celles en association) et financeur (Ifsttar, Cerema, autres) *(uniquement pour les ORSI)* :

- Thèses demandées :
- Thèses obtenues *(préciser le ou les sujets)* :
 - Modélisation physique et étude du comportement des fondations profondes d'éoliennes offshore (Ismat EL HAFFAR, GERS-GMG, cofinancement Ifsttar / Région PdLloire, 2015-2018)
- Thèse en cours : Cifre Innosea/ECN/Ifsttar-GERS-TC : Mlle Rocio ISORNA (2013-2016) : Etude de l'interaction sol-structure et de la fondation d'une éolienne offshore soumise à des chargements statiques/cycliques. Soutenance prévue fin 2016.

Résultats obtenus *(ce paragraphe est initié à la fin de la première année de vie de l'outil incitatif et mis à jour annuellement)*

Plusieurs réunions ont été tenues sur le site de Nantes au cours de l'année 2014. Un rapprochement avec le CEREMA s'est mis en place, et un séminaire d'échange Ifsttar/Cerema s'est tenu le 30/9/15 sur le site de Nantes de l'Ifsttar.

En effet le paysage des énergies renouvelables et en premier lieu de l'éolien off-shore nécessite la réunion de multiples partenaires. L'avancement synchronisé avec le CEREMA est un atout qu'il faut exploiter dans les prochains mois.

Voici le programme de cette journée ci-après.

Journée d'échange entre le Cerema et l'Ifsttar sur le thème des énergies marines renouvelables

Mercredi 30 septembre 2015

Ifsttar – Nantes (Amphithéâtre Viarme)

Route de Bouaye – Bouguenais

02 40 84 58 00

Programme

Objectifs de la journée : Présentation des domaines d'activités de chaque établissement dans le domaine des EmR et identification des champs d'action pouvant faire l'objet d'un montage de projets de recherche communs Cerema-Ifsttar.

9h 30 Ouverture de la journée

9h 40 Le potentiel de l'Ifsttar dans le domaine des EMR

Intervenants: C. Tessier, L. Thorel, P. Cote, L.M. Cottineau (Ifsttar)

10h 00 Le contexte régional en Pays de la Loire

Intervenant: C. Tessier (Ifsttar)

10h 20 Activité du Laboratoire de génie côtier et environnement (LGCE) sur les hydroliennes

Intervenant: N. Guillou (Cerema DtecEMF)

10h 40 Travaux du groupe de travail 161 de l'Association mondiale pour des infrastructures de transport maritimes et fluviales (AIPCN) concernant l'interaction des parcs éoliens en mer avec le trafic maritime

Intervenant: J.-C. Cornillou (Cerema DtecEMF)

11h 00 Présentation du projet FONDEOL

Intervenants : L. Thorel, L.M. Cottineau, S. Chataigner (Ifsttar)

11h 20 - 11h 30 Pause

11h 50 Présentation du projet national « Énergies marines, côtières et portuaires » (EMACOP)

Intervenants: P. Sergent et B. Michard (Cerema DtecEMF)

12h 10 Utilisation d'un code de Navier-Stokes pour la modélisation de systèmes à colonne d'eau oscillantes (Oscillating Water Column - OWC)

Intervenant : V. Rameliarison (Cerema DtecEMF)

12h 30 Déjeuner

14h 00 Présentation du projet CHARGEOL

Intervenant: M. Blanc (Ifsttar)

14h 20 Analyse multicritère pour la définition de nouvelles zones d'implantation de parcs éoliens offshore posé et flottant

Intervenants: L. Thiebaud (Cerema DtecEMF) et J. Christin (Cerema DterMed)

14h 40 Présentation du projet SURFFEOL

Intervenants: L.M. Cottineau, L. Gaillet (Ifsttar)

15h 00 Analyse des dossiers géotechniques remis par les candidats dans le cadre des appels d'offre – Prise en compte du risque géotechnique dans les appels d'offre

Intervenants : D. Batista (Cerema DterMed) et N. Rouxel (Cerema DterOuest)

15h 20 Discussions avec la salle

16h 00 Fin du séminaire

Les échanges ont permis une meilleure connaissance mutuelle dans le domaine (et la mise en évidence de compléter cette connaissance mutuelle, y compris au sein du Cerema)

Un plan d'action a été élaboré, prévoyant notamment un portail interne destiné à la coordination interne Ifsttar (échange d'informations, notamment sur les projets EMR), une réflexion sur l'identification des publications EMR, l'élaboration d'une plaquette EMR IFSTAR, l'élaboration de pages Web. Les éléments nécessaires à ces outils ont été regroupés, et une première structuration a été envisagée. A ce jour, il reste à les mettre en forme.

La démarche RFI EMR de la Région a abouti sur la mise en place d'un plan d'action à 5 ans, WEAMEC, lancé mi-2015, dont le pilotage a été confié à l'ECN par la Région.

L'implication du Cerema, la coordination des actions du RFI avec ECNDPdL et Lirgec sont des points à développer au sein de cette démarche.

Une démarche concertée entre les différents Départements en vue de répondre à l'appel d'offre Weamec a été conduite en 2016. Elle a abouti à la définition de 5 projets :

- DF-Metal-EMR, sur la durabilité des Fondations Métalliques Type Jacket des structures EMR
- OMC-END, sur l'application des ondes guidées dans les câbles électriques EMR
- REDENV-EOL, sur l'étude des solutions de fondations pour la réduction de l'emprise environnementale des éoliennes flottantes
- PROSE, sur l'application de méthodes sismiques et électriques à proximité des éoliennes Off-shore
- REPACS, sur la réparation ou renforcement par patchs composites des structures à la mer

Ces 5 projets ont été déposés au premier appel d'offre Weamec.

Sur ces 5 projets, 3 ont été retenus (OMC-END, REDENV-EOL et PROSE).

D'autres sujets sont apparus dans la discussion, comme la diffusion des chlorures, les capteurs enfouis de corrosion, le monitoring par fibres optiques.

Ces projets, ainsi que les projets non retenus ajustés pourront faire l'objet de nouvelles soumissions à des appels à projets.

L'ifsstar participe au séminaire national sur les éoliennes flottantes à Brest du 12 au 13 octobre 2016, l'occasion de tisser des liens supplémentaires avec des partenaires académiques et industriels.

Début des investissements prévus au plan Etat Région (CPER-PRIC Mer) : Cosys/SII a lancé le marché pour l'acquisition du GBSAR. Celui-ci devrait être réceptionné d'ici fin novembre 2016...

Programme pour l'année à venir *(ce paragraphe est initié lors de la création et mis à jour annuellement)*

L'année 2017 visera plusieurs objectifs :

- La formalisation de nos supports de communication en ce qui concerne la contribution de l'ifsstar aux EMR : pages Web et plaquette
- Tenue d'un séminaire ouvert, notamment en direction des partenaires industriels, leur montrant les compétences et les équipements pouvant être mobilisés.
- Démarrage des programmes de recherche financés par Weamec
- Poursuite des investissements CPER PRIC Mer.
- Redéfinition du réseau sur une autre échelle.
- Poursuite de la démarche concertée de réponse à AAP.

Valorisations proposées et perspectives

Clôture du réseau en 2017 par un séminaire en fin d'année.

EVAPP: Evaluation et analyse de politiques publiques

Axe de rattachement : 3

Mots-clés (6 maxi) : évaluation, politiques publiques

Responsable IFSTTAR Odile Heddebaut (AME-DEST)-

Autre Responsable Corinne Blanquart AME SPLOTT Michel André (AME-LTE)

Axe de rattachement : 3

Durée : 3 ans (2016-2018)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar, contribution au COP, références bibliographiques*). (A titre indicatif, ½ page)

L'évaluation est un champ de recherche essentiel pour l'IFSTTAR, qui développe sur le sujet des approches couvrant une diversité de dimensions (économique, environnementale, sociale), d'échelles (locales, régionales, nationales, internationales) et de temporalités (a priori, a posteriori, au fil de l'eau). Le diagnostic fait en effet état de nombreuses complémentarités dans les travaux d'évaluation menés à l'IFSTTAR mais également d'un cloisonnement entre les analyses de l'infrastructure stricto sensu et celles traitant de son usage (et considérant les véhicules, les usagers), ou encore de l'environnement dans lequel elle émerge (système politique) ou s'insère (les acteurs des territoires). Par ailleurs, les approches de l'évaluation et les questionnements associés sont différents, depuis l'exercice méthodologique jusqu'à la critique des méthodes d'évaluation en passant par l'analyse des politiques publiques.

Le défi est alors triple :

- confronter les méthodes d'évaluation des politiques (de transport, d'aménagement, de sécurité routière, de transition énergétique...) et questionner les hypothèses sur lesquelles ces méthodes sont construites.
- éclairer les modalités de construction et de mise en œuvre des politiques publiques de transport ou des politiques ayant une incidence sur la mobilité des personnes et des biens (politiques environnementales, d'aménagement, d'urbanisme, de transition énergétique). En effet, la maîtrise des circulations ne peut se réaliser sans une coordination des politiques de transport et d'autres politiques sectorielles. La question de la coordination pose également celle des échelles d'intervention et de leur articulation, depuis le niveau européen jusqu'au niveau communal.
- identifier la place de l'environnement et les modalités de formulation des problèmes et enjeux environnementaux dans les politiques publiques.

Valeur ajoutée de la demande (*potentiel d'innovation, originalité de la recherche, potentiel du projet scientifique*) (A titre indicatif, ½ page)

Il s'agit ici de fédérer les approches partielles de l'évaluation menées à l'IFSTTAR pour développer une approche intégrée.

Les travaux du groupe Quinet listent par ailleurs un certain nombre de questions non traitées par les méthodes d'évaluation actuelles (concurrence imparfaite, équité territoriale) que nous proposons d'aborder.

Il s'agit enfin de compléter le référentiel d'évaluation du MEDDE, en améliorant les indicateurs retenus en fonction des évolutions de la recherche mais aussi en proposant de nouveaux indicateurs pour les champs non couverts.

Ce sujet de l'évaluation est un sujet important pour l'IFSTTAR, et notamment pour le département AME qui en a fait un de ces thèmes transversaux, mais aussi pour le MEDDE.

Démarche entreprise (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches*) (A titre indicatif, ½ page)

3 axes de questions de recherche

Données, méthodes, rapport aux politiques publiques

1) Données : quels débats autour des éléments (d'entrée et de sortie) de l'évaluation ?

Quelles données d'entrée et de sortie ?

- ✓ Sont-elles suffisantes ? Les données sont produites par rapport à des questionnements particuliers. Comment en produire de nouvelles par rapport à des questionnements en évolution ou en émergence ?
- ✓ Quelle objectivité des données ? Comment rendre visibles les débats autour des données utilisées.
- ✓ Quelle pertinence des données de sortie (et indicateurs) dans les politiques publiques ?

2) Quelles chaînes logiques considère t'on ?

Evaluer= produire un jugement par rapport à un *effet* attendu. Est-ce possible ? Comment ?

- ✓ quels effets traite-t-on ? Comment identifier et tenir compte des causalités ? Ou comment tenir compte de rétroactions dans des chaînes logiques complexes ?
- ✓ quelles interactions entre les politiques publiques ? synergies ou antagonismes ?

3) Quels place et sens de l'évaluation et rapport aux politiques publiques ?

Comment favoriser le transfert des résultats de nos travaux ? Comment créer un continuum entre l'évaluation et la fabrique de politiques publiques ?

Comment articuler recherche et expertise (de connaissances et décisionnelle)?

Ou comment éclairer les contraintes de mise en œuvre des principes de l'action publique ? Comment distinguer actions publiques et politiques publiques (compromis)?

Partenariats (*nom des partenaires externes (notamment pour les collaborations de recherche) et principal apport de chaque partenaire*)

Département AME

Département TS2

CEREMA

MEDDE-DGITM

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

Montage de projets communs

Production scientifique

Résultats obtenus

Une enquête a été réalisée afin de mieux comprendre comment les ordonnateurs d'évaluation dans le domaine des politiques de transport effectuaient leur demande. Nous avons interprété et communiqué les résultats lors d'un de nos séminaires. Il en ressort que les évaluations des politiques et/ou projets de transport sont le plus souvent confiées à des bureaux d'étude. Nous avons recensé tous les travaux d'évaluation effectués au sein de l'IFSTTAR dans ces domaines et montré que les laboratoires du département AME pourraient travailler ensemble sur certains points.

Programme de l'année à venir

Réflexions à mener sur la possibilité de publier un ouvrage sur les méthodes et exemples d'évaluation des politiques publiques de transport menées au sein de l'IFSTTAR et/ou en coopération avec d'autres laboratoires, avec le PCI évaluation des politiques publiques du Cerema et la participation du MEDDE-DGITM intéressé par cette approche collective.

Organisation d'un séminaire (lieu à déterminer mais probablement à Villeneuve d'Ascq en 2017 et à Paris (si au MEDDE-DGITM) ou Marne la Vallée) pour que chacun puisse présenter ses travaux et concevoir et finaliser une trame d'un article ou ouvrage commun.

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 7 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : XX hm/an PCI évaluation des politiques publiques du Cerema

Valorisations possibles

Montage de projets communs
Production scientifique.
Articles communs

Polluants : Métrologie, sources, devenir des polluants en contexte urbain et routier

Axe de rattachement : 3

Mots-clés (6 maxi) : polluants, environnement, métrologie, source

Responsable IFSTTAR Mathieu GORIAUX, GERS, LEE
 Yao LIU, AME, LTE

Autre Responsable -

Durée : 3 ans (2014-2017)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar, contribution au COP, références bibliographiques*). (A titre indicatif, ½ page)

Le réseau Polluants regroupe des personnes de l'IFSTTAR et du réseau scientifique et technique du MEDDE intéressées ou concernées par l'étude des pollutions physicochimiques. Ce groupe de travail s'intéresse plus particulièrement à la métrologie (méthode d'analyse et représentativité) des différents polluants, à leurs sources et à leurs devenir.

Ce point de vue sur l'environnement, axé sur le polluant, fédère de nombreuses personnes. En effet un polluant donné a en général plusieurs origines, il peut être présent dans différents milieux (atmosphère, hydrosphère, géosphère et biosphère), passer de l'un à l'autre, et sa mesure fait appel à des méthodes de mesures spécifiques. De ce fait au sein de l'IFSTTAR plusieurs équipes, appartenant à des laboratoires et des départements différents, emploient, dans des contextes ou dans des milieux variés, des méthodes de mesures similaires mises en œuvre par eux même ou par des partenaires réguliers.

Les enjeux et objectifs de ce groupe sont :

- Réalisation de séminaires internes sur les polluants, leurs méthodes de mesure et les différentes recherches effectuées par les membres du réseau polluants.
- Connaissance sur les laboratoires, les personnes et leurs compétences, les instrumentations disponibles et les méthodologies existantes.
- Meilleure visibilité de cette thématique en interne et vis-à-vis de nos partenaires académiques, ministériels ou industriels et mise en place de passerelles vers les réseaux scientifiques et techniques existants
- Le montage de projets facilités par une possible association des personnels, des compétences, des matériels et des réseaux scientifiques...

Valeur ajoutée de la demande (*potentiel d'innovation, originalité de la recherche, potentiel du projet scientifique*) (A titre indicatif, ½ page)

Le partage des connaissances de personnes issues de plusieurs disciplines scientifiques et de différents laboratoires permet de trouver les ressources humaines ou matérielles aux problèmes rencontrés dans les travaux de chacun. C'est également un facteur générateur d'idée nouvelle et cela contribue à l'émergence d'une culture scientifique commune.

Démarche entreprise (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches*) (A titre indicatif, ½ page)

La démarche consiste principalement en des échanges d'informations qui se font par des réunions 2 fois par an : une se fait en visioconférence et l'autre comprend une visite d'un site l'IFSTTAR.

Ces réunions permettent une meilleure connaissance réciproque ce qui amène, encourage et facilite de nombreux échanges informels.

Partenariats (*nom des partenaires externes (notamment pour les collaborations de recherche) et principal apport de chaque partenaire*)

Des personnes extérieures à l'IFSTTAR sont membres du réseau Polluants. Ils viennent du CEREMA et du CETU.

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

Résultats obtenus en 2016 :

Réunion d'échange en visio-conférence avec les sites IFSTTAR de Bron et Marne la Vallée. Cette réunion (11 personnes présentes de 6 laboratoires différents) a permis à chacun d'exposer ces projets en cours, d'échanger sur les difficultés, les solutions et les liens qui pourraient être fait entre collègues sur certaines recherches. De plus il a été décidé de proposer la réalisation d'un séminaire dans le 1^{er} semestre 2017 pour présenter les travaux de membres du GERI Polluants et avec la participation de partenaires extérieurs. Un groupe de travail se réunira le 10 novembre pour réfléchir au programme.

Programme pour l'année à venir :

Le GERI souhaite organiser un séminaire ouvert à l'ensemble de l'IFSTTAR et à l'extérieur au 1^{er} semestre 2017. Un comité d'organisation a été formé. Réalisé sur une journée, le budget estimatif serait de l'ordre de 3500 à 4000€ (variable selon le format) pour le déplacement, l'hébergement et les repas des intervenants extérieurs ou des personnels IFSTTAR d'autres sites.

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 0.5 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : hm/an

Valorisations possibles :

Meilleure connaissance interne

Montage de projet

TerriTAP : Territoires Transport Action Publique

Axe de rattachement : 3

Mots-clés (6 maxi) : territoire, transport, action publique, urbanisme, mobilité

Responsable IFSTTAR L'Hostis Alain, AME, LVMT

Autre Responsable Nom et organisme

Durée : 4 ans (2013-2016)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar, contribution au COP, références bibliographiques*). (A titre indicatif, ½ page)

Le projet TerriTAP consiste en **une plate-forme d'échange entre le monde de la recherche et le monde opérationnel de l'action publique**. Il s'agit de mettre en place un chantier commun intégrant les domaines de la production de connaissances sur les territoires et de l'aide à la décision. Les participants à cette initiative, chercheurs, enseignants-chercheurs et praticiens, interviennent les uns et les autres sur ces deux versants, dans des approches orientées vers l'action ; l'enjeu de la plate-forme est **la mise en commun des démarches de recherche et des démarches territoriales**.

L'échange porte sur les méthodes, sur la production de connaissance nouvelles sur les territoires par l'ingénierie territoriale et par la recherche, sur les données et leur recueil, sur les comparaisons territoriales, sur la transférabilité des solutions locales.

Les sujets traités relèvent du périmètre thématique identifié dans le Réseau Territoires, à savoir des travaux sur les transports et comportant une problématique territoriale : ils sont plus précisément définis conjointement par les chercheurs et les partenaires du GIE de la rue Joubert, dont la liste est rappelée plus bas (rubrique « partenariats »). Ainsi l'objectif est d'organiser une rencontre entre les travaux et objectifs des chercheurs, et les préoccupations des acteurs locaux.

Valeur ajoutée de la demande (*potentiel d'innovation, originalité de la recherche, potentiel du projet scientifique*) (A titre indicatif, ½ page)

- Transversalité à l'intérieur de l'Ifsttar autour des approches territoriales des transports

Le réseau TerriTAP permet des échanges entre chercheurs appartenant à différents laboratoires (LVMT, LMA, SPLOTT, DEST, LTE, GRETTIA) et à différents axes de l'Ifsttar (AME et TS2, COSYS)

- Échanges entre chercheurs et praticiens de l'action publique

Le choix des thématiques et des intervenants des séminaires est une tâche conjointe entre l'Ifsttar et les représentants du GIE de la rue Joubert, dont le correspondant habituel est Olivier Crépin de l'AdCF. L'intérêt de l'organisation du réseau TerriTAP est de mettre en contact les chercheurs Ifsttar directement avec l'ensemble d'un réseau professionnel d'acteurs de terrain et de collectivités locales sous différents aspects : transport, urbanisme, intercommunalités.

Démarche entreprise (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches*) (A titre indicatif, ½ page)

Le séminaire du 3 juin 2015 a porté sur trois thématiques formulées au travers de trois questions, sur le stationnement, sur le management de la mobilité, et sur les politiques logistiques :

Comment mobiliser le levier du stationnement dans les politiques locales d'urbanisme et de mobilités ?

- Les enjeux de la modélisation du stationnement, interactions mobilité/urbanisme à l'échelle d'un quartier Présentation de Natalia Kotelnikova-Weiler, Laboratoire Ville Mobilité Transport (LVMT)
- 3. Enseignements de l'étude comparative conduite par le GART sur la gestion décentralisée du stationnement en Europe Présentation de Mounia Moudjed, chargée de mission au GART
- Ce que le stationnement nous dit des politiques urbaines de transport et de déplacements, l'exemple de quatre intercommunalités des Bouches du Rhône Présentation de Martin Claux, IFSTTAR

- Faire du stationnement un levier de la politique locale de déplacements, l'expérience de la Métropole Européenne de Lille [Présentation de Olivier Asselin, urbaniste, chargé de mission politique du stationnement, Métropole Européenne de Lille](#)

Modalités de mobilisation des acteurs privés dans le management de la mobilité des salariés

- La transition énergétique : un facteur d'évolution du positionnement des entreprises sur les questions de mobilité ? Le cas des zones d'activités économiques situées en périphérie d'une ville moyenne : Annecy [Présentation de Patricia Lejoux, chargée de recherche, Laboratoire d'Economie des transports \(LET\)](#)

Comment prendre en compte les enjeux logistiques dans les politiques publiques et les stratégies territoriales ?

- Apprentissage performant du transport fluvial. Quel accompagnement du projet de canal Seine-Nord Europe ? [Présentation de Ludovic Vaillant, directeur d'études, CEREMA](#)

La troisième rencontre du réseau TerriTAP, qui a eu lieu le 27 octobre 2015 a eu pour titre « Les Gares, lieux d'articulation de l'intermodalité : coordinations, innovations, expérimentations »

Cette nouvelle rencontre entre chercheurs et cadres de collectivités locales a permis d'échanger autour de trois enjeux des gares dans les territoires :

- Intermodalité, les attentes des acteurs
- Faciliter les pratiques intermodales: exploiter les données de billettique
- Les modes de transport de l'intermodalité autour des gares

Intermodalité, les attentes des acteurs

- Denis Dowui, docteur en géographie chargé d'études Transdev : [Regard sur les politiques intermodales de déplacement \(issu d'un corpus d'entretiens auprès d'autorités organisatrices et d'acteurs de la mobilité\)](#)
- Odile Heddebaut (Ifsttar DEST) [Projet européen City Hub : Aspirations des usagers et stratégies d'opérateurs peuvent-elles converger dans l'aménagement des pôles d'échange ?](#)

Faciliter les pratiques intermodales: exploiter les données de billettique

- Cyprien Richer (CEREMA); Etienne Côme (Ifsttar GRETTIA) [Projet MOBILLETIC : Exploitation des données de billettique sans contact pour comprendre les dynamiques de l'intermodalité et des pôles d'échange \(cas de Rennes\)](#)
- Jean Seng (Agence Française pour l'Information Multimodale et la Billettique AFIMB) [Enjeux autour des données transport : information multimodale, ouverture des données, plateformes de données](#)

Les modes de transport de l'intermodalité autour des gares

- Teddy Delaunay (Upem LVMT) [Projet Ecov : Enseignements d'une expérimentation de covoiturage associée aux gares périurbaines franciliennes \(résumé\)](#)
- Francis Papon (Ifsttar DEST) Claude Soulas (Ifsttar GRETTIA) [Projet VERT : Le vélo évalué en rabattement vers les transports collectifs dans les territoires périurbains](#)
- Marie Molino (GART) Les pratiques d'intermodalité entre vélo et transport collectifs ([lien vers l'étude GART](#))

Le programme complet, incluant les présentations, a été mis en ligne : <http://territap.ifsttar.fr/reunions/atelier-27-octobre-2015/>

La prochaine séance du réseau aura lieu en fin 2016, sur une thématique élargie de la mobilité autour des sites d'activités, qui représente un enjeu majeur pour les acteurs territoriaux pour les années à

venir. Le périmètre de la discussion englobe donc les parcs d'activités économiques, mais aussi les nœuds des réseaux de transport. Toutes les communautés et métropoles seront compétentes à partir du 1er janvier 2017 en matière de création, d'aménagement, d'entretien et de gestion des zones d'activités. Les transferts de zones d'activités invitent les intercommunalités à une réflexion plus globale sur la vocation et les fonctionnalités économiques de l'ensemble des sites d'activité : parcs d'activité, centres commerciaux, aéroports, ports et autres « hubs ». Afin de les accompagner dans leurs réflexions stratégiques, l'IFSTTAR, l'AdCF, le GART, la FNAU co-organisent un séminaire sur le thème "Sites d'activités et gestion des mobilités, vers un changement de modèle?"

Partenariats (*nom des partenaires externes (notamment pour les collaborations de recherche) et principal apport de chaque partenaire*)

Le réseau TerriTAP est la rencontre de deux communautés, l'une scientifique, dans et hors de l'Ifsttar et l'autre du domaine de l'action publique structurée par le GIE de la rue Joubert

Chercheurs IFSTTAR impliqués (2012-2015)	Partenaires académiques	Institutions locales partenaires
Aguilera Anne LVMT Blanquart Corinne SPLOTT Baron Nacima, LVMT Brenac Thierry MA Caruso Martine DEST Debrie Jean SPLOT Fleury Dominique MA Gallez Caroline, LVMT Gauci Christine MA Guilbot Michèle MA Heddebaut Odile DEST Kotelnikova-Weiler Natalia (LVMT) L'Hostis Alain LVMT Montel Marie-Claude MA Peytavin Jean-François MA Ruas Anne AME Roche Anne-Laure LTE Soulas Claude GRETTIA Stransky Vaclav LVMT Thébert Mariane, LVMT Wenglenski Sandrine LVMT	Castex Elodie Univ. Lille 1 Conesa Alexis LIVE, Univ Strasbourg Delmer Sylvie, Lille 1, Hasiak Sophie CETE Nord-Picardie Hernandez Frédérique IAR Univ Aix Lejoux Patricia LET, Univ Lyon Leysens Thomas, PACTE Grenoble Medjkane Mohand GEOSYSCOM Univ Caen Ménerault Philippe Univ. Lille 1 IAUL Reigner Hélène IAR Univ Aix Richer Cyprien, CETE Nord-Picardie Saint-Gérand Thierry GEOSYSCOM Univ Caen Tomasoni Lorenza Vaillant Ludovic CETE Nord-Picardie	GIE Rue Joubert : GART (Groupement des Autorités Responsables des Transports), AdCF (Assemblée des Communautés de France), ACUF (Association des Communautés Urbaines de France), AMGVF (Association des Grandes Villes de France), Villes et banlieue (association des maires des villes et banlieue de France), FNAU (Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme) Région PACA Région Nord Pas de Calais Communauté Urbaine de Lille Communauté Urbaine de Marseille Communauté d'Agglomération du Pays d'Aix Communauté d'Agglomération Agglopolo Provence CETE Nord Picardie CETE Méditerranée
Doctorants et post doctorants	Liu Liu LVMT	

Clabaux Nicolas MA	Lo Feudo Fausto LVMT
Claux Martin MA	Mazy Kristel TVEC / U L Bruxelles
Delaunay Teddy LVMT	Medjkane Mohand MA
Dumas Julie, TVES	Riot Etienne, LVMT
Gonçalves Amélie SPLOTT	Zelezny Richard, LVMT
El Hadeuf Mounya LVMT	

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

En 2016 nous prévoyons la tenue d'un séminaire sur le site de la rue Joubert. (la séance initialement prévue de juin n'a pu être organisée pour cause d'agenda trop chargé du côté du réseau des collectivités)

Programme pour l'année à venir :

Nous souhaitons pouvoir continuer les activités du réseau pour amplifier la dynamique actuelle entre l'Ifsttar et le réseau de la rue Joubert, en maintenant l'organisation de deux rencontres annuelles.

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 1 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : 1 hm/an

Valorisations possibles

VELO : Vélo

Axe de rattachement : 3

Mots-clés (6 maxi) : sécurité, mobilité, aménagement, politiques

Responsable IFSTTAR Francis Papon AME DEST

Autre Responsable Thomas Jouannot CEREMA

Durée : 4 ans (2012-2016)

Enjeux et objectifs (*problématiques scientifiques, enjeux sociétaux concernés, originalité du projet, articulation avec le COP, références bibliographiques*). Ce paragraphe reste inchangé sur toute la durée de vie de l'outil incitatif.

Le réseau (ex-GERI) vélo est conçu comme un lieu d'échanges au sein de l'Ifsttar sur le sujet, permettant de connaître toutes les recherches qui l'abordent. La fusion est l'occasion d'intégrer à ce sujet les aspects infrastructures, qui sont essentielles pour le vélo. Beaucoup de travaux sur le vélo se font également au CEREMA, dont certains sont liés à l'Ifsttar dans des ERA, et il est tout à fait opportun que ces équipes participent aussi au réseau vélo. Il y a déjà des groupes d'échanges existants et qui marchent bien centrés sur d'autres modes : COPIE sur le piéton, 2RM sur le deux-roues motorisé, ITGUR sur les transports guidés. Même s'il peut y avoir des interactions entre ces « réseaux », il est nécessaire de conserver des « animations de réseaux » séparées pour préserver leur intérêt, mais surtout parce que les problématiques et les publics sont différents. Par ailleurs, il est nécessaire de faire apparaître le vélo en tant que tel dans le programme de l'Ifsttar, comme c'est le cas dans d'autres instituts à l'étranger (par exemple au Koti en Corée: « Center for Bicycle Transport Research » dans le département routes). Le vélo s'inscrit dans la politique de développement durable, mais aussi de la lutte contre la sédentarité. La coopération avec le réseau PRELUDE (simulateur Vélo) est aussi utile.

Etat de l'art

(voir plus de références dans la fiche 2012)

Amoros E, Chiron M, Thélot B, Serre T, Papon F, Tasseau F, (comité scientifique), Actes de la journée spécialisée « vélo et casque », 28 mai 2009, INRETS Lyon-Bron, rapport UMRESTTE n°0908

INRETS, 4d, IFRESI (1997) *Présentation d'un ensemble coordonné de propositions de recherches pour le PREDIT 1997-2000*. Eco-mobilité : "Mobilité urbaine et déplacements non motorisés. Mai. 58 p.

Sujets traités.

Thématiques :

- sécurité (statistiques, épidémiologie, accidentologie, infrastructure, comportement, protection)
- mobilité (statistiques, sociologie, psychologie, économie, international)
- aménagement (voirie partagée, pistes cyclables, stationnement, intermodalité, services, VLS (Vélos en Libre Service), cartographie)
- politiques (santé publique, associations, droit)
- autres : histoire, tourisme, matériel

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 2 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : Cerema ou autre institut : 2 hm/an

Produits majeurs visés (*mettre en avant les produits majeurs tels que les publications et ouvrages scientifiques, les articles de vulgarisation, guides, thèses, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, les actes de colloques, etc.*)

Préciser l'échéance prévue ou réalisée (année)

Deux séminaires réalisés chaque année.

Connaissance réciproque des travaux et des personnes.

Participation au montage de projets.

Ouverture internationale.

Partenariats et contrats (*nom des partenaires et externes internes (notamment pour les projets fédérateurs et les ORSI) ; pour les contrats préciser le financeur, nom du projet, descriptif sommaire, période*)

Participants (noms, structures de recherche) : liste geri_velo@listes.ifsstar.fr

104 abonnés de l'ifsstar, du Céréma, du ministère de l'écologie, du ministère de l'intérieur, de la Ciduv, et d'universités et collectivités extérieures.

Quelques lignes de présentation des contrats envisagés ou en cours en indiquant le financeur		
Période	contrat/projet dev/autre	descriptif
2009-2011	Bicytête	(financement MEEDAT): protection de la tête du cycliste (Christophe Perrin/MA, Thierry Serre/LBA)
2011-2012	AVER	(financement DSCR) accidentalité à vélo et exposition au risque : Risque de traumatismes chez quatre types d'usagers de la route (Emmanuelle Amoros et al, Umrestte)
2011-2013	utiprim	(pas de contrat) UC Davis, Polito : utilité primaire des déplacements (Francis Papon, DEST)
2011-2012	Prédit cyclable	Prédit cyclable avec région NPC, LMCU, ville de Lille etc. (Sylvie Mathon, CETE NP)
2012-2015	TAC	(financement InVS) : Typologie des Accidents Cyclistes (Alice Billot-Grasset UMRESTTE)
2012-2015	VELOSUR	(pas de contrat) Objectif : risque perçu associé au vélo, du point de vue du cycliste vis à vis d'usagers d'autres modes et vice versa, et sur leurs adaptations, comportements d'évitement et/ou de protection au regard de ce risque (Nadine Chaurand, Françoise Paran, LPC) avec Cerema, Grand Lyon, Grenoble, associations cyclistes. * 2013-2014 : Evaluation de la fréquence et du risque perçu par les cyclistes dans 24 situations urbaines d'utilisation du vélo ; impact du niveau du degré de la pratique du vélo * 2014-2015 : Evaluation de la fréquence et du risque perçu par d'autres usagers (automobilistes, piétons) dans des situations urbaines d'utilisation du vélo.
2013-2014	Acceptabilité DSC et TAD	(financement DSCR) Acceptabilité par les usagers de la voirie du « Double sens cyclables » et du « Tourne à Droite au feu » (Nadine Chaurand, Françoise Paran, LPC)
2013-2015	Action COST	(financement UE) Viola Cavallo
2013-2014	Géri vélo	Subvention DGITM pour l'organisation du deuxième séminaire
2013-2015	VERT	(financement prédit GO2 DRI) Le vélo évalué en rabatement dans les territoires (Francis Papon Dest, avec Grettia et Jean-Marie Beauvais Consultants)

2014-2016	VISIBLE	(financement FSR) Visibilité à Bicyclette (Joceline Rogé LESCOT, Jordan Navarro, Lyon 2, Emmanuelle Amoros UMRESTTE, Fabrice Vienne, LEPSIS, Stéphane Caro LEPSIS)
2015-2018	Bikesup	(financement Europe demandé) Bike Safety Understanding & Promotion H2020 – Call 3.4 Nadine Chaurand LPC – non retenu
2015-2019	PARMA	(financement DGITM) 3e plan national santé environnement (PNSE3) 2015 – 2019 Action transport 2.5 – Faire le lien entre le bilan bénéfices/ risques perçu par les usagers et l'attractivité des mobilités actives
2016	Orchid	(financement PHC) Organisation atelier vélo en libre service avec université de Feng Chia (Francis Papon Dest)
2016-2019	Cycleval	(initiative ciblée) Evaluation de la cyclabilité d'itinéraires selon une échelle d'efforts (JM. Prual, Ease)

Résultats obtenus *(ce paragraphe est initié à la fin de la première année de vie de l'outil incitatif et mis à jour annuellement)*

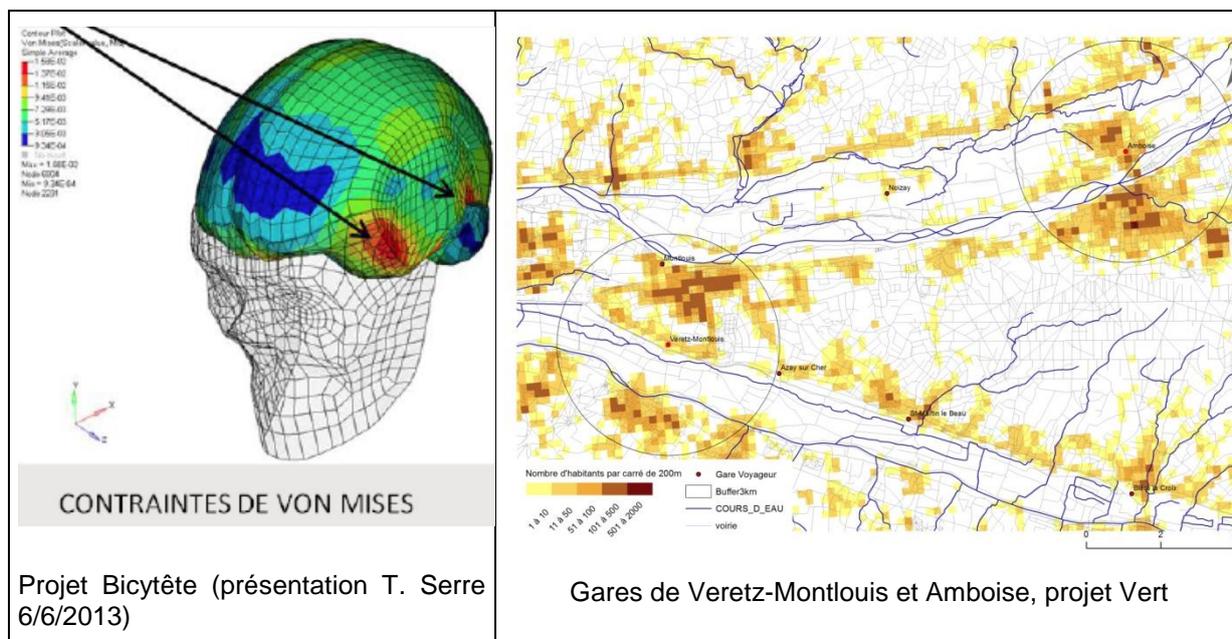
2012 Séminaire du 4 décembre à Marne-la-Vallée, 7 communications, en ligne

2013 Séminaire du 6 juin à Lyon, 7 communications, en ligne – Séminaire du 5 décembre à Marne-la-Vallée, 6 communications + brainstorming, en ligne – participation au comité des programmes de Velo-city Nantes 2015 – participation au Géri Prélude

2014 Séminaire du 6 juin à Marne-la-Vallée, 5 communications + brainstorming, en ligne, 7 communications, en ligne – Séminaire du 5 décembre à Marne-la-Vallée, 7 communications, en ligne – participation au comité des programmes de Velo-city Nantes 2015 – proposition Bikesup H2020

2015 Séminaire du 2 juin à Nantes, commun avec le colloque Scientists for cyclists, 13 interventions + panel, en ligne sous peu – Séminaire le 4 décembre à Marne-la-Vallée, 7 communications

2016 Atelier du 2 mars à Taichung (Taiwan) avec l'université de Feng Chia, Taiwan-France Forum in Green Transportation System - 2016 臺法雙邊綠色運輸論壇, 10 communications – Séminaire prévu le 14 octobre à Marne-la-Vallée, 7 communications



- Amélioration remarquable de la connaissance du risque cycliste risque réel grâce à AVER, et du risque perçu grâce à l'étude de Nadine Chaurand utilisation des résultats dans des productions à destination du grand public et des collectivités ;
- Mise à disposition des collectivités d'une méthodologie pluridisciplinaire pour évaluer le potentiel cyclable d'un territoire (prédit cyclable) ;
- Publication ACF sur le plaisir et la fatigue du déplacement
- Thèse Alice Billot-Grasset sur la typologie des accidents de vélo
- Rapport final projet VERT et communications

Programme pour l'année à venir *(ce paragraphe est initié lors de la création et mis à jour annuellement)*

Continuation de l'animation du réseau Géri-vélo, même sans financement DS: liste de diffusion, site web, et séminaires si autres financements

Valorisations proposées et perspectives

Annexe 3 : Collaborations structurantes de recherche retenues en 2017

axe principal	axe 2 nd	Intitulé court	intitulé long	Responsable/coordinateur Ifsttar	Dpt	Acronyme	Responsable/coordinateur Cérema	Etat potentiel	Année de création	Année de clôture
1		ObAMo	Observation et Analyse des Mobilités	Jimmy.Armoogum@ifsttar.fr Laurent.Hivert@ifsttar.fr	5	DEST	Sylvie.mathon@developpement-durable.gouv.fr	en cours	2013	2019
1		EPSR	Evolution des Comportements en Sécurité Routière : Aménagement, Environnement et Institution	Laurent.Camis@ifsttar.fr	5	DEST	Gilles.blanchard@developpement-durable.gouv.fr	en cours	2013	2017
1		COSMOS	CONnaissances Scientifiques pour les MOtocyteS	Thierry.Serre Isabelle.Ragot-Court	4	MA	Peggy.Subbirats Franck.Lafranchi	en cours	2015	2019
2		BIOMAT	Matériaux biosourcés	Sandrine.Marc eau@ifsttar.fr	1	CPDM	-	nouveau	2017	2020
2		ECOMAT	Eco-matériaux pour les infrastructures et le bâtiment	loic.DIVET@ifsttar.fr	1	CPDM	-	nouveau	2017	2020
2		DEDIR	du Dimensionnement à l'Entretien Durable des Infrastructures Routières (ex 11RP22)	Jean-Marc.Martin@ifsttar.fr	1	LAMES	Sebastien.wasner@developpement-durable.gouv.fr	prolongé	2012	2016
2		ImEOG	Impact des eurocodes sur la fiabilité, la durabilité et l'économie des Ouvrages Géotechniques (génie civil et bâtiment)	Sebastien.Burlon@ifsttar.fr	2	SRO	Cecile.Maurel@developpement-durable.gouv.fr	valorisation	2012	2016
2		MBDE	Matériaux Bitumineux Durables et Economiques	Vincent.Gaudefroy@ifsttar.fr	1	MIT	virginie.mouillet@developpement-durable.gouv.fr	valorisation	2012	2016
2		ECODEM	Evaluation et Contrôle non Destructifs des milieux dispersifs du génie civil par propagation d'ondes ElectroMagnétiques	Xavier.Derober t@ifsttar.fr	2	GeoEND	Amine.ihamout en@developpement-durable.gouv.fr	en cours	2013	2017

axe principal	axe 2 nd	Intitulé court	intitulé long	Responsable/coordinateur ifsttar	Dpt	Acronyme	Responsable/coordinateur Cérema	Etat potentiel	Année de création	Année de clôture
2		ACCORS	Nouvelles applications des armatures composites pour le renforcement interne et externe des structures en béton armé	Marc.Quiertant@ifsttar.fr Karim.Benzarti@ifsttar.fr	<u>1</u>	CPDM/E MMS	Christophe.aubagnac@developpement-durable.gouv.fr	en cours	2013	2018
2		Terra Nova	Techniques de construction et matériaux nouveaux en terrassement	Thierry.Dubreucq@ifsttar.fr	<u>2</u>	GMG	Sebastien.hervé@developpement-durable.gouv.fr	en cours	2013	2017
2		EGIDE	Enhanced Geotechnical Investigation and DEsign for sustainable development	philippe.reiffsteck@ifsttar.fr	<u>2</u>	SRO	Julien.Habert@cerema.fr lucile.saussaye@cerema.fr	en cours	2016	2019
3		SANUIT	Cumul des nuisances environnementales et des risques liés aux transports au regard des inégalités sociales et territoriales	mouloud.haddak@ifsttar.fr	<u>4</u>	UMRESTTE	xavier.olny@cerema.fr	nouveau	2017	2020
3		CaDoroc	Caractérisation et dimensionnement des ouvrages au rocher	Jean-pierre.rajot@ifsttar.fr	<u>2</u>	RRO	Muriel.gasc@developpement-durable.gouv.fr	en cours	2013	2017
3		VIBREN	Maîtriser les vibrations environnementales	Luca.lenti@ifsttar.fr	<u>2</u>	SV	Jean-jacques.leblond@developpement-durable.gouv.fr	en cours	2013	2017
3		GIEMU	Gestion intégrée de l'eau en milieu urbain	liliane.jean-soro@ifsttar.fr veronique.ruban@ifsttar.fr (pi)	<u>2</u>	LEE	Nathalie.lenouveau@cerema.fr	en cours	2016	2019
3		LoProDi	Les enjeux logistiques et de transport des nouvelles pratiques de production et de distribution	Corinne.Blanquart@ifsttar.fr	<u>5</u>	SPLOTT	Eric.morau@developpement-durable.gouv.fr	valorisation	2013	2017
3		HyCIAU	HyCIAU « Processus Hydrologiques et Climatiques au service de Adaptation de l'aménagement Urbain"	Katia.Chancibaut@ifsttar.fr	<u>2</u>	LEE	Julien.Bouyer@developpement-durable.gouv.fr	en cours	2013	2017

OBAMO: Observations et Analyses des Mobilités

Mots-clés (6 maxi) : Observation, analyse des comportements, modélisation, évaluation, mobilité

Responsable IFSTTAR Jimmy Armoogum & Laurent Hivert,
AME/DEST

Autre Responsable Sylvie Mathon, CEREMA, DTER Nord Picardie

Axe de rattachement : Axe 1

Durée : 5 ans (2014-2019)

Enjeux et objectifs (*problématique scientifique, enjeux sociétaux concernés, originalité du projet, articulation avec le COP, références bibliographiques*). Ce paragraphe reste inchangé sur toute la durée de vie de l'outil incitatif.

L'objectif est de connaître, analyser, comprendre les comportements de mobilité et leurs évolutions pour en évaluer les impacts en termes sociaux, économiques et environnementaux. Les champs couverts visent :

- La mobilité des personnes et des biens,
- À toutes échelles de territoires (échelle locale, nationale, transfrontalière, internationale) et de temps,
- Tous modes de transport terrestres (route, fer, voie d'eau) et tous motifs de déplacements (quotidiens ou non).

Problématique et contexte de recherche

Le modèle de mobilité développé depuis l'après-guerre autour du système automobile, évolue dans un contexte sociétal en plein renouveau. Des changements sont déjà perceptibles dans les pratiques de déplacements, dans les grandes agglomérations. L'amorce d'une tendance à la diminution de la part modale « voiture » fait partie des signaux de ces changements. Les préoccupations climatiques, énergétiques, sociales et de santé publique sur fond de contexte socio-démographique et économique interrogent les choix d'organisation du territoire et leurs incidences sur la mobilité. Le modèle de mobilité durable tend vers une approche plus équilibrée des répartitions modales par rapport au modèle actuel dominé par l'usage de la voiture particulière. Multimodal, l'individu aura demain davantage qu'aujourd'hui, la capacité d'utiliser l'ensemble des fonctionnalités offertes par un système de transport pour adapter son (ou ses) mode(s) au besoin du déplacement à effectuer. On peut réellement parler de « mobilités en transition », les nouvelles technologies, l'accès à l'information multimodale et les systèmes de billettique intégrée feront partie de ces nouvelles fonctionnalités (mais aussi les nouveaux services, libre-service, partages, etc.).

Pour comprendre la dynamique en œuvre et ses effets à moyen et long terme, il est nécessaire de mobiliser un corpus de méthodes permettant l'observation et la compréhension fine des phénomènes de façon à alimenter les travaux de prospective et d'estimation des impacts. La phase actuelle « de transition » entre un modèle dominant traditionnel et un modèle émergent renouvelé, justifie la mobilisation d'un programme de recherche adapté à cette situation.

Le corpus d'enquêtes disponibles (personnes ou marchandises) est adapté à l'analyse de tendances lorsqu'elles s'inscrivent dans une continuité. Il trouve ses limites dans un contexte de rupture (Cf. travaux sur le Peak Car). Ce corpus de référence nécessite d'être complété par des enquêtes intermédiaires plus légères et dont l'objectif est de saisir les évolutions de court terme pour en comprendre le sens et la tendance. En particulier, la perception des signaux faibles, la compréhension des facteurs émergents et des pratiques d'adaptation ainsi que l'impact d'événements « perturbateurs » du système de transports (événements climatiques, pics de pollution, variabilité du prix de l'énergie, crise économique et des finances publiques, événements sociétaux/grèves...) représentent des axes de recherche pour le projet OBAMO et l'ERA.

On peut penser que les acteurs (ménages, entreprises, territoires) ne disposent pas du même capital d'adaptation face aux changements. Certains risquent d'être plus vulnérables que d'autres face au renchérissement du coût des transports et notamment de l'usage de la voiture particulière/poids lourds sans disposer des mêmes alternatives leur permettant d'adapter leur mobilité. Les paramètres de vulnérabilité (énergétique, économique, sociale...) constituent de ce point de vue, des indicateurs de suivi indispensables pour évaluer et guider la décision des acteurs publics et de leurs partenaires. L'enjeu pour la recherche est de proposer des indicateurs de vulnérabilité pour caractériser les capacités d'adaptation ou de précarisation des entités économiques et des territoires.

Ces outils/méthodes trouveront en particulier leur utilité pour alimenter les réflexions de planification (Plans Locaux d'Urbanisme Intercommunaux, etc.) en lien avec les problématiques de localisation de l'habitat et des activités économiques, de santé ou de loisirs.

Sujets traités.

Principaux axes de recherche

Le programme de recherche porte sur les protocoles méthodologiques croisant des approches quantitatives et qualitatives en vue d'améliorer l'observation et l'analyse de la demande de mobilité (personnes et marchandises), de comprendre les paramètres d'évolution en vue d'alimenter les réflexions prospectives ou d'évaluation des politiques publiques de mobilité durable.

Axe 1 : Les méthodes d'observation des mobilités (personnes et marchandises)

Les méthodes traditionnelles quantitatives de recueil de la mobilité (Enquête Ménage Déplacement, Enquête Nationale Transport) représentent un socle de référence pour suivre les tendances de moyen et long terme. Elles n'ont pas pour objectif d'apporter des informations plus régulières et ponctuelles permettant de saisir les évolutions à l'œuvre (de type « indicateurs- baromètres »). L'apport des nouvelles technologies offre de nouvelles opportunités pour compléter le dispositif d'observation et de mesure du changement (GPS, RDS, questionnaires en ligne etc.). Les enquêtes qualitatives peuvent également compléter les approches quantitatives des enquêtes traditionnelles et contribuer à une meilleure connaissance de la mobilité en continue (suivi de panels, entretiens semi-directifs, focus group, enquêtes d'opinion etc.).

Outre le besoin d'indicateurs « baromètres » permettant de saisir les tendances, l'observation de la mobilité nécessite de disposer de méthodes (quantitatives et qualitatives) permettant d'appréhender et de caractériser les mobilités émergentes ou faibles pour en estimer le potentiel de développement (ex : auto-partage, vélo...).

L'impact d'événements « perturbateurs » du système de transport peut, si ces événements se multiplient, avoir des effets à retardement et agir indirectement sur l'évolution des tendances constatées (événements climatiques, pandémies, variabilité des prix de l'énergie, pics de pollution, grèves, pannes d'un système de transport, accidents/sécurité, etc.). Le besoin de méthodes permettant de lier l'occurrence des différents événements ayant perturbé significativement le système de transport dans sa globalité et les stratégies d'adaptation développées par les individus ou les collectivités fait partie des axes de recherche. Un protocole méthodologique pourra être élaboré pour recueillir les pratiques des usagers dès qu'un événement « perturbateur » survient (quelle qu'en soit sa nature) et dont l'ampleur impacte significativement les conditions de transports (temps de parcours augmenté, saturation des réseaux).

Axe 2 : L'analyse de la demande de mobilité

Les méthodes permettant d'analyser la demande de mobilité (y compris la « non-demande ») s'appuient notamment sur les enquêtes d'observation énoncées ci-dessus en lien avec d'autres enquêtes existantes dans d'autres domaines (ex : santé, conditions de vie, handicap, accidents...). Un axe de recherche portera sur les méthodes permettant de croiser des enquêtes différentes pour développer des analyses transversales. Des partenariats seront favorisés pour établir des passerelles entre les différentes enquêtes et croiser leurs résultats (ex : INSERM, INERIS, etc.).

En particulier, l'identification des facteurs propices aux changements/adaptations fait partie des éléments d'analyse de l'évolution de la demande de mobilité. En effet, les individus semblent s'adapter plus facilement lors de certaines étapes-clés de leur vie : évolution de la taille de la famille, changement de domicile ou de travail, etc. Les liens entre « parcours de vie » et organisation de la mobilité seront particulièrement analysés (facteurs explicatifs de la mobilité).

La comparaison des politiques publiques (mobilité, stationnement, formes urbaines...) et leur capacité à procurer des alternatives de mobilité représente un autre axe d'analyse (rôle de la gouvernance publique). Dans ce domaine, il s'agira de développer des outils de concaténation/d'agrégation des enquêtes de mobilité pour effectuer des analyses comparatives y compris sur des thématiques émergentes ou peu développées de manière à disposer d'une taille suffisante d'échantillon. La disposition d'une base globale de données constituée à partir de plusieurs enquêtes-ménages-déplacements permettra d'effectuer des analyses de pratiques modales difficiles à saisir pour des raisons de taille d'échantillons (ex : pratiques de mobilité « achats »/services, de mobilité des étudiants, caractérisation des pratiques intermodales, cyclables, etc.).

L'évolution de la moindre demande de mobilité en voiture peut également être le fait d'une dégradation du système automobile lui-même (baisse des vitesses moyennes, (pouvant même avoir pour conséquence une augmentation des émissions polluantes – cf. axe 3) et congestion, augmentation des contraintes de stationnement, diminution des voies à grand gabarit, des stations-services, augmentation du coût dont péages urbains/stationnement, etc.). La dégradation de l'efficacité du réseau automobile représente-t-elle un facteur explicatif de l'évolution de la demande de déplacements ? Est-elle réversible ou doit-on l'inscrire comme un élément structurel à prendre en compte dans les modèles de prospective ?

Axe 3 : L'évaluation des impacts de la mobilité

Les outils d'évaluation constituent un pan important des méthodes à développer. L'élaboration du DEEM (diagnostic énergie environnement des mobilités) et sa standardisation dans l'exploitation des enquêtes-ménages-déplacements représente un apport important de l'activité de l'ERA41. Cet outil intégré permet d'estimer les effets en termes de consommation énergétique et d'émissions de polluants générées par la mobilité notamment dans les régions urbaines (marchandises ou voyageurs). L'enjeu est d'étendre ce dispositif d'évaluation à d'autres paramètres (santé publique, consommation d'espace urbain, taux d'effort financier des ménages, accidentologie/sécurité...). La question des rythmes urbains et des routines quotidiennes (analyse présenteielle, décalage horaires des activités, pause du midi...) fait également partie des sujets d'investigation.

Axe 4 : L'évolution des perceptions, des représentations : culture de mobilité et acceptabilité des politiques publiques

Un dernier champ d'investigation nécessitant la mobilisation de protocoles méthodologiques adaptés est celui de la perception et l'acceptabilité du changement qui passe par la compréhension des perceptions et des représentations des différents modes de transport par les habitants/citoyens/acteurs économiques.

Le choix modal (y compris nouveaux modes et nouveaux services de mobilité) peut en effet, dépendre de facteurs culturels ou d'expériences passées (image, marketing, communauté d'intérêt/sentiment d'appartenance à un groupe, pratique/non pratique, expériences réussies ou ratées...). La compréhension des mécanismes d'appropriation, des phénomènes d'adhésion ou de rejet, de participation des acteurs à la construction d'un nouveau modèle de mobilité nécessitent des méthodes qualitatives adaptées à l'analyse des mécanismes comportementaux. Les effets générationnels/exemplarité, l'éducation à la mobilité, le marketing individualisé, les modalités de participation des citoyens comme acteurs, etc. entrent dans cet axe de recherche.

En particulier, l'évolution du rapport « aux temps gagnés ou perdus » sera étudiée. L'acceptabilité à consacrer du temps pour les déplacements dits « contraints » (travail), la perception de modes en fonction de leur utilité primaire (ex : activité physique de la marche peut compenser une moindre vitesse de déplacement), l'optimisation des temps d'attente dans l'organisation d'un trajet intermodal etc. représentent des préoccupations importantes. Dans cette évolution du rapport aux différents temps, les apports des nouvelles technologies seront étudiés (capacité d'information en temps réel, profiter des temps d'attente pour faire autre chose, etc.).

Implication prévue

Temps prévus lfsttar (*ordre de grandeur*) : 40 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : 50 hm/an

Produits majeurs visés (*mettre en avant les produits majeurs tels que les publications et ouvrages scientifiques, les articles de vulgarisation, guides, thèses, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, les actes de colloques, etc.*)

Préciser l'échéance prévue ou réalisée (année)

Avancées scientifiques attendues

Sur les quatre axes, nos travaux de recherche et leurs livrables tels qu'engagés actuellement :

1 - Les méthodes d'observation des mobilités (personnes et marchandises)

- Action COST Shanti, pour une harmonisation des enquêtes des différents pays européens.
- Progresser vers une observation permanente de la mobilité quotidienne (ADEME, DGITM, Conseil Régional Rhône-Alpes), application à la région Rhône-Alpes, avec le CEREMA (ex-CETE Lyon).
- Gouvernance des EMD : aspects rétrospectifs, comparatifs et prospectifs des acteurs et des échelles de la production de données sur les déplacements urbains ; approche spatiale : dispose-t-on des connaissances de la mobilité sur tous les territoires ?
- Vers une introduction du GPS dans les EMD locales
- Analyse de l'enquête ECHO sur les marchandises
- Méthode permettant d'estimer l'adaptation des usagers en situation de perturbations de transport (collaboration avec Lille Métropole Communauté Urbaine)
- Mobilisation des méthodes d'enquêtes menées dans le cadre du management de la mobilité pour servir d'indicateurs-baromètres
- Expertise auprès du STIF pour un protocole d'enquêtes complémentaire à l'EGT, sur les pratiques de mobilité des personnes en situation de handicap

2 - L'analyse de la demande de mobilité

- Facteurs explicatifs des évolutions de la mobilité urbaine : les étapes-clés de l'adaptation des ménages (changement de logement, de travail, évolution de la famille, âge...)
- Peak Travel: combinatoire des facteurs/paramètres entrant en ligne de compte dans le phénomène du peak travel de plafonnement de la circulation
- connaissance de la dimension cognitive de la façon de se déplacer et son impact sur la mobilité : deux PREDIT en cours sur la mobilité réduite
- Potentiel et pratiques cyclables : PREDIT Cyclable
- Connaissance de l'intermodalité sous différents aspects : projet sur ce que disent les EMD de l'intermodalité
- la compréhension des pratiques pédestres, leur évolution et la signification sur le changement de modèle de mobilité
- l'impact du management de la mobilité sur les changements de comportements (PREDIT Commocles)

3 - L'évaluation des impacts de la mobilité

- Participation au projet PREDIT BETTI (Bilans Environnementaux Transports dans les Territoires Intégrés). Contrat Ademe.
- CO2-Echo : Quantification des émissions de CO2 du transport de fret à partir de la base ECHO. L'objectif de cette recherche financée par la DGITM est d'évaluer la sensibilité des activités à une augmentation du prix du CO2 et d'analyser un potentiel de réduction des émissions du transport de fret par type d'activités.
- Elaboration sur le modèle du Diagnostic Environnement Energie Mobilité (DEEM), d'autres indicateurs (santé, budget/effort budgétaire des ménages, consommation d'espace...)
- Méthode de caractérisation des territoires en fonction de la vulnérabilité des ménages face à la précarité énergétique dans le domaine des transports
- analyse des situations de « non mobilité » ou de moindre mobilité comme des signaux de marginalisation de territoires ou de personnes

4 - Evolution des perceptions, des représentations : culture de mobilité et acceptabilité des politiques publiques

- protocole méthodologique exploratoire sur la perception qu'ont les habitants des quartiers de gare, de l'offre de transport ferroviaire (partenariat avec le Conseil Régional de Picardie)
- évaluation du management de la mobilité sur l'évolution des comportements des salariés et entreprises (PREDIT Commocles)
- perception et acceptabilité des temps d'attente dans la chaîne intermodale : comment optimiser les ruptures de charge pour en faire des temps « utiles »
- l'utilité primaire des déplacements et l'évolution de la perception de la valeur du temps
- l'évolution des rythmes urbains et des routines quotidiennes sur les pratiques de mobilité (colloque MSFS)

Partenariats et contrats (*nom des partenaires et externes internes (notamment pour les projets fédérateurs et les ORSI) ; pour les contrats préciser le financeur, nom du projet, descriptif sommaire, période*)

MEDDE/DGITM-DRI-CGDD, ADEME, PREDIT/PUCA, STIF/Régions Rhône-Alpes/Picardie/Nord-Pas-De Calais, Universités de Lille, Dunkerque, Collectivités locales (LMCU, CUD, Amiens Métropole, Aire Métropolitaine Lilloise), Conseils Généraux, etc.

Equipes

Coté ERA 41 (CEREMA NP) :

Mathon Sylvie (Conseiller d'Administration de l'Ecologie, Docteur), Patrick Palmier (IDTPE), Joël Meissonnier (CR), Cyprien Richer (CR), Ludovic Vaillant (IDTPE), Fabrice Hasiak (IDTPE), Sophie Hasiak (IDTPE), Mathieu Rabaud (ITPE), Nathalie Pitaval (Attachée), Nicolas Jouve (Attaché), Arnaud Lannoy (Technicien supérieur), Géry Lelièvre (Technicien supérieur) et Martine Vromant (Technicien supérieur), Géraldine Bodard (SA), Bertrand Zogall (Technicien supérieur).

Coté Ifsttar-Dest :

Jimmy Armoogum (CR1), Leslie Belton-Chevallier (CR2), Akli Berri (CR1), Odile Heddebaut (CR1), Laurent Hivert (IDTPE), Jean-Loup Madre (DR1), Philippe Marchal (ITPE), Francis Papon (ICPEF) et Christophe Rizet (DR2).

Thèses

Thèses (y compris celles en association) et financeur (Ifsttar, Cerema, autres) :

- Thèses demandées :
 - Elaboration d'une méthode d'estimation des gains de santé publique d'une politique de mobilité durable
 - Les usagers face à l'épreuve de l'intermodalité
 - Organiser le stationnement automobile pour agir sur les mobilités
 - Quelles évolutions pour le modèle de mobilité durable et ses impacts en termes de nouveaux risques de marginalisation sociale : les exclus de la mobilité de demain (territoires et entités économiques/ménages/entreprises) ?
 - L'impact du modèle de mobilité durable et les stratégies foncières des collectivités locales, des ménages et des entreprises
 - les gains socio-économiques d'un modèle de mobilité durable basé sur les modes actifs (marche puis vélo) : gains santé/cadre vie, emplois (ex: besoins d'infrastructures/économie du BTP), rapport à la vitesse/temps/stress etc., équité sociale
 - l'évolution de la mobilité et les pratiques d'achats de proximité : quels nouveaux besoins et nouveaux services ?
 - l'open data et les appels à projets menés par les collectivités locales : une nouvelle forme de gouvernance publique ?

- Thèses obtenues (*préciser le ou les sujets*) :
 - Quoc Dat Lam, L'efficacité énergétique des différentes formes de distribution, en France et au Vietnam, bourse du Vietnam (thèse soutenue en décembre 2015)
 - Aurélie Mahieux, Evaluation économique des politiques stratégiques de transport dans un contexte de développement durable : application à l'aire du Syndicat Mixte des Transports Artois-Gohelle, quelles solutions innovantes ? Co-financement ADEME / Région Nord – Pas de Calais (thèse soutenue en décembre 2014)
 - Quang-Nguyen Nguyen, Vers une intégration temporelle et spatiale des diagnostics environnementaux tenant compte de toutes les mobilités, financement Ifsttar (thèse soutenue en décembre 2014)
 - Claire Papaix, Evaluation économique et politique des émissions de gaz à effet de serre : discussion sur l'articulation des méthodes, financement Ifsttar (thèse soutenue en février 2015)
 - Thi Huong Thao Pham, Apports et difficultés d'une collecte de données à l'aide de récepteurs GPS pour réaliser une enquête sur la mobilité, financement Ademe (thèse soutenue en mai 2015)
 - Irving Tapia, Forme urbaine, démographie et perspective d'évolution de la mobilité quotidienne. Analyse comparative France-Mexique, financement bourse Gouvernement mexicain (CONACYT) (thèse soutenue en décembre 2014)
 - Benoit Cornut, Va-t-on vers une inversion de la tendance à toujours plus de mobilité ?. financement Ifsttar (début de thèse en octobre 2013)
 - Venance Kablan Koffi, Dynamique de l'étalement et de la mobilité quotidienne. Financement de son pays. (début de thèse en 2014)
 - **David Sayagh**, s'intéresse aux dimensions structurées et structurantes de la mobilité à vélo. Il porte ainsi une attention particulière à la phase de socialisation transitionnelle et homolatique qu'incarne l'adolescence, afin d'apprécier dans quelle mesure celle-ci contribue à renforcer les dispositions sexuées à la pratique du vélo, incorporées durant l'enfance au sein de la sphère familiale. (début de thèse en octobre 2014).
 - **Camille Dunglas**, Mobile contre automobile : vers de nouvelles générations multimodales ? Le cas de la mobilité quotidienne des étudiants du Nord-Pas-de-Calais (début de thèse en 2015).
 - **Fabio Rendina**, Mise au point d'un plan de sondage afin de mesurer la mobilité des touristes (début de thèse en octobre 2016).
 - **Minh Hieu Nguyen**, Improving the quality and comparability of mobility surveys using GPS receiver (début de thèse en novembre 2016)

Résultats obtenus (*ce paragraphe est initié à la fin de la première année de vie de l'outil incitatif et mis à jour annuellement*)

- Organisation par l'ERA Mobilité (C. Richer & J. Meissonnier) du 13^{ème} colloque international du groupe de travail n°23 « Mobilités spatiales et fluidité sociale » (MSFS) de l'Association Internationale des Sociologues de Langue Française (AISLF), sur le thème : « Métro, boulot, dodo : quoi de neuf dans nos routines ? », 26-27/03/2014
- Connaissance de la dimension cognitive de la façon de se déplacer et son impact sur la mobilité.
- Publication de l'ouvrage de synthèse (Armoogum, Guilloux, Richer, dir, 2015), qui croise les productions de l'Ifsttar (Dest) et du Cerema « Mobilité en transitions. Connaître, comprendre et représenter ».
- Publication du double numéro 2015-1&2 de la revue « Espace, Populations, Sociétés » intitulé « Métro - boulot - dodo : quoi de neuf dans nos routines de mobilité ? ». Ce double numéro spécial regroupe une sélection d'articles issue des communications au 13^e colloque « Mobilité Spatiale, Fluidité Sociale » (MSFS) de l'Association Internationale de Sociologie de Langue Française (AISLF) organisé par le Cerema à Lille, les 26 et 27 mars 2014. <http://eps.revues.org/5928>

- Analyse, traitement et confrontation de données collectées par les différents instruments de l'ENTD 2007-2008 : questionnaire classique, questionnaire complémentaire CAPI-GPS et traces GPS brutes.
- Les Bilans Environnementaux Transports dans les Territoires Intégrés. Standardisation DEEM en cours d'achèvement et les deux thèses soutenues avec une synthèse pour fin 2015.
- Projet PREDIT Mobilletic sur l'analyse de l'intermodalité par les données de mobilité billettique.
- [Test d'une observation en continu de la mobilité quotidienne. Nous souhaitons tester deux protocoles de panels afin d'observer l'évolution de la mobilité quotidienne dans le temps. Pour un individu du ménage, en deux occasions \(chaque année à des périodes aussi comparables que possible\) : le remplissage d'un carnet auto-administré pendant une semaine à renvoyer par la poste ; la description par internet de la mobilité réalisée pendant une semaine.](#)

Programme pour l'année à venir (*ce paragraphe est initié lors de la création et mis à jour annuellement*)

- Analyse des traces GPS pour l'enquête régionale Rhône-Alpes
- Les enquêtes par panel
- Valorisation du projet PREDIT Mobilletic sur l'analyse de l'intermodalité par les données de mobilité billettique.
- Perception du temps d'attente.
- La compréhension des pratiques pédestres
- Les personnes qui se déplacent peu
- Routine et rythme urbain
- Projet ADEME sur la mobilité des professionnels du transport
- Mobilité des jeunes
- DEM appliqué à la santé
- Le stationnement
- Comportement de mobilité lors des situations perturbées.

Valorisations proposées et perspectives

Ouvrage collectif CEREMA-IFSTTAR (2014) : Mobilité en transitions. De la connaissance à l'aide à la décision.

L'ouvrage se présente comme un bilan de quatre années de travail (2010-2013) sur les questions de mobilité au sein du réseau scientifique et technique du ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie. Il s'agit, plus précisément, de travaux menés dans le cadre d'une coopération scientifique -mise en place en 2009- entre l'unité de recherche Dynamiques Économiques et Sociales des Transports (Dest) de l'Ifsttar et le Cerema. Les 23 contributions publiées dans ce document témoignent d'un effort commun en faveur de l'amélioration de la connaissance et de l'analyse croisée des mobilités. Les articles ont été produits par une trentaine d'auteurs de statuts différents : doctorants, jeunes docteurs, chargés ou directeurs d'études et de recherches, issus à parts égales de l'Ifsttar et du Cerema.

Participations nombreuses au TRA 2014 et événements associés (Wlit, séminaire francophone de socio-économie des transports).

Publication du double numéro 2015-1&2 de la revue « Espace, Populations, Sociétés » intitulé « Métro - boulot - dodo : quoi de neuf dans nos routines de mobilité ? ». Ce double numéro spécial regroupe une sélection d'articles issue des communications au 13e colloque « Mobilité Spatiale, Fluidité Sociale » (MSFS) de l'Association Internationale de Sociologie de Langue Française (AISLF) organisé par le Cerema à Lille, les 26 et 27 mars 2014. <http://eps.revues.org/5928>

EPSR : Evaluation des politiques de sécurité routière

Axe de rattachement : 1

Mots-clés (6 maxi) : Sécurité routière, Evaluation, Politique publique,

Responsable IFSTTAR Carnis Laurent, AME, DEST

Autre Responsable Blanchard Gilles, Dter OUEST CEREMA

Axe de rattachement : 1

Durée : 4 ans (2014-2017)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar, contribution au COP, références bibliographiques*). (A titre indicatif, ½ page)

Le périmètre scientifique de la collaboration structurante de recherche EPSR concerne l'étude des changements comportementaux en sécurité routière (usagers, organisations, administrations) générés par des modifications (parfois simultanées) concernant la mise en place de politiques publiques en lien avec l'infrastructure routière ou les véhicules (création de zones 30, automatisation des véhicules, dispositifs de contrôle embarqués, ...), l'environnement (évolution de la réglementation routière, renforcement des contrôles, campagnes de communication, actions de sensibilisation, évolutions des pratiques) ou l'ordre institutionnel (automatisation de la politique de contrôle générale, promotion de nouvelles mobilités).

Les échanges initiés entre l'IFSTTAR et la DSCR ont mis en évidence la nécessité de disposer d'outils opérationnels d'évaluation de l'impact des changements sociétaux et des politiques mises en œuvre pour réduire les accidents et leur gravité. Le recours aux pratiques évaluatives semble également soutenu dans d'autres domaines des politiques publiques (voir à cet égard les réflexions menées par le CAS). La démarche évaluative reste beaucoup plus rare dans le domaine de la sécurité routière.

Par ailleurs, la collaboration structurante de recherche s'inscrit parfaitement dans le COP en alimentant les réflexions et les productions relatives à l'économie de la sécurité routière.

Ternier Michel, Phelippeau Eric, Malibert Phillipe, Vilmart Christian, 2003, La politique de sécurité routière : les systèmes locaux de contrôle - sanction, Conseil national de l'évaluation, Commissariat général du plan, La Documentation française.

Expertise collective (2011), Téléphone et sécurité routière, IFSTTAR et INSERM.

Valeur ajoutée de la demande (*potentiel d'innovation, originalité de la recherche, potentiel du projet scientifique*) (A titre indicatif, ½ page)

La valeur ajoutée du projet de recherche EPSR repose à la fois sur la production d'une réflexion relative à l'évaluation et la pratique évaluative, mais également sur la constitution d'une équipe pluridisciplinaire, facilement mobilisable, capable d'appuyer le décideur public par ses compétences et ses objets de recherche.

Démarche entreprise (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches*) (A titre indicatif, ½ page)

L'activité du projet s'inscrit dans la poursuite de la coopération institutionnelle initiée dans le cadre de l'ORSI EPSR, qui elle-même a été le produit de coopérations scientifiques passées (ERA AAPSER, collaborations de recherche avec l'Institut Catholique de Lille, Université d'Angers). Ces collaborations passées ont permis aux membres de mieux se connaître, et d'échanger régulièrement, mais aussi de coproduire son activité.

Le cahier des charges de la collaboration structurante de recherche EPSR reprend donc celui de l'ORSI EPSR, qui s'articule autour de quatre axes :

- Axe 1 L'application des règles en sécurité routière et la mise en œuvre des politiques publiques ;
- Axe 2 L'impact des modifications socioéconomiques et environnementales ;
- Axe3 Les conséquences en termes d'accidentalité ;
- Axe 4 Les enseignements internationaux.

Une convention a été signée en décembre 2015 avec la DSCR qui prévoit le financement de trois actions majeures :

- l'organisation d'un séminaire chaque année
- la réalisation de deux études (le rapport à la règle des usagers de la route, la place des critères de performance dans la politique de sécurité routière)

Partenariats (*nom des partenaires externes (notamment pour les collaborations de recherche) et principal apport de chaque partenaire*)

Le projet de recherche EPSR associe le CEREMA, qui apporte son expertise et son savoir-faire opérationnel en matière d'étude de terrain, et des partenaires académiques, l'Institut Catholique de Lille avec le LEM (Lille économie et management) pour ses compétences en matière d'économie de la santé, d'éthique, et d'économie expérimentale) et l'Université d'Angers avec le LPPL (Laboratoire de psychologie des Pays de Loire) avec des apports sur le plan de la psychologie sociale.

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

Le premier séminaire d'évaluation des politiques de sécurité routière a été organisé le 9 juin 2015 à Paris (plus de 80 participants, intervenants étrangers). Les supports de présentation sont disponibles sur internet (<http://www.cerema.fr/9-juin-2015-colloque-evaluation-des-politiques-de-a739.html>).

Suite à l'organisation de ce séminaire, un ouvrage a été publié : Evaluation des politiques de sécurité routière, Méthode, outils et limites, aux éditions L'Harmattan, sous la direction scientifique de Gilles Blanchard et Laurent Carnis. Des ouvrages ont été commandés pour en faire une large diffusion.

Résultats obtenus en 2016 :

La seconde édition du séminaire sera organisée le 9 novembre 2016 à Paris. Un comité scientifique a été constitué, un appel à communications lancé, les propositions ont été expertisées.

Les membres de l'ORSI ont travaillé à l'élaboration du questionnaire qui sera utilisé pour l'étude du rapport de l'utilisateur à la règle.

Des premières réflexions ont été entreprises sur le canevas de l'étude relatives aux critères de performance en sécurité routière.

Des membres de l'ORSI ont participé au colloque sur le risque routier organisé par notre partenaire universitaire d'Angers.

Les membres souhaitent poursuivre également leurs réflexions quant à l'écriture d'un projet de recherche futur (ANR probablement) ou proposer l'étude sur le rapport à la règle à des bailleurs locaux (collectivités territoriales ou locales).

Programme pour l'année à venir :

Organisation d'un second séminaire

Travail de valorisation des communications

Réalisation de l'étude sur le rapport à la règle

Début de l'étude sur les critères de performance en sécurité routière

Participation à la prochaine édition de la conférence sur le risque routier à Angers

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 5 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : 5 hm/an

Valorisations possibles

L'objectif est de valoriser systématiquement les résultats obtenus par voie académique (articles, ouvrages).

COSMOS : Connaissances Scientifiques pour les MOtocyCleS

Axe de rattachement : Axe 1.

Mots-clés (6 maxi) : Deux-roues motorisés, sécurité routière, mobilité, comportement, formation

Responsable IFSTTAR	RAGOT-COURT Isabelle, TS2, LMA SERRE Thierry, TS2, LMA
Autre Responsable	SUBIRAT Peggy, CEREMA LANFRANCHI Marc, CEREMA

Durée : 4 ans (2015-2019)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar, contribution au COP, références bibliographiques*). (A titre indicatif, ½ page)

La problématique du Deux-Roues Motorisé dans le domaine de la sécurité routière reste majeure du fait du taux et de la gravité de l'accidentalité de cette catégorie d'utilisateur sur les routes.

Il apparaît donc important de dégager des solutions permettant d'améliorer/prévenir leur sécurité, notamment aux niveaux de la prévention (sécurité primaire) et de la protection (sécurité secondaire).

Les actions à conduire peuvent aussi bien concerner les trois grandes composantes du système, à savoir : l'homme, le véhicule et l'environnement que leurs interactions.

De nombreuses études et recherches ont été menées, sont en cours et doivent être menées concernant cette problématique, en particulier par le CEREMA et l'IFSTTAR.

De plus, dans sa stratégie 2015-2018, la DSCR souhaite favoriser des actions visant à mieux connaître les enjeux liés à l'accidentalité des 2RM. La DSCR a alors affiché dans ses objectifs la mise en place d'un site de partage des productions scientifiques relatives au 2RM accessible à tous les acteurs travaillant sur des projets de recherche et d'études.

L'objectif de cette action intitulée « COSMOS » (Connaissances Scientifiques pour les MOtocyCleS) est ainsi de recenser au mieux l'ensemble des travaux menés sur le 2RM, d'identifier et de proposer de nouvelles voies de recherche.

Valeur ajoutée de la demande (*potentiel d'innovation, originalité de la recherche, potentiel du projet scientifique*) (A titre indicatif, ½ page)

Cette Collaboration de Recherche a pour but de fédérer les travaux scientifiques et techniques qui portent sur la problématique des 2RM d'une part au niveau des 2 instituts principaux qui travaillent dans ce domaine (CEREMA + IFSTTAR) et d'autre part de l'étendre au niveau national. Il s'agira ici de proposer une structure qui soit à la fois capable de répondre collégialement à une demande sociétale et d'identifier les thématiques concernant le 2RM où de la connaissance manque.

Démarche entreprise (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches*) (A titre indicatif, ½ page)

L'action « COSMOS » en partenariat Ifsttar-Cerema est décomposée en trois tâches détaillées ayant chacune pour objectif de :

Diffuser la connaissance

Partager de la connaissance

Générer de la connaissance

1. Recensement des travaux sur le 2RM

L'objectif de cette tâche est de créer, alimenter et maintenir un espace documentaire partagé entre le CEREMA, l'IFSTTAR et la DSCR. L'accès sera restreint à toute autre personne ou organisme. Des travaux sur la thématique des 2RM appartenant au domaine public, et/ou a minima des résumés et des mots clés avec les références des documents des études répertoriées.

La 1ère année consiste à étudier les moyens d'implémentation d'un tel espace avec tous les critères d'accès et de sécurité qui s'imposent et de le mettre en œuvre. Il s'agira notamment de définir l'hébergeur de cette base de données documentaire. En première intention les travaux impliquant le CEREMA et/ou l'IFSTTAR seront listés, classifiés puis stockés dans cet espace.

Durant les trois années suivantes, le site sera alimenté par des documents traitant de recherches ou d'études concernant le 2RM et qui appartiennent au domaine public. Les auteurs concernés seront sollicités pour accord et, le cas échéant, pour fournir le document à une personne référente de l'action chargée d'alimenter cet espace documentaire.

2. Animation scientifique

Cette tâche a pour objectif d'organiser des rencontres scientifiques et techniques sur la thématique du 2RM afin de favoriser une meilleure visibilité sur les travaux y afférents. Ils seront l'occasion pour les différents partenaires de présenter leurs travaux, de favoriser des collaborations et la genèse de projets communs (inter-organismes, inter-laboratoires). Les exposés à ces séminaires feront l'objet de documents qui seront partagés au sein de la communauté scientifique et technique.

Cinq séminaires, dont un séminaire de clôture, seront organisés au cours des quatre ans.

Les participants à ces séminaires seront à minima des agents de l'IFSTTAR, du CEREMA et des représentants de la DSCR. Les séminaires pourront être ouverts à des personnes extérieures à ces organismes sur invitation (ex : Ceasar, LAB, OCDE, Prévention routière, Ville de Paris, IBSR, Gendarmerie, ADEME, ACEM, Conseil Général, Industriels du motocycle...).

En 2016, 2 séminaire ont été organisés : 9 Juin à Paris & 15 Novembre à Lyon.

A l'issue du séminaire de clôture, des actes seront publiés en ligne et constitueront le livrable-phare de cette action. Tous les intervenants aux différents séminaires pourront soumettre leur article scientifique ou technique pour publication qui sera préalablement évalué par un comité de lecture (à constituer).

3. Actions spécifiques de recherche et d'étude

Cette tâche concerne la soumission à la DSCR de nouveaux projets proposés conjointement par l'IFSTTAR et le CEREMA pour contribution financière. Ces nouveaux projets seront proposés une fois par an et de manière évolutive. En effet, les propositions pourront notamment émaner de l'animation scientifique réalisée dans la tâche 2. Celles qui seront acceptées feront l'objet de conventions spécifiques.

Pour l'année 2015, l'IFSTTAR et le CEREMA a proposé un projet d'étude d'une durée de deux ans intitulée « MOSCOVICE » (Les Motocyclistes, les SCOOTERISTES et la VITESSE : la Communication Engageante comme levier d'action) portant sur l'apport de la communication engageante comme levier d'action pour amener les conducteurs de 2RM à réduire leur vitesse.

Partenariats (*nom des partenaires externes (notamment pour les collaborations de recherche) et principal apport de chaque partenaire*)

Le CEREMA est co-porteur de cette Collaboration de Recherche COSMOS et co-coordonateur du projet MOSCOVICE (cf Action 3 de COSMOS). Il apporte une contribution à la fois scientifique, technique et organisationnelle au niveau de toutes les actions de cette Collaboration de Recherche.

L'animation de cette Collaboration de Recherche a pour vocation de faire intervenir notamment lors des séminaires d'autres partenaires externes tels que d'autres instituts nationaux (ADEME ...), des industriels (équipementiers ...), des collectivités, etc.

Du point de vue financier, cette Collaboration de Recherche est liée à une convention supportée par la DSCR. Cette convention signée entre l'IFSTTAR, le CEREMA et la DSCR porte le même nom « COSMOS ».

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

Livrables Tâche 1 : Recensement des travaux réalisés sur le 2RM

M12 : Espace partagé opérationnel (cahier des charges établi, hébergeur identifié, mode de fonctionnement finalisé, procédure de versement testée, etc.)

M13 à M48 : Espace partagé alimenté

Livrables Tâche 2 : Animation scientifique

M24 : Organisation de 3 séminaires

M48 : Organisation des 5 séminaires dont 1 de clôture

M48 : Publication d'actes en lignes concernant des articles scientifiques ou techniques

Livrables Tâche 3 : Etude MOSCOVICE

M12 : Rapport intermédiaire d'avancement faisant état de l'ensemble des points techniques

M24 : Rapport final sur «Comment amener les conducteurs de 2RM (MOTocyclistes et SCOOtéristes) à réduire leur Vitesse : Apport de la Communication Engageante (MOSCOVICE).

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) :

Tâche 1 + Tâche 2 :

3 hm/an (IFSTTAR) soit 12 hm au total

Tâche 3 :

Projet MOSCOVICE: 12 hm

24 hm (thèse co-encadrée IFSTTAR-CEREMA)

Autre partenaire institutionnel (le cas échéant) :

CEREMA :

Tâche 1 + Tâche 2 :

3 hm/an (CEREMA) soit 12 hm au total

Tâche 3 :

Projet MOSCOVICE: 6 hm

Résultats obtenus

Nous déclinons ci-dessous les résultats obtenus pour l'année 2016 pour chaque action :

1. Recensement des travaux sur le 2RM

L'année 2016 a permis d'étudier des moyens d'implémentation d'un espace partagé entre l'IFSTTAR et le CEREMA. Une solution proposée par le CEREMA a notamment été rejetée car elle ne permettait

pas un accès simple aux données pour le personnel de l'IFSTTAR. Une solution basée sur le « cloud IFSTTAR » est en cours de réflexion. En parallèle, un recensement des études réalisées à l'IFSTTAR et au CEREMA sur le 2RM ces 4 dernières années a été effectué.

2. Animation scientifique

Deux séminaires ont été organisés en 2016.

Le premier s'est tenu le 9 Juin à Paris dans les locaux de la DSCR. Il a regroupé une cinquantaine de personnes. Le programme de ce séminaire était le suivant :

- *Point d'actualités sur la sécurité routière des deux-roues motorisés.* Pascal DUNIKOWSKI – Chargé de mission deux-roues motorisés national -DSCR
- *Accidentalité des deux-roues motorisés - Apports du projet VOIESUR.* Nicolas DUBOS – Cerema Normandie-Centre
- *Freinage d'urgence motos vs voitures particulières: Essais sur piste.* Eric VIOLETTE – Cerema Normandie-Centre
- *Analyse du comportement dynamique d'un deux-roues motorisé par des approches numériques et Expérimentales.* Laura COSTA – IFSTTAR/TS2/LMA
- *Analyse économique en terme d'équipement pour l'utilisateur de deux-roues motorisés en France* Adrian DELANNOY – Université d'Aix-Marseille
- *Comment inciter les conducteurs de deux-roues motorisés à réduire leur vitesse : de la persuasion à la communication engageante.* Damien TAMISIER – IFSTTAR/TS2/LMA - Cerema Ouest
- *Comment améliorer la visibilité des motocycles.* Viola CAVALLO – IFSTTAR/COSYS/LEPSIS
- *Le comptage des deux-roues motorisés : outils, méthodes et évaluations.* Cristina BURAGA – Cerema Méditerranée, Olivier FLORIS – Cerema Normandie-Centre, Jérôme GALLET & Ludovic SIMON – Cerema Ile-de-France

Le deuxième séminaire se tiendra le 15 Novembre à Lyon dans les locaux du CEREMA. Le programme est en cours de finalisation mais contiendra 7 présentations scientifiques et un atelier-discussion sur l'identification de nouveaux thèmes d'études à explorer sur le 2RM. Une quarantaine de personnes sont déjà inscrites à ce séminaire.

3. Actions spécifiques de recherche et d'étude

Dans le cadre de l'étude « MOSCOVICE », l'année 2016 a permis de mettre au point les protocoles d'expérimentation à mener au printemps 2017. En particulier des méthodes de communications engageantes ont été testées, le mode d'instrumentation des motos des volontaires a été défini et la déclaration à la CNIL pour mener l'expérimentation a été effectuée. Le rapport intermédiaire d'avancement prévu à M12 faisant état de l'ensemble des points techniques sera remis début 2017.

Programme de l'année à venir

Pour l'année 2017, il est envisagé :

- Pour l'action 1 : de rendre opérationnel l'espace partagé et de l'alimenter avec les productions scientifiques déjà identifiées en 2016.
- Pour l'action 2 : d'organiser un troisième séminaire avec pour objectif de dégager notamment des propositions d'études pour l'action 3 (livrable prévu à M24). Un séminaire avec plus d'ateliers-discussion est envisagé.
- Pour l'action 3 : la réalisation de la campagne expérimentale programmée dans l'étude « MOSCOVICE » et l'exploitation des données recueillies (livrable attendu pour M24). La soumission de nouvelles études à la DSCR à partir des ateliers-discussions qui auront eu lieu dans l'action 2.

BIOMAT : Matériaux Biosourcés

Axe de rattachement : 2

Mots-clés : matériaux biosourcés, durabilité, analyse multiéchelle, démonstrateur

Responsable IFSTTAR **Marceau Sandrine, MAST/CPDM**

Autre Responsable -

Axe de rattachement : **2**

Durée : **4 ans (2017-2020)**

Enjeux et objectifs (problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar (thématiques prioritaires, COP), connaissances préalables (références bibliographiques)). (A titre indicatif, ½ page)

Une large gamme de produits et de biens de consommation extrêmement hétérogènes issus majoritairement de matières premières fossiles et non renouvelables (pétrole, gaz) est utilisée dans de nombreux secteurs d'activité (agro-alimentaire, pharmacie, emballage, automobile, construction...). Afin de réduire l'impact environnemental de ces produits et de limiter l'utilisation des ressources, des matériaux d'origine biosourcée (essentiellement végétale mais aussi animale) sont utilisés en remplacement des matériaux traditionnels. Déjà commercialisés pour certaines applications, de nombreux produits sont en développement et devraient apparaître sur le marché d'ici 2030. Cependant, leur essor reste limité notamment par l'absence de réglementation spécifique aux produits biosourcés car les critères pris en compte ne sont pas pertinents [BEWA 2012].

Cette problématique a déjà été abordée grâce à l'ORSI MABIONAT qui a été clôturée en 2016. Dans cette action, des avancées ont été réalisées notamment sur le thème de la durabilité des composites renforcés par des fibres végétales (thèse d'H. Rabii 2012-2016, [RABII 2016]) et des isolants contenant des granulats végétaux (thèse de G. Delannoy 2015-, [DELANNOY 2016, MARCEAU 2016]). Des difficultés ont également été mises en évidence sur l'instrumentation de bâtiments réels afin de valider l'intérêt d'utiliser des matériaux biosourcés dans la construction.

Cette action permettra de poursuivre et d'élargir les travaux initiés avec MABIONAT :

- en poursuivant les travaux concernant la durabilité des bétons de chanvre;
- en élargissant la thématique de durabilité des composites renforcés par des fibres végétales au domaine de l'automobile
- en étudiant les propriétés fonctionnelles de matériaux de plus en plus utilisés pour l'isolation des bâtiments : les laines végétales.
- en construisant un bâtiment démonstrateur en matériaux biosourcés dans la chambre climatique Sense-City.

Bibliographie

[[BEWA 2012] H. Bewa, V. Le Ravalec, *Le contexte : reconversion de la chimie vers la chimie verte*, Oilseeds and fats, Crops and Lipids, vol. 19, p. 1-5, 2012

[DELANNOY 2016] G. Delannoy, S. Marceau, M. Gueguen, Ph. Glé, E. Gourlay, S. Amziane, F. Farcas, *Evolution des propriétés d'isolants à base de granulats végétaux – Méthodologie & propriétés initiales*, Rencontre Universitaires du Génie Civil, Liège, 2016

[GOURLAY 2016] E. Gourlay, C. Schmauch, Ph. Glé, *Suivi des performances acoustiques et hygrothermiques de la Maison du Tourisme de Troyes*, Journées Concorcet, Gembloux, 2016

[MARCEAU 2016] S. Marceau, P. Glé, M. Guéguen-Minerbe, E. Gourlay, S. Moscardelli, I. Nour, S. Amziane *Influence of accelerated aging on the properties of hemp concretes*, Construction and Building Materials, 2016, accepté

Valeur ajoutée de la demande (originalité de l'action, réponse à des attentes exprimées, potentiel nouvelles connaissances, verrou scientifique, innovation, optimisation de moyens ou de ressources,) (A titre indicatif, ¼ page)

Les résultats de ces travaux permettront de fournir des résultats sur l'évolution des propriétés par une approche pluridisciplinaire et multiéchelle grâce aux collaborations mises en place avec des partenaires extérieurs. A partir de ces données, les modèles permettant de relier les propriétés fonctionnelles des matériaux à leur microstructure permettront d'améliorer leur formulation et leur mise en œuvre.

Ils permettront aussi d'évaluer la durabilité de ces matériaux et de définir des protocoles de vieillissement et de caractérisation prenant en compte les propriétés spécifiques aux matériaux biosourcés. En particulier, la possibilité d'observer un développement fongique sur les matériaux et l'influence de celui-ci sur les propriétés des matériaux seront évalués.

Enfin, les données recueillies grâce à l'instrumentation du démonstrateur permettront de fournir des données fiables sur les performances énergétiques de ces bâtiments sous des climats contrôlés

Description de la démarche et de la structuration de l'action (description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches, des différents sujets traités, ...) (A titre indicatif, ½ page)

L'action BIOMAT se décompose en quatre sujets en fonction du type de matériau étudié.

Sujet 1 : Durabilité des composites renforcés par des fibres végétales pour des applications automobiles

Partenaire : Ifsttar/MAST/CPDM, ISAT

Depuis maintenant quelques années, les composites renforcés en fibres végétales sont en plein essor notamment dans le secteur automobile. L'attrait de ces composites est lié en plus de l'aspect écologique à leurs performances multiples notamment mécaniques, acoustiques associées à une légèreté que les composites traditionnels n'ont pas à performances égales. Cependant de nombreuses zones d'ombre subsistent sur le comportement dans le temps des composites à fibres végétales. Par des vieillissements hygrothermiques contrôlés en laboratoire, associés à des études multi-échelles, prenant en compte l'évolution des propriétés fonctionnelles mais également chimiques, physico-chimiques et morphologiques, une estimation de la durabilité de ces composites sera prédite et les mécanismes de dégradation seront étudiés. Cette étude permettra ainsi de s'assurer de la pérennité de ces nouveaux matériaux dans les applications pour l'automobile. Ces travaux sont la suite de la R2i BIRA font l'objet de la thèse de Thomas Cadu (2015-2018).

Sujet 2 : Durabilité des isolants contenant des granulats végétaux

Partenaires : Ifsttar/MAST/CPDM, CEREMA Strasbourg, Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand

Ce sujet concerne l'étude de la durabilité des isolants contenant des granulats végétaux, comme le béton de chanvre. Différents protocoles de vieillissement en laboratoire (vieillissement environnemental simulant les variations d'humidité, vieillissement microbiologique et vieillissement naturel extérieur) sont appliqués à des éprouvettes de béton de chanvre. Les modifications de propriétés du matériau soumis à ces différents protocoles seront comparées à celles mesurées sur des éprouvettes de référence stockées dans un laboratoire à température et hygrométrie contrôlées. A partir de l'analyse croisée des différents résultats expérimentaux obtenus, les mécanismes de dégradation du béton de chanvre sont identifiés. Cette étape permettra de déterminer des indicateurs de durabilité du matériau et de donner une première estimation de sa durée de vie. Cette thématique correspond au travail de thèse de G. Delannoy, démarrée en 2015. Ces travaux s'intègrent également dans les activités du groupe RILEM HDB " Hygrothermal behaviour and Durability of Bio-aggregate based building materials" qui démarre à l'automne 2016.

Sujet 3 : Approche thermique et acoustique des laines végétales

Partenaire : Ifsttar/MAST/CPDM, CEREMA Strasbourg

Les laines végétales constituent une part croissante du marché des matériaux d'isolation. Cette croissance pourrait être accélérée en améliorant les connaissances sur les problèmes de dissipation acoustique et d'isolation thermique. Ces paramètres sont en général étudiés séparément dans la littérature, alors qu'ils sont liés à la microstructure du réseau fibreux. L'objectif de ce travail est donc de développer des modèles déjà existant dans le cas de laines minérales aux laines végétales, en incluant la forte variabilité du diamètre des fibres, l'effet de la porosité intra-fibres, leur caractère hygrostatique ainsi que leur traitement ignifugeant. Il fera l'objet de la thèse de Clément Piégay (2016-2019, financement ITPE), doctorant au CEREMA de Strasbourg.

Sujet 4 : Construction d'un bâtiment démonstrateur en matériaux biosourcés dans Sense-City

Partenaires *Ifsttar/MAST/CPDM, Ifsttar/COSYS/LISIS, CEREMA Strasbourg, Karibati*¹⁶

Dans le cadre du projet Equipex Sense-City, la construction d'un bâtiment démonstrateur contenant différents types de matériaux biosourcés est prévue. Grâce à cette maquette et à son instrumentation, l'efficacité énergétique d'un bâtiment biosourcée pourra être évaluée en fonction des conditions climatiques imposées dans la mini-ville climatique. Ce travail, réalisé en collaboration avec le Cerema de Strasbourg et la SCOP Karibati, permettra d'obtenir des données permettant de confronter le niveau de performances réel des matériaux biosourcés à celui mesuré en laboratoire. Les données recueillies permettront de valider ou corriger les modèles numériques de fonctionnement hygrothermique des bâtiments biosourcés afin de faire évoluer la réglementation relative à ce type de construction.

Productions prévues (mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.) - Préciser l'échéance prévue (année)

- ▶ Participation aux conférences internationales ICBBM (International Conference on Biobased Building Materials) à Clermont-Ferrand en 2017 et 2019, ICCM (International Conference on Construction Materials) à Montréal en 2017
- ▶ Construction d'un bâtiment démonstrateur en matériaux biosourcés dans la mini-ville climatique Sense-City (novembre 2017)
- ▶ Valorisation sous forme d'articles scientifiques

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

¹⁶ <http://www.karibati.fr/>

Nom- Prénom	Dpt/Labo	Estimation h/mois par an	Principale contribution
Thomas CADU	MAST/CPDM	10	Durabilité de composites renforcés par des fibres végétales
Guillaume DELANNOY	MAST/CPDM	10	Analyse de la durabilité de bétons de chanvre
Dinarzed DIAFI	MAST/CPDM	3	Vieillissements environnementaux, Caractérisation structurale
Fabienne FARCAS	MAST/CPDM	3	Vieillissement des matériaux, analyses chimiques et physico-chimiques
Marielle GUEGUEN-MINERBE	MAST/CPDM	3	Caractérisation du vieillissement microbien
Sandrine MARCEAU	MAST/CPDM	5	Vieillissement des matériaux, caractérisation physico-chimique et microstructurale
Sandrine MOSCARDELLI	MAST/CPDM	3	Caractérisation physico-chimique, microstructurale et morphologique
Issam NOUR	MAST/CPDM	3	Vieillissement microbien et Caractérisation chimique et physico-chimique
Laetitia VAN SCHOORS	MAST/CPDM	4	Vieillissement des matériaux, caractérisation chimique et physico-chimique et microstructurale
Erick MERLIOT	COSYS/LISIS	1	Conception du démonstrateur biosourcé dans Sense-City

Partenariats externes

[Université Blaise Pascal](#) : fabrication et caractérisation mécanique de bétons de chanvre

[ISAT – Drive](#) : optimisation de mise en œuvre des composites, caractéristiques mécaniques et acoustiques

[CEREMA Strasbourg](#) : caractérisation thermique et acoustique des bétons de chanvre et des laines végétales, Instrumentation du démonstrateur

[Karibati](#) : Société COopérative et Participative (SCOP) ayant pour but la structuration, et l'animation de filières de matériaux de construction biosourcés

Valorisations possibles

(Vis-à-vis des tutelles de l'Ifsttar, de collectivités, de partenaires institutionnels, académiques ou du monde économique, auprès de la société civile ou du grand public)

Les résultats de cette action sont attendus par de nombreux acteurs du domaine de la construction :

- le ministère de l'environnement, de l'écologie et de la mer, qui encourage la construction de bâtiment éco-responsables et qui a initié un programme de soutien aux filières des matériaux de construction biosourcés.

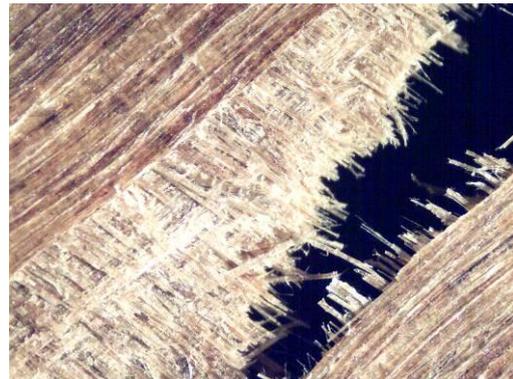
- les collectivités locales qui cherchent à structurer des filières de fabrication de matériaux biosourcés sur leurs territoires.

- les professionnels de la construction (artisans, architectes, maîtres d'ouvrages) qui ont besoin de critères de choix fiables pour la construction de bâtiments à faible impact environnemental.

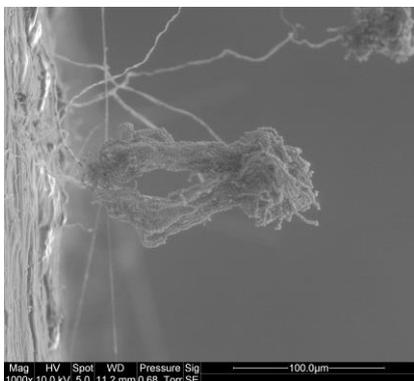
L'action BIOMAT permettra ainsi d'améliorer les connaissances sur les matériaux biosourcés et de faciliter leur évaluation, leur certification et leur assurabilité. Elle permettra de garantir aux utilisateurs un niveau de performance thermique et acoustique pérenne.



Microstructure poreuse d'un granulat de chanvre
@Sandrine Marceau / Ifsttar



Faciès de rupture d'un composite époxy/fibres de lin
@Laetitia Van Schoors / Ifsttar



Développement de Penicillium sp sur un composite PE/lin
@Marielle Guéguen-Minerbe / Ifsttar



Utilisation du béton de chanvre pour l'isolation des toitures
@Sandrine Marceau / Ifsttar

ECOMAT: Eco-matériaux pour les infrastructures et le bâtiment

Axe de rattachement : Axe 2

Mots-clés (6 maxi) : béton, biosourcé, écologique, géopolymère, co-produits

Responsable IFSTTAR Loïc Divet, MAST/CPDM

Autre Responsable Arezki Tagnit-Hamou, Université de Sherbrooke (Canada)

Axe de rattachement : Axe 2

Durée : 4 ans (2017-2020)

Enjeux et objectifs

ECOMAT est une collaboration structurante de recherche avec l'Université de Sherbrooke au Canada qui s'est traduit par la création d'un Laboratoire International Associé (LIA) en juin 2016. Celui-ci représente donc une opportunité d'une part, pour renforcer et élargir un partenariat établi depuis plusieurs années et, d'autre part, pour faire émerger un laboratoire d'excellence sur les Eco-matériaux pour les infrastructures et le bâtiment, vitrine scientifique et technologique internationale pour nos deux institutions. Le principal objectif de création du LIA ECOMAT est ainsi de favoriser l'intensification de la formation et de la recherche appliquée dans le domaine des Eco-matériaux. Le terme « Eco-matériaux » utilisé dans le nom du laboratoire et de la CSR définit des matériaux et produits utilisés dans le bâtiment, les infrastructures de transport et les ouvrages du génie civil en vue de réduire leur impact environnemental et sanitaire.

ECOMAT a pour principal objectif de répondre à une réelle demande sociétale et porte sur des sujets de développement durable au sens large. La nécessité de limiter l'utilisation des ressources naturelles et de réduire les émissions de gaz à effet de serre nous impose de concevoir aujourd'hui des structures à base de matériaux plus écologiques et durables. L'accumulation des déchets dans les centres d'enfouissement et la réglementation de plus en plus contraignante favorisent aussi le réemploi et la valorisation en permettant la sortie de statut de déchets. Enfin, la maîtrise de la durée de vie des structures et la prolongation de leur durée de vie contribuent également à la diminution des impacts environnementaux liés aux domaines du Bâtiment et des Travaux Publics. Pour répondre à cet objectif tout en préservant les propriétés et les fonctionnalités de ces matériaux, la valorisation de sous-produits industriels ou de matériaux recyclés ainsi que l'utilisation de matériaux biosourcés, des liants alcalis-activés et des liants bactériens sont des solutions alternatives prometteuses.

Valeur ajoutée de la demande

Les résultats de ces travaux permettront d'acquérir une connaissance sur les propriétés et la durabilité de ces éco-matériaux pour une utilisation pérenne dans le secteur de la construction. ECOMAT a pour objectif de transférer vers le monde économique les résultats de ces travaux de recherche en réalisant dans la mesure du possible des démonstrateurs, véritable expérimentation à taille réelle du résultat des recherches. Des partenariats avec le monde industriel et des gestionnaires d'infrastructures seront alors recherchés.

Le développement de ces éco-matériaux est limité par un cadre normatif absent ou mal adapté et un manque de données sur leur durabilité. Par ailleurs, les méthodes de caractérisation et les protocoles de vieillissement ne sont pas toujours pertinents. Les travaux réalisés dans le cadre d'ECOMAT permettront alors de recueillir des informations pour l'élaboration de nouvelles méthodes et de nouvelles réglementations.

Enfin, cette collaboration structurante de recherche avec l'Université de Sherbrooke permettra de mutualiser les compétences, les moyens humains et matériels afin de répondre aux enjeux sociétaux au sujet du développement durable et de contribuer à l'innovation dans ce domaine.

Description de la démarche et de la structuration de l'action

Afin de répondre aux enjeux environnementaux et aux exigences de performances mécaniques, physiques, chimiques et de durabilité demandés aux matériaux de construction, ECOMAT positionnera ses recherches sur six sujets distincts et un sujet transversal.

Sujet 1 : Matériaux alternatifs dans les bétons

Le secteur de la construction est responsable de 5 à 9 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) liées principalement à la fabrication du ciment à base de clinker. Les enjeux portent aujourd'hui sur la fabrication de bétons plus respectueux de l'environnement à travers notamment l'utilisation de co-produits et de matériaux locaux en tant que granulats ou ajouts cimentaires. ECOMAT mènera des études de valorisation de matériaux alternatifs en ayant principalement un regard sur la mise en œuvre, les propriétés et la durabilité de ces nouveaux bétons. Des solutions innovantes seront recherchées en fonction du potentiel réel de valorisation industrielle.

Sujet 2 : Liants alcalis-activés

Il existe aujourd'hui des alternatives au ciment traditionnel dont le bilan environnemental est avantageux, mais pour lesquelles des verrous majeurs subsistent. Il s'agit des liants alcalis-activés ou dénommés également géo-polymères en raison de leur équivalence dans le domaine de la chimie minérale avec les polymères organiques. ECOMAT mènera alors des recherches afin d'améliorer la connaissance notamment sur la rhéologie, les mécanismes de réactivité et la durabilité de nouveaux liants alcalis-activés à base de cendres provenant de centrale thermique de biomasse, de déchets de verre et de sédiments de dragage.

Sujet 3 : Liants d'origine bactérienne

La construction et la maintenance des infrastructures est forte consommatrice de chaux et de clinker. Or, ces liants présentent un mauvais bilan carbone lié à une forte production de CO₂ lors de leur fabrication. Il est souhaitable de proposer des solutions alternatives plus écologiques. Une solution serait d'utiliser des bactéries capables de précipiter des carbonates de calcium. Des travaux de recherche seront menés sur ce sujet et porteront notamment sur l'amélioration des propriétés des granulats de béton recyclé en impliquant et en contrôlant l'activité de différentes souches bactériennes. Des recherches seront aussi menées pour étudier la possibilité de rigidifier les sols meubles. Ceci permettrait de protéger les bâtiments contre le phénomène de liquéfaction des sols sableux qui se manifeste lors de séisme.

Sujet 4 : Matériaux biosourcés

Afin de répondre aux enjeux du développement durable, des matériaux issus partiellement ou totalement de ressources agricoles (chanvre, lin, ...), liés au développement de la "chimie verte", ou faisant appel à des ressources naturelles émergentes sont déjà disponibles dans le secteur du bâtiment. Outre leur intérêt environnemental, ces matériaux présentent des propriétés intéressantes (mécaniques et/ou thermiques et acoustiques...), et sont a priori mieux valorisables en fin de vie que les matériaux de construction usuels. Cependant, leur développement est limité par un cadre normatif absent ou mal adapté et un manque de données sur leur durabilité. Par ailleurs, les méthodes caractérisation et les protocoles de vieillissement existants ne sont pas pertinents du fait des propriétés spécifiques de ce type de produits et des pathologies particulières observées. Des approches spécifiques doivent donc être utilisées afin d'évaluer leur durabilité et, a posteriori, de travailler sur des solutions assurant un maintien de leurs performances dans le temps. ECOMAT mènera des recherches sur la durabilité de ces nouveaux matériaux et la compréhension de l'évolution de leurs propriétés fonctionnelles pendant leur vieillissement.

Sujet 5 : Les bétons fibrés ultra-performants (BFUP) pour applications sismiques

Les BFUP font l'objet d'applications en nombre croissant en France comme en Amérique du Nord. Leurs performances mécaniques et de durabilité remarquables permettent notamment un usage optimisé des ressources pour des applications à forte demande architecturale et de résistance à des environnements très agressifs. Les connaissances restent néanmoins limitées concernant l'emploi des BFUP dans des structures devant résister aux séismes, ce qui constitue un frein important aux utilisations notamment dans le domaine du bâtiment. Les recherches que pourrait mener ECOMAT dans ce domaine permettraient une mise en commun des moyens expérimentaux d'excellence disponibles à Sherbrooke et de l'expertise accumulée par l'équipe québécoise dans le domaine du dimensionnement sismique des poteaux de bâtiment et des piles d'ouvrages d'art.

Sujet 6 : Développement de bétons fibrés ultra-performants (BFUP) écologiques

Les quantités de ciments utilisés dans les BFUP font de ces derniers des bétons ayant un important impact sur l'environnement ainsi que sur les coûts. Des recherches se font actuellement dans le monde et notamment à l'Université de Sherbrooke pour diminuer cette empreinte écologique en

remplaçant environ 50 % de ciments par des particules de déchets de verre. Néanmoins,, l'optimisation des performances à l'état frais et durci de ces bétons se fait par l'optimisation de sa compacité granulaire. Dans le cadre d'ECOMAT, les chercheurs des deux institutions vont travailler sur le développement de différents BFUP écologiques en utilisant l'expertise et les équipements des deux laboratoires. La modélisation se fera avec le modèle d'Ifsttar.

Sujet 7 : Evaluation environnementale des Eco-matériaux

L'analyse du cycle de vie (ACV) est incontournable dans un processus décisionnel menant au choix des types de matériaux ayant le moins d'impact sur l'environnement. Jusqu'à présent, ce processus décisionnel repose principalement sur une analyse des coûts globaux. Avec les récents développements méthodologiques, ce thème dans ECOMAT propose Les volets suivants : 1) intégrer les aspects environnementaux en plus des aspects économiques dans un processus décisionnel ; 2) En plus de mieux nous informer sur le profil environnemental et de l'empreinte carbone des différents matériaux développés grâce aux travaux de recherche réalisés dans ECOMAT, les résultats permettront de bâtir une base de données solide sur les matériaux innovants pour la construction de structures durables et représentant bien le contexte géographique Canadien et Français, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui. Ce sujet sera transversal aux autres axes investigués dans la programmation ECOMAT et sa mise en place ne fera que solidifier le développement des matériaux écologiques grâce à une modélisation très fine et rigoureuse.

Productions prévues

- Organisation d'un colloque annuel en alternance à Sherbrooke (Canada) et à Champs sur Marne sur les écomatériaux. En 2017, il est prévu de l'organiser en France
- Coproduction d'articles
- Rapports de stagiaires
- Mémoires de thèse
- Démonstrateurs de structures réalisées avec des écomatériaux
- Base de données pour ACV

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

Nom- Prénom	Dpt/Labo	Estimation h/mois par an	Principale contribution
Thierry Chaussadent	MAST/CPDM	2	Matériaux alternatifs dans les bétons
Teddy Fen-Chong	MAST/FM2D	1	Liants alcalis-activés
Marielle Gueguen	MAST/CPDM	2	Liants bactériens
Laetitia Van Schoors	MASTCPDM	2	Matériaux biosourcés
François Toutlemonde	MAST	1	Bétons fibrés ultra-performants
Thierry Sedran	MAST/MIT	1	Bétons fibrés ultra-performants
Loïc Divet	MAST/CPDM	2	Matériaux alternatifs dans les bétons
Michel Dauvergne	AME/EASE	1	Evaluation environnementale
Assia Djerbi Tegguer	MAST/FM2D	1	Liants alcalis-activés
Fabienne Farcas	MAST/CPDM	2	Matériaux biosourcés
Sandrine Marceau	MAST/CPDM	2	Matériaux biosourcés
Agnès Jullien	DAEI	0,5	Evaluation environnementale

Renaud-Pierre Martin	MAST/EMM	0,5	Matériaux alternatifs
Nicolas Roussel	MAST/Navier	1	Matériaux alternatifs et liants alcalis-activés
O. Omikrine-Metalssi	MAST/FM2D	0,5	Matériaux alternatifs
Mickaël Saillio	MAST/CPDM	2	Matériaux alternatifs dans les bétons
Hela Bessaies-Bey	MAST/CPDM	2	Liants alcalis-activés

Partenariats externes

Université de Sherbrooke au Canada

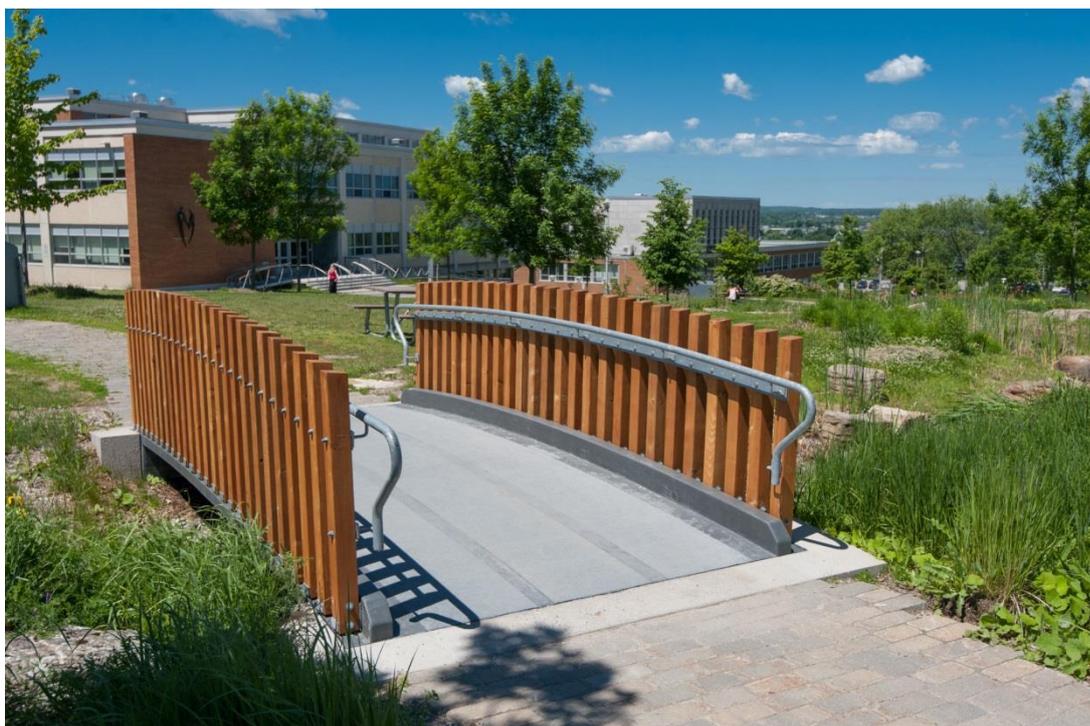
Collaboration sur les 6 sujets cités

Professeurs impliqués : Mourad Ben Amor, Richard Gagné, Radhouan Masmoudi, Patrick Paultre, Patrice Rivard, Mathieu Robert, Arezki Tagnit Hamou, Ammar Yahia, Carmel Jolicoeur.

Valorisations possibles

Le projet ECOMAT présente cinq objectifs majeurs ayant des retombées directes pour nos tutelles, le monde économique et la société civile :

- Valoriser des sous-produits industriels et des matériaux locaux dans le secteur de la construction
- Réduire les empreintes environnementales générées lors de la fabrication des matériaux de construction
- Etudier les perspectives d'utilisation de matériaux biosourcés
- Participer au transfert de technologie vers le monde économique via la réalisation de démonstrateurs
- Contribuer à l'actualisation de la réglementation et à la normalisation de ces nouveaux matériaux



DEDIR : du Dimensionnement à l'Entretien Durable des Infrastructures Routières

Mots-clés (6 maxi) : dimensionnement, modélisation, auscultation, instrumentation, gestion, trafic

Responsable IFSTTAR MARTIN Jean-Marc et BLANC Juliette, MAST/LAMES

Autre Responsable WASNER Sébastien (CEREMA / AIX)

Axe de rattachement : 2

Durée : 4 ans (2013-2016) - T0 : 01/01/14

Enjeux et objectifs (*problématique scientifique, enjeux sociétaux concernés, originalité du projet, articulation avec le COP, références bibliographiques*). Ce paragraphe reste inchangé sur toute la durée de vie de l'outil incitatif.

La diminution des moyens financiers alloués aux infrastructures routières nécessite d'optimiser les moyens consacrés à l'entretien et à la préservation du patrimoine routier. L'entretien des chaussées doit s'appuyer sur des méthodes de gestion et de diagnostic optimisées du point de vue technique, économique, environnemental et social. Les méthodes d'auscultation doivent permettre d'estimer l'endommagement de la chaussée en termes de durée de vie résiduelle. Il est attendu des progrès sur l'instrumentation et l'auscultation des chaussées, sur la modélisation du comportement des chaussées et la simulation des dégradations selon le programme d'entretien choisi. Les systèmes d'aide à la gestion devront être adaptés en conséquence. La prise en compte du trafic mérite aussi d'être optimisée.

Etat de l'art

Les méthodes de dimensionnement des chaussées neuves sont depuis longtemps maîtrisées, contrairement à l'évaluation de la durée de vie résiduelle des chaussées en service. Pour déboucher sur une méthodologie de calcul de la durée de vie résiduelle, de nouveaux travaux doivent porter sur les performances mécaniques des matériaux anciens et sur la modélisation des chaussées endommagées.

Concernant la gestion de l'entretien des réseaux, le système de gestion actuel (GIRR) a fait ses preuves mais doit progresser pour prendre en compte les impacts économiques, environnementaux et sociétaux. Le nouveau système pourra aussi utiliser les résultats de la modélisation des chaussées endommagées.

Les résultats délivrés par les systèmes de gestion de l'entretien sont extrêmement sensibles aux données d'entrées et tout particulièrement aux dégradations de surface relatives à la chaussée à entretenir. Pour s'affranchir de la dispersion assez grande du traditionnel relevé visuel, un observatoire de routes de quelques centaines de km, relevé précisément et régulièrement, devrait permettre d'optimiser le système de gestion et d'en montrer l'utilité.

Parallèlement à l'optimisation du système de gestion qui fonctionne à l'échelle d'un réseau routier (plusieurs centaines de km), des lacunes apparaissent aussi en matière d'auscultation et de diagnostic de sections de routes élémentaires (quelques centaines de mètres). On pense par exemple à une nouvelle méthode de découpage en zones homogènes basée sur une analyse multicritères, à une meilleure caractérisation mécanique des chaussées à partir des mesures de déflexion, ou à une instrumentation in situ des chaussées. Un outil logiciel de diagnostic fondé sur une base de connaissance ouverte pourrait apporter aussi une aide précieuse.

Concernant les solutions de renforcement de chaussée préconisées, elles sont souvent issues du guide actuel sur les renforcements de chaussées. Le dimensionnement proposé se base sur la méthode de dimensionnement des chaussées neuves. Des améliorations pourraient donc être proposées pour prendre en compte le vieillissement de la chaussée. On commence aussi à voir des techniques innovantes de renforcement qu'il est judicieux d'évaluer.

Enfin, le dimensionnement des structures de chaussées neuves, la réhabilitation de ces dernières ou le calcul de leurs endommagements nécessitent d'avoir une connaissance fine du trafic Poids-Lourds. En effet le classement des sections en terme de trafic est réalisé en classe de TMJA, sans prise en compte de l'agressivité des Poids Lourds.

La modification de la réglementation en terme de charge et de configuration (passage du 40 t au 44 t) implique de revoir les coefficients d'agressivité moyen (CAM) usuellement utilisés dans les calculs. De plus, dans un souci d'optimisation de l'entretien routier, il convient de travailler sur le paramètre Trafic de manière à fiabiliser les calculs en essayant de réduire les approximations liées à ce paramètre.

Sujets traités

La collaboration structurante de recherche comporte sept sujets répondant aux problématiques décrites ci-dessus.

Sujet 1 : Etudes et modélisation des mécanismes d'endommagement des chaussées

- 1.1 : Performances mécaniques des matériaux bitumineux anciens
- 1.2 : Méthodologie pour l'évaluation de la durée de vie résiduelle des chaussées
- 1.3 : L'appropriation et la mise au point de nouveaux modèles de calcul pour les chaussées endommagées ou fissurées

Sujet 2 : Moyens pour la recherche sur la gestion des réseaux

- 2.1 : Le réseau routier virtuel (RRV)
- 2.2 : Les modèles dommages – dégradations : (MDD)

Sujet 3 : Mise en place d'un Observatoire de la Route

- 3.1 : Observatoire de routes principales (type RN et autoroute)
- 3.2 : Observatoire de routes secondaires (type RD) et développements d'outils d'auscultation simplifiés

Sujet 4 : Gestion durable des réseaux

- 4.1 : Un système de gestion optimisé : SAGIR
- 4.2 : Prise en compte de technique routières adaptée au changement climatique : TRACC

Sujet 5 : Auscultation et diagnostic des sections

- 5.1 : Découpage en zone homogènes multicritères
- 5.2 : L'auscultation structurelle et l'instrumentation des chaussées
- 5.3 : Outil d'aide au diagnostic

Sujet 6 : Dimensionnement et techniques innovantes de renforcement des chaussées

- 6.1 : L'amélioration de la méthode de dimensionnement des renforcements
- 6.2 : Les méthodes de renforcement innovantes

Sujet 7 : Caractérisation du trafic Poids-Lourds et impact sur les chaussées

- 7.1 : Caractérisation du trafic PL et Projet CSA-surcharge
- 7.2 : Evaluation de l'apport de la caractérisation des PL aux chaussées
- 7.3 : Caractérisation fine des PL

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 59 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : 33 hm/an (CEREMA ou autre institut)

L'IFSTTAR contribue aux volets recherche des sujets 1, 2, et 4 et sur le volet expérimentation dans les sujets 3, 5, 6 et 7. Le Cerema intervient essentiellement sur les sujets opérationnels et expérimentaux des sujets 3, 5, 6 et 7

Préciser, en particulier pour les projets fédérateurs et les ORSI, la principale contribution scientifique et/ou technique de chaque partenaire.

Produits majeurs visés (*mettre en avant les produits majeurs tels que les publications et ouvrages scientifiques, les articles de vulgarisation, guides, thèses, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, les actes de colloques, etc.*)

Préciser l'échéance prévue ou réalisée (année)

Produits	Echéance	Avancement
Modélisation de l'endommagement	2017	Appropriation de différents modèles
RRV : réseau routier virtuel: spécifications + logiciel + article	2013 2014	Spécifications rédigées Modules logiciels en cours Article EWGT 09/2013 – Porto Démonstrateur des potentialités du RRV en lien avec le système de gestion GIRR
MDD : Modèle endommagement-dégradations	2015	Modèle simplifié en cours de spécification
Observatoires de routes (principal et secondaire)	2015	Relevés annuels effectués sur le secondaire (problèmes rencontrés sur le principal)
UniBox : capteur bas coût de mesure d'uni	2013	Matériel qualifié MLPC . Appareil diffusé (20 exemplaires en 2016)
Thèse de F. Menant : Suivi de longitudinal par véhicules traceurs munis de capteurs bas coût	2014	Soutenue novembre 2014
Démonstrateur projet R2I MIRANDA (smartphone): évaluation capteurs smartphone pour la mesure d'indicateurs routiers	2014	Rapports d'évaluation Démonstrateur réalisé Séminaire fin 2014 Expérimentation sur le CD44 Expérimentation en cours 2026, 2017 avec le CD50 (convention DGITM)
Gamme GSR : gestion simplifiée des routes: relevés dégradations, exploitation, base de données, restitution SIG	2014	En cours de finalisation et testée par des CG. Diffusion à prévoir. Dossier APP déposé. Certificat de dépôt reçu
SAGIR : Système d'aide à la gestion des infrastructures routières de 3 ^{ème} génération	2015	Spécifications de modèles technico-économiques et environnementaux réalisées
TRACC : techniques routières adaptées au changement climatique : évolution de la base et couplage informatique avec d'autres logiciels de gestion	2015	Sorti de l'ORSI car groupe national IDRRIM spécifique
DISC : logiciel d'aide au diagnostic des structures de chaussées	2015	En cours, mise à jour de la base fin 2016, début 2017
Méthodologie d'exploitation des bassins de déflexion	2016	Thèse qui débute
Démonstrateur de chaussée instrumentée	2014	En cours
Renforcement par géogrilles	2016	Thèse qui débute + ANR'
CSA Surcharges : validation sur manège	2015	Terminé
Bilan des exploitations annuelles de trafic	2016	A pris du retard → 2017
Evolution de la prise en compte du trafic et impact sur les chaussées	2016	A pris du retard → 2017
Article - Road maintenance policy based on an expert asset management system - Concept and case study", Ph. LEPERT, SURF 2012, Norfolk, September 2012	2012	Septembre 2012
Article - "EVITA: Environmental Key Performances Indicators", Ph. LEPERT, A. WENINGER-VYCUDIL, 4 th EPAM Conference, Malmö, Sweden, 5 – 7 September 2012	2012	Septembre 2012
Article - "An Impact Hierarchy for the Evaluation of Intervention Strategies for Public Roads" B.T. ADEY, N. LETHANH, Ph. LEPERT, 4 th EPAM Conference, Malmö, Sweden, 5 – 7 September 2012	2012	Septembre 2012
Blanc J., Kerzrého J.P., Hornych P., Joutang J.L., Bastard N., « Essai en vraie grandeur, sur le manège de fatigue, d'une structure de chaussée renforcée par une géogrille », RGRA, n° 910, mars 2013	2013	Mars 2013
Article dans RGRA sur l'utilisation des fibres optiques (associé aux journées manège)	2013	Oct. 2013

Article dans BCRA 2013 sur la comparaison de méthodes non destructives de détection de défauts d'interface	2013	Juin 2013
Article - « Essai en vraie grandeur, sur le manège de fatigue, d'une structure de chaussée renforcée par une géogrille », Revue Générale des Route et des Aéroports, n° 910, mars 2013	2013	Mars 2013
Article - "Programming roads networks maintenance interventions under budget constraints", P. HANKACH, Ph. LEPERT, Proceedings of MAC – TLIT 2013, Prague, Mai 2013	2013	Mai 2013
Article - "EVITA: Environmental Indicators for the Total Road Infrastructure Assets", Ph. LEPERT, Symposium "Asset Management", Copenhagen, 22 – 23 Mai 2013	2013	Mai 2013
Article - Review of glass fiber grid use for pavement reinforcement and APT experiments at IFSTTAR. EATA Conference, International journal of road materials and pavement design (Special edition), Vol 14, pp 287-308	2013	Juin 2013
Simonin J-M., Kerzreho J-P., Hornych P., Gouy Th, 2013. Comparison of NDT methods to detect debonded areas. <i>Ninth International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields (BCRA)</i> , 25-27 June, Trondheim, Norway	2013	Juin 2013
Nguyen M.L., Blanc J., Kerzreho J.P., Hornych P., « Review of glass fiber grid use for pavement reinforcement and APT experiments at IFSTTAR », EATA Conference, International journal of road materials and pavement design (Special edition), Vol 14, pp 287-308.	2013	2013
Article - Pierre Hankach, Philippe Lepert. A decision support tool for evaluating maintenance strategies on roads networks with incomplete data. Proceedings of EWGT2013 – 16th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, Porto, September 2013.	2013	Septembre 2013
Blanc J., Chapeleau X., Hornych P., Gautier J.L., Carroget J., « Les fibres optiques continues : vers une mesure interne des dommages », Revue Générale des Route et des Aéroports, n° 914, septembre 2013	2013	Septembre 2013
Article - Pierre Hankach, Philippe Lepert, Construction d'un Réseau Routier Virtuel(RRV) pour simuler les stratégies d'entretien en utilisant des données complètes. Recherche Transports Sécurité (RTS) 2014 30: 67-81	2014	Mars 2014
Article - Ph. LEPERT, "Vers une meilleure maîtrise des budgets d'entretien routier sans réduction des niveaux de service", RGRA, Mai-Juin 2014	2014	Mai 2014
Chapeleau X., Blanc J., Hornych, Gautier J.L., Carroget J., "Use of distributed fiber optic sensing to detect damage in a pavement", 12th ISAP Conference on Asphalt Pavements, June 1–5, 2014 Raleigh, North Carolina, USA	2014	Juin 2014
Chapeleau X., Blanc J., Hornych, Gautier J.L., Carroget J., "Use of distributed fiber optic sensors to detect damage in a pavement", 7th European workshop on structural health monitoring, July 8–11, 2014 Nantes, France	2014	Juin 2014
Simonin J-M ; Hornych P ; Monitoring of artificial defects within a pavement structure with a NDT method based on mechanical impact; 7th European workshop on structural health monitoring, July 8–11, 2014 Nantes, France	2014	Juillet 2014
Simonin J-M ; Balthazard V ; Hornych P ; Dérobert X ; Thibaut E; Sala J; Utsi V; Case study of detection of artificial defects in an experimental pavement structure using 3D		

GPR systems ; 15th International Conference on Ground Penetrating Radar; GPR 2014; June 30 - July 4, 2014; Brussels, Belgium	2014	Juillet 2014
Paul Marsac • Nathalie Piérard • Laurent Porot • Wim Van den bergh • James Grenfell • Virginie Mouillet • Simon Pouget • Jeroen Besamusca • Fabienne Farcas • Thomas Gabet • Martin Hugener, "Potential and limits of FTIR methods for reclaimed asphalt characterisation". Materials and Structures, 2014. DOI 10.1617/s11527-014-0248-0.	2014	Janvier 2014
Mai-Lan Nguyen, Hervé Di Benedetto, Cédric Sauzéat «Crack propagation characterisation of bituminous mixture using 4 points bending test » -journal IJRMPD	2014	En cours de soumission
Mémoire de thèse sur l'auscultation par véhicule traceur	2014	Novembre 2014
Article pour la revue Materials and Structures sur l'auscultation du site manège de fatigue	2014	Proposé mais refusé

Partenariats et contrats (*nom des partenaires et externes internes (notamment pour les projets fédérateurs et les ORSI) ; pour les contrats préciser le financeur, nom du projet, descriptif sommaire, période*)

Publics : IFSTTAR : MAST/LAMES, MAST/MIT, COSYS, MAST/OA, CEREMA (Aix, Strasbourg, Saint-Brieuc, Toulouse, Lille, Autun, Bordeaux, Setra), CG 44, CG 33, DIR Méditerranée, CG50

Privés : ASFA, Escota, Cofiroute, Colas, Saint Gobain, RILEM (TC MCD, SIB), INSA Strasbourg

Quelques lignes de présentation des contrats envisagés ou en cours en indiquant le financeur		
Période	contrat/projet dev/autre	Descriptif
2014→	ANR	Déposé et refusé en 2013 mais accepté en 2014 sur les méthodes de renforcement par grilles.
2012-2013	Projet européens	EVITA, SABARIS : indicateurs environnementaux
2012-2016	Conventions	CG 33, CG 44, DIR Méd, ESCOTA : observatoire de routes
2012-2016	Partenariats sur contrats	COFIROUTE, COLAS, ASFA, RILEM (TC MCD, SIB), Saint GOBAIN, INSA : chaussées instrumentées, diagnostic, modélisation
2013-2016	Projets développement (prototypes)	RRV : réseau routier virtuel Gamme GSR : Mesure (relevé visuel + uni), Edition, Exploitation, Base de données UniBox : mesure d'uni longitudinal par capteur bas coût MIRANDA : Application smartphone de mesure du confort routier SAGIR : système d'aide à la gestion de troisième génération DISC : logiciel de diagnostic des structures des chaussées

Thèses

Thèses (y compris celles en association) et financeur (Ifsttar, Cerema, autres) (*uniquement pour les ORSI*) :

- Thèses demandées :
- Thèses obtenues (*préciser le ou les sujets*) :
 - « Suivi de l'uni longitudinal au moyen de véhicules traceurs munis d'une instrumentation bas coût » - F. Menant (ITPE à MAST/LAMES) – 2011-2014
 - Thèse sur la mise au point d'un outil de calcul rapide de chaussées fissurées, FISSURROUTE – Hanan Nasser (IFSTTAR/LAMES) – Octobre 2013 - 2016

- Thèse d'Amjad Issa sur le développement d'une politique d'entretien combinée pont/chaussée pour les pays émergents et en développement (financée par bourse Erasmus Mundus Peace) – Octobre 2013 – 2016
- Thèse Ngoc Son DUONG : « Instrumentation des chaussées : la route intelligente ? » - Thèse Ifsttar – Octobre 2014 à octobre 2017
- Thèse sur la définition de nouveaux indicateurs structurels pour les chaussées sur la base des mesures de bassin de déflexion - Vinciane Le-Boursicaud - 2015-2018
- Thèse sur le comportement mécanique d'enrobés bitumineux renforcés par grilles en fibres de verre. Financement ANR SolDuGri – Maïssa Gharbi (2015-2018)

Résultats obtenus *(ce paragraphe est initié à la fin de la première année de vie de l'outil incitatif et mis à jour annuellement)*

L'ORSI a officiellement démarré en janvier 2014, mais l'année 2013 de préparation a vu aussi des livrables qui sont reportés dans ce bilan.

2013 - 2016

Sujet 1 : Etudes et modélisation des mécanismes d'endommagement des chaussées

- FISSUROUTE : 3^{ème} année de thèse de Hanan Nasser
- Etude bibliographique sur l'évolution des performances des matériaux bitumineux en fonction du vieillissement
- Rapport sur la modélisation de l'essai de fatigue sur EB (essais sur éprouvette trapézoïdale) et convention IFSTTAR— COLAS pour essais de comparaison de deux structures (EME2/EME2 et GB2/EME2) sur FABAC : analyse en cours
- Outil de calcul IFSTTAR (FissureComp) , simple et rapide de propagation de fissure dans une chaussée (lancement en boucle du module LINE de CESAR)
- Article sur l'étude d'une nouvelle méthode d'évaluation de la répartition des masses moléculaires apparentes dans les bitumes vieillis (article Rilem SIB)
- Rapport d'avancement des études de laboratoire et des simulations engagées sur l'évolution des performances des matériaux bitumineux vieillis, notamment enrobés tièdes (articles Congrès Mondial Séoul, RILEM MCD et E&E Prague, revue Materiales de Construcción)
- Projet Soldugri : thèse et développement d'un essai de fissuration (fissuration d'interface) de type Wedge Splitting Test (rupture par fendage) et d'un système anti remontée de fissures par grille en fibre de verre – 1^{ère} année de thèse
- Article ANR Recyroute sur l'étude des matériaux composites contenant une partie des granulats
- Thèse Damine Grellet : communication au RILEM MCD en juin
- Modélisation des structures de chaussées avec prise en compte d'interfaces dégradées sous Alizé : communication au RILEM MCD en juin

Sujet 2 : Moyens pour la recherche sur la gestion des réseaux

- Rapport de spécifications du RRV : « Le RRV : principe, construction et applications »
- Rapport sur la modélisation de la propagation des fissures de fatigue dans la chaussée basée sur la loi de Paris
- Application Web de création de base de données virtuelle (RRV) : les travaux dans cette thématique ayant déjà abouti à un système fonctionnel, les travaux de recherche ont été limités en 2016, au profit d'autres actions (comme le sujet 4). L'outil mis en place, constitue un support à la recherche sur diverses thématiques (étude de sensibilité des systèmes d'aide à la gestion, validation de modèles d'évolution mécaniques, etc.)

Le travail sur les Modèles-Dommages interne-Dégradations et en général sur ce sujet n'a pas continué suite au départ de Philippe Lepert

Sujet 3 : Mise en place d'un Observatoire de la Route et capteurs bas coût

- Auscultation annuelle des réseaux principaux et secondaires : suite à des problèmes sur les réseaux principaux, il a été proposé par le Cerema de travailler sur des données existantes et de mettre en place une base à partir des études de renforcement réalisées par le Cerema Méditerranée au cours des 3 dernières années, cela pour juger de la représentativité des indicateurs utilisés au regard de la durée de vie résiduelle.

- Qualification du prototype UniBox (testé en 2015 par les entreprises et Cerema, diffusé en 2016 : 20 exemplaires)
- R2I Miranda : démonstrateur expérimenté au CD 44, convention DGITM : déploiement dans les CD (CD50 en cours, CD28 à venir et autres ?)
- Gamme GSR en test dans le CEREMA (demande d'utilisation opérationnelle pour remplacer outils existants)
- Mémoire de thèse de F. Menant sur l'usage de capteurs bas coût (2014)
- Rapport de convention avec le CG44 sur la gestion des réseaux secondaires (2014)
- Nouvelle Initiative Ciblée sur la mesure de profil en travers bas coût : TP Box : prise en main du capteur

Sujet 4 : Gestion durable des réseaux

- Indicateurs environnementaux : Rapports projets européens EVITA, SABARIS
- Suite de la thèse sur la mise en cohérence des priorités accordées aux travaux d'entretien des différents composants de l'infrastructure (chaussées, ouvrages, ...). Thèse soutenue en 2016.
- Un système de gestion déployé sur le réseau de routes secondaires du CG 33
- Pour le prototype SAGIR une nouvelle approche basée sur la programmation par contraintes a été définie. L'évaluation n'a pas débutée en 2016.

Il est important de mentionner que le porteur de ce sujet, Ph Lepert, est en retraite depuis fin 2015 ce qui a ralenti les recherches et développements dans ce domaine, qui ont d'ailleurs été transférés à la start up Logiroad.

Sujet 5 : Auscultation et diagnostic des sections

- Découpage en zone homogènes multicritères : une bibliographie, une démarche et un outil en cours de développement reprenant le guide de renforcement et les pratiques courantes s'appuyant sur plusieurs indicateurs.
- Cofiroute A10 : le suivi de l'instrumentation interne des chaussées par capteurs classiques est terminé. Le traitement des données est en cours (3 articles)
- Colas A63 : poursuite du suivi instrumentation interne des chaussées par capteurs classiques et par fibres optiques (FO)
- Suivi du site test du manège avec défaut (décollement). Premiers résultats publiés.
- Colibri qualifié en 2014 – Rapport d'utilisation de Colibri en 2016
- L'étude ASFA sur la mesure de déflexion est terminée
- Début de thèse sur l'exploitation statistique des bassins de déflexion
- Début de thèse sur l'exploitation des mesures issues de l'instrumentation des chaussées
- L'étude biblio sur l'exploitation des mesures FWD a fait l'objet d'un rapport
- Expérimentation sur la DIR A suivie par la DTer Sud ouest
- Participation au groupe FEHRL BeCaTS (bearing Capacity at trafic Speed)
- Le travail sur DISC a bien avancé en 2016 avec le toilettage du guide sur les assises bitumineuses épaisses (chemins de ruine).

Sujet 6 : Dimensionnement et techniques innovantes de renforcement des chaussées

- La revue critique du guide renforcement est lancée. La cible est le Cerema et les directions techniques des entreprises.
- Enquête sur les renforcements par géogrilles rédigée et envoyée. Peu de retours. La synthèse a été réalisée.
- Le projet ANR Soldugri (renforcement par géogrilles) a été accepté et une thèse a commencé en octobre 2015, poursuite des travaux

Sujet 7 : Caractérisation du trafic Poids-Lourds et impact sur les chaussées

- Piste CSA construite sur le manège de fatigue, capteurs implantés et essais réalisés
 - Données (>300Go) pour analyse pour les interactions capteur/chaussée
 - Essais de laboratoire réalisés pour construire un modèle de comportement électromécanique des capteurs quartz
 - Evaluation de la sensibilité des capteurs équipant les EPM réalisée.
 - Essais complémentaires sur manège
 - Modèle de comportement de capteurs
 - Nouveau site d'expérimentation à Saint Avold car Meulan présentait trop de défaut d'uni

Une réunion du Copil CSA surcharge a eu lieu en juillet 2016. Elle a conduit à valider des documents des différents volets du projet. Le projet est poursuivi pour finaliser les derniers documents sans engager la phase 2.

- Données Etude Plan B 44T : retard sur les travaux d'actualisation des coefficients d'agressivité moyens (CAM) : départ de Lydie Deloffre – action reprise par H. Kauffmann en 2015
- Etude d'endommagement à partir des auscultations faites autour des stations EPM
 - Première version de rapport sur la caractérisation du trafic au vu des données des stations EPM du RRN
 - Synthèse des études d'endommagement effectuées dans le cadre de l'étude « Impacts Croisés Climat-Trafic »

Programme pour l'année à venir (*ce paragraphe est initié lors de la création et mis à jour annuellement*)

2017

Sujet 1 : Etudes et modélisation des mécanismes d'endommagement des chaussées

- Rapport d'étude d'une nouvelle méthode d'évaluation de la répartition des masses moléculaires apparentes dans les bitumes vieillis : l'adapter aux enrobés conventionnels
- Rapport d'avancement sur l'adaptation au domaine chaussée de l'outil TLS (article Rilem 2016)
- Thèse de Hanan Nasser sur le calcul numérique des structures 3D
- Projet Soldugri : thèse et développement d'un essai de fissuration (fissuration d'interface) de type Wedge Splitting Test (rupture par fendage) – 2ème année – Poursuite des essais pour caractériser le collage d'interface du complexe enrobé/grille
- Rapport de recherche sur la caractérisation par FWD de chaussées semi-rigides fissurées
- Calcul inverse sur chaussée fissurée artificiellement
- Modélisation des structures de chaussées avec prise en compte d'interfaces dégradées (Alizé)
- Article sur la fissuration par le haut
- Modélisation de la vitesse de rupture en fonction du chargement et de la température
- Modélisation de structures présentant des interfaces dégradées (Alizé)
- Etude sur la modélisation de la fissuration au sein d'un matériau thermo-visco-élastique homogène : démarrage d'une thèse

Certaines actions seront aussi continuées (et achevées) dans le projet national DVDC

Sujet 2 : Moyens pour la recherche sur la gestion des réseaux

- Réseau routier virtuel (RRV) : exploitation et validation des modules existants
- Connexion entre le RRV et GIRR qui servira de démonstrateur des potentialités du RRV pour tester les différents modèles intervenant (si temps informaticiens disponible)
- Etude de sensibilité de GiRR aux données d'entrées délivrées par le RRV
- Spécifier l'intégration du modèle simplifié de fissuration (loi de Paris) dans la génération des paramètres d'état

Report de ce qui était prévu en 2016 car pas de moyen pour y travailler en 2016. Pas de garantie en 2017 → plutôt transfert dans le projet national DVDC si plus de moyen

Sujet 3 : Mise en place d'un Observatoire de la Route

- Base de données sur les études d'entretien réalisées au cours des dernières années et analyse de la représentativité des indicateurs vis-à-vis de la durée de vie résiduelle
- Valoriser Miranda (autres expérimentations) : poursuite de la convention DGITM (CD 50, CD28, autres collectivités (?))
- Diffusion de l'UniBox (assister les diffuseurs) et synthèse retours client pour évolution (bi-trace ?)
- Déploiement gamme GSR dans le Cerema suite à manifestation d'intérêt.

Sujet 4 : Gestion durable des réseaux

- SAGIR : les algorithmes (anciens et nouveaux) devraient être testés mais les moyens manquent.

- Les modèles technico-économiques et environnementaux issus de différents projets sont spécifiés mais l'implémentation se fait chez Logiroad. La recherche pourra continuer sur ce sujet.
- L'amélioration des lois d'évolution, à travers le développement de nouveaux modèles et/ou l'introduction du comportement physico-chimique des matériaux et des structures dans la modélisation statistique, est aussi à prévoir. Plutôt dans le projet national DVDC ?

Il est important de mentionner que le porteur de ce sujet, Ph Lepert, est en retraite depuis fin 2015 ce qui a ralenti les recherches et développements dans ce domaine, qui ont d'ailleurs été transférés à la start up Logiroad.

Sujet 5 : Auscultation et diagnostic des sections

- Maquette de test de nouvelles méthodes de découpage multicritère (celle du guide associé aux pratiques courantes) : implémentation dans « GSR Exploitation »
- Instrumentation A10 : 1 autre article en cours et exploitation des données
- Site de l'A63 (Colas), poursuite de l'exploitation des mesures. Idem pour l'instrumentation réalisée sur l'A63 pour le LR de Bordeaux et la DIR A
- Poursuite de la thèse sur l'exploitation des mesures issues de l'instrumentation des chaussées
- Poursuite thèse sur l'interprétation des bassins de déflexion
- Les données de CSA-surcharge en matière de déflexion seront analysées pour améliorer l'interprétation des mesures
- Outil de diagnostic : poursuite de la mise à jour des guides de pathologies et les implémenter dans l'outil logiciel

Sujet 6 : Dimensionnement et techniques innovantes de renforcement des chaussées

- Analyse de l'enquête sur l'inventaire des situations génériques, revue critique du GT renforcement et proposition d'améliorations
- Poursuite du projet ANR SolDuGri (renforcement par grilles) et thèse associée

Sujet 7 : Caractérisation du trafic Poids-Lourds et impact sur les chaussées

Projet CSA-surcharge

- La phase 2 du projet ne sera pas engagée (décision du COPIL du 4 juillet 2016)
- Les travaux de la phase 1 qui n'ont pas été achevés (notamment VTEE et volet 3) seront achevés en 2017 par prolongation sans financement de la phase 1.
- Données EPM : poursuite de l'analyse (?)
- Analyse croisée dégradations trafic (?)

Exploitation des données PL du plan B 44T (renommé « impacts croisés climat trafic ») et des auscultations autour des EPM : poursuite des travaux

- Analyse croisée dégradation / trafic
- Proposition de nouveaux CAM liés à la fonction de la voie voire de la situation géographique

Note d'étude quant à l'opportunité de proposer de nouveaux CAM liés à la fonction de la voie voire à la situation géographique.

Valorisations proposées et perspectives

GSR, UniBox, Miranda

ImEOG : Impacts des Eurocodes sur la fiabilité, la durabilité et l'économie des Ouvrages Géotechniques (génie civil et bâtiment)

Mots-clés (6 maxi) :

Responsable IFSTTAR S.Burlon, GERS, SRO

Autre Responsable C. Maurel, Cerema, DTERldF (PCI géotechnique urbaine spécialisée)

Axe de rattachement : 2

Durée : 4 ans (2013-2016)

Enjeux et objectifs (*problématique scientifique, enjeux sociétaux concernés, originalité du projet, articulation avec le COP, références bibliographiques*). *Ce paragraphe reste inchangé sur toute la durée de vie de l'outil incitatif.*

L'application des Eurocodes 7 et 8, tout en autorisant l'utilisation d'errements anciens, a introduit de nouveaux principes de reconnaissance des sols et de dimensionnement des ouvrages géotechniques ainsi qu'une appréciation différente de leur sécurité. Ce cadre réglementaire, plus complexe qu'auparavant, soulève, de la part de la profession, une multitude de questions qui nécessitent en premier lieu un accompagnement de celle-ci pour l'utilisation quotidienne de ces nouvelles règles. Il oblige ensuite à revenir aux principes de bases de dimensionnement des ouvrages pour proposer dans les années à venir des évolutions permettant de garantir des ouvrages toujours plus fiables, plus durables et plus économiques. Enfin, la cohabitation des Eurocodes 7 et 8 incite à avoir une approche continue de la conception des ouvrages sismiques.

Points de blocage scientifique

1. Appréciation de la variabilité des paramètres mécaniques des sols et des roches – Définitions des valeurs caractéristiques au sens de l'Eurocode 7
2. Quelles méthodes pour les calculs à l'Etat Limite Ultime (ELU) ? Comment estimer la résistance limite d'un ouvrage ?
3. Quelles méthodes pour les calculs à l'Etat Limite de Service (ELS) ? Comment évaluer les déformations d'un ouvrage ?
4. Comment apprécier la fiabilité des ouvrages géotechniques ?
5. Continuité des méthodes de dimensionnement pour des cas de charge statique et dynamique

Sujets traités

1. Historique des méthodes de conception et de réalisation des ouvrages
2. Stratégie de reconnaissances des sols, études de la variabilité des paramètres mécaniques des sols et des roches (géostatistiques), détermination des valeurs caractéristiques pour le calcul géotechnique
3. Par ouvrage type : comment calculer les charges limites et les déformations des ouvrages géotechniques ? Quels outils de calcul utiliser ? Quelles sont les voies de perfectionnement ? Quelle est la fiabilité de ces méthodes ? Confrontation avec les mesures et les observations ?
4. Élaborer des règles pour des technologies et des ouvrages nouveaux (soil mixing, pieux bois, éoliennes, etc...)
5. Convergence des règles de dimensionnement pour des cas de charge statiques et dynamiques
6. Évolution du coût des ouvrages géotechniques

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 18 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : Cerema 51 hm/an

Préciser, en particulier pour les projets fédérateurs et les ORSI, la principale contribution scientifique et/ou technique de chaque partenaire.

Produits majeurs visés (*mettre en avant les produits majeurs tels que les publications et ouvrages scientifiques, les articles de vulgarisation, guides, thèses, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, les actes de colloques, etc.*)

Préciser l'échéance prévue ou réalisée (année)

1. Guides pour l'application des méthodes de dimensionnement des EC7 et EC8 – Recommandations sur la détermination des valeurs caractéristiques – Guide pour l'application de la méthode observationnelle
2. Thèses, rapports de recherche et articles (ANR, etc...) sur les méthodes de calcul des ouvrages en ce qui concerne la détermination de leur résistance limite et de leurs déformations
3. Développements de nouveaux modules de calcul dans CESAR pour l'application des méthodes de calcul réglementaires
4. Élaboration ou propositions de révision des normes de conception et de justifications des ouvrages géotechniques

Partenariats et contrats (*nom des partenaires et externes internes (notamment pour les projets fédérateurs et les ORSI) ; pour les contrats préciser le financeur, nom du projet, descriptif sommaire, période*)

Projet National ARSCOP (Projet National en cours – 1^{ère} année)

Projet ANR SOLCYP+ (Projet ANR soumis)

CEREMA,

SNCF, RATP, EDF, Grands Ports Maritimes

Bureaux de contrôle, Assurances, Entreprises de génie civil, Bureaux d'études, Maîtres d'œuvre

Thèses

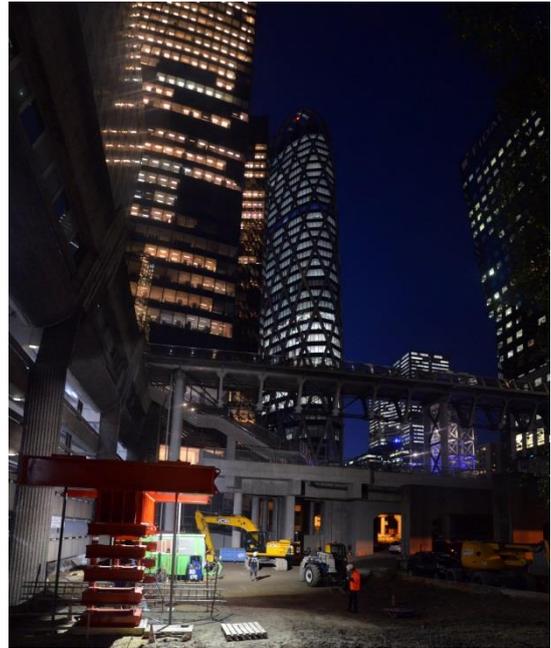
- Thèses demandées :
- Thèses obtenues (*préciser le ou les sujets*) :
 - Détermination de l'état initial des contraintes dans les massifs de sol (M. Ngom, 2012-2015, financement : IFSTTAR) ;
 - Comportement des pieux sous charge axiale cyclique (Z.Abchir, 2013-2016, financement : IFSTTAR) ;
 - Comportement des fondations superficielles sous charge sismique (Y.Abboud, 2013-2017, financement : EDF) ;
 - Comportement des pieux isolés sous charge transversale cyclique (R.Baccara, 2016-2019, financement : IFSTTAR et ENIT (Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis en co-tutelle)

Résultats obtenus (*ce paragraphe est initié à la fin de la première année de vie de l'outil incitatif et mis à jour annuellement*)

Dans le cadre du projet ImEOG, différentes actions ont été entreprises ou poursuivies :

- le montage d'un Projet National qui a été labellisé par le RGCU et son lancement effectif le 11 mai 2016 ;
- la participation à la rédaction des recommandations du Projet National SOLCYP avec leur présentation officielle en mars 2017 ;
- la participation aux travaux de normalisation français et européens pour l'Eurocode 7 ;
- différentes études pour l'établissement de cahier des charges de fondations spéciales ;
- la mise en place d'une commission IFSTTAR-Cerema pour l'évaluation des cahiers des charges ;
- la réalisation d'essais de chargement de pieux en vraie grandeur.

Essai de chargement de pieu à la Défense



L'avancement des différents livrables est quant à lui le suivant :

1. Guides pour l'application des méthodes de dimensionnement des EC7 et EC8 – Recommandations sur la détermination des valeurs caractéristiques – Guide pour l'application de la méthode observationnelle

Une première version du guide a été élaborée en 2016. La version définitive sera disponible dans le cours de l'année 2017.

2. Thèses, rapports de recherche et articles (ANR, etc.) sur les méthodes de calcul des ouvrages en ce qui concerne la détermination de leur résistance limite et de leurs déformations.

Les thèses concernées par la collaboration structurante de recherche suivent une évolution normale.

Différentes publications en rapport ont été réalisées :

- Abchir, Z., Burlon, S., Frank, R., Habert, J. and Legrand, S. (2016) t-z curves for piles from pressuremeter test results. *Géotechnique*, 66(2), 137-148.
- Abboud, Y., Burlon, S. et J.F. Semblat (2016). Développement d'un macroélément 3D pour l'étude du comportement des fondations superficielles, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, Nancy.
- Abchir, Z., Burlon, S. et Puech, A. (2016). Utilisation d'une loi t-z cyclique pour le calcul d'un pieu isolé soumis à un chargement axial cyclique, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, Nancy.
- Abchir, Z., Burlon, S., Pittos, G., Boulon, M. et Puech, A. (2016). Estimation de la dégradation cyclique de la résistance de l'interface sol-pieu à partir d'essais de laboratoire, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, Nancy.

3. Développements de nouveaux modules de calcul dans CESAR pour l'application des méthodes de calcul réglementaires.

Cet axe est désormais géré dans le département COSYS.

Deux logiciels métiers pour le calcul des pieux soumis à des frottements négatifs ont été réalisés.

4. Élaboration ou propositions de révision des normes de conception et de justifications des ouvrages géotechniques.

Une base de données d'essais de traction de clous est en cours d'élaboration.

Une base de données d'essais de traction de clous est en cours d'élaboration.

La base de données d'essais de fondations profondes reste à pérenniser.

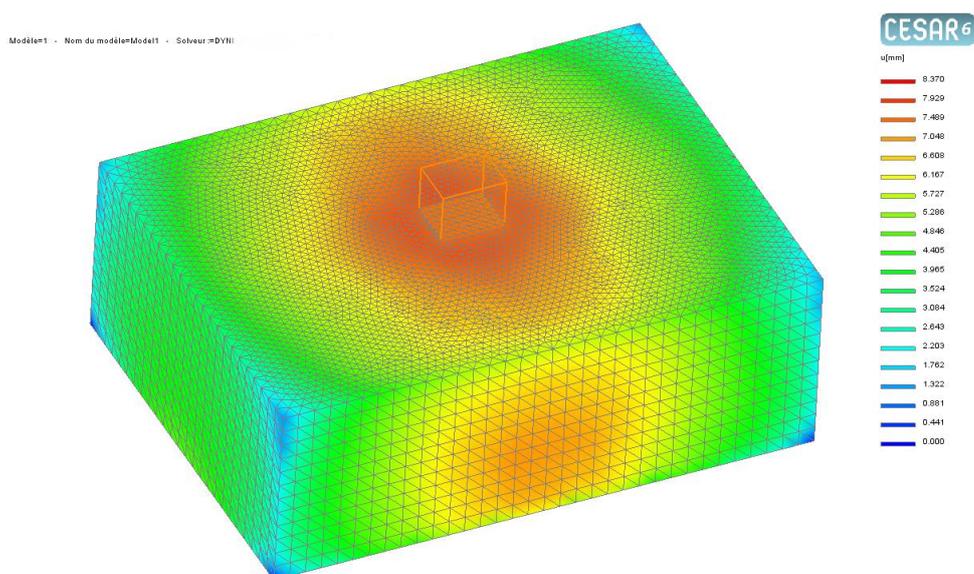
Une base de données d'essais de fondations superficielles reste à organiser et consolider, Pour alimenter cette base d'essais de fondations superficielles, l'étude de faisabilité d'une station mobile de

chargement pour réaliser une campagne d'essais de chargement sur fondations superficielles a été réalisée, ainsi que le cahier des charges pour réalisation du bâti d'essai.

Programme pour l'année à venir *(ce paragraphe est initié lors de la création et mis à jour annuellement)*

Les travaux pour l'année 2017 vont être axés autour des points suivants :

- la poursuite et la fin de la rédaction du guide relatif à la détermination des valeurs caractéristiques selon l'Eurocode 7 ;
- la poursuite des thèses en cours avec la publication d'articles ;
- le développement des différentes bases de données ;
- le développement d'autres méthodes de calcul ;
- la préparation de la valorisation du projet sous forme d'une journée organisée en collaboration avec le Cerema



Calcul de fondations superficielles sous charge sismique au moyen de macroéléments

MBDE : Matériaux bitumineux durables et Economiques

Mots-clés (6 maxi) : Matériaux, infrastructure, économie circulaire, bitume, durabilité, multi-recyclabilité

Responsable IFSTTAR Vincent Gaudefroy, MAST, MIT
Autre Responsable Virginie Mouillet (CEREMA DeterMed)
Axe de rattachement : 2
Durée : 4 ans (2013-2016)

Enjeux et objectifs (*problématique scientifique, enjeux sociétaux concernés, originalité du projet, articulation avec le COP, références bibliographiques*). *Ce paragraphe reste inchangé sur toute la durée de vie de l'outil incitatif.*

Les enjeux de la transition écologique et énergétique engagés ces dernières années tendent à favoriser les pratiques routières à faible empreinte écologique. Cela se traduit par un objectif de sobriété énergétique et plus généralement par une baisse des consommations en ressources naturelles non renouvelables, accompagnée d'une limitation de la production de déchets routiers et des risques environnementaux et sanitaires. Ces bouleversements font évoluer les composants et/ou les procédés de fabrication des matériaux routiers et posent la question de leur devenir dans le temps compte tenu du faible recul qu'il est possible d'avoir actuellement. Si les résultats des programmes de recherches au niveau national (OPTIMIRR, EPEES) ou européen (ReRoad, Direct Mat, Samaris) ont montré tout le potentiel des produits routiers à base de liants hydrocarbonés à répondre à ces objectifs, ils ont aussi mis en évidence les verrous scientifiques à lever garant de leur acceptabilité vis à vis de leur rôle fonctionnel à remplir au sein des structures de chaussée et de leur durabilité. Il est proposé à travers la collaboration de recherche MBDE, de s'attacher à lever ces verrous scientifiques afin d'offrir aux gestionnaires d'infrastructures les outils nécessaires à une évaluation des risques de modification des cycles de vie des matériaux de chaussées traités aux liants hydrocarbonés. Pour cela le projet s'articule autour de 4 axes de recherche complémentaires :

- Axe 1 : Comportement des matériaux bitumineux en laboratoire
- Axe 2 : Etude et modélisation des mécanismes de durabilité in situ
- Axe 3 : Impacts environnementaux des produits et des procédés
- Axe 4 : Analyse des cycles de vie globaux des infrastructures routières

Si les trois premiers axes ont pour objectifs communs de résoudre par des apports scientifiques fondamentaux ou opérationnels des besoins exprimés ci avant, Le quatrième axe a vocation à dégager des pistes de développement de matériaux routiers innovants basée sur l'analyse de gravité d'études de cycle de vie à l'échelle de l'infrastructure.

Sujets traités et résultats majeurs visés

Avancées scientifiques attendues :

La collaboration structurante de recherche MBDE s'inscrit dans une volonté d'approche globale du cycle de vie des matériaux de chaussée en complétant les approches économiques et performantielles par une approche environnementale. Les produits routiers concernés sont les matériaux traités à base de liants hydrocarbonés utilisés sous forme anhydre, mis en émulsion et sous forme de mousse que ce soit pour les couches de surface que pour les couches structurelles avec ou sans recyclés. La méthodologie de formulation en laboratoire des matériaux routiers est basée sur le concept « d'une prédiction, en fonction d'une liste de paramètres que l'on se sera donnée, des propriétés qui nous semblent importantes du comportement in situ ». De fait de la complexité des matériaux routiers l'approche opérationnelle est privilégiée accompagnée d'un approfondissement sur des points particuliers pour lesquels les besoins en connaissances fondamentales est incontournable. Sont concernés à titre d'exemple, le vieillissement des liants, leur miscibilité pour appréhender leur pluri-recyclabilité, l'adhésion des liants sur le substrat minéraux, les eaux de ruptures des matériaux traités à l'émulsion. A titre d'exemple et pour les techniques à l'émulsion de bitume ; ces thèmes sont

complétés par des travaux sur les évolutions au jeune âge des micro-structures et des matériaux ainsi que le comportement thermo-mécanique évolutif.

Différents vecteurs de communications sont envisagés pour porter à la connaissance des communautés impliquées les différents aspects traités : Publications scientifiques, rédaction de normes d'essais et de méthodes d'essais, guides et recommandations.

Implication prévue

Temps prévus : IFSTTAR : 80 hm/an, et CEREMA - 100 hm/an

Produits majeurs

Publications dans des revues internationales

- L. Ziyani, V. Gaudefroy, V. Ferber, F. Hammoum, A predictive and experimental method to assess bitumen emulsion wetting on mineral substrates, *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*, 2016, 489, 322-335. DOI:10.1016/j.colsurfa.2015.11.002
- L. Wendling, V. Gaudefroy, J. Gaschet, S. Ollier, S. Gallier, Evaluation of the compactability of bituminous emulsion mixes: experimental device and methodology, *International Journal of Pavement Engineering*, 2016, 17, 1, 71-80. DOI:10.1080/10298436.2014.925553.
- S.C. Some, V. Gaudefroy, D Delaunay, Effect of vegetable oil additives on binder and mix properties: laboratory and field investigation, *Materials and Structures*, 49,6, 2197-2208, 2016, DOI: 10.1617/s11527-015-0643-1.
- L. Boucard, V. Schmitt, F. Farcas, V. Gaudefroy, Bitumen emulsions formulation and destabilisation process relationship: influence of salts addition, *Road Materials and Pavement Design*, 2015, 16, 1, 330-348. DOI:10.1080/14680629.2015.1030910.
- L. Wendling, V. Gaudefroy, J. Gaschet, S. Ollier, S. Gallier, Evaluation of the compactability of bituminous emulsion mixes: experimental device and methodology, *International Journal of Pavement Engineering*, 2016, 17, 1, 71-80. DOI:10.1080/10298436.2014.925553.
- G. Tebaldi, EV. Dave, P. Marsac, P. Muraya, M. Hugener, M. Pasetto, A. Graziani, A. Grilli, M. Bocci, A. Marradi, L. Wendling, V. Gaudefroy, K. Jenkins, A. Loizos, F. Canestrari, Synthesis of standards and procedures for specimen preparation and in-field evaluation of cold-recycled asphalt mixtures, *Road Materials and Pavement Design*, 2014, 15, 2, 272-299, DOI: 10.1080/14680629.2013.866707
- S.C. Some, V. Gaudefroy, D Delaunay, A new laboratory method to evaluate the influence of aggregate temperature on the binder-aggregate bonding: first results, *Materials and Structures*, 2014, 47, 6, 963-976, DOI: 10.1617/s11527-013-0106-5.
- L. Ziyani, V. Gaudefroy, V. Ferber, D. Deneele, F. Hammoum, Chemical reactivity of mineral aggregates in aqueous solution – Relationship with bitumen emulsion breaking, *Journal of Materials Science*, 2014, 49, 6, 2465-2476, DOI: 10.1007/s10853-013-7938-9
- M. Lopes, T. Gabet, L. Bernucci, V. Mouillet, Durability of hot and warm asphalt mixtures, *Journal of Materials & Structure*, DOI 10.1617/s11527-014-0454-9
- V. Mouillet, F. Farcas, E. Chailleux, L. Sauger, Evolution of bituminous mix behaviour submitted to UV rays in laboratory compared to field exposure, *Journal of Materials & Structure*, 47, 8, 1287-1299, 2014.
- V. Mouillet, D. Séjourné, V. Delmotte, HJ. Ritter, D. Lesueur, Method of quantification of hydrated lime in asphalt mixtures, *Construction and building materials*, 68, 348-354, 2014

Congrès internationaux

- L. Boucard, V. Schmitt, E. Chailleux, F. Farcas, V. Gaudefroy, Bitumen-in-water emulsion: Destabilization by electrolyte solutions and rheological evaluation, *Proceedings of the Eurasphalt and Eurobitume 6th Congress*, Prague, Czech Republic, June 2016.
- M. Perez-Martinez, P. Marsac, T. Gabet, F. Hammoum, M. Lopes, S. Pouget Long term properties assessment of HMA and WMA with RAP, *Proceedings of the Eurasphalt and Eurobitume 6th Congress*, Prague, Czech Republic, June 2016.

- M. Perez-Martinez, P. Marsac, T. Gabet, F. Hammoum, Effects of ageing on Warm Mix Asphalts with High Rates of Reclaimed Asphalt Pavement, Proceedings of MCD Rilem International 8th conference, Nantes, France, June 2016.
- C. Somé A. Pavoine, L. De Marco, V. Gaudefroy, L. Andrieux, G. Di Stasio, A. Roberto, Assessment of the performances of foamed asphalt mix containing RA, Proceedings of the Eurasphalt and Eurobitume 6th Congress, Prague, Czech Republic, June 2016.
- A. Fabre, A. Dony, S. Faucon-Dumont, V. Gaudefroy, J.N. Roux, Evaluation of tools for measuring the workability of bituminous asphalts Proceedings of the Eurasphalt and Eurobitume 6th Congress, Prague, Czech Republic, June 2016.
- M. Perez-Martinez, P. Marsac, T. Gabet, F. Hammoum, M. Lopes, S. Pouget: Durability analysis of different warm mix asphalt containing reclaimed asphalt pavement, AIPCR Congress, Seoul, November 2015.
- M. Perez-Martinez, P. Marsac, T. Gabet, E. Chailleux, Prediction of the mechanical properties of aged asphalt mixes from FTIR measurements, 8th International RILEM SIB Symposium, Ancona, Italy, October 2015.
- C.W. Chen, V. Gaudefroy, M. Duc, Y. Descantes, F. Hammoum, J.P. Magnan, A mineralogical approach of the interactions between bitumen, clay and water in hot mix asphalt (HMA), 8th International RILEM SIB Symposium, Ancona, Italy, October 2015.
- L. Boucard, V. Schmitt, F. Farcas, V. Gaudefroy, Bitumen emulsions formulation and destabilization process relationship: influence of salts addition, 6th Conference of the European Asphalt Technology Association, Stockholm, Sweden, June, 2015.
- V. Shubina, L. Gaillet, T. Chaussadent, S. Ababou-Girard, H. Terrisse, V. Gaudefroy, J. Creus, Corrosion inhibition efficiency of rhamnolipids in simulated concrete pore solution, 11th International Symposium on Electrochemical Methods in Corrosion Research, Troia, Portugal, May 2015.
- L. Ziyani, V. Gaudefroy, V. Ferber, F. Hammoum, Rational and practical approaches for studying the bitumen emulsion/mineral substrate interface, International Conference on Innovations in Construction, Paris, France, May 2015.
- L. Boucard, V. Schmitt, E. Chailleux, F. Farcas, V. Gaudefroy, Rheological properties of bitumen-in-water emulsions during destabilization processes, 10th Annual European Rheology Conference, Nantes, France, April 2015.
- V. Gaudefroy, Bituminous emulsion and recycling: a french overview, Conference invitee, International Symposium in 90st Association of Asphalt Paving Technologists Annual Meeting, Portland, USA, March 2015.

Congrès nationaux

- C. Some, V. Gaudefroy, A. Pavoine, Viscoelastic behavior of fluxed asphalt binders and mixes, 22ème Congrès français de mécanique, Lyon, Aout 2015.
- A. Fabre, A. Dony, J.N. Roux, V. Gaudefroy, Maniabilité des enrobés bitumineux tièdes aux températures de mise en œuvre, 32èmes rencontres universitaires de l'AUGC, Orléans, Juin 2014.

Ouvrages

- Guide technique IDRRIM « Abaissement de température des mélanges bitumineux : Etat de l'art et recommandations », Edition CEREMA, Octobre 2015, 60p.
- Contribution à la rédaction (en cours) des Guides Techniques IDRRIM Enrobés à froid et Recyclage

Revue professionnelle

- Fabre des Essarts, A. Dony, J-N Roux, V. Gaudefroy, «Influence de la compacité des corps d'épreuves sur l'évaluation en laboratoire de la maniabilité des enrobés tièdes», Revue Générale des Routes et Aérodrômes, 928, 56-59, Juin 2015

Norme

- Rédaction de la norme française NF P 98-258-1 traitant de la détermination de la montée en cohésion des mélanges bitumineux : Partie 1 Méthode du maniabilimètre, 2014.

Thèses

- Manuela Lopes, *Evaluation de la durabilité des enrobés chauds et tièdes contenant des agrégats d'enrobés*, (Coopération France-Brésil, CEREMA-IFSTTAR, 2011-2014)
- Angélique Fabre des Essarts, *Maniabilité des enrobés tièdes*, Thèse ESTP (2013-2016).
- Laure Boucard, *Evolution du comportement et de la microstructure d'enrobés économes en énergie en relation avec leur état hydrique*, Thèse IFSTTAR-Région PdL (2013-2016)
- Miguel Perez-Martinez, *Performances à long terme d'enrobés tièdes contenant des recyclés*, Thèse SUP&R ITN Marie Curie (2014-2017).
- Sabine Vassaux, *Miscibilité et remobilisation des liants et impact sur la durabilité des enrobés incorporant des recyclés*, Thèse ANR IMPROVMURE (2014-2017)
- Marion Lambert, *Mûrissement et comportement des enrobés bitumineux à l'émulsion de bitume et impact sur la réponse des chaussées sous trafic*, Thèse CIFRE USIRF (2015/2018)
- Marie Goavec, *Séchage des matériaux de chaussée traités à l'émulsion de bitume*, These IFSTTAR (2015-2018)
- Justine Vinet, *Adhésion et durabilité de matériaux pour infrastructures de transport : Evaluation de l'impact de l'additivation*, Thèse CIFRE EUROVIA, (2016/2019).

Partenariats et contrats

Partenaires

- IFSTTAR, CEREMA, DGITM, IDRRIM
- Universités-Centres de Recherche: Univ Nantes, Centre de Recherche CNRS Paul Pascal Bordeaux, Univ Limoges, ENSC Rennes, ENTPE
- Collectivités : Conseils Généraux (31, 35, 43)
- Entreprises; USIRF, GPB, Eiffage, Eurovia, Charier, Malet, Colas,
- International : RILEM, ISAP

Collaborations majeures :

- Projet '*Innovation en Matériaux et PROCédés pour la Valorisation du MUlti-Recyclage des Enrobés*' (IMPROVMURE), ANR MATETPRO, Partenaires : EIFFAGE Travaux Publics (Pilote), IFSTTAR, ENTPE, CEREMA (2014-2017)
- Projet National '*Multi recyclage et enrobés tièdes*' (MURE), Pilotage IREX.
- Contrat de Collaboration USIRF IFSTTAR Chantier RD26 (2012-2014), Thèse USIRF Grave-Emulsion (2015-2018)
- Sustainable Pavements & Railways Initial Training Network (Financement européen, Marie curie Actions, 2013-2017)
- Convention de recherche-développement ANSES, *Produits routiers bitumineux : vers une nouvelle méthodologie d'évaluation des matériaux et de leurs émission* (2014-2016).

Thèses

En cours :

- Financement IFSTTAR
 - Séchage des matériaux de chaussée traités à l'émulsion de bitume (IFSTTAR, 2015-2018)
- Financement hors IFSTTAR
 - Miscibilité et remobilisation des liants et impact sur la durabilité des enrobés incorporant des recyclés (ANR IMPROVMURE, IFSTTAR-CEREMA-EIFFAGE, 2014-2017)
 - Performances à long terme d'enrobés tièdes contenant des recyclés (ITN Marie Curie, 2014-2017)
 - Mûrissement et comportement des enrobés bitumineux à l'émulsion de bitume et impact sur la réponse des chaussées sous trafic, Thèse Cifre USIRF (2015/2018)
 - Adhésion et durabilité de matériaux pour infrastructures de transport : Evaluation de l'impact de l'additivation, Thèse Cifre EUROVIA, (2016/2019)

Soutenues

- Apport de la physico chimie pour une meilleure formulation et compréhension du comportement au jeune âge des matériaux retraités à l'émulsion de bitume (Layella ZIYANI, Cifre Charier - IFSTTAR, 2010-2013)
- Optimisation de la composition des enrobés bitumineux vis-à-vis de l'adhérence et de son maintien dans le temps (C Hervouet, ERA36-Angers, 2011-2014)
- Evaluation de la durabilité des enrobés chauds et tièdes contenant des agrégats d'enrobés (Manuela Lopes, Coopération France-Brésil, CEREMA-IFSTTAR, 2011-2014)
- Maniabilité des enrobés tièdes (Angélique Fabre des Essarts, ESTP, 2013-2016)
- Evaluation du comportement de mélanges à l'émulsion et de l'interface liant granulat en relation avec leur état hydrique (Laure Boucard, IFSTTAR-Région Pays de Loire, 2013-2016)

Résultats obtenus

- Publication d'un Guide technique IDRRIM Enrobés tièdes
- Suivi des projets financés à l'échelle national (IMPROVMURE) et européen (ITN)
- Suivi du Projet National MURE et de collaborations académiques (CRPP-CNRS Bordeaux, Univ Limoges, ENSCR) et industrielles (USIRF)
- Rapport sur le suivi des chantiers IFSTTAR – USIRF de graves-émulsion
- 5 Rapports de thèse de Layella Ziyani (CIFRE CHARIER), Manuela Lopes (Coll France Brésil), Christelle Hervouet (CEREMA ERA36), Angélique Fabre des essarts (Coll ESTP) et Laure Boucard (IFSTTAR)
- Livrable phare de l'Axe 2 : Méthode MLPC « fumées d'enrobés »
- Méthode MLPC : détection de HAP dans les enrobés (CEREMA DeTerMed)
- 11 Articles de revues scientifiques internationales et plus d'une quinzaine de communications en congrès

Programme pour 2017

- Publications internationales et valorisation des travaux de thèse soutenues et en cours
- Ouvrages : Publications par l'IDRRIM des Guides Techniques IDRRIM « Enrobés à froid » et « Recyclage »
- Thèses : Soutenance des thèses de Miguel Perez-Martinez et de Sabine Vassaux, Avancement des travaux sur le comportement des matériaux à l'émulsion (séchage et comportement mécanique) et de la durabilité des matériaux routiers
- Projets de recherche et de R&D : Rapports sur l'avancement des projets IMPROVMURE et MURE (Axes 1 et 2) et CRD ANSES (Axe 3)
- Contrats : Bilan de l'expérimentation RD26 (IFSTTAR-USIRF-CEREMA) et Suivi du contrat de Recherche avec le CG35-ENSCR-CEREMA-IFSTTAR.

La collaboration structurante de recherche est active jusqu'à la fin de l'année 2016. L'année 2017 sera consacrée à la valorisation des résultats et au séminaire de clôture.

Valorisations proposées et perspectives

- Journée de communication avec l'USIRF sur les avancées scientifiques et techniques des matériaux routiers à l'émulsion de bitume (programmation à organiser en 2017)
- Journée de clôture de collaboration structurante de recherche MBDE en 2017.

ECODEM : Evaluation et COntôle non Destructifs des milieux dispersifs du génie civil par des techniques ElectroMagnétiques

Mots-clés (6 maxi) :

Responsable IFSTTAR Xavier Dérobert GERS, AI
Autre Responsable Cédric Le Bastard CEREMA
Axe de rattachement : 2
Durée : 4 ans (2014-2017)

Enjeux et objectifs

- L'essor du génie civil relève en partie de la recherche et du développement des outils de diagnostic préventif, qui fournissent les paramètres utiles pour caractériser les structures du parc français et qui permettent *in fine* d'estimer un état de dégradation voire un positionnement sur l'échelle de la durée d'exploitation ;
- Les méthodes d'auscultations non destructives existantes ont actuellement des difficultés à estimer certaines caractéristiques physiques, chimiques et géométriques des structures avec une précision compatible avec le besoin exprimé par les maîtres d'ouvrages et par la réglementations française et européenne ;
- Les méthodes de contrôle et d'évaluation non destructifs (C&END) sont fortement demandées pour des raisons de simplicité de mise en œuvre, de coût réduit, d'altération minimale des structures par le carottage et de l'exploitation à grand rendement.
- La réglementation actuelle ne permet plus d'utiliser les sources radioactives permanentes avec la souplesse nécessaire.

Pour répondre à ces problématiques, l'ORSI ECODEM a pour objectifs de :

- Adopter une approche transversale exploitant la physique des ondes électromagnétiques, du continu aux fréquences radar, pour la caractérisation physique et géométrique des infrastructures dans les domaines des ouvrages d'arts, des bâtiments, des chaussées et des sols ;
- Développer des outils de traitement et de modélisation basés sur des modèles physiques capables de prédire l'état de dégradation des ouvrages en bétons hydrauliques, des bâtiments et des sols (i.e. gradients d'indicateurs physiques et hydriques, transversalité et en lien avec l'ORSI APOS) et améliorer la compréhension des phénomènes physiques rencontrés ;
- Développer des outils de mesures EM (i.e. Equipex Sense-City et le CECF Angers et Rouen seront dédiés au prototypage et à la validation de capteurs innovants) pour quantifier avec une grande précision l'état de dégradation des infrastructures routières, à l'image des délaminations entre les différentes couches de chaussées, lié au processus de collage par exemple (transversalité et en lien avec l'ORSI FISSURES et l'action ciblée 11S113 sur les aspects compacité et densité des enrobés). Dans ce cadre, des productions de maquettes (i.e. radar step-freq) et de prototype (i.e. rayons X) sont prévues pour des besoins en recherche et en opérationnel ;
- Mettre en place une méthode d'estimation d'un nouveau paramètre à l'aide du radar géophysique : la rugosité inter-couches et de surface de chaussées et son implication dans les études évoquées ci-dessus et pour le suivi structurel des chaussées.

Rattachement aux objectifs du contrat d'objectifs et de performance de l'IFSTTAR

Les objectifs de l'ORSI ECODEM sont rattachés à l'axe 2 « Construire, déconstruire, préserver, adapter les infrastructures de manière efficace et durable ».

En effet, il s'agit bien d'ausculter, analyser les matériaux, le bâti, les réseaux et le sol par techniques électromagnétiques pour améliorer la durabilité et la prévention des risques et évaluer leurs performances et leurs impacts.

Etat de l'art

La technique radar utilise les propriétés de propagation des ondes électromagnétiques (EM) pour déterminer la géométrie, la structure d'un milieu diélectrique, détecter, localiser, caractériser et

identifier des objets ou couches à l'intérieur de ce milieu. Elle présente l'avantage d'être une technique à grand rendement et sans contact, et d'être particulièrement sensible à la teneur en eau des matériaux auscultés. A ce jour, de nombreux progrès sont encore attendu avec cette technologie radar pour la caractérisation des matériaux (dans les domaines chaussées, sols et ouvrages d'art), pour la détection et la caractérisation de structure (détection de canalisation de gaz ou autre, estimation de rugosité de surface ...). Les enjeux économiques, environnementaux et l'évaluation du risque font du radar un outil prometteur. A titre d'exemple, les mesures nucléaires de teneur en eau et de densité ont longtemps offert une voie efficace de caractérisation de l'état des structures du génie civil, qui conditionne leur comportement mécanique. La réglementation actuelle ne permet plus d'utiliser les sources radioactives permanentes avec la souplesse nécessaire et il est important de développer des alternatives de mesure qui fournissent les mêmes informations sans sources radioactives permanentes. L'utilisation des méthodes ND basées sur la propagation des ondes EM représente une solution adéquate à ce problème.

A ce jour il existe une grande littérature sur l'évaluation et le contrôle non destructifs par les techniques radar (conférence internationale (GPR), workshop (IWAGPR dont l'organisation en 2013 a été portée par l'IFSTTAR et le CETE Ouest).

Les résultats des programmes de recherche du RST, des projets ANR et européens (ACTENA, SENSO, MAREO, COST TU1208,...), des OR closes (11N065, 11N071, 11N073, 13N051, 11N081,...) et ORSI en cours (APOS, FISSURES) ont montré tout le potentiel des outils basés sur la propagation des ondes EM pour la caractérisation des matériaux du génie civil. En effet, une première corrélation entre les observables ND (i.e. constante diélectrique) et les caractéristiques physiques liées à l'état de dégradation des infrastructures (chaussées, ouvrages d'art, réseaux et canalisations,...) a été mise en évidence, et cela en se basant essentiellement sur une approche directe orientée « matériau ».

Nous proposons donc à travers cette ORSI une approche surjective (dont les actions envisagées s'appuient sur des recherches et résultats antérieurs issus du RST) et originale qui consiste à se focaliser sur les bases de la propagation des ondes EM, du continu aux fréquences radar, pour les caractérisations physiques et géométriques des milieux du génie civil en améliorant les performances des technologies et des traitements GPR. Cette organisation de recherche va permettre de rassembler et de coordonner les actions des spécialistes de l'électromagnétisme de Ifsttar et du CEREMA. Enfin, cela permettra d'aboutir d'une part, à une transversalité dans les domaines d'application (ouvrages d'art, chaussées, bâtiments, ...) avec un diagnostic physique allant de la caractéristique microstructurale à la caractéristique macrostructurale et d'autre part, à une complémentarité avec les autres ORSI traitant les problèmes directement liés au matériau (APOS, Fissures, ...).

Sujets traités

Afin de répondre à la problématique posée, l'organisation de l'ORSI se décompose en 3 thèmes qui sont déclinés en un ou plusieurs sujets :

- Thème 1 : Caractérisation électromagnétique des matériaux dispersifs pour l'estimation de leur teneur en eau (responsable : X. Dérobert – GERS – IFSTTAR)
 - Sujet 1 : Application aux structures en béton hydraulique*
 - Sujet 2 : Application aux matériaux du bâti ancien*
 - Sujet 3 : Application aux sols*
- Thème 2 : Caractérisation physique des couches de chaussées (responsable : C. Fauchard – ERA23 – CEREMA)
 - Sujet 4 : Mesure de la densité des enrobés bitumineux par GPR*
 - Sujet 5 : Mesure de la densité des enrobés bitumineux par rayons X*
 - Sujet 6 : Etude de la sensibilité des ondes EM au collage des couches de chaussées*
- Thème 3 : Détection et caractérisation des structures par GPR (responsable : C. Le Bastard – ERA17 – CEREMA)
 - Sujet 7 : Cartographie des réseaux de canalisation*
 - Sujet 8 : Estimation de la rugosité d'interfaces de chaussée par radar ultra large bande*
 - Sujet 9 : Evaluation des défauts d'intégrité des chapes d'étanchéité*

- Lancement du projet en 2014

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 40 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*Cerema*) : 70 hm/an

Produits majeurs visés *mettre en avant les produits majeurs tels que les publications et ouvrages scientifiques, les articles de vulgarisation, guides, thèses, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, les actes de colloques, etc.)*

Préciser l'échéance prévue ou réalisée (année)

- Nouveaux patins d'électrodes associées au Capteur Capacitif SYMeCC

Patins étudiés sur 2015-2016

- Maquettes : radar à sauts de fréquence pour l'auscultation mono-offset des chaussées, des ouvrages d'arts et des bâtiments

- Modèle inverse WGM pour l'estimation des caractéristiques diélectriques et géométriques et milieux multi-couches (gradients)

- Finalisation du prototype rayons X pour la mesure de la densité des chaussées

- Système asservis pour les mesures radar à sauts de fréquence multi-offsets

En cours de construction, finalisation en 2016

- Rapports annuels de recherche relatifs aux projets intégrés à l'ORSI :

- Tutoriel CAPEX (CApacitive methods for Permittivity gradient Extraction), Y. Fargier (Dter NC, ERA44)
- Tutoriel AxERI2D, Y. Fargier (Dter NC, ERA44)
- Mémoire de thèse de doctorat, X. Xiao (soutenue le 06 décembre 2015), « Détermination de gradients de teneur en eau dans les bétons par méthodes électromagnétiques », X. Dérobert, G. Villain et A. Ihamouten
- Rapport de 1ère année de thèse de doctorat, B. Guan, « Characterization of building materials by electromagnetic non-destructive methods: application to limestone », X. Dérobert, G. Villain et A. Ihamouten
- « Mesure de composition des chaussées par RX », Charbel KOUMEIR, Noël SERVAGENT, Vincent METIVIER
- Rapport de stage M2 recherche, IETR Rennes/Cerema, T. Richard « Utilisation du radar à saut de fréquence pour la caractérisation physique et géométrique du collage des couches de chaussées », N. Boutet, A. Ihamouten (Dter O, ERA17)
- Rapport de 2ème année de thèse de doctorat, M. Sun, «Advanced signal processing techniques for GPR by taking into account the interface roughness of a stratified medium», rapport de deuxième année de thèse, 5 pages, avec C. Le Bastard, N. Pinel et Y. Wang
- R. Benot, J-L Saussol, N Sagnard et C. Le Bastard, mise en place de fiches de recueil de données « type » pour la détection des défauts de chape d'étanchéité (à ce jour, 7 fiches sont renseignées).

- Articles scientifiques dans des revues techniques et des revues internationales :

Sagnard F., Norgeot C., Dérobert X., Baltazart V., Merliot E., Derkx F., Lebental B. (2016), "Utility measurements and detection on the urban site Sense-City using ground-penetrating radar", Meas., Vol. 88, pp. 318-330.

Fares M., Fargier Y., Villain G., Dérobert X., Palma-Lopes S. (2016), "Determining the permittivity profile inside reinforced concrete using capacitive probes", NDT&E Int., Vol. 79, pp.150-161.

Schoefs F., Bastidas-Arteaga E., Trung-Viet T., Villain G., Dérobert X. (2016), "Characterization of random fields from NDT measurements: a two stage procedure", Eng. Struct., Vol. 111, pp. 312-322.

Garnier V., Henault J.M., Hafid H., Verdier J., Chaix J.F., Abraham O., Sbartai Z.M., Balaýssac J.P., Piwakowski B., Villain G., Dérobert X., Payan C., Rakotonarivo S., Larose E., Sogbossi H., Vu Q., Lott M., Legland J.B., Durand O., Drelich R., Ciccarone C. (2016), "Containment nuclear plant structures evaluation by non destructive testing: Strategy and results", 3th TINCE 2016 Proc., Paris (FR), sept.

Guan B. Ihamouten A., Dérobert X., Villain G. (2016), "Model of step-frequency radar wave propagation through partially wet limestone", 14th GPR'2016 Cong. Proc., Hong-Kong (CH), June.

Dérobert X., Villain G. (2016), "EM characterization of concretes focused on water and chloride content in the frame of multi-linear experimental designs", 14th GPR'2016 Cong. Proc., Hong-Kong (CH), June.

Simonin J.M., Baltazart V., Le Bastard C., Dérobert X. (2016), "Progress in monitoring the debonding within pavement structures during accelerated pavement testing on the Ifsttar's fatigue carousel", 8th Int. RILEM Conf. Proc., Nantes (FR), June.

Sagnard F., Norgeot C., Dérobert X., Baltazart V., Merliot E., Derkx F., Lebental B. (2016), "Parametric pipe detection on the urban site Sense-City using GPR", EGU2016 cong. Proc., Vienna (AU), Apr.

Villain G., Balayssac J.P., Fares M., Sbartai S.M., Lataste J.F., Dérobert X. (2016), "Comparaison de profils de taux de saturation obtenus par plusieurs méthodes non destructives électriques et électromagnétiques", actes Cong. Diagnobéton, Marrakech (MA), mars.

S. Araujo, L. Delbreilh, L. Laguerre, H. Dumont, C. Fauchard. Rock permittivity characterization and application of electromagnetic mixing models for density/compactness assessment of HMA by means of Step Frequency Radar. Extended abstract in International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering Proceedings, Berlin Germany, pp 607-611, Septembre 2015

S. Araujo, L. Delbreilh, L. Laguerre, H. Dumont, R. Antoine, C. Fauchard, Etude diélectrique des roches sur la bande [0.5 4 GHz] : influence de la masse volumique et de la teneur en eau, Journées scientifiques Agapqualité, Grenoble 2015

M. Sun, N. Pinel, C. Le Bastard, V. Baltazart, A. Ihamouten and Y. Wang, "Time delay and surface roughness estimation by subspace algorithms for pavement survey by radar", Near Surface Geophysics, vol. 13 (3), pp. 279-287, 2015

Fares, M; Villain, G; Fargier, Y; Thiery M; Dérobert X; Palma Lopes S, International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), September 15 - 17, 2015, Berlin Germany, Estimation of water content gradient and concrete durability indicators using capacitive and electrical probes,

EuRAD 2015, 12th European Radar Conference, 09 - 11 September 2015 / France, Paris, Recent developments of EM non-destructive testing in the radar frequency-band for the evaluation of cover concretes, X. Dérobert, G. Villain and A. Ihamouten

The 8th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar - IWAGPR 2015, 2015, July 7 - 10, 2015, Florence, Italy, Use of electromagnetic waves propagating in multilayer waveguide to characterize water transfer in concrete, X. Xiao, X. Dérobert, G. Villain and A. Ihamouten

International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), September 15 - 17, 2015, Berlin, Germany, The use of machine learning algorithms (SVR) to link volumetric water content and complex permittivity of concretes, Amine IHAMOUTEN, Cedric LE BASTARD, Jean-Noël GAUDIN, Géraldine VILLAIN and Xavier DEROBERT

International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), September 15 - 17, 2015, Berlin, Germany, Application of electromagnetic waves propagating in multi-layered waveguide to monitor chloride ingress into concrete, Xiaoting Xiao; Amine Ihamouten; Géraldine Villain; Xavier Dérobert

Elsevier Editorial System(tm) for NDT & E International Journal (2015), Accepted, Use of Electromagnetic Two-layer Wave-Guided Propagation in the GPR Frequency Range to Characterize Water Transfer in Concrete, Xiaoting Xiao; Amine Ihamouten; Géraldine Villain; Xavier Dérobert

Conférence sur les Systèmes Intelligents et leurs Applications Electroniques, 7-9 juin 2016, Angers, Caractérisation EM des couches d'accrochage dans les structures de chaussée, Théo RICHARD, Amine IHAMOUTEN, Nathalie BOUTET, Frédéric BOSCH, Marc BRENUGAT, Mohamed LATRACH

M. Sun, C. Le Bastard, Y. Wang, N. Pinel and J. Li, "Time delay estimation using ESPRIT with extended improved spatial smoothing techniques for radar", IEEE Geoscience and Remote

Sensing Letters, vol. 13 , no. 1 , pp. 73-77, 2016

M. Sun, C. Le Bastard, N. Pinel, Y. Wang and J. Li , "Road surface layers geometric parameters estimation by ground penetrating radar using Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques method", *IET Radar, Sonar & Navigation*, vol. 10, Issue 3, pp. 603-609, 2016,

N. Pinel, C. Le Bastard and C. Bourlier, "Asymptotic modelling of coherent scattering from rough pavements", *12th European Radar Conference EURAD 2015, Paris, France, September, 2015*

M. Sun, C. Le Bastard, N. Pinel, Y. Wang and J. Li, "Road parameters estimation By GPR using ESPRIT method", *Third Sino-French Workshop on Education and Research collaborations in Information and Communication Technologies, SIFWICT 2015 , Nantes, France, June, 2015*

Partenariats et contrats

Participants (structures de recherche) : AI – COSYS – MAST (IFSTTAR), ERA17 – DLRC – DLRB (Cerema Dter Ouest), ERA23 – ERA DOF Blois – CECF Rouen – CER Rouen (Cerema Dter NC), CSTB, Université de Nantes, SUBATECH Ecole des Mines de Nantes, IETR, Ecole Centrale de Nantes, LR d'Autun – unité DETC/DESPES (Cerema Dter CE Lyon), EDF, Ecole Polytechnique de Montréal, Université Paris 6, UMR Sisyphe, Cerema Dter IDF, USIRF/EIFFAGE, AMME LECAP Rouen.

Intégration du projet européen TUD COST Action TU1208 Civil Engineering Applications of Ground Penetrating Radar

Thèses

Thèses (y compris celles en association) et financeur (Ifsttar, Cerema, autres) (*uniquement pour les ORSI*) :

- Thèses obtenues en 2015 :
Théo RICHARD (2015-2018) : « Estimation de la teneur en eau massique d'un sol par inversion conjointe de sa permittivité effective et de sa résistivité apparente », univ. Nantes (X. Dérobert, A. Ihamouten) Ifsttar GERS – Cerema/Dter Ouest ERA17
- Thèses soutenues en 2015 :
Carole KAOUANE : « Estimation de la teneur en eau massique d'un sol par inversion conjointe de sa permittivité effective et de sa résistivité apparente », univ. Nantes (P. Côte et C. Fauchard) Ifsttar GERS – Cerema/Dter NC ERA23, dec 2015.
Xiaoting XIAO : "Determination of water content gradients in concrete by electromagnetic methods", univ. Nantes, déc, Co-direction avec G. Villain, nov. 2015.

Résultats obtenus *ce paragraphe est initié à la fin de la première année de vie de l'outil incitatif et mis à jour annuellement)*

Bilan 2015-2016

Thème 1 : Caractérisation électromagnétique des matériaux dispersifs pour l'estimation de leur teneur en eau

Sujet 1 :

Montage et démarrage du projet RFI (région Pays de la Loire) DADIM-PdL sur le Diagnostic Autonome et à Distance des Infrastructures Maritimes en région Pays-de-Loire (projet accepté et démarrage des travaux en 2016). (IETR Nantes – ESEO Angers – ERA17/DTO/Cerema). Démarrage de la thèse Cerema/IETR de T. Richard sur le Diagnostic Autonome et à Distance des Infrastructures Maritimes en région Pays-de-Loire. (IETR Nantes – ESEO Angers – ERA17/DTO/Cerema).

Suivi des fronts de carbonatation et d'imbibition d'eau dans les bétons hydrauliques par une approche inverse faisant appel au modèle du guide d'onde EM multi-couches (Soutenance de thèse IFSTTAR de X. Xiao le 08 Décembre 2015 (LAI/GERS/IFSTTAR – ERA17/DTO/Cerema)). (Cf. ORSI APOS).

Optimisation des traitements à base d'apprentissage SVR (Support Vector Regression) pour les estimations de la teneur en eau volumique pour une large gamme de bétons hydrauliques aux états homogènes. Validation sur la base complète du projet EPSILON. (LAI/GERS/IFSTTAR – ERA17/DTO/Cerema).

Développement et vulgarisation du code d'inversion CoLibRI43 et CAPEX, partagée avec : l'ERA 23 (Cyrille Fauchard), l'équipe Auscultation et Imagerie de l'Ifsttar Nantes (Xavier Dérobert, Sérgio Palma Lopes) et EDF R&D Chatou (Barthélémy Steck).

Développement de méthodes d'auscultation (destructives et non destructives) des ouvrages hydrauliques (digues, barrages, ...) objet de spécialité de l'ERA44 et du groupe "Environnement et Risques" du Laboratoire Régional de Blois. Amélioration et innovation de l'outil Permeafor pour l'auscultation des ouvrages hydrauliques en terre. ERA44/DTNCCerema).

Sujet 2 :

Démarrage de la thèse Cerema/IFSTTAR sur « la caractérisation physique et hydrique des matériaux du bâti ancien par propagation des ondes EM : application au tuffeau ». Poursuite des essais de conditionnement hydrique d'une large gamme de corps d'épreuve en tuffeau dans le cadre de la thèse de B. Guan (Cerema/IFSTTAR). Couplage de la variante 2p du modèle de Jonscher avec l'inversion de forme d'ondes EM via l'utilisation du radar à sauts de fréquence pour le suivi des fronts d'imbibition d'eau dans le tuffeau.

Instrumentation de la plate-forme tuffeau du DLRCA pour le suivi des transferts hydriques dans les blocs. L'objectif étant de valider l'approche inverse développée dans le cadre de la thèse de B. Guan sur une structure de grande nature menant à la réalisation d'une cartographie hydrique des parois en tuffeau à partir de mesure ND EM sans contacts.

Développement d'un banc automatisé et d'un robot de cartographie pour l'estimation des gradients de teneur en eau volumique dans le tuffeau ainsi que pour les caractérisations diélectriques et géométriques d'une large gamme de matériaux et de structures du génie civil (cahiers des charges + 1ères réalisations en 2015).

Sujet 3 :

La **DTer Normandie-Centre** (DERDI – CER, LRR – ERA 23, LRB – ERA 44) et la DTer Est (LR Strasbourg - ERA 32) proposent l'utilisation des méthodes électromagnétiques et acoustiques pour caractériser différents types de sols naturels ; A ces fins, des planches de matériaux sont mises en place au CER de Rouen. Différentes compacités ont été mises en œuvre, de manière à étudier l'impact de ce paramètre sur les résultats ; l'influence de la teneur en eau sera également suivie.

D'un point de vue acoustique, deux méthodes de mesure in situ sont comparées avec une méthode de référence en laboratoire. La première méthode in situ est issue de la norme américaine ANSI S1.18 et fait intervenir une configuration en incidence rasante. La deuxième méthode, également très largement utilisée, est dite du doublet microphonique et sera pratiquée à incidence normale. Enfin, la méthode de référence est celle du tube d'impédance à trois microphones en laboratoire. Pour ces dernières mesures, des échantillons des différents sols seront prélevés aux emplacements ayant fait l'objet des mesures in situ. Différents paramètres liés à la microstructure des matériaux (tels que la porosité, la résistivité au passage de l'air et la tortuosité) sont estimés par méthodes inverses à partir des mesures in situ et des mesures en laboratoire.

D'un point de vue électromagnétique, deux méthodes sont employées : la méthode de Tomographie de Résistivité Électrique et le GéoRadar. La première est employée à la fois en laboratoire et de manière in-situ et permettra la caractérisation de la porosité et de la teneur en eau des matériaux prélevés et en place. La méthode géoradar est appliquée exclusivement sur les planches d'essai afin de déterminer la teneur en eau et la compacité des matériaux.

Parallèlement des essais de laboratoire (norme ISO) permettant la détermination de la porosité, de la teneur en eau, de la perméabilité à l'eau sont réalisés afin de valider/qualifier les essais non destructifs réalisés.

Enfin, un travail conjoint de la DTer Normandie-Centre (CER) et de la DTer Est (ERA 32) est mené sur la comparaison de modèles de propagation existants dans les sols naturels.

DLRCF/DTCE :

Définition d'un plan d'expériences pour acquisition des données manquantes avec les laboratoires de Rouen et Angers → rapport méthodologique ; Acquisition des données manquantes pour comparer les spectres recueillis à divers niveau d'énergie ; Communications au congrès International Symposium on Non-Destructive Testing in Civil Engineering NDT-CE 2015, Berlin, 15-17 septembre 2015 ; visite au laboratoire de recherche et de développement de Thermofischer à Munich pour formation / information et recueil de l'outil logiciel pour traiter les spectres bruts de PXRF.

DLAix/DTMed (GRN) :

L'action consiste en la réalisation de 4 séries (une par saison) de mesures géophysiques de surface (TRE et GPR) ce qui permettra d'obtenir une imagerie et des valeurs directement comparables aux mesures plus ponctuelles mais plus précises obtenues par les méthodes en forage (réalisées par l'ERA02). La comparaison des valeurs à celles obtenues en sondage permettra un calage des modèles de mesures de teneur en eau basés sur les mesures de surface seules.

Thème 2 : Caractérisation physique des couches de chaussées

Sujet 4 :

Banc EM : En 2015, cette action a porté sur le développement d'antennes de contact modélisées en FDTD pour la caractérisation d'échantillons bitumineux cylindriques. (ERA23 – CER, USIRF EIFFAGE et LECAP Rouen)

Caractérisation diélectrique des roches constituant les enrobés bitumineux : cette action porte sur la caractérisation en cavités cylindriques des roches. (Collaborations : Rouen ERA23 et USIRF EIFFAGE)

Mesures de la compacité : En 2015, cette action a porté sur l'étude de nouveaux modèles de permittivité – influence de la rugosité de surface et de la teneur en eau résiduelle. Pour ce dernier sujet, le démarrage d'une thèse est effectif depuis fin 2014. (GERS/AI/IFSTTAR – ERA23/DTNC/Cerema)

La DTer Normandie-Centre propose d'appliquer deux méthodes non destructives sur des planches d'enrobés expérimentales qui sont construites à cet effet au DLRC A Angers et au CER Rouen ; ces planches comportent des revêtements de différentes densités et porosités (Cf. sujet 6).

La première méthode de caractérisation fait intervenir les ondes électromagnétiques (ERA 23) et permet de mesurer la densité des enrobés ; les résultats obtenus sont comparés à celles déduites de mesures sur échantillons au banc gamma.

La seconde méthode utilise les ondes acoustiques (CER, résultats issus de la thèse de G. Benoit) et produit une estimation de la porosité, de la résistivité au passage de l'air (inversement proportionnelle à la perméabilité) et de la tortuosité du revêtement poreux ; des carottes de revêtement seront également prélevées pour la comparaison des résultats avec des mesures en laboratoire (tube d'impédance).

Sujet 5 :

Les actions de recherche conduites en 2015 ont débuté par l'utilisation du nouveau détecteur de photons X pour étudier les points suivants :

- L'influence de la nature chimique sur la mesure de la densité (SUBATECH/Ecole des Mines de Nantes – DLRCA/DTO/Cerema) ;
- La quantification de la sensibilité en fonction de la teneur en liant (SUBATECH/Ecole des Mines de Nantes – DLRCA/DTO/Cerema) ;
- La caractérisation de la composition chimique des éprouvettes et des éléments d'impuretés qu'elles renferment (SUBATECH/Ecole des Mines de Nantes – DLRCA/DTO/Cerema).

Sujet 6 :

- Suite et fin de la fabrication des échantillons associés au plan d'expérience adopté (DLRCA /DTO/Cerema) ;
- Caractérisation des antennes Vivaldi (A4 800 MHz-10 GHz) pour l'optimisation des dimensions des corps d'épreuves avec la prise en compte des contraintes des volumes élémentaires représentatifs, celles des champs proches et lointains ainsi que celles liées aux effets de bords ;
- Réalisation des essais (stage M2 recherche) + interprétation des résultats issues des mesures par radar à sauts de fréquence (DLRCA /DTO/Cerema) ;
- Chantier test sur site : Poursuite du recueil des données terrain (DLRCA /DTO/Cerema) ;
- Validation de l'approche inverse (Fonction de Green dans le cadre d'un dipôle hertzien vs. Radar à sauts de fréquence) pour l'estimation de la permittivité diélectrique en fonction de la profondeur d'une large gamme de couche de bétons bitumineux : étude de la sensibilité aux paramètres liés au collage (DLRCA /DTO/Cerema) ; validation de cette approche sur les chantiers de la Gaubretière et des Herbiers (85) ;
- Participation au remplissage de la base de donnée chaussée / chantier radar en utilisant la fiche élaborée en 2014 en utilisant les chantiers les plus représentatifs des années précédentes. (Autun, Saint-Brieuc, Aix en Provence) ;
- Des investigations ont été réalisées sur un ouvrage d'art présentant des gonfles avec une auscultation radar type impulsionnel (antenne de contact de 2,6 GHz) et une auscultation en thermo-infra rouge afin de comparer ces deux techniques (APEI/DLAix/Cerema).
- mise en place d'une base de données en croisant les auscultations radar avec les prélèvements, afin de mettre en lien les amplitudes des échos fonction des défauts des interfaces. Cette base de données sera alimentée par les données des autres laboratoires (APEI/DLAix/Cerema).
- mise en place d'une base de donnée chaussée / chantier radar. Une fiche type a été proposée fin 2014. Cette fiche permet aux laboratoires concernés par ce recueil (Autun, Aix,...) de recenser les chantiers radar réalisés sur chaussée en précisant notamment les méthodologies de mesure et d'interprétation appliquées, et en indiquant, en particulier le type de structure, les amplitudes relevées ... Deux exemples seront proposées pour valider la fiche. (DLRB/DTO/Cerema).

Thème 3 : Détection et caractérisation des structures par GPR

Sujet 7 :

Dans le cadre de ce sujet, le Cerema (Angers), l'Ifsttar et l'Université Polytechnique de Hong-Kong ont répondu à l'AAP ANR/RGC (projet GramToMace) sur la problématique de

localisation des fuites d'eau dans les réseaux de canalisation en milieux urbains par méthodes EM. Une approche multi-échelle est proposée pour la transposition des méthodes d'inversion de forme d'onde EM du domaine des structures en béton hydraulique (béton d'enrobage) au domaine des sols urbains (proche surface).

Sujet 8 :

Une méthode de traitement de signal est proposée pour estimer à la fois les temps de propagation et la rugosité d'interface. La méthode proposée est premièrement évaluée sur des signaux simulés en 2015.

Sujet 9 :

APEI/DLAix/Cerema :

il s'agit de terminer la recherche bibliographique sur les méthodes de caractérisation des chapes d'étanchéité débutée fin 2014 et de réaliser un état zéro sur le site test à trouver. Ce travail est réalisé conjointement avec l'ERA17, le laboratoire de Saint Briec et d'Autun..

DLRB/DTO/Cerema :

Finaliser la note sur les difficultés rencontrées lors de l'acquisition (cartographie radar) et le traitement : Identifier les différents verrous.

Valider et alimenter la fiche type de recueil de chantier radar/chape étanchéité.

DLAutun/DTCE/Cerema :

Utiliser l'expérience du DLA (diagnostic de chape sur 2 ouvrages correspondant à 4 tabliers) pour participer à l'élaboration d'une note de retour d'expérience sur les difficultés rencontrées lors de l'acquisition et de l'exploitation des fichiers Radar.

Valider et alimenter la fiche type de recueil de chantier Radar pour l'auscultation Radar en collaboration avec les laboratoires participant au sujet 9 : Aix en Provence et Saint-Briec

Programme pour l'année à venir

Poursuite des actions listées dans le bilan 2015-2016.

Valorisations proposées et perspectives

Poursuite des actions de publication (revues scientifiques et congrès internationaux)

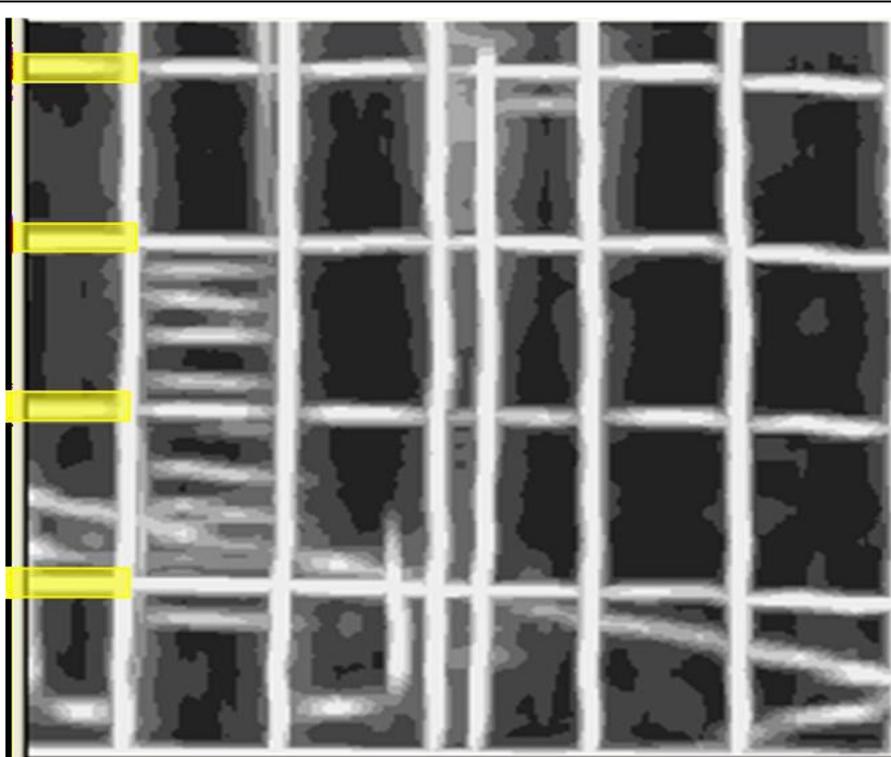


Figure 11 : Cartographie Radar 3D d'une poutre VIPP.

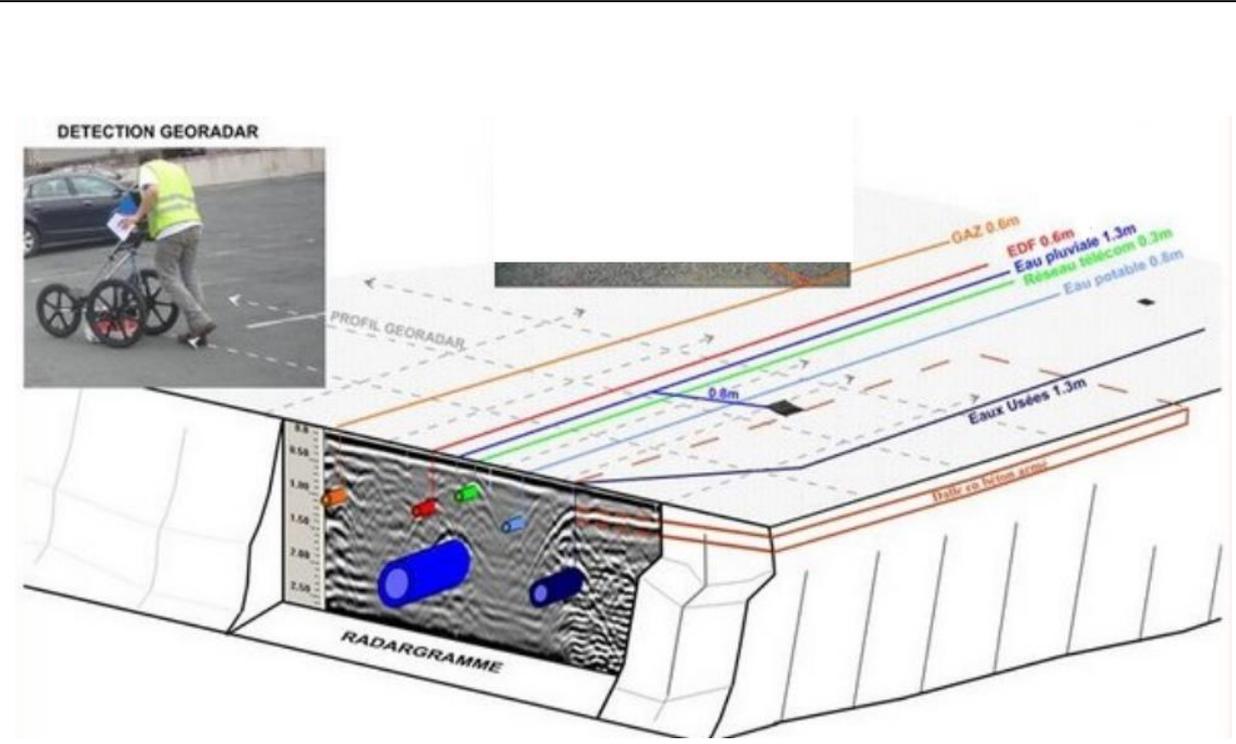


Figure 12 : Cartographie Radar 3D d'un réseau de canalisations.

ACORS : Nouvelles applications des armatures composites pour le renforcement interne et externe des structures en béton armé

Mots-clés (6 maxi) : Armatures - Renforcement - Composites - Collage - CND

Responsable IFSTTAR K. BENZARTI MAST/NAVIER, M. QUIERTANT MAST/EMMS

Autre Responsable C. AUBAGNAC (CEREMA)

Axe de rattachement : 2

Durée : 6 ans (2013-2018)

Enjeux et objectifs (*problématique scientifique, enjeux sociétaux concernés, originalité du projet, articulation avec le COP, références bibliographiques*). Ce paragraphe reste inchangé sur toute la durée de vie de l'outil incitatif.

Cette collaboration structurante de recherche aborde à la fois l'application des matériaux composites pour le renforcement interne des structures de génie civil, domaine relativement nouveau et doté d'un potentiel intéressant en France, et vise également à accompagner les évolutions technologiques et à approfondir les recherches déjà initiées à l'Ifsttar et au CEREMA sur le renforcement de structures par collage d'armatures externes en composites. Elle reprend également les thématiques de l'ORSI AIPAD (clôturée fin 2013) relatives aux renforts composites et aux assemblages collés innovants, formant ainsi un ensemble cohérent.

1) Contexte et intérêt du renforcement interne par armatures composites

La corrosion des armatures en aciers constitue la première cause de dégradation des ouvrages en béton armé. Dans ce contexte, l'utilisation d'armatures composites en polymères renforcés de fibres (PRF) peut constituer une solution avantageuse, car ces matériaux ne sont pas sujets à la corrosion. Malgré le potentiel important de cette application en France (infrastructures côtières/portuaires), les développements sur le terrain restent marginaux. Il existe en effet un problème d'acceptation par les maîtres d'ouvrage en raison du coût initial élevé de ces matériaux, mais également en raison de la faible rigidité de certaines armatures en PRF et d'une méconnaissance du comportement de l'interface béton/PRF vis-à-vis des alcalin du béton et des cycles thermiques. Ces points justifient la mise en place d'actions de recherche ciblées à l'Ifsttar.

2) Enjeux liés aux développements des techniques et des matériaux

A l'échelle internationale, le marché des composites pour le renforcement structurel (la majeure partie étant constituée des renforts externes collés), poursuit un développement continu dans un contexte de confiance accrue qui conduit à des applications sur ouvrages de plus en plus dégradés et/ou soumis à des sollicitations sévères. De nouvelles armatures composites, de nouvelles techniques de collage et de nouveaux matériaux apparaissent sur le marché. Pourtant les résultats acquis lors de la précédente opération de recherche de l'Ifsttar ont démontré que certains produits se montrent moins performants et se dégradent avec le temps. ACORS vise donc plusieurs objectifs principaux :

- **Accompagner les entreprises** dans le développement de nouvelles méthodes de renforcement interne ou externe des structures et dans la conquête de nouveaux marchés :
 - réhabilitation des réseaux d'approvisionnement en eau dans la cadre du projet **FUI REPTILES** piloté par Freyssinet International (officiellement clos en 2016)
 - développement de techniques d'auscultation et de contrôle non destructif (CND) de la qualité de collage des renforts composites avec **EDF R&D** (thèse A. Billon),
 - évaluation de la durabilité des systèmes de mesures réparties de déformation par câbles à fibres optique collés en parement de structures en béton, avec **IRSN**,
 - réalisation de **prestations d'essais** en vue de caractériser la durabilité de systèmes de renforcement du commerce ou des systèmes de CND (Sika, EDF R&D...)
- **Consolider les résultats des études précédentes** concernant la durabilité des systèmes de renforcement, à travers notamment:
 - le lancement de nouvelles études de vieillissement des interfaces béton/renforts composites, mettant en œuvre des couplages entre sollicitations mécaniques et environnementales, de manière à dégager des effets de synergie,

- la poursuite du **suivi d'ouvrages réels renforcés** par matériaux composites collés qui a été initié en 2002 en liaison avec le CEREMA. Ce suivi vise également à confronter les résultats obtenus en laboratoire à la réalité du terrain.
- **Mener des recherches exploratoires visant à développer des matériaux innovants** (nouvelles matrices et adhésifs, nouvelles fibres, nouvelles techniques de mise en œuvre). Parmi ceux-ci citons **les d'adhésifs renforcés par nanocharges**, les **composites à fibres naturelles** ou à empreinte environnementale réduite.
- **Faire évoluer les recommandations à l'usage de la profession :**
 - Co-pilotage par M. Quiertant **du groupe de travail de l'AFGC** sur le renforcement par composites collés, en lien avec l'Assoc. Française du génie ParaSismique AFPS. Parution du guide AFGC « Renforcements parasismiques de structure béton armé par matériaux composites » en 2015, version anglaise en 2016.
 - participation à **l'Action COST TU 1207**: Next Generation Design Guidelines for Composites in Construction. M. Quiertant, S. Chataigner, K. Benzarti membres du Management Committee
 - participation de S. Chataigner et K. Benzarti **au groupe de travail AFNOR P06E GE4** «Calcul des structures FRP» rattaché au CEN/TC 250 «Eurocodes Structuraux».
 - Participation **aux travaux du Canadian Standard Association (CSA)** pour l'établissement de normes d'essais sur les composites de renforcement (M. Quiertant et K. Benzarti membres associés)
 - Montage d'un groupe de travail avec le CEREMA et l'AFCAB en vue d'élaborer **un référentiel de certification AFCAB** pour les armatures composites destinées au renforcement interne des structures BA (S. Chataigner, M. Quiertant et K. Benzarti impliqués pour l'Ifsttar)
 - Entente MTMDET – IFSTTAR (en cours) réunion téléphonique (France Canada) mensuelle destinée au partage d'information sur le sujet des armatures composites
- **Constituer un cadre et un lieu de rassemblement de compétences pour monter des projets collaboratifs** en lien avec le thème traité. Parmi ceux-ci, citons :
 - **Organisation du 9ème congrès International CICE** en 2018 (Conference on Composites in Civil Engineering) sur le campus de Marne la Vallée, en association avec l'Université Lyon I et l'Ecole des Ponts Paritech.
 - **Projet FASST-Bridge (Infraction)** sur le renforcement de structures métalliques par composites collés. Financement accepté en 2015, réalisation du projet sur la période 2016-2017
 - **Projet ANR Micro (Matériaux Innovants Composites pour la Réparation d'Ouvrages)**, coordonné par K. Benzarti, en collaboration avec l'Université Lyon 1. Projet retenu lors de l'AAP 2015 pour financement par l'ANR. Réalisation du projet sur la période 2016-2020
 - **Projet Isolhab** (Développement de nouveaux matériaux biosourcés à base de bois de palmier dattier (BPD) pour l'**SOL**ation thermique dans l'**HAB**itât). Projet retenu dans le cadre du Programme Tassili 2016 (Partenariat Hubert Curien). Collaboration entre l'Ifsttar (K. Benzarti), l'Université PE-Créteil (A. Boudenne, porteur du projet) et l'Université de Batna en Algérie. réalisation du projet sur la période 2016-2018.
 - **PROJET ANR ILISBAR** (Identification du comportement des **L**iaisons d'une **S**tructure **BA** dans le cas d'un **R**enforcement parasismique). Projet retenu par l'ANR lors de l'AAP 2016, démarrage prévu en 2017 pour une durée de 42 mois. Coordinateur L. Michel (LMC2-Université Lyon 1), M. Quiertant intervient comme responsable scientifique pour l'Ifsttar dans ce projet.
 - **Soumission d'un projet de recherche collaboratif (PRC) dans le cadre de l'AAP 2017.** Sujet : **HELMET** « Self Healing Basalt Modified epoxy composites », en collaboration avec l'ICMPE (M. Chehimi coordinateur du projet). Navier (K. Benzarti) serait partenaire du projet.
 - **Soumission d'un projet de recherche collaboratif International (PRCi) dans le cadre de l'AAP 2017.** Sujet : **ACORS** « Armatures **C**omposites pour le **R**enforcement interne de **S**tructures en béton: optimisation du process de fabrication et application en précontrainte », en collaboration avec l'Université de Sherbrooke au

Canada (K. Benzarti coordinateur pour l'Ifsttar, B. Benmokrane pour la partie Canadienne)

3) Transfert de certaines thématiques relatives aux matériaux composites et assemblages collés de l'ORSI AIPAD vers ACORS. Ce transfert concerne principalement ;

- Les recherches sur le **renforcement des ouvrages métalliques par composites collés**. Cette activité est principalement menée à l'Ifsttar-MAST-SMC (S. Chataigner) en liaison avec l'ERA 43 (CEREMA/DL Autun).
- Le programme d'expérimentations sur la **poutre du VIPP de Clerval**, dédié à la caractérisation d'un élément de structure à l'échelle 1 (poutre VIPP) renforcé par composites.
- **Les travaux sur le collage Bois/Béton**, dont l'objectif est de développer des méthodes expérimentales spécifiques permettant d'évaluer le comportement mécanique et la durabilité de ce type d'assemblage innovant et écologique.

Etat de l'art

- Les premières conclusions établies au LCPC dans le cadre de l'opération de recherche 11N053 (2005 - 2008) ont permis de confirmer l'efficacité des systèmes de renforcements par composites collés mis en place sur les structures en béton armé. Cette méthode de réparation alors largement répandue se devait d'être qualifiée dans un cadre scientifique. Les résultats obtenus ont largement contribué à l'évolution des recommandations du groupe AFGC et ont notamment permis au LCPC de tisser un réseau avec les entreprises applicatrices de ces procédés. Des dispositifs de caractérisation mécanique et des méthodes de contrôle non destructif des joints collés ont été développés et ont rapidement été appliqués sur les chantiers. Le positionnement de l'équipe ressource « matériaux composites » du LRPC d'Autun s'en était ainsi trouvé renforcé.

- Cette première avancée très positive a ensuite été complétée par des études sur la durabilité des systèmes de réparation à base de renforts composites collés menés dans le cadre de l'opération RPR1S09006 (ex 11R096) sur la période 2009-2012. Ces nouvelles investigations ont permis d'établir des protocoles de vieillissement accélérés pertinents mettant en jeu des sollicitations complexes (étude du vieillissement sous charge dans la thèse de N. Houhou soutenue en 2012 par exemple) et ont révélé d'importantes disparités en termes de durabilité entre les différents systèmes de renforcement présents sur le marché. L'équipe ressource du Département Laboratoire d'Autun est devenue l'ERA n°43 « Collage Structural et Matériaux Composites ».

Sujets traités.

Sujet 1 : Projet REPTILES (Responsable : M. Quiertant, EMMS)

Sujet 2 : Durabilité des structures renforcées par armatures composites internes
(Responsables : K. Benzarti, Navier et S. Chataigner, SMC)

Sujet 3 : Renforcement par matériaux composites collés

(Responsables : M. Quiertant, EMMS, et K. Benzarti, Navier)

Sujet 4 : Expérimentations sur la poutre du VIPP de Clerval

(Responsable : C. Aubagnac)

Sujet 5 : Solutions de renforcement et assemblages collés innovants

(Responsables : S. Chataigner, SMC, et K. Benzarti, Navier)

Sujet 6 : Méthode d'évaluation non destructive (END) des interfaces collées

(Responsable : K. Benzarti, Navier, M. Quiertant, EMMS)

Implication prévue

Temps prévus lfsttar (*ordre de grandeur*) : environ 60 h.mois

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : CEREMA

Produits majeurs visés (*mettre en avant les produits majeurs tels que les publications et ouvrages scientifiques, les articles de vulgarisation, guides, thèses, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, les actes de colloques, etc.*)

Préciser l'échéance prévue ou réalisée (année)

2013	<ul style="list-style-type: none">- Soutenance et manuscrit de thèse Jean-Marie Hénault (effective au 18/11/2013)- Projet Clerval :- achèvement de la plate-forme d'essai au DL Autun (effective janvier 2014)
2014	<ul style="list-style-type: none">- Rapport d'étude contractuelle XQ2-F14603 avec EDF (effectif Avril 2014)- Rapports intermédiaires des groupes de travail du Projet Reptiles (effectif mars 2014)- Projet Clerval : Levage et mise en place de la poutre sur la plate-forme (effectif avril 2014). Evaluation Dynamique et renforcement de la poutre (2^{ème} semestre 2014).- Livraison du prototype de machine de traction portable développé par le CECPR (2ème semestre 2014)- Etude bois/béton : rapport complémentaire du DL Autun sur l'étude de vieillissement du collage bois/béton (en lien avec MAST-Navier).- Dépôt d'un dossier de candidature pour l'organisation du congrès CICE 2018 sur le campus Bienvenue. Le dossier a été retenu en aout 2014
2015	<ul style="list-style-type: none">- Soutenance et manuscrit de thèse d'A. Rolland (effective 27 mars 2015)- Soutenance et manuscrit de thèse de M. Da Cruz (effective 10 juillet 2015)- Rapports finaux des groupes de travail du Projet Reptiles.- Nouvelles recommandations de l'AFGC : Renforcement parasismiques de structures en béton armé par matériaux composites – Recommandations provisoires (effective juin 2015)- Projet Clerval : Réalisation de la première série d'essais de chargement visant une rupture en flexion (effectif juillet 2015).- Appels à projets : succès sur l'appel à projets Infravation (projet FASST-Bridge) en Novembre 2015 et sur l'AAP ANR 2015 (projet Micro) en juillet 2015.
2016	<ul style="list-style-type: none">- Projet Clerval : Réalisation de la seconde série d'essais de chargement visant une rupture au tranchant. Rapport d'exploitation des résultats et rédaction d'un ERLPC « Expérimentation Poutre de Clerval » (effective le 30 juin 2016)- Appels à projets : succès sur l'AAP ANR 2016 (projet ILISBAR) en juillet 2016.- recrutement d'un doctorant dans le cadre du projet ANR Micro (Thèse démarrée en octobre 2016 – Robert Chlela)- Soutenance et manuscrit de thèse d'A. Billon (prévue 8 décembre 2016)
2017	<ul style="list-style-type: none">- Démarrage du projet ANR ILISBAR en janvier 2017. Recrutement d'un post-doc à l'lfsttar.- Soutenance et manuscrit de thèse d'E. Leprêtre (prévu en janvier 2017)- Organisation de la Conférence JNC 20 à l'ENPC (prévu juin 2017)- Qualification du prototype de machine de traction portable « MACICO »- Valorisation des résultats d'essais de la poutre de Clerval (ERLPC ?)- Soumission de 2 projets à l'AAP ANR 2017 (projets HELMET et ACORS)

Partenariats et contrats (*nom des partenaires et externes internes (notamment pour les projets fédérateurs et les ORSI) ; pour les contrats préciser le financeur, nom du projet, descriptif sommaire, période*)

- Projet FUI REPTILES (réhabilitation des canalisations d'eau potable) piloté par Freyssinet International (partenaires : Freyssinet, NECS, CIP, Bostik, Porcher Industries) et démarrant en Novembre 2012. Ce projet a été clôturé en 2016.
- Thèse Cifre EDF Astrid Billon sur les méthodes CND (2014-2016)
- Projet de développement "machine de traction portable" avec le CECPR et le DL Autun (financement par TITRE 9 déjà accepté dans l'opération 11R096 pour les années 2013 et 2014).
- Convention de collaboration « Poutre de Clerval » en partenariat avec l'ASFA et le CEREMA, sur la période 2012-2015. Prolongation en 2016.
- Convention de recherche projet ANR Micro porté par l'Ifsttar (K. Benzarti) et incluant 6 autres partenaires universitaires (INSA Lyon, EC Lyon, Université Lyon 1, Université Cergy, Université Angers, Armines). Signature de la convention en décembre 2015, portant sur la période 2016-2020.
- Convention de recherche projet Infravation Fasst-BRIDGE (l'Ifsttar est partenaire à travers différentes unités : EMMS, SMC, Navier, CPDM). Signature en novembre 2015. Réalisation du programme en 2016-2017.
- Contrat de collaboration industriel avec EDF RP2-F15021 « Influence des paramètres d'application sur les propriétés mécaniques des interfaces collées béton/renforts composites », signé en décembre 2014. Montant 39 keuros.
- Convention de recherche projet ANR ILISBAR porté par Lyon 1 (K. Benzarti), dans laquelle l'Ifsttar est partenaire (M. Quiertant – EMMS) sur la période 2017-2020.
- Autres partenaires sans flux financiers (fourniture et mise en œuvre de matériel) : SIKA, ETANDEX.

Thèses

Thèses (y compris celles en association) et financeur (Ifsttar, Cerema, autres) (*uniquement pour les ORSI*) :

- Thèses demandée pour 2016:
 - Thèse cofinancée avec IRSN, « Durabilité des systèmes de mesures réparties par fibres optiques en milieu cimentaire. »
 - Thèse en cotutelle avec l'Université de Sherbrooke « Durabilité des barres composites PRF et des structures en béton armé par PRF soumises à un vieillissement sous charge »
- Thèses en cours (*préciser le ou les sujets*) :
 - Thèse Cifre EDF Astrid Billon sur le « développement d'une méthode d'évaluation non destructive haut rendement des joints béton/composites ». Financement EDF, démarré en janvier 2014. Soutenance prévue le 8 décembre 2016.
 - Thèse d'E. Leprêtre sur « l'amélioration de la durée de vie des ouvrages métalliques par collage de matériaux composites » débutée en 2013 dans le cadre d'une thèse ITPE 4A (salaire du Doctorant financé par la DRI). Soutenance prévue en janvier 2017.
 - Thèse de R. Chlela sur contrat ANR (Projet Micro) « Durabilité des renforcements par composites collés : étude fiabiliste et approche multi-échelle ». Démarré en octobre 2016.

Résultats obtenus (*ce paragraphe est initié à la fin de la première année de vie de l'outil incitatif et mis à jour annuellement*)

Avancement du sujet 1 : Projet Reptiles

Dans le cadre du **groupe de travail n°1 « Matériaux »** l'Ifsttar (MAST/CPDM) a mené des essais de durabilité :

- sur le liner composite développé par Porcher Textile (composites fibres de carbone/matrice thermoplastique Rilsan)
- sur une première version de primaire d'adhésion (polyuréthane à base de polyBD) développé par Bostik.

Ces différents matériaux ont été soumis à des vieillissements accélérés par immersion dans l'eau distillée et dans une solution alcaline représentative du milieu béton à pH 13, à des températures de 20°C et 40°C. Ils ont ensuite subi des caractérisations mécaniques en traction, à différentes échéances de vieillissement. Il ressort :

- que le liner composite présente une durabilité satisfaisante au bout d'un an de vieillissement, aussi bien dans l'eau que dans la solution alcaline (prise en eau limitée de l'ordre de 1% en masse, diminution des propriétés mécaniques à rupture en traction limitée à environ 20%).
- que la version du primaire fournie par Bostik présente une perte de masse notable en milieu alcalin, associé à une hydrolyse des isocyanates. Bostik travaille toujours sur une nouvelle version du produit.

Le **groupe de travail n°2 « Mécanisation »** a travaillé sur la conception des 2 robots devant assurer l'application du primaire d'adhésion et du liner composite. Un prototype du robot destiné au primaire a été réalisé. L'Ifsttar (département COSYS) a principalement travaillé sur le dimensionnement du dispositif de chauffage destiné au thermo-soudage du liner composite.

Le projet a été clôturé en 2016 suite à la défaillance d'un des partenaires (Société CIP).

Avancement du sujet 2 : Durabilité des structures renforcées par armatures composites internes

Les travaux ont été réalisés dans le cadre de la thèse d'Arnaud Rolland, qui a été soutenue le 27 mars 2015. Ce programme de recherche a permis :

- d'une part de développer pour la première fois en France un ensemble de méthodes de caractérisation des armatures en PRF (test de traction, short-beam test, caractérisation physico-chimiques et observations MEB-EDS) et des interfaces entre ces armatures et le béton (test de pull-out). En outre, un dispositif de mesure déformations par fibres optiques a été expérimenté avec succès pour déterminer le profil de déformation à l'interface armature/béton et évaluer la longueur d'ancrage des barres PRF dans le béton. Ces différentes méthodes d'essais ont été appliquées sur une sélection de barres PRF du commerce, à base de fibres de verre, d'aramide ou de carbone. En outre, l'influence de différents paramètres (diamètre des barres, traitement de surface) a été explorée.
- d'autre part, de développer un modèle de zone cohésive pour décrire le comportement de l'interface PRF/Béton,
- enfin, de mener une vaste campagne expérimentale pour évaluer la durabilité des interfaces béton/ armature verre/vinylester dans des conditions de vieillissement accéléré (immersion en solution alcaline). L'évolution des propriétés est évaluée par la réalisation de tests mécaniques (traction, pull-out, short-beam test) et de caractérisations physico-chimiques après différentes échéances de vieillissement (0, 4 et 8 mois). Cette étude a mis en évidence un endommagement significatif des armatures (un phénomène de corrosion du verre est suspecté) qui se traduit par une diminution de la résistance à rupture des armatures, mais a montré que la matrice vinylester et la résistance de l'interface PRF/béton sont peu affectés par ces vieillissements. En outre, il est proposé pour des études ultérieures, de privilégier des vieillissements accélérés moins agressifs et plus représentatifs de la réalité en évitant les immersions directes en solution alcaline.

Arnaud Rolland a effectué des communications avec actes aux congrès TRA 2014 (Paris) et CICE 2014 (Vancouver) et fait une présentation aux journées ouvrages d'art. Une publication été faite dans le BOA de la DTITM en 2015. Deux autres articles sont en cours de rédaction, notamment pour la revue Construction & Building Materials et devraient être soumis en 2017.

A noter, M. Quiertant, S. Chataigner, A. Rolland et K. Benzarti ont effectué un voyage d'étude à l'Université de Sherbrooke en Octobre 2015, en vue d'initier une collaboration avec l'équipe du Pr Benmokrane sur le sujet des armatures PRF. **Ceci a permis d'engager les actions suivantes en 2016 :**

- Une demande de financement de thèse sur le « vieillissement sous charge des PRF » en cotutelle entre l'Ifsttar et l'Université de Sherbrooke a été proposée au budget 2017 de l'Ifsttar (le ½ financement est déjà assuré côté Canadien).
- Un pré-projet de recherche international (projet ACORS) a été soumis à l'AAP 2017 de l'ANR, dans le cadre des accords bilatéraux entre l'ANR et le CNSNG canadien.

Avancement du sujet 3 : Renforcement par matériaux composites collés

Finalisation de l'étude en collaboration entre l'Ifsttar, EDF et le Cerema (Contrat industriel RP2-F15021 financé par EDF). Cette étude visait à évaluer l'influence de la modulation de certains paramètres de mise en œuvre sur les performances des systèmes de renforcement de structures en béton par matériaux composites collés. Ces recherches se sont en particulier intéressées à des paramètres « matériaux » ou « procédés » susceptibles de jouer sur la pénétration de l'adhésif dans les porosités du béton, ou sur la qualité du joint adhésif. On a ainsi modulé : la viscosité de l'adhésif, la température du support béton lors du collage, la pression exercée sur le joint adhésif lors de la mise en œuvre, des collages sous vide ont aussi été réalisés.

L'influence de ces paramètres sur les performances de l'assemblage a été évaluée au moyen d'essais mécaniques en mode I (arrachement) et en mode II (cisaillement). D'autres types d'essais sont également réalisés pour relier ces résultats à des caractéristiques microstructurales du joint adhésif (mesure de l'épaisseur du joint et de la profondeur de pénétration, mesures de Tg).

Le rapport a été finalisé en avril 2016. Les résultats ont été présentés dans le cadre de la réunion de l'Action COST TU 1207 à Prague en Novembre 2016 et feront l'objet d'une communication aux JNC20 en 2017.

Démarrage du projet ANR MICRO en janvier 2016.

- un post doc de 6 mois basé à l'INSA de Lyon (Amandine Viretto) a développé des formulations d'adhésifs époxy biosourcés à partir de produits du commerce (prépolymère et durcisseur) et répondant au cahier des charges d'une application de renforcement de structure (en terme de réactivité à température ambiante, durée de vie en pot, Tg, prise d'eau en immersion). 3 formulations ont été proposées ; il reste à évaluer leur aptitude à imprégner des fibres de renforcement (lin et basalte) en vue de fabriquer des composites stratifiés.

- un post doc de 6 mois basé à l'école des mines d'Alès (Clément Lacoste) a travaillé sur les traitements de surface de fibres de lin destinés à améliorer la durabilité des composites stratifiés réalisés avec ces fibres. Différents traitements à base de silane ont été testés.

- une thèse a démarré au LMC2 de l'Université LYON 1 (Serge Zombre) et une autre à l'Ifsttar (Robert Chlela) en vue de mener l'étude de durabilité par approche fiabiliste, sur un système classique fibre de carbone/résine époxy pétro-sourcée d'une part, et sur un système alternatif fibre de lin/résine époxy biosourcée d'autre part. Les premiers travaux ont porté sur la définition du plan d'expérience pour les essais de vieillissement, et sur la mise au point des essais mécaniques qui seront réalisés dans le cadre de ces deux études parallèles.

Avancement du sujet 4 : Poutre VIPP de Clerval

Après l'essai de flexion sur la poutre complète de 30 m mené en 2014, l'année 2016 a été consacrée à la réalisation d'une seconde campagne d'essais de chargement « à l'effort tranchant » (chargement appliqué à proximité d'un appui) sur un tronçon de 12 m environ de la poutre de Clerval renforcé par matériaux composites collés (TFC et lamelles). Plus de 160 capteurs avaient préalablement installés sur la poutre (inclinomètre, jauges de déformation, fibres optiques, émission acoustique, corrélation d'image, etc...) et reliés à 21 centrales d'acquisition.

L'essai de chargement a été réalisé le 30 juin 2016 par pallier successifs de 100kN jusqu'à la rupture, et il a été possible d'enregistrer l'ensemble des données des capteurs et suivre en temps réel les évolutions de certaines grandeurs lors de l'essai (charge, déformations, ouvertures de fissures, etc...).

L'équipe projet procédera à l'exploitation et à l'interprétation des données acquises d'ici la fin de l'année 2016. Des communications scientifiques sont prévues à partir de 2017. Des modifications dans les méthodes d'évaluation et de justification de ces structures de poutres de VIPP pourraient éventuellement découler de ces travaux.

Avancement du sujet 5 : Solutions de renforcement et assemblages collés innovants

La partie consacrée au **renforcement des structures métalliques par composites collés** est principalement réalisée dans le cadre du travail de thèse d'Emilie Leprêtre, qui a commencé fin 2013 sous la direction de S. Chataigner. La soutenance est prévue en janvier 2017.

Les recherches sur **le collage bois/béton** avec ont peu avancé en 2016, mais la DTer CE (DL Autun) a fait la proposition de réalisation d'une « étude de l'optimisation technique, économique et environnementale d'un pont mixte bois-béton assemblé par collage » permettant de préciser la (ou les) meilleure(s) conception(s), les dispositions constructives, le dimensionnement et les règles de justification, les spécifications sur les matériaux et les méthodes de réalisation d'un tel type de tablier de pont, ainsi que de confirmer sa pérennité (modélisation et prévision du comportement de l'interface collée à long terme).

Cette proposition a été retenue par la DGITM/DIT et a été **intégrée à la pré-programmation du CPT06 "ORI" du Cerema pour 2017**. Il s'agit d'une étude conjointe Cerema, ENPC-Navier et Ifsttar. Il est également envisagé de monter un partenariat avec l'ENSAM de Cluny et la Région Bourgogne Franche Comté.

Concernant la partie **matériaux innovants**, une post-doctorante financée par le Labex MMCD de l'Université Paris Est, a réalisé en 2015/2016 une étude en collaboration entre différents laboratoires (ICMPE, Navier, Ifsttar-MAST/CPDM), portant sur le développement de matrices époxy renforcées par nanocharges d'argile fonctionnalisées. Le travail a principalement porté sur le développement d'une méthode de synthèse de nanocomposites argile/PGMA basé sur le greffage d'un sel de diazonium photo-inifert, suivi par la photo-polymérisation in-situ du PGMA. Les résultats ont donné lieu à une publication dans la revue RCS Advances en 2016.

Avancement du sujet 6 : Méthode d'évaluation non destructive (END) des interfaces collées

La thèse Cifre EDF d'Astrid Billon a démarré en janvier 2014. Une méthode d'évaluation non-destructive a été développée dans le cadre de cette étude. Elle s'inspire de l'essai standard d'arrachement en traction directe bien connu sur le terrain. La méthode repose sur un essai mécanique qui caractérise le comportement en charge – déplacement de l'assemblage, et permet d'exprimer un critère d'évaluation appelé raideur d'assemblage qui dépend notamment du module d'Young de l'adhésif utilisé.

La faisabilité en laboratoire de cette méthode a été vérifiée sur un dispositif d'essai entièrement conçu pour les fins de l'étude. Un travail d'analyse et de dimensionnement basé sur une modélisation numérique par éléments finis a permis de sélectionner des capteurs et une chaîne d'acquisition adaptés. Une formulation analytique partielle de la raideur d'assemblage est énoncée.

Une campagne expérimentale sur des éprouvettes de béton renforcées par lamelles de PRFC avec trois adhésifs époxy différents a ensuite été mise en œuvre. Ses résultats ont été interprétés en suivant une approche statistique qui prend en compte les variations de tous les paramètres d'influence. Les performances de détection de l'essai dans le cadre de notre application en laboratoire ont ainsi pu être exprimées.

Des éléments contribuant à l'élaboration d'une méthodologie d'essai applicable in-situ ont finalement été apportés, et les performances de l'essai ont été rediscutées en vue de cette transposition sur le terrain.

La soutenance de thèse est prévue le 8 décembre 2106. En outre, les résultats seront valorisés par plusieurs communications dans le cadre de différentes conférences : TINCE 2016 (Paris, France, 5-6 Septembre 2016), Fib 2016 (Le Cap , Afrique du Sud en Novembre 2016) et CICE 2016 (Hong-Kong, Chine, décembre 2016).

Programme pour l'année à venir (*ce paragraphe est initié lors de la création et mis à jour annuellement*)

Prévisions pour le sujet 1 : Projet Reptiles

Projet Clos

Prévisions pour le sujet 2 : Durabilité des structures renforcées par armatures composites internes

- Démarrage de Thèse en cotutelle avec l'université de Sherbrooke sur cette thématique, si le financement est accepté.
- Valorisation des résultats expérimentaux de la thèse d'A. Rolland (soutenue en 2015)
- Définition et Soumission du projet complet ACORS (PRC International avec Université de Sherbrooke)

Prévisions pour le sujet 3 : Renforcement par matériaux composites

- Qualification de l'appareil de traction portable MACICO sur chantier
- Poursuite des travaux du projet FASST-Bridge (Infravation) : Essais de durabilité sur l'adhésif epoxy-PU développé par la société Collanti, essais mécaniques sur assemblages à double recouvrement, modélisation.
- Poursuite des travaux du projet ANR Micro : préparation des corps d'épreuve et échantillons, mise en vieillissement, début de la campagne d'essai mécanique selon le plan d'expérience défini dans le projet.

Prévisions pour le sujet 4 : Poutre Clerval

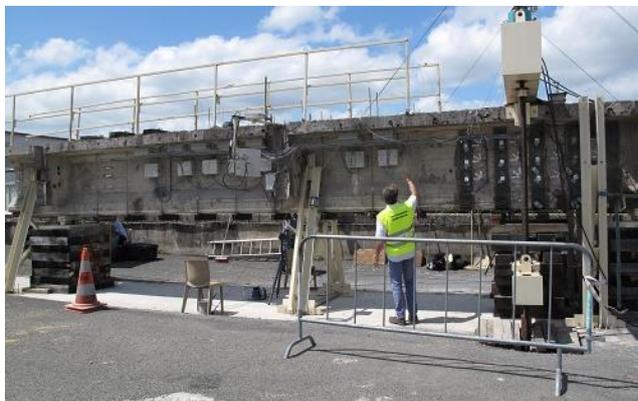
- Recalcul de la poutre, Modélisation aux EF et confrontation avec les données expérimentales.
- Valorisation des résultats des deux expérimentations de 2014 (flexion) et 2016 (effort tranchant)

Prévisions pour le sujet 5 : Solutions de renforcement et assemblages collés innovants

- Soutenance de thèse d'Emilie Lepretre
- Démarrage de l'étude pilotée par le Cerema : « optimisation technique, économique et environnementale d'un pont mixte bois-béton assemblé par collage »

Prévisions pour le sujet 6 : Méthode d'évaluation non destructive (END) des interfaces collées

- Lancement d'une thèse avec l'IRSN si le financement est accepté. Le sujet porte sur la « Durabilité des systèmes de mesures réparties par fibres optiques en milieu cimentaire. »



Expérimentation sur la poutre de Clerval - Essai de chargement à l'effort tranchant du 30 juin 2016



Armatures internes en matériaux composites pour un tablier de pont

TERRANOVA : Techniques de construction et matériaux nouveaux en terrassement

Axe de rattachement : 2

Mots-clés (6 maxi) : sol, pollution, climat, traitement, bâtiment, terrassement

Responsable IFSTTAR : Thierry Dubreucq, GERS-GMG

Autre Responsable : Sébastien Hervé, CETE Ouest-LRPC Angers

Axe de rattachement : 2

Durée : 4 ans (2013-2017)



Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar, contribution au COP, références bibliographiques*). (A titre indicatif, ½ page)

Les entreprises françaises de génie civil continuent de construire de nombreux ouvrages en terre en France, en Europe et dans le Monde via des projets d'infrastructures tels que les voies ferrées, les digues, les plateformes et quelques grands projets routiers.

Les connaissances en terrassement ont été capitalisées depuis plus de 30 ans dans des documents de conception tels que le GTR¹⁷, le GTS¹⁸ ou encore le guide conception et réalisation des terrassements en 2007.

Répondant aux Eurocodes, la collaboration structurante de recherche TerraNova vise à édicter les règles de dimensionnement selon des approches nouvelles liées aux agents climatiques et à la durabilité.

¹⁷ Guide pour la réalisation des Remblais et des couches de formes, 1992- 2000, LCPC-Sétra

¹⁸ Guide pour le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques, 2000, LCPC-Sétra.

Valeur ajoutée de la demande (*potentiel d'innovation, originalité de la recherche, potentiel du projet scientifique*) (A titre indicatif, ½ page)

La collaboration structurante de recherche est structurée en 6 sujets complémentaires :

1 : SOLS COMPACTES – DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES EN TERRE doit dégager les règles de dimensionnement des remblais notamment de grande hauteur, en recherchant les économies de matériaux nobles et d'eau de compactage.

2 : PERFORMANCES DES REMBLAIS CONTIGUS AUX OUVRAGES DE GENIE CIVIL vise la connaissance approfondie du comportement des remblais contigus au contact des ouvrages d'art, notamment les sols traités.

3 : RECEPTION ET DURABILITE DES PLATEFORMES/OUVRAGES EN TERRE D'INFRASTRUCTURES se focalise sur la durabilité et la résistance des plateformes d'infrastructures, sous sollicitation routière ou ferroviaire.

4 : ADAPTATION DES TECHNIQUES DE TERRASSEMENT AUX CONDITIONS EXTREMES doit établir le lien entre les sols utilisés, le mode de compactage et les paramètres hydromécaniques. Sera aussi étudiée la réduction des émissions de poussières générées par le trafic des engins de chantier sur les pistes.

5 : LA TERRE CRUE DANS LE BATIMENT, VALORISATION DES DEBLAIS doit apporter une démarche scientifique permettant le choix des procédés de mise en œuvre des matériaux locaux, et éventuellement de les adapter au contexte actuel, en examinant le patrimoine architectural vernaculaire. L'ouverture de la recherche aux matériaux terreux pour les constructions de bâtiment vise à recueillir les pratiques éprouvées et à les comprendre scientifiquement.

6 : VALORISATION DES SOLS FAIBLEMENT POLLUES vise à réutiliser les terres excavées « faiblement pollués » dans les ouvrages en terre d'infrastructures de transport, dans des conditions de sécurité et de préservation de l'environnement.

Démarche entreprise (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches*) (A titre indicatif, ½ page)

Les grandes étapes d'avancement de la collaboration de recherche sont liées :

- à l'identification et la caractérisation des sols compactés (terre crue, sols marginaux, sédiments, sols faiblement pollués, ...), en adaptant ou en créant des essais ou modes opératoires adaptés ;

- à l'évaluation des propriétés des sols compactés, à l'aide d'appareils existants de mesure des paramètres hydromécaniques, ou de nouveaux appareils à concevoir (machine de fatigue, chambre aéraulique, portance in situ...);

- à la définition de modèles simples et « pratiques » de comportement des sols compactés, décrivant la réponse du sol dans une éprouvette et sur le chantier dans la couche compactée.

La collaboration structurante de recherche « TerraNova » se positionne dans une suite logique des projets antérieurs pour bénéficier au mieux du capital de connaissances accumulées par l'IFSTTAR. On peut citer l'opération de recherche « Terrassement et comportement des matériaux de remblais 2002-2006 », puis « Mise en charge hydraulique des remblais », 2005-2008, sans oublier l'ANR Terdouest 2008-2012.

Partenariats (*nom des partenaires externes (notamment pour les collaborations de recherche) et principal apport de chaque partenaire*)

2016 : le projet COVASED n'est toujours pas financé deux ans après son lancement.

Nom du projet	période	Principaux partenaires	Bref descriptif
ANR TERREDURABLE	2012-2016	EGIS, EDF, ENTPE, IFSTTAR, sociétés VALÉRIAN & VINCI, Université du HAVRE, LE CNRS, Université JOSEPH FOURIER GRENOBLE	TERRassements, économiques, Ecologiques et DURABLES
Collaboration de recherche Economie d'eau	2014-2017	Syndicat Professionnel des Terrassiers de France	Réduction des poussières sur les chantiers – Economie d'eau
Contrat Etat-Région DIGUES 2020 (en cours)	2014-2017	IRSTEA	Conception et réalisation d'un démonstrateur (digue traitée à la chaux) en région PACA
Contrat	2015-2017	FNTP – DGPR	Thèse : Valorisation des terres excavées faiblement polluées dans les terrassements»

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

Sujet 1 : Mécanique des sols compactés - Conception des ouvrages en terre

Responsable : Thierry Dubreucq, IFSTTAR, GERS-GMG

Mode opératoire pour la conduite des études en laboratoire sur les matériaux compactés : (2017) ; méthode d'essai pour la pratique de la mini-dame Proctor (2015) ; article sur la conception des remblais de grande hauteur (2015) ; article sur la conception des remblais de grande hauteur méthode d'essai pour la pratique de la mini-dame Proctor ; note technique CEREMA-IFSTTAR (2017) ; Evaluation du surcoût énergétique de compactage lié aux sols dans un état hydrique sec : implémentation dans le logiciel ECORCE (2016).

Sujet 2 : Les performances des remblais contigus aux ouvrages de génie civil

Responsable : Olivier Malassingne, LRPC Saint Brieuc

Mode opératoire de préparation des éprouvettes de sols traités en vue d'essais de cisaillement sera élaboré. Ce mode opératoire pourra déboucher sur un projet de norme (2017) ; base de données d'essais sur matériaux compactés (base MADIS, 2017) ; article sur les règles de dimensionnement des remblais contigus en sols traités (2016) ; note d'information technique de « dimensionnement » CEREMA des remblais contigus aux ouvrages (2017).

Sujet 3 : Réception et durabilité des plateformes/ouvrages en terre d'infrastructures

Responsable : Thomas Lenoir, IFSTTAR, GERS-GMG

Développement d'un matériel d'essai de laboratoire pour tester les sols à la fatigue (2015) ; méthode de dimensionnement des structures prenant en compte les couches de formes traitées (2017) ; méthode d'essai de réception par méthode non destructive des matériaux traités en couche de forme (2016) ; Conception, réalisation d'un matériel d'auscultation pour la mesure de module de déformabilité pour les remblais techniques contigus aux ouvrages, pour les talus et pour les couches de sols traités en plateforme (produit commun aux sujets 2 et 3), 2017.

Sujet 4 : Adaptation des techniques de terrassement aux conditions extrêmes

(digues, plateformes, réduction des poussières, compactage *5^{ème} génération*)

Responsable : Andry Razakamanantsoa, IFSTTAR, GERS-GMG

Chambre aéraulique pour la compréhension du mécanisme d'envol des poussières dans des conditions Thermo-Hydro Mécanique et Chimique contrôlées (2015) ; modèle physique et numérique développé dans la deuxième phase de la thèse CIFRE (2014) ; méthode d'essai sur le compactage par pétrissage (2016) ; article sur la théorie du compactage et ses nouveautés (2017) ; matériel de mesures de poussières sur chantier de terrassement (2016) ; méthode d'essai sur le réemploi et le compactage des matériaux très secs (2017) ; 1 Brevet pour chambre aéraulique (financement IFSTTAR) (2016)

Sujet 5 : La Terre Crue dans le bâtiment, valorisation des déblais

Responsable : Erwan Hamard, IFSTTAR, MAST-GPEM

Outil d'aide à la décision pour la valorisation des terres locales (2017), Protocole d'essais de chantier pour permettre la validation de la performance des ouvrages en terre crue (2017), Thèse IFSTTAR de Erwan Hamard : « Doctrine sur le traitement des pathologies dans le bâti en terre crue. » (2017)

SUJET 6 : VALORISATION DES SOLS FAIBLEMENT POLLUES

Responsable : Myriam Duc, IFSTTAR-GERS-SRO

rapport de recherche annuel (essais de laboratoires, suivis de plots expérimentaux, retours d'expérience sur chantiers...), thèse IFSTTAR/ESITC en 2017 «Valorisation des terres excavées faiblement polluées dans les terrassements», Melle Katia Bellagh ; rapport final (2017) apportant des éléments et des conclusions opérationnelles qui contribueront à la rédaction d'un guide technique de réemploi des terres excavées faiblement polluées couvrant à la fois les exigences géotechniques et environnementales (méthodologie de réemploi et aide à la définition de seuils adaptés).

RESULTATS OBTENUS A FIN 2015 ET EN 2016 :

L'animateur de l'ORSI (Thierry Dubreucq) pour IFSTTAR a été en arrêt maladie pendant 10 mois.

Sujet 1 : Mécanique des sols compactés - Conception des ouvrages en terre

IFSTTAR

Les travaux ont porté sur les corrélations entre les paramètres d'identification de sol, d'états hydriques et de résistance au cisaillement, pour mieux caractériser les sols fins compactés. La courbe de compactage est corrélée avec la courbe de portance immédiate. Pour la résistance au cisaillement, on a établi une corrélation entre le paramètre de Bishop et le degré de saturation, à l'aide des caractéristiques mesurées à l'Optimum.

Un article a été publié : « Quelques corrélations relatives aux sols fins compactés dans les travaux de terrassement », Thierry Dubreucq, France, Symposium International SEC, juin 2015

CEREMA

« Retour d'expérience sur l'édification d'un remblai de grande hauteur du Crann , RN164 Section La Garenne Ty Blaise (29) », Olivier Malassingne, LRPC Saint Brieuc, (28 pages)

Sujet 2 : Les performances des remblais contigus aux ouvrages de génie civil

CEREMA

« Préparation des éprouvettes de laboratoire par compactage semi-statique », 27/07/2015, Jean François Serratrice, LRPC Aix en Provence, 38 pages

Ce document présente une méthode de compactage semi-statique pour la confection d'éprouvettes en laboratoire en vue de la réalisation d'essais mécaniques ou hydrauliques. Un premier paragraphe est consacré au compactage des sols en laboratoire. La méthode historique de compactage dynamique est évoquée, en relation avec l'essai Proctor. Puis il est fait référence à plusieurs études consacrées au compactage statique des sols en laboratoire.

« Réponses des sols densifiés par compactage semi-statique au laboratoire », 31/07/2015, Jean François Serratrice, Hélène Calissano Marlène Coudert Laurent Batilliot, LRPC Aix en Provence

Ce document rassemble un grand nombre de données expérimentales recueillies à l'occasion du compactage semi-statique de divers types de sols. Ces compactages servent à préparer des éprouvettes au laboratoire en vue d'identifier ensuite leurs propriétés mécaniques et hydrauliques au moyen d'essais triaxiaux ou oedométriques. Les sols testés sont des argiles, des limons, des sables ou une craie. Quelques-uns sont traités. Toutes ces observations sont commentées pour mettre en avant les traits les plus remarquables du compactage semi-statique des sols fins, son intérêt et ses limites (86 pages).

Sujet 3 : RECEPTION ET DURABILITE DES PLATEFORMES/OUVRAGES EN TERRE D'INFRASTRUCTURES

IFSTTAR

Les recherches ont porté sur la résistance à la fatigue dynamique d'éprouvettes de sols fins traités et renforcés par des fibres. Ceci dans le cadre d'un contrat avec une entreprise de terrassement. Elles ont montré l'importance de la préparation du sol fin et du mélange avec les fibres si l'on veut obtenir effectivement une résistance plus forte que celle du sol traité sans fibre. Un article va être publié sur ce sujet :

« Contribution of the fiber reinforcement on the fatigue behavior of two cement-modified soils, » Thomas Lenoir, Mathieu Preteseille, Sophie Ricordel, LUNAM Université, IFSTTAR, GERS, GMG, F-44340 Bouguenais, France, International Journal of Fatigue 93 (2016) 71–81

Les résultats de la thèse de Mathieu Préteseille sur la fatigue des sols traités ont été aussi valorisés dans un nouvel article :

« Structural test at the laboratory scale for the utilization of stabilized fine-grained soils in the subgrades of High Speed Rail infrastructures » : Preteseille M., Lenoir T. 2016 Experimental aspects International Journal of Fatigue 82, 505-513

Une nouvelle voie d'auscultation a développé : la spectrométrie, c'est à dire l'analyse de la réflectance des matériaux. C'est une méthode est sans contact direct avec le sol.

« Relation entre la réflectance hyper-spectrale d'un sol compacté-traité et sa maturation », Patricia Pinheiro, UFR SCIENCES ET TECHNIQUES de Nantes et IFSTTAR, rapport de stage Master, 34 pages.

CEREMA:

« Dynaplaque ferroviaire », Cadre d'affaire : C15OA0024-05, Terranova, 2015-6 - CER Rouen – Isabelle Charles.

Un des problèmes rencontrés par la SNCF sur les chantiers de renouvellement de la voie et la construction des lignes nouvelles est de mesurer la compacité de la couche de ballast. Le CER dans le cadre des opérations de recherche PLATIF et TERRANOVA a répondu à cette demande par des essais de faisabilité avec la Dynaplaque2. Dans ce projet, il est envisagé de modifier la Dynaplaque 2 vers un système adapté au ferroviaire en utilisant la traverse comme plaque de répartition. Un dispositif d'adaptation a été conçu et réalisé au CCEP d'Angers pour transmettre la force de la plaque sur une traverse. Une campagne d'essais a été réalisée au CER et les résultats obtenus sont assez encourageants pour une ébauche de système de mesure de la raideur du ballast en place.

Sujet 4 : ADAPTATION DES TECHNIQUES DE TERRASSEMENT AUX CONDITIONS EXTREMES

IFSTTAR

Une journée technique sur les terrassements a été co-organisée avec le Syndicat Professionnel des Terrassiers, à l'ENPC, en février 2016. Ce sujet a été présenté en séance.

La recherche sur les géomatériaux d'étanchéité a été poursuivie, essentiellement sur les performances hydrauliques des géomatériaux.

On a défini une méthode de prédiction de la perméabilité au moyen de la distribution des pores et de la compacité.

On a décrit le gonflement d'un sol fin au moyen de la rhéologie (coopération avec l'université de Brisbane, Queensland).

Quatre articles ont été publiés :

- Razakamanantsoa A., Djeran-Maigre, I. (2016) Long term chemo-hydro-mechanical behavior of compacted soil bentonite polymer complex submitted to synthetic leachate. Waste Management. Pp. 92-104.
- Razakamanantsoa, A., Barast, G., Djeran-Maigre, I., (2016) Characterization of mixed bentonite-polymer for landfill use. Environmental Geotechnics Vol.3, Issue EG1, p. 28-35
- Ranaivomanana H., Razakamanantsoa A., AMIRI O., (2016) Permeability prediction of soils including degree of compaction and microstructure. International Journal of Geomechanics.
- Razakamanantsoa, A., (2015) Durabilité des bentonites polymères dans les barrières étanches. Editions Universitaires Européennes, 336p.

En matière d'économie d'eau dans les chantiers de terrassements, les travaux ont été poursuivis, à savoir :

- Conception et réalisation d'appareils de mesure des poussières en vol ;
- essais sur planches d'essais sur chantier. Mise en évidence des seuils de visibilité ;
- Etude en laboratoire de l'impact du trafic sur la dégradation de surface de la plate-forme (compactage à la plaque + ornière chaussée).

Par ailleurs, dans le cadre du traitement des sédiments fins sans correcteur granulométrique, un projet Européen a été déposé sur le sujet : TRUST. Un projet ANR avec l'université de Mexico a été déposé (Insa Lyon, Université de Lyon 3, Université de Caen, Ifsttar et EDF : « Usumacinta ».

sous-sujet « Dignes »

CEREMA :

- Affaire C15RB0006-07 / A – DREAL Centre-Val de Loire – Sigloy / Maison Vieille (45) – Suivi de l'écran étanche sol-ciment – Investigations de mai 2015 Lucile SAUSSAYE - Direction Territoriale Normandie-Centre / Laboratoire Régional de Blois / Groupe Environnement et Risques / Unité Dignes et Ouvrages Aquatiques

Dans le cadre des travaux de renforcement de la levée du Val d'Orléans (45), deux écrans étanches de 111 et 126 m de long et de 6 à 8 m de profondeur ont été réalisés avec la technique de tranchée de sol mixé en avril 2013. Cette technique consiste à mélanger les sols en place avec un liant hydraulique (ciment). Deux méthodes ont été testées, par voie humide et par voie sèche, respectivement sur les communes de Sigloy et Guilly, au lieu-dit Maison Vieille. Le Laboratoire Régional de Blois a réalisé le suivi mécanique et hydraulique des écrans. Des investigations géophysiques ont été menées à Sigloy, afin de qualifier les méthodes géophysiques qui pourraient permettre le contrôle, la réception et le suivi des écrans étanches sol-ciment.

Affaire C15OA0024-12 / B Janvier 2016 : Renforcement du corps de digue par écran étanche sol-ciment - Reconnaissances géotechniques et hydrauliques Interventions après chantier 2014-2015 Lucile SAUSSAYE - Direction territoriale Normandie-Centre / Site de Blois / Groupe Environnement et Risques / Unité Dignes et Ouvrages Aquatiques

Le Laboratoire Régional de Blois a contrôlé les propriétés mécaniques et hydrauliques de l'écran étanche sol-ciment de Veuves (41) réalisé en mars 2014. Les conclusions des essais en laboratoire amenant à engager une réflexion sur l'efficacité et la pérennité de cet ouvrage, deux campagnes d'investigations in situ ont été mises en place. Le LRB a défini les protocoles de sondages et d'essais géotechniques in situ et dans le contrôle de leur réalisation. Ces deux campagnes ont abouti, en 2015, à la mise en place d'un protocole de vérification de la pérennité de l'écran étanche, sur 10 ans la société Vinci.

Affaire C15OA0024-12 / B Mars 2016 La Ville-aux-Dames (37) Renforcement du corps de digue par écran étanche sol-ciment Reconnaissances géotechniques et hydrauliques *Investigations de septembre 2015, Lucile SAUSSAYE - Direction territoriale Normandie-Centre / Site de Blois / Groupe Environnement et Risques / Unité Dignes et Ouvrages Aquatiques*

Cette étude a été réalisée dans le cadre des travaux de renforcement de la levée de Tours Loire amont, sur la commune de La Ville-aux-Dames (37). Cet écran, de 1849 m de long pour une profondeur variant entre 7 et 8 m, est réalisé par la technique de tranchée de sol mixé ou « Trenchmix

». Cette méthode consiste à mélanger, par voie sèche, les sols en place avec un liant hydraulique (ciment).

Auscultation de la digue expérimentale de Rouen, Yasmina Boussafir(Ifsttar+Cerema)

La digue expérimentale de Rouen a été élaborée à la demande de Lhoist, afin de démontrer la faisabilité de réalisation d'un ouvrage hydraulique en limon traité à la chaux, définir les meilleures conditions de mise en œuvre du matériau traité et tester les performances in situ du matériau, avec un suivi sur plusieurs mois. L'ouvrage a été réalisé en 2011 et plusieurs essais de suivi sont aujourd'hui disponibles. On revient sur cet ouvrage après 4 années de vie afin de caractériser la durabilité de la technique de traitement à la chaux vive.

Valorisation des matériaux à l'état « th », Berail, LRPC Rouen, Approche bibliographique sur la valorisation des sols dans un état hydrique très humide en terrassement,

On a recensé les différents travaux réalisés au sein du RST, puis les études réalisées dans le milieu de la recherche académique. Il est proposé de dégager deux orientations de travail afin de poursuivre les recherches dans ce domaine :

- 1) traiter des matériaux à l'état « th » avec des liants traditionnels
- 2) tester des matériaux à l'état « th » avec des stabilisants non-traditionnels

IFSTTAR+CEREMA

Participation à l'écriture du Guide « Barrières Etanches »

Sujet 5 : LA TERRE CRUE DANS LE BATIMENT, VALORISATION DES DEBLAIS

IFSTTAR a écrit une bibliographie exhaustive sur la bauge et plus exactement sur les procédés vernaculaires (ou indigènes). Ont été décrits les procédés de fabrication de la bauge, et les différentes étapes. La bauge est mise en œuvre à l'état plastique ; le pisée à l'optimum de compactage.

Les travaux ont porté aussi sur la mise en œuvre de méthodes archéologiques sur des bâtiments du 19^{ème}. Aucun écrit sur les techniques anciennes n'est malheureusement accessible. Pour retrouver les techniques, on a réalisé des lames minces et on a eu recours à la pédologie au sens archéologique. D'où la découverte du matériau d'origine. On a précisé aussi dans quel horizon géologique les matériaux avaient été prélevés. On a pu alors évaluer la teneur en eau (côté sec ou côté humide). La signature du procédé de mise en œuvre a été observée dans les lames minces (structure pisée ou empilée ou cisailée par compactage).

Deux articles ont été publiés :

Hamard, E., Bogdan C., Razakamanantsoa A., Morel J.C., (2016) Cob, a vernacular earth construction process in the context of modern sustainable building. Journal of Building and Environment. (accepted)

Hamard E., C. Cammas, Razakamanantsoa A., Fabbri A., Cazacliu B., Morel J-C. (2016) Historical rammed earth process description thanks to micromorphological analysis. International Journal of Architectural Heritage.

SUJET 6 : VALORISATION DES SOLS FAIBLEMENT POLLUES

IFSTTAR

Il s'agit des travaux de thèse de Katia Bellagh sur la valorisation des sols urbains en techniques routières, encadrée par Myriam Duc et Thomas Lenoir. Les travaux montrent que :

- les deux sols urbains testés, malgré leurs compositions complexes (mélange de matériaux naturels et anthropiques), présentent des propriétés géotechniques satisfaisantes et des performances acceptables pour une application en techniques routières. La présence de fortes teneurs en sulfates et d'artefacts dans ces sols n'affecte pas ou peu le traitement au ciment et à la chaux.
- le traitement à la chaux augmente la perméabilité des sols après une réorganisation des particules induite par leur floculation/agrégation. Le traitement affecte également le relargage en ions. En effet, on constate des conductivités plus faibles dans les lixiviats d'un sol traité. La variation du taux de compactage quant à lui (avec traitement) n'a a priori pas d'effet sur ce relargage (résultat en cours de validation).

Un rapport a été produit (97 pages) le 4 juin 2016:

Contrat FNTP: « Valorisation des sols urbains en techniques routières: impact des opérations de compactage et/ou traitement sur la mobilité des polluants ».

PROGRAMME POUR L'ANNEE 2017 :

Sujet 1 : Mécanique des sols compactés - Conception des ouvrages en terre

Les recherches porteront sur une évaluation simple et robuste de la résistance des sols fins compactés dans l'état hydrique sec au sens du Guide des Terrassements Routiers en France. Les sols concernés sont les limons argileux A2 et les argiles A3. Cette évaluation repose sur une définition d'un sol sec idéal à porosité soit ouverte, soit fermée, et sur la construction simple d'un potentiel de succion dépendant de la teneur en eau volumique. Il suffit alors de connaître la succion et l'angle de frottement interne à un optimum de compactage pour satisfaire le modèle. Par extension, il pourrait aussi éclairer le comportement des sols réels dans l'état hydrique très sec, voire « ultra sec ». Un article sera écrit.

Sujet 2 : Les performances des remblais contigus aux ouvrages de génie civil

Sujet 3 : Réception et durabilité des plateformes/ouvrages en terre d'infrastructures

La recherche sur les essais de fatigue des sols traités dans les couches de forme sera approfondie avec la mise en exergue d'une loi générale qui permettra de prédire l'évolution de la résistance à long terme à partir de la résistance à 28 jours.

Sujet 4 : Adaptation des techniques de terrassement aux conditions extrêmes

La recherche sur les géomatériaux d'étanchéité et sur les économies d'eau seront poursuivies et approfondies. Un appareil de mesure de poussières embarqué sur un véhicule sera mis au point.

Sujet 5 : La Terre Crue dans le bâtiment, valorisation des déblais

IFSTTAR

Les actions envisagées sont :

- Inventaire des sols disponibles en Bretagne ; déterminer les critères d'implantation des maisons en bauge (article en cours de rédaction) ;
- Fabrication en laboratoire d'échantillons « étalon » ; puis observation des micro et mésopores, et ensuite recouplement avec les échantillons prélevés sur les maisons. D'où la redécouverte des méthodes anciennes.
- Articles en rédaction

SUJET 6 : VALORISATION DES SOLS FAIBLEMENT POLLUES

IFSTTAR

La suite du travail de thèse de Katia Bellagh consistera à soumettre les éprouvettes de sols traités au ciment à la percolation. Le but est d'avoir l'effet d'un traitement au ciment sur la perméabilité des matériaux et le relargage en sulfates. Les teneurs en sulfates dans les percolats seront comparés aux valeurs obtenues par l'essai de lixiviation sur les matériaux foisonnés.

La dernière partie de la thèse consistera à exploiter numériquement les résultats obtenues par les deux modes de lixiviation/percolation (sur matériaux foisonnés et sur matériaux consolidés) afin de modéliser le transfert des sulfates dans les sols en montrant les effets des opérations de compactage et/ou de traitement sur leur mobilité.

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) :

Autre partenaire institutionnel (*CEREMA*)

Valorisations possibles

1 méthode d'essai: Détermination rapide du pourcentage de chaux nécessaire à la stabilisation d'un sol, aussi appelé « essai pH ». Cette méthode d'essai permet de définir le pourcentage de chaux vive minimal à incorporer à un sol en vue d'une stabilisation dans le cadre d'un traitement des sols ;

- Plusieurs appareils de mesure des poussières en vol, sur chantier de terrassement ;
- 2 thèses : Sols pollués et Economie d'eau ;
- 2 brevets : chambre aéraulique et matériel de compactage d'éprouvettes de sols traités.
- Mesure de module de plate-forme par Dynaplaque Ferroviaire ;
- Rapport général
- Journée de clôture

EGIDE : Enhanced Geotechnical Investigation and Dsign for sustainable development

Axe de rattachement : 2

Mots-clés (6 maxi) : ingénierie géotechnique, conception, reconnaissance, modélisation, risques

Responsable IFSTTAR Ph. Reiffsteck/S. Burlon - GERS, SRO

Autres Responsables J. Habert - CEREMA DTerNP ; L. Saussaye – CEREMA DTerNC

Axe de rattachement : 2

Durée : 5 ans (2016-2021)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar, contribution au COP, références bibliographiques*). (A titre indicatif, ½ page)

La géotechnique est à un tournant dans le sens où, d'une part, elle peut apporter des réponses à des problématiques comme la préservation des ressources naturelles et le développement des énergies renouvelables qui n'étaient pas importantes il y a 15 ou 20 ans, et, d'autre part, elle peut bénéficier de développements techniques en termes de mesures. Ce constat permet de définir les 4 tâches suivantes :

- le développement de procédures d'essais novatrices (liquéfaction, cyclique, essai d'impact dynamique, etc.) ;
- la mise en place de méthodes de suivi à long terme des ouvrages avec la fibre optique pour une optimisation des ouvrages et une meilleure analyse de leur durabilité (ouvrages "intelligents") ;
- l'utilisation de matériaux innovants (techniquement, énergiquement, etc.);
- la promotion d'ouvrages géotechniques à faible empreinte environnementale (ouvrages thermoactifs, pieux en bois, fondations d'hydroliennes, fondations pour pylônes RTE).

La compréhension et la prévision du fonctionnement des ouvrages en interactions avec leur environnement sont des aspects essentiels de la préservation des ressources naturelles et du développement des énergies renouvelables en Génie Civil, que les modélisations physiques et numériques permettent d'aborder. Le développement de ces outils s'appuie sur l'expérimentation, sur l'élaboration de modèles théoriques et de logiciels de calcul, et sur la confrontation calculs-solutions de référence (solutions théoriques, mesures).

L'amélioration des prévisions des modèles numériques nécessite le perfectionnement de ces équipements, des appareils de mesure, des techniques d'essais associées (reconstitution de massifs), des moyens de calcul et des techniques de résolution numérique, ainsi qu'une meilleure connaissance de la rhéologie des matériaux.

Valeur ajoutée de la demande (*potentiel d'innovation, originalité de la recherche, potentiel du projet scientifique*) (A titre indicatif, ½ page)

Le potentiel de rupture des recherches proposées est élevé et trouvera un écho important dans le cadre des travaux du grand Paris mais également d'autres travaux d'aménagement ou de maintenance des ouvrages linéaires routiers, ferroviaires ou fluviaux-côtiers. On peut lister :

La conception d'ouvrages à faible impact environnementaux novateurs comme les sols améliorés :

- avec des liants hydrauliques pour traiter les points faibles des ouvrages hydrauliques (les digues de Loire ou les digues côtières impactées par Xynthia par exemple) ou pour inérer ou isoler des zones et friches polluées par une activité industrielle antérieure ou pour limiter les risques de liquéfaction ou ;
- avec des bactéries pour limiter les risques de liquéfaction ou ;
- par la congélation pour réaliser des soutènements temporaires ou des prélèvements de sols liquéfiables ou érodables ;

ou les pieux et inclusions en matériaux bois ou plastiques.

Le développement de systèmes de mesures originaux ou l'adaptation de techniques éprouvées par des choix innovants de mise en œuvre. On peut citer :

- Le prélèvement avec maintien des fluides et pressions interstitielles par confinement ou congélation ;
- Les essais de chargement cyclique ou de liquéfaction in situ fiables ;
- La mise au point de systèmes de mesure par fibre optique pour les ouvrages sous changements mécaniques et thermiques.

L'étude du comportement et le développement de modèles pour permettre à l'ingénieur de traiter des problèmes complexes liés au comportement sous sollicitations :

- thermiques des sols que ce soit lors de la congélation pour des travaux ou l'échauffement dans le cadre du développement de la géothermie
- cycliques des ouvrages et des sols (abaques de liquéfaction, courbes p-y cycliques, etc)

Démarche entreprise (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches*) (A titre indicatif, ½ page)

La démarche entreprise est la structuration du projet en tâches en relation avec un projet collaboratif ou une collaboration industrielle. Le projet peut être amené à susciter, à participer à ou à coordonner des projets de recherche, participant aux résultats de l'ensemble de cette recherche, et impliquant des universitaires ou des laboratoires de recherche, des instituts spécialisés, tels des projets ANR, PAI, FUI, ou européens, ou encore des appels d'offre des régions de façon complémentaire au projet.

Tâche 1 Matériaux innovants

Projets collaboratifs correspondants : ADEME Geothermie, ANR GeoUrbs

Projets industriels correspondants : Ecome, Solétanche-Bachy,

L'amélioration de sol consiste à traiter un sol avec un liant qui peut être soit hydraulique, soit naturel (calcite) en le mélangeant mécaniquement en place pour améliorer ses propriétés mécaniques. En France, de nouvelles exigences concernant la méthode et le matériau sont apparues à mesure que son champ d'applications s'est étendu. Dans cette recherche, le travail entrepris consiste à mener en laboratoire une étude paramétrique, en réalisant des mélanges dits « de référence » et à prélever sur chantier après réalisation des échantillons afin d'observer l'influence de la granulométrie, de l'argilosité et de la quantité d'eau présente dans le mélange sur la résistance. Les retombées de ce travail sont la proposition d'abaques reliant la résistance au dosage en « liant » et au rapport liant/eau ou nutriment, et des formules permettant pour les sols grenus de prédire la résistance à 28 jours en fonction du pourcentage de fines dans le sol et du dosage.

L'amélioration des sols par congélation permet le renforcement ou soutènement temporaire d'ouvrages, mais aussi l'étanchement d'ouvrages présentant des fuites localisée ou le prélèvement de sols instables comme les sols liquéfiables. Ce procédé est respectueux de l'environnement, exempt de substances dangereuses, de vibrations et de pollution des eaux souterraines et limite les pompages ou injections classiques. La solidification du sol est seulement temporaire. Après l'arrêt de l'alimentation, le sol dégèle et retrouve (théoriquement) son état d'origine en quelques semaines. Les verrous technologiques sont l'évaluation précise du potentiel de congélation et les caractéristiques mécaniques obtenues aux différentes phases de celle-ci, l'impact du dégel et de la perte de caractéristiques inhérente.

Valeurs caractéristiques et variabilité spatiales

La variabilité des terrains est un des problèmes fondamentaux de l'ingénierie géotechnique. Selon la manière dont les propriétés mécaniques, hydrauliques et thermiques choisies, le dimensionnement de l'ouvrage va varier. Afin de dépasser l'empirisme actuel des méthodes de conception et de proposer de nouvelles approches pour l'ingénierie géotechnique, le projet a pour objectif de proposer des méthodes de conception incluant le positionnement tridimensionnel des ouvrages souterrains, l'estimation des propriétés des sols et des méthodes de calcul plus précises.

Et développement de modèles rhéologiques adaptés

Des travaux sur la rhéologie des sols naturels et traités et leur capacité à transmettre les déformations répétées (cycles, vibrations) seront entrepris. Il existe un besoin important de recherches appliquées à la mesure des ondes et des vibrations dans l'environnement, générées par les chantiers en ville, les systèmes de transport (LGV, Tramway) ou de production d'énergie (éoliennes). Dans une vision bottom-up on travaillera à une adaptation des essais aux nouveaux outils de modélisation mais aussi aux sollicitations complexes comme les séismes, les crues.

Tâche 2 Techniques de sollicitations et de mesures

Projets collaboratifs correspondants : PN ARSCOP,

Projets industriels correspondants : CIFRE APAGEO, LUTZ, Fugro

Dans le cadre des projets, les essais en laboratoire les plus adaptés à déterminer l'évolution du module de cisaillement et l'amortissement avec l'amplitude des déformations sont, en complément du triaxial cyclique, l'essai à la boîte de cisaillement simple et à la colonne résonnante (Andersen et al, 2013). Il est envisagé de coupler ces essais avec des essais triaxiaux cycliques afin de déterminer le potentiel d'amélioration des sols contre la liquéfaction à l'aide de liant hydrauliques ou de bactéries. Ces essais permettront également, couplés aux essais pressiométriques cycliques, de dresser des abaques reliant les rapports de résistance et de contrainte cycliques (CSR et CRR) de manière plus fiable que les abaques basés sur le pénétromètre statique (CPTu) et le carottier battu (SPT) (Dupla et Canou, 2003).

Mesure en place de la liquéfiabilité par essais pressiométrique

La difficulté de calage avec les mesures issues de la géophysique a initié le développement d'un outil intégrant ces deux mesures appelé « canon géotechnique » à l'instar du sismocône. Cet appareillage pourra être testé en combinaison avec la géophysique afin de qualifier les différentes méthodes sur des ouvrages de références.

Essais de cisaillement cycliques en place

Les techniques de reconnaissance in situ sont particulièrement développées dans le domaine linéaire à faibles déformations, grâce à l'apport de la géophysique. En revanche, la détermination des propriétés dissipatives des sols sous grandes déformations in situ, hors du domaine de propagation linéaire des ondes, reste un domaine peu exploré. L'appareillage envisagé vise à recréer, du moins au voisinage immédiat d'un forage, des conditions analogues aux séismes les plus intenses. La réalisation d'essais de cisaillement cyclique voire dynamique au Phicomètre permettrait de mettre à disposition des praticiens un essai plus simple et léger, à même de fournir des informations sur la dégradation des caractéristiques de cisaillement en place.

Mesure par fibre optique

La mesure (en continu ou ponctuelle) des déformations par fibre optique apparait comme une alternative judicieuse aux méthodes classiques (jauges, cordes vibrantes, etc.). En effet, cette technique ne nécessite pas d'entretien de matériel : la réactivité face au besoin est donc très grande. Si de prime abord cette technique de mesure semble très attirante (en mesure répartie ou ponctuelle), il reste néanmoins de nombreux points à éclaircir :

- La fragilité de la fibre : quel est le nombre minimum de lignes à placer dans le pieux pour obtenir, de façon répétée, une mesure des déformations toute hauteur ?
- Quelle est la méthode de fixation de la fibre optique la plus adaptée ? (simple collier, tube de réservation dédié ?)
- Quel est la précision de la mesure (si la technologie utilisée n'est pas la technologie Bragg) ? en particulier peut-on échantillonner la mesure de façon à obtenir une précision plus grande qu'avec l'extensomètre amovible ou les capteurs locaux (notamment pour la détermination de la résistance de pointe).

Il est donc nécessaire, afin de valider cette méthode de mesure pour l'application à la mesure des déformations dans les ouvrages et pour le cas des pieux à l'estimation des frottements unitaires et des coefficients de pointes, de la confronter à une méthode éprouvée et reconnue telle que celle de l'extensomètre amovible.

Prélèvements adaptés aux sols liquéfiables

Il existe également un besoin de techniques de prélèvement aptes à fournir des échantillons de sols les moins remaniés possibles pour alimenter les essais en petites déformations ou de liquéfaction. Dans cet objectif, il est prévu d'étudier de manière comparative les performances de la nouvelle génération de carottier A+, et sa possible adaptation au prélèvement des sables. Une étude comparative sera menée avec les appareillages classiques et le prélèvement par congélation.

Et les méthodes d'analyses et de modèles adaptés

Dans cette tâche, on continuera donc les efforts d'amélioration des modèles rhéologiques et méthodes d'identification des paramètres (Logiciel Lois et petits logiciels de géotechnique). On s'intéressera à la création d'outils de calages de modèles rhéologiques servant à l'identification des

modèles et de leurs paramètres par analyse inverse d'essais comme l'essai pénétrométrique, l'essai pressiométrique, l'essai triaxial in situ ou certains essais de laboratoire.

Tâches 3 Ouvrages durables et économes en énergie

Projets collaboratifs correspondants : FUI DefiBois, ADEME Geothermie, SENSE CITY

Projets industriels correspondants : CIFRE ANTEA, GTS, SNCF

Pieux économes en énergie

La technique des pieux en bois fut utilisée de l'époque préromaine jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle, et on ne compte plus les ouvrages du patrimoine bâti français classés patrimoine national ou monuments historiques fondés sur pieux en bois, ainsi que les nombreux ponts routiers dans les villes Françaises et de ponts ferroviaires. Techniques performante et économe en CO₂, les pieux en bois sont une technique prometteuse. Dans le contexte urbain moderne où des rabattements de nappe sont réalisés de manière inconsidérée ou involontaire (parfois conséquence des sécheresses successives induites par le réchauffement climatique), les pathologies des bâtiments des centres urbains anciens, des monuments historiques et des ouvrages de franchissement routiers ou ferroviaires, comme les ponts en maçonnerie, sont principalement dues au pourrissement du bois de leurs fondations lorsque celles-ci sont soumises à des alternances de sécheresse et d'humidité (Klaassen, 2008a ; Bjordal et al., 2000). Dans le contexte des voies navigables, l'introduction de seuils perturbant les transits sédimentaires et l'extraction des matériaux ont entraîné l'abaissement du niveau d'eau dû au creusement du lit et ont provoqué la dégradation des pieux.

À ce jour, il n'existe aucun référentiel technique sur lequel on pourrait se baser pour concevoir un projet avec des pieux en bois, comme solution de fondations profondes, et une durée de service minimale associée, utilisant des bois naturellement durables ou une durabilité conférée par un traitement efficace et autorisé. Le verrou technologique à lever est la fiabilisation de la pérennité des essences de bois françaises, avec une durabilité naturelle ou conférée par traitement non toxique, en fonction des conditions de sol et d'humidité (nappe permanente ou zone de marnage). Sans une étude particulière, il est difficile de prescrire la technique des pieux bois pour la construction neuve de bâtiments privés et d'ouvrages d'arts au vu des durées de services de 50 ans minimum requis.

Structures géotechniques géothermiques

Dans la recherche de solutions alternatives aux énergies fossiles, les nouvelles sources d'énergies renouvelables prennent de plus en plus d'ampleur. Dans ce contexte, la géothermie très basse énergie est une solution durable ayant un impact extrêmement faible sur l'environnement. Dans l'optique du développement de techniques de plus en plus performantes et rentables, il a été mis au point un couplage entre les fondations des bâtiments et les systèmes de récupération d'énergie via la géothermie. Ces géostructures thermiques, déjà étudiées et utilisées en Europe depuis une vingtaine d'années (Aéroport de Zurich, Main Tower à Francfort, Keble College à Oxford, ...), permettent de chauffer et/ou de refroidir les bâtiments et infrastructures de manière efficace à moindre coût. De nombreuses études ont été menées afin de déterminer l'impact de ces fondations géothermiques sur les caractéristiques géomécaniques et thermiques des terrains et des aquifères à une échelle locale, autour des fondations. Il reste maintenant à étudier l'impact de tels systèmes à une échelle plus importante, comme celle d'un quartier ou d'une cité, où plusieurs bâtiments peuvent être équipés de fondations géothermiques. De même, l'influence d'un champ de sondes géothermiques sur les éléments de fondation d'un bâtiment rentre dans le cadre de ces analyses.

Et les méthodes de conception adaptées

Le projet propose une démarche pluridisciplinaire et multi-échelle permettant de traiter l'ensemble des étapes de la conception des ouvrages souterrains en zone urbaine. Des études expérimentales et numériques seront menées pour atteindre les objectifs présentés précédemment et lever les verrous scientifiques identifiés. Des bases de données et des méthodes de calcul seront notamment produites. On s'intéressera au choix des lois de comportement des sols et des roches en fonction de la variabilité des terrains et au choix de valeurs représentatives du comportement du terrain. Pour les lois de comportement, l'enjeu est d'apprécier comment la complexité d'une loi de comportement peut être affectée par l'incertitude des propriétés des terrains. Différents calculs numériques sont à mener et les résultats doivent être comparés entre eux et à des valeurs mesurées (déplacements, déformations, etc.). Le choix de la valeur représentative des propriétés des terrains est une question délicate pour laquelle il n'existe pas vraiment de méthodes objectives. Différentes approches notamment statistiques sont développées dans cet objectif.

Le développement de modèles pour le calcul des ouvrages soumis à des déchargements (excavations) et la prise en compte des aspects thermo-hydro-mécaniques pour le fonctionnement de certains ouvrages géotechniques, notamment ceux liés à la géothermie basse énergie sera poursuivi.

Le calcul des mouvements du sol générés par des excavations reste complexe et certaines pistes d'amélioration (écrouissage cinématique non linéaire) peuvent être envisagées. Enfin, la spécificité des ouvrages thermoactifs obligent à poursuivre le développement de modèles de calcul aptes à gérer les couplages thermo-hydro-mécaniques. Une application dans Sense city est prévue.

Une partie des efforts sera consacrée au développement de méthodes d'ingénierie robustes et simples pour analyser le comportement des ouvrages (pieux, fondations superficielles, etc.) sous charges cycliques. Ces méthodes seront basées sur la proposition de courbes « cycliques » de transfert de charge t-z et p-y c'est-à-dire permettant d'exprimer la dégradation cyclique en fonction de la sévérité des cycles et du nombre de cycles. Dans le cas des parois, une étude sera lancée sur l'évolution du coefficient de réaction avec la sollicitation cyclique.

Partenariats (*nom des partenaires externes (notamment pour les collaborations de recherche) et principal apport de chaque partenaire*)

L'enjeu de ce projet collaboratif est d'affirmer le rôle de pivot technique du partenariat CEREMA-IFSTTAR dans le domaine de l'ingénierie géotechnique. L'équipe ainsi constituée sera le noyau dur d'animation de la collaboration en lien étroit avec notre partenaire CEREMA. Les principaux acteurs du Cerema sont listés dans le tableau ci-dessous.

Équipe	Qualification, disciplines
Dter Île-de-France	Cecile Maurel : calcul ouvrages, parois Charles Kreziak : variabilité sous sol, géothermie Margaret Herbaux : géothermie
Dter Méditerranée	Jérôme Saliba : dimensionnement pentes clouées
Dter Nord-Picardie	Julien Habert : coefficient de réaction, aspect cyclique, géothermie Sophie Legrand : méthodes de conception adaptées pour ouvrages de soutènements cloués
Dter Normandie Centre	Lucile Saussaye : Matériaux innovants sols traités
Dter Ouest	Olivier Malassingne : Valeurs caractéristiques et variabilité spatiales ; Mesure en place de la liquéfiabilité par essais pressiométrique ; Prélèvements adaptés aux sols liquéfiables
Dter SudOuest	Yves Nedellec : Ouvrages durables et économes en énergie par pieux bois
Dterc Itm	Sabrina Perlo : caractérisation des sols par propagation d'ondes

Par l'intermédiaire des projets collaboratifs (pour dissocier les acteurs principaux des partenaires associés, ils sont figurés en gras dans le tableau) des collaborations directes sont établies soit par la signature de conventions bipartites ou par l'encadrement de doctorants dans le cadre de conventions Cifre.

La liste des partenaires potentiels du projet est présentée dans le tableau suivant, elle comprend environ 50 partenaires.

Entités	Nombre	Partenaires
Universités / Ecoles	5	Grenoble, Le Havre, Lille, Ecole des Ponts ParisTech, ESTP
Établissements Publics	3	Cerema , IFSTTAR, IRSTEA,
Fabricants de matériels	4	ACI, GEOMATECH , CALYF, LUTZ
Entreprises de travaux	10	DEMATHIEU&BARD, EIFFAGE, FAYAT-FRANKI, GTS , KELLER, MENARD , SOLETANCHE-BACHY , SAIPEM, SPIE, VINCI (VCF, VCGP)
Maîtres d'œuvre et bureaux d'études	16	ACCOTEC, ANTEA , ARCADIS, EGIS, EUROGEO, FONDASOL, FUGRO , GEOS INGENIEURS CONSEILS, GEOSLAB, GEOTEC, GINGER-CEBTP, HYDROGEOTECHNIQUE, SYSTRA, TECHNOSOL, TERRASOL, TRACTEBEL
Maîtres d'ouvrage	6	ADP, EDF, GPM Havre, GPM Dunkerque, RATP , SNCF
Bureaux de contrôle	3	APAVE, BUREAU VERITAS, SOCOTEC
Syndicats professionnels	3	FNTP, SOFFONS, USG
Total		50

Les partenaires internationaux dont une première liste peut être dressée :

Entités	Nombre	Partenaires
Universités	6	Porto University (PT), University of New-Hampshire (EUA), Catalogne University Barcelone (SP), West Pomeranian University of Technology (PL), Warsaw University (PL), ENIT (TU)
Fabricants de matériels	2	Cambridge InSitu (RU), RocTest (CA)
Maîtres d'œuvre et bureaux d'études	5	Geoprojekt Szczecin (PL), Igeotest (SP), Eurasol (LU), TERRASOL Tunisie (TU), Hydrosol fondations (TU)
Entreprises	1	FTS (TU)
Total		14

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

La problématique du projet et des industriels partenaires permettra d'ouvrir des questions théoriques nouvelles. Des échanges et des travaux s'organiseront avec les équipes de recherche qui s'engageront sur ces sujets. La synergie entre les milieux industriels et académiques ainsi établie aboutira à des résultats scientifiques de haut niveau.

L'apport sociétal du projet s'appuie sur la formation par la recherche. Des stages de fin d'étude, thèses et post-doc sont déjà engagés. Nous listons ci-après les différentes thèses projetées dans le cadre du projet.

Financier	Université	Directeur de thèse	Années d'activité	Sujet
Min. Vietnamien de l'éducation	IFSTTAR-SRO	Reiffsteck	2015-2018	Comportement des sols sous liquéfaction artificielle, amélioration des sols à risques liquéfiables
Antéa	IFSTTAR-SRO	Reiffsteck	2015-2018	Intégration thermique et mécanique des géostructures énergétiques : de l'échelle du bâtiment à l'échelle de la cité
Geomatech	IFSTTAR-SV/SRO	Semblat-Reiffsteck	2015-2018	Étude de la dégradation des modules en petite déformations en combinant des mesures de propagation d'onde et des essais pressiométriques
Lutz	IFSTTAR-SRO	Reiffsteck	à définir	Mesure de pression interstitielle et liquéfaction sous chargement cyclique
IFSTTAR	IFSTTAR-SRO	Guédon	2015-2018	Évaluation de la durabilité de différentes techniques de renforcement de digues
Fugro	Navier	Dupla	à définir	Utilisation de l'essai pressiométrique cyclique pour étudier la dégradation des modules en petite déformations et le développement de courbes t-z cycles à cycles

Livrables

Les livrables sont répartis selon les trois tâches structurant le projet.

Les produits visés sont la rédaction d'un guide des bonnes pratiques à l'attention des sondeurs, des chefs-sondeurs et des responsables d'équipe de sondage et d'un livre sur l'utilisation du pressiomètre. Le guide pourra être l'objet d'un support de formation ou de présentation.

Bien sûr les matériels développés dans le cadre du projet seront proposés à la vente et certains plans libres de droits seront mis à disposition gratuitement.

Des rapports de recherche, des mémoires de fin d'études et des thèses. Ces travaux serviront de base à la rédaction de guides techniques et méthodologiques, des documents prénormatifs s'inscrivant dans les évolutions des normes européennes, des modes opératoires destinés aux praticiens. Les bases de données seront utilisées pour caler les coefficients de modèles proposés dans les révisions des documents normatifs existants.

Les modalités et supports de la diffusion auprès de la communauté du pressiomètre et des ingénieries (publiques ou privées) étrangères et nationales sont les suivants :

- la création d'un site web dédié au projet ;

- etc.

SaNuIT: Cumul des nuisances environnementales et des risques liés aux transports au regard des inégalités sociales et territoriales

Axe de rattachement : 3

Mots-clés (6 maxi) : Transports, Santé, Nuisances, Risques, Impacts, Inégalités Socio-Territoriales

Responsable IFSTTAR Mouloud Haddak, TS2, Umrestte

Autre Responsable Xavier Olny, CEREMA, DTER-Centre Est

Axe de rattachement : 3

Durée : 4 ans (2017-2020)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar (thématiques prioritaires, COP), connaissances préalables (références bibliographiques)*). (A titre indicatif, ½ page)

La demande sociétale devient de plus en plus forte pour mesurer les expositions aux différentes nuisances environnementales selon l'origine : habitations, industrie, agriculture, transports ... mais aussi leurs effets sur la santé.

Les études bibliographiques et les présentations réalisées au cours des séminaires du groupe de réflexion « Inégalités sociales, Santé & Transports » montrent une convergence de vues vers des méthodes de mesures similaires aussi bien de l'exposition que de l'évaluation des effets sur la santé des différents impacts des transports : pollution chimique et sonore, accidents de la route, ...

Ainsi, les approches socio-territoriales de la mesure de l'exposition à la pollution chimique et sonore et aux accidents de la route, ont recours aux mêmes méthodes utilisant les S.I.G..

De même, les méthodes d'évaluation d'effets sur la santé convergent vers des approches prenant en compte à la fois la mortalité immédiate, la mortalité prématurée et d'une manière générale les années de vie perdues corrigées du facteur d'invalidité, en particulier en lien avec le PNSE3.

Cette convergence des méthodes de mesures de l'exposition aux différents impacts des transports laisse supposer que le moment est venu de mesurer les effets cumul ou les effets cocktails sur les populations de territoires surexposés, macro et méso.

SANUIT vise ainsi à la fois la définition d'indicateurs multicritères (air, bruit, accidents, mais aussi social, économique et sanitaire) et la constitution de bases de données environnementales dans l'objectif d'un diagnostic territorial à une échelle macroscopique (mise en commun ou analyses conjointes des différentes bases de données disponibles).

Valeur ajoutée de la demande (*originalité de l'action, réponse à des attentes exprimées, potentiel nouvelles connaissances, verrou scientifique, innovation, optimisation de moyens ou de ressources,*) (A titre indicatif, ¼ page)

Les problématiques scientifiques concernent les méthodes de mesures de l'exposition aux différentes nuisances, les méthodes d'évaluation de leurs effets sur la santé, ainsi que l'évaluation de l'effet cumul ou cocktail sur les populations de territoires surexposés.

En particulier, dans le cadre du PNSE3, l'objectif serait d'identifier les territoires les plus exposés aux différentes nuisances dues aux transports, puis de proposer des stratégies de prévention ou de réduction de ces nuisances et des indicateurs permettant d'évaluer l'impact des différentes politiques de mobilité (urbaine, péri-urbaine ...) sur l'évolution des nuisances dus aux transports et leurs effets sur la santé.

Les principaux bénéficiaires (collectivités territoriales, ministères de tutelles) sont intéressés par les outils et méthodes de diagnostic et d'évaluation (indicateurs) des impacts environnementaux et sanitaires des transports qui seront proposés à l'issue de ce travail.

L'originalité de cette recherche réside dans son approche holistique :

- *Approche visant à prendre en compte l'ensemble des impacts environnementaux, positifs ou négatifs, des transports et leurs effets sur la santé*
- *Approche permettant de construire des indicateurs mesurant les impacts environnementaux et sanitaires liés aux transports, avec prise en compte des caractéristiques socio-économiques des territoires et populations exposées*
- *Prise en compte des mobilités des populations dans l'évaluation de cette exposition*
- *Approches multi-échelles, à la fois spatiales (macro, méso et micro) et temporelles (saisonnalité, motifs, ...)*

Cette recherche est en cohérence avec les objectifs de l'institut qui vise à promouvoir des approches pluri-disciplinaires et holistiques, permettant d'appréhender au mieux et au plus près les questions de recherche. L'institut cherche à fédérer les ressources scientifiques, internes et externes, sur des questions de recherche communes.

Description de la démarche et de la structuration de l'action *(description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches, des différents sujets traités, ...)* (A titre indicatif, ½ page)

Dans le cadre d'un précédent groupe de réflexion sur la question des liens entre « inégalités socio-territoriales, santé et transports », financé par la région Rhône-Alpes, 2013 à 2015, trois séminaires ont déjà été réalisés, alimentés principalement par les travaux des partenaires associés à cette ORSI.

La réflexion de ce groupe aura constitué un excellent travail préparatoire à cette ORSI et nous permet de mieux affiner notre programme de travail.

Un premier livrable attendu par les partenaires est un véritable état des lieux des méthodes de mesure ou d'évaluation de l'exposition aux principales nuisances, risques et autres impacts des transports sur la santé. Ce rapport devrait permettre de faire le point sur les indicateurs disponibles pour mesurer, évaluer le niveau ou la gravité de chacun de ces principaux impacts des transports. Ce rapport devrait également effectuer une synthèse des avantages et limites de ces indicateurs.

Parallèlement à la réalisation de ce livrable, une ADR sera sollicitée ainsi qu'une allocation post-doctorale (Bourse P. & M. Curie, ...), d'une part, et d'autre part, un projet de recherche commun sera élaboré et soumis à l'ANR ou dans un cadre européen (Action COST, ...).

Productions prévues *(mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.) - Préciser l'échéance prévue (année)*

Un échéancier prévisionnel peut ainsi être proposé :

1. Rapport de synthèse de l'état des connaissances, résumant les communications des 3 séminaires réalisés dans le cadre du groupe de réflexion SaNuiT (fin de la première année).
2. Rapport état des lieux des indicateurs ou mesures disponibles concernant l'exposition à chacune des nuisances ou risque liés aux transports (Fin de la deuxième année).
3. Guide méthodologique pour l'évaluation ou la mesure des effets cumulés des principaux impacts (nuisances environnementales et risque routier) des transports sur la santé (Fin de la troisième année).
4. Communication dans un congrès avec actes et soumission d'articles dans une revue de rang A.

5. Colloque final, avec actes, permettant de faire la synthèse des réflexions menées dans le cadre de cette ORSI (au cours de la quatrième année). Les actes seront publiés par l'IFSTTAR et le CEREMA. Ce colloque pourrait cibler les collectivités territoriales.

Partenariats internes et externes

Partenariats internes

Nom- Prénom	Dpt/Labo	Estimation h/mois par an	Principale contribution
Hours, Martine	TS2-Umrestte	1	Liens entre milieux socioéconomiques et devenir des victimes
Evrard, Anne-Sophie	TS2-Umrestte	1	Débat – Bruit des avions et riverains
Alauzet, Aline	TS2-LESCOT	1	Mobilités et handicaps
Granier, Marie-Axelle	TS2-LMA	1	Genre et mobilités
Clabaux, Nicolas	TS2-LMA	1	En cours ...
F. Papon, J. Armoogoom	AME-DEST	1	Motorisation & inégalités sociales, Modélisation
Joumard, Robert	AME-LTE	1	Inégalités des victimes et inégales responsabilités à l'égard de l'environnement
X.	AME-LAE		En cours
Wenglenski, S.	AME-LVMT		En cours

Partenariats externes (à minima le nom de l'organisme et le sujet sur lequel il contribue)

Nom- Prénom	Organisme	Estimation h/mois par an	Principale contribution
Olny, Xavier	CEREMA – Unité Environnement & Santé	1	Cartographie et identification des co-expositions aux polluants atmosphériques et sonores en R.A.
Bernagaud, A.S.	CEREMA - Mobilités	1	Mobilités
Mietlicki, Fanny	Bruit-Parif	1	SURVOL -
Deguen, Séverine	EHESP	1	Indicateurs de défaveur – Méthodes d'analyse spatiale
J.P. Nicolas, P. Pochet, L. Bouzouina	LET-Entpe	1	Modèle SIMBAD / Enquêtes EMD – Prise en compte de la dimension sociale dans la modélisation transport
Cristofol, Anna	IGN, Univ. Paris Est	1	Effets coupures - Mesure de l'enclavement (marche à pied, ...)

Héran, Frédéric	CLERSE	1	Effets coupures- Coupures urbaines & enclavements
Havet, Nathalie	GATE, Lyon2	1	Mobilité & accès à l'emploi
A. Hellequin, R. Bavdek	TVES Univ. Du Littoral Côte d'Opale	1	Indicateur de défaveur pour la mesure des inégalités environnementales
C. Praznoczy	ARRIVA	1	Inégalités de santé et liens potentiels avec le champ des transports
S. Mathon	CEREMA Nord Picardie	1	Retour d'expérience – Impacts sociaux de la mobilité
S. Occelli, S. Bianco	IRES, Région du Piemont, Italie	1	Inégalités sociales et territoriales des accidents de la route en région du Piémont
R. Lahmandi-Ayed	ESSAI Tunis	1	Modélisation statistique et économétrique
A. Saïdi	STATS-Canada	1	Logiciels de Modélisation

Valorisations possibles

(Vis-à-vis des tutelles de l'Ifsttar, de collectivités, de partenaires institutionnels, académiques ou du monde économique, auprès de la société civile ou du grand public)

1. Rapports état des lieux, guide méthodologique, colloque et actes du colloque
2. Thèse (ou post-doc) dont le sujet sera précisé au cours de la première année
3. Articles de rang A ou numéro spécial dans une revue à comité de lecture
4. Définition et élaboration d'un projet de recherche à soumettre à l'ANR, par exemple, ou action COST.

CaDORoc : Caractérisation et dimensionnement des ouvrages au rocher

Mots-clés (6 maxi) : aléa rocheux, impacts, ancrages, écrans pare-blocs, talus rocheux, fondations

Responsable IFSTTAR J.P. Rajot, GERS/RRO

Autre Responsable Muriel Gasc, CEREMA

Axe de rattachement : 3

Durée : 4 ans (2014-2017)

Enjeux et objectifs (*problématique scientifique, enjeux sociétaux concernés, originalité du projet, articulation avec le COP, références bibliographiques*). Ce paragraphe reste inchangé sur toute la durée de vie de l'outil incitatif.

Les travaux envisagés visent à mieux appréhender le comportement des ouvrages géotechniques au rocher (talus, ancrages, fondations au rocher, ouvrages de protections, etc...) en vue d'améliorer leur dimensionnement et de mieux tenir compte de leur durabilité. La résilience des ouvrages géotechniques aux sollicitations accidentelles répétées fera aussi l'objet d'une investigation expérimentale (performance des merlons, des matelas amortissants de protection de structures ou de bâtiments). Cette collaboration structurante de recherche élargit le champ d'application et bénéficie de l'opération de recherche antérieure intitulée « chute de bloc », terminée en 2013.

Une première analyse des besoins et des préoccupations exprimées par les maîtres d'ouvrages, les gestionnaires d'infrastructures routières et ferroviaires, ou par les responsables de la sécurité, conduit à classer les attentes sur cette thématique en trois catégories :

- (1) Caractérisation des matériaux et des massifs rocheux, en vue d'améliorer la connaissance de l'aléa rocheux (zonage et dimensionnement d'ouvrages) et la prise en compte du comportement des discontinuités naturelles et des propriétés physico-chimique des interfaces roche / acier / coulis / béton.
- (2) Dimensionnement et modélisation des ouvrages géotechniques au rocher (fondations, talus, ancrages, ouvrages de protection,...), avec une attention particulière à apporter aux interfaces et à la définition de valeurs caractéristiques pour les paramètres des modèles.
- (3) Analyse et retour d'expérience sur sites et ouvrages, parfois suivis depuis plusieurs années, pour mieux appréhender le rapport coût / sécurité / efficacité de protections et introduire une approche en coût global en considérant le vieillissement des différents ouvrages.

Pour satisfaire ces attentes, en l'état des connaissances actuelles (2014), l'opération visera, d'une part, à produire des résultats de recherche appliquée et de méthodologie/diffusion de doctrine française atteignables sur la durée du projet et, d'autre part, à investiguer des pistes de recherche exploratoires pour préparer les compétences futures. Une liste des principaux livrables est donnée dans la suite.

État de l'art

L'analyse des ouvrages géotechniques au rocher et des parades à l'aléa risque rocheux, aujourd'hui à l'œuvre en France et dans le monde depuis plusieurs décades, montre qu'il est nécessaire de progresser en matière de dimensionnement et de pérennité, avec une attention particulière aux évolutions potentielles des structures rocheuses.

Les roches et les ouvrages en interaction avec elles (talus, renforcements, ancrages, fondations,...) sont souvent entre deux représentations extrêmes : celle de la mécanique des milieux continus et celle de la mécanique des milieux discrets. Parfois, la notion de volume élémentaire représentatif des propriétés, fondamentale pour la représentativité des modèles, ne peut pas être vérifiée. De fait, les approches de dimensionnement sont soit dérivées des approches de la mécanique des sols, alors que la compatibilité des déformations des matériaux qui garantit la mobilisation respective des résistances dans les différents matériaux est très différente, soit d'approches très rustiques en mécanique des solides dont la validité et le choix des valeurs de paramètres font discussion.

Par ailleurs, le dimensionnement d'ouvrages géotechniques au rocher suppose que le massif rocheux n'évoluera pas pendant la durée de vie de l'ouvrage. Dans la pratique, l'ingénieur choisit les valeurs

des paramètres en intégrant une expérience implicite non formalisée. Le retour d'expérience montre en fait une influence non négligeable de l'évolution dans le temps du massif rocheux (altération et recul des talus rocheux, vieillissement des discontinuités du fait des variations climatiques,...) et des dispositifs ajoutés pour sa stabilisation ou pour construire un ouvrage (béton, ancrages, scellement, etc...), donc sur leur interaction.



Figure 1. *Ouvrages en encorbellement et ancrages de protections dans les gorges de la Bourne (2012).*



Figure 2. *Barrage de Choranche. Appuis au rocher en rives (2013).*

Sujets traités

Sujet 1 : Caractérisation de l'évolution des massifs et du risque rocheux (Eric Dimnet, Ifsttar)

- 1.1 Caractérisation et évolution des massifs rocheux et de leurs discontinuités naturelles (Muriel Gasc, Cerema)
- 1-2 Caractérisation de l'aléa rocheux et de la vulnérabilité (rupture, propagation, impact) (Eric Dimnet, Ifsttar)
 - 1.2.1 Moderniser et développer les outils actuels de quantification de l'aléa
 - 1.2.2 Unifier les pratiques au sein du RST

Sujet 2 : Caractérisation de l'altération des interfaces ouvrages-roche (Myriam Mori et Jean-François Serratrice, Cerema)

Sujet 3 : Modélisation et dimensionnement des ouvrages géotechniques de protection au rocher (Marion Bost, Ifsttar)

- 3.1 Ancrages et clouages (Marion Bost, Ifsttar)
- 3.2 Écrans de filet (Laurent Dubois, Cerema)
- 3.3 Talus rocheux (Samuel Dauphin, Cerema)
- 3.4 Fondations au rocher (Didier Virely, Cerema)

Sujet 4 : Prise en compte de la durabilité des ouvrages géotechniques (Patrice Maurin, Cerema)

- 4.1 Utilisation de valeurs caractéristiques (Didier Virely, Cerema)
- 4.2 Retour d'expérience et entretien des dispositifs de protection (Marie Malascrabes, Cerema)

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 41 hm/an

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : 86 hm/an

Préciser, en particulier pour les projets fédérateurs et les ORSI, la principale contribution scientifique et/ou technique de chaque partenaire.

Le **personnel Ifsttar et Cerema** mobilisé en 2014 est de l'ordre de 127 homme.mois. En termes de chercheur, ingénieur et doctorants,

- L'Ifsttar a engagé 41 homme.mois
- Le Cerema 55 homme.mois.

En outre, le Cerema mobilise l'expérience de techniciens supérieurs et techniciens à hauteur de 31 homme.mois.

Les mobilisations prévues pour les années suivantes 2015-2017 sont du même ordre.

Produits majeurs visés (*mettre en avant les produits majeurs tels que les publications et ouvrages scientifiques, les articles de vulgarisation, guides, thèses, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, les actes de colloques, etc.*)

Préciser l'échéance prévue ou réalisée (année)

Le programme prévisionnel sur la période 2014-2017 comporte de nombreuses actions qui concourent à la production de différents livrables, parmi lesquels figurent les suivants :

1. Objectifs atteignables sur la durée de la collaboration structurante de recherche (recherche appliquée et méthodologie)

- **Méthodologie pour la caractérisation de l'aléa rocheux suivant l'objectif d'étude (PPR, itinéraire, localisé)** : Les différents objectifs poursuivis selon les types d'études sont source de confusion quant à la précision et à l'utilisation des résultats. Analyse des différentes approches employées en France par le RST en fonction des objectifs d'étude, synthèse et guide méthodologique.
- **Diagnostic et suivi des écrans de filets pare-blocs – Durabilité** : Retour d'expérience sur les premiers écrans de filets posés il y a 20 ans. Analyse des pathologies. Coût complet des dispositifs.
- **Risque rocheux localisé : méthode et outil pour la caractérisation de la sollicitation d'impact des ouvrages de protection passive** : Méthodes trajectographiques pour les blocs isolés. Identification des données nécessaires, limites et incertitudes (liées aux données : aléa de départ, aléa de propagation).
- **Dimensionnement des ancrages passifs au rocher (guide technique)**
- **Exécution et contrôle des ancrages passifs dans les roches tendres (craie, marnes)** : Évolution des conditions hydriques et du confinement autour de l'ancrage. Influence des conditions d'exécution, préconisations pour les essais de conformité et de convenance.
- **Actualisation du guide « Fondations au rocher – Reconnaissance des massifs rocheux, conception et dimensionnement des fondations », octobre 2009** : Prise en compte de l'évolution des Eurocodes en mécanique des roches. Influence des irrégularités de surface à différentes échelles. Ancrage des fondations.
- **Dimensionnement et exécution des talus rocheux** : Retours d'expériences. Approche discontinue ou continue suivant analyse structurale et dimension de l'ouvrage. Méthode observationnelle, seuils ?

2. Travaux exploratoires

- **Influence des variations climatiques sur les instabilités rocheuses** : Analyse et quantification du phénomène de fatigue thermique des roches et des massifs rocheux en laboratoire et in-situ.
- **Comportement mécanique des massifs rocheux renforcés par ancrages passifs.**
- **Identification de signes précurseurs de ruptures rocheuses en falaise** : En lien avec l'évolution des massifs, détection des évolutions locales avant rupture (application potentielle du radar REMOTE, écoute micro sismique (nécessite d'une pré-identification de la zone),...).
- **Influence de l'eau sur la résistance mécanique des joints rocheux** : Surface humide ou sèche, test sous différentes contraintes « effectives ».
- **Effet de groupe dans la stabilisation d'un dièdre par ancrages passifs multiples**
- **Dimensionnement des ancrages sollicités en tête en traction – cisaillement** : Influence des rigidités relatives acier – coulis – roche et son altération, influence de l'épaisseur d'enrobage, comportement en tête suivant les nuances d'acier, mode de rupture en traction.
- **Résistance en traction à long terme des ancrages passifs scellés au rocher** : Etude en salle de vieillissement de l'altération en milieu humide des interfaces barre – matériau de scellement et scellement – roche. Identification des phénomènes et paramètres.
- **Dimensionnement et résilience des merlons et des structures protégées par dispositif amortissant** : Étude physique sur modèles en semi grandeur et en vraie grandeur pour observer les phénomènes, dans l'objectif de proposer un modèle prédictif. Investigation du poinçonnement dynamique dans un sol purement frottant, influence du confinement sur la propagation de la sollicitation, bande de cisaillement localisée autour de l'impacteur, etc.
- **Modélisation des écrans de filet** : Identification des paramètres physiques qui ont une influence sur la réponse de l'écran de filet et des éléments de modélisation prépondérants (conditions initiales, etc.).
- **Auscultation non destructive des ancrages passifs au rocher** : Nouvelle approche pour localiser et identifier la nature de l'altération des ancrages par analyse d'ondes guidées.

Partenariats et contrats (*nom des partenaires et externes internes (notamment pour les projets fédérateurs et les ORSI) ; pour les contrats préciser le financeur, nom du projet, descriptif sommaire, période*)

Le projet CADOROC répond aux besoins du ministère en charge de l'Ecologie, Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer (DGITM) et Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR), concernant la justification des ouvrages au rocher et des dispositifs de protection contre le risque rocheux. La liste des livrables montre l'effort porté tant sur la recherche appliquée que sur la méthodologie : prise en compte des évolutions de l'Eurocode 7 pour la mécanique des roches, méthodologie d'étude de l'aléa rocheux en fonction de l'objectif d'étude (PPR, infrastructure linéaire ou localisée), maintenance des ouvrages de protection contre les chutes de blocs, etc. (voir en fin de document).

Par ailleurs, le programme de recherche a été conçu en identifiant les questions récurrentes posées sur le terrain par différents Maîtres d'Ouvrages autres que l'État et par la profession dans le secteur économique. Ainsi, le programme intègre plusieurs contrats de recherche partenariale et thèses financées indépendamment de CADOROC, mais qui concourent aux compétences des intervenants. Ces projets sont listés ci-dessous.

Période	Contrat/projet dev/autre	Descriptif
2013-2016	Contrat Ifsttar	Influence de l'effet d'échelle sur la résistance et le comportement des interfaces roche-béton (financement EDF 100%) – Début : octobre 2013.
2013-2016	Contrat Ifsttar	Justification des ancrages passifs au rocher sollicités en traction-cisaillement en tête (financement SNCF et GTS 100%) – Début : décembre 2013.
2012-2015	Projet développement	Développement d'un radar hyperfréquence ULB pour la surveillance des versants et la détection de signes précurseurs de rupture rocheuse (FUI REMOTE : ONERA, IFSTTAR, CEREMA, ESTAR, EGIS). Financement : BPI, Région PACA, Région Bretagne, CG13 et les membres du projet).

2014-2015	Contrat Ifsttar	Qualification expérimentale de merlons de type « Geotrel », remblai en sol renforcé par bandes synthétiques entre deux murs verticaux avec parement minéral, pour la protection contre les chutes de blocs (financement Terre Armée International)
-----------	-----------------	--

Thèses

Thèses (y compris celles en association) et financeur (Ifsttar, Cerema, autres) (*uniquement pour les ORSI*) :

- Thèses demandées :
- Thèses obtenues (*préciser le ou les sujets*) :

La collaboration structurante de recherche CADOROC comporte **cinq thèses** :

- (1) *Influence des variations climatiques sur les instabilités rocheuses (financement Cerema)*
- (2) *Etude du comportement en traction-cisaillement des ancrages passifs scellés au rocher (Ifsttar-SNCF)*
- (3) *Comportement et modélisation des écrans de filets pare-blocs dynamiques (Cerema)*
- (4) *Comportement des sols grenus sous sollicitation d'impact (Ifsttar-ministère écologie)*
- (5) *Caractérisation de la résistance au cisaillement et comportement des Interfaces entre Béton et Fondation des structures Hydrauliques (Ifsttar-EDF)*

Résultats obtenus (*ce paragraphe est initié à la fin de la première année de vie de l'outil incitatif et mis à jour annuellement*)

Les majeures productions obtenues à ce jour (Octobre 2016) sont présentés ci-après. A ces productions significatives, il convient d'ajouter de l'ordre de 35 publications en revues de rang A, congrès ou revues techniques avec comité de lecture depuis le début de l'opération en 2014.

- **Développement radar ULB pour la surveillance des versants**

Projet FUI clôturé fin 2015. Ce projet visait le développement d'un radar portable et repositionnable de haute précision (< 0.1 mm), permettant de couvrir par tout temps des falaises rocheuses à grande distance (jusqu'à 6 km). Deux prototypes ont été fabriqués et ont démontré que les capacités attendues étaient obtenues. Néanmoins, l'entreprise de fabrication du radar ayant déposé le bilan, une poursuite du projet avec une nouvelle entreprise est en cours d'étude avec l'ONERA, dans l'objectif de produire une présérie industrielle et de développer les applications scientifiques parallèlement à la commercialisation.

- **Influence des cycles thermiques sur les instabilités rocheuses**

Thèse Cerema 2014-2017. Programme d'essais au laboratoire réalisé pour étudier l'influence du nombre de cycles de variation de température sur la résistance d'une roche. Des résultats très différents ont été observés entre deux séries d'essais, impliquant d'initier une fracturation de l'échantillon avant essais pour une bonne répétabilité des résultats. La modélisation par éléments finis basée sur un modèle de comportement élastoplastique avec endommagement est satisfaisante. Soutenance de thèse plutôt pour fin 2017.

- **Propag : maîtrise des outils de prédiction de l'aléa rocheux bloc isolé**

Le logiciel de trajectographie existant a été analysé pour présenter les bases scientifiques du moteur de calcul et ses limites d'utilisation, levées par corrélations empiriques. Une interface utilisateur a été développée. Cet outil, le seul déterministe du marché (indépendant d'incertitudes laissées à l'initiative de l'utilisateur dans les autres codes), démontre du savoir-faire du RST dans ce domaine. La politique de diffusion de l'outil sera discutée en 2017 par le Cerema.

- **Propagation des éboulements rocheux en masse**

Mise au point d'un logiciel (STARR3D) pour la simulation par éléments discrets de la propagation d'un éboulement rocheux composé d'un grand nombre de blocs rocheux. Découpage de la masse de départ sur la base d'un modèle numérique de terrain et des observations géologiques, prise en

compte de topographies de versant 3D variées, incluant éventuellement des protections comme des merlons dans la pente.

- **Méthodologie d'étude d'aléa adaptée à l'objectif (PPR, itinéraire, localisé)**

L'objectif de ce sujet était d'améliorer les pratiques des études d'aléa rocheux au sein du RST, les attentes et les moyens engagés étant variables suivant l'objectif de l'étude. Les études au niveau d'une commune, par cartographie, sont censées donner un zonage d'ensemble de l'aléa, mais dans les faits sont applicables à la parcelle. Un tel degré de précision implique généralement de lourdes investigations, d'où une pratique très variable suivant les donneurs d'ordres. Inversement, une étude à l'échelle d'une parcelle n'est pas toujours adaptée à l'étude d'un aléa mouvement de terrain qui peut concerner tout un versant. Les analyses réalisées dans le cadre de cette étude conduira à la production d'une note méthodologique pour la caractérisation de l'aléa risque rocheux sur itinéraire routier ou ferroviaire.

- **Guide de dimensionnement des ancrages passifs au rocher**

Production majeure. Ce nouveau guide est en cours de publication (sélection de l'éditeur en cours). Dans un premier temps, ce guide sera diffusé de manière restreinte en version pdf, pour recevoir les observations d'entreprises du domaine, en attente forte d'un tel guide. Ce guide sera officialisé et diffusé librement à l'issue de la journée de restitution de l'opération CaDORoc prévue fin 2017.

- **Comportement des ancrages au rocher (Thèse Duc An HO)**

Soutenance programmée le 16/01/2017. Cette thèse SNCF-GTS-IFSTTAR étudie l'influence de différents paramètres d'un ancrage sur la longueur de transfert de l'effort axial entre une barre d'ancrage et le rocher, dans la perspective d'optimiser la longueur de scellement, en pratique aujourd'hui prise forfaitairement égale à 3 m. Les barres d'ancrage en acier présentent des verrous de hauteur 1.3 mm pour accroître la résistance de l'interface entre la barre et son coulis de ciment de scellement. Lors d'une sollicitation axiale, ces verrous génèrent également une forte dilatance radiale, laquelle augmente la résistance de l'ancrage. L'influence de différents paramètres d'intérêt pour la profession et la SNCF ont été étudiés: nature de coulis, du diamètre de forage, présence d'une « chaussette », canules d'injection... Trente-six essais expérimentaux sur site en vraie grandeur ont été réalisés pour étayer un modèle numérique complexe.

- **Auscultation non destructive des ancrages au rocher**

L'objectif de cette action est d'étudier la possibilité d'utiliser les ondes guidées (employées pour détecter les dommages aux câbles de haubans) pour détecter un défaut d'ancrage ou de scellement, lors d'essais de conformité ou de contrôle dans le temps. Il est important de noter qu'il a été montré que les essais d'arrachement directs réduisent la résistance des ancrages. Des tests de faisabilité ont été effectués sur barres 25 et 32 mm dans l'air et dans l'eau, montrant que l'on est en mesure de détecter la nature du milieu environnant de la barre par la technique des ondes guidées. En 2017, de nouveaux tests en laboratoire sont prévus pour caractériser la signature d'imperfections « connues. »

- **Modélisation des écrans pare-blocs**

Thèse de Djibril (Cerema). Un modèle numérique par éléments discrets a été développé. Différents modèles de composants d'écrans de filets dynamiques ont été développés. Des essais pour caractériser les anneaux à quatre points utilisés dans certains écrans ont été effectués. Après ce calage des propriétés, les simulations apparaissent relativement bien prédictives, ouvrant la voie à l'investigation par méthode numérique du comportement des dispositifs de protection métalliques. Un impact sur un écran au niveau SEL d'énergie, puis au niveau MEL. Le second impact, après endommagement des freins, montre des rebonds et d'importants coups de fouet des câbles, comme observé en pratique.

- **Comportement des sols grenus sous sollicitation d'impacts**

Thèse Tarik Oussalah (2014-2017, dispositif poursuite en thèse des ITPE, financement ministère en charge de l'écologie, dont soutien au fonctionnement par la DGPR). L'objectif de ces travaux est de définir la distribution dynamique de pression transmise, lors d'un impact par un bloc rocheux, au travers d'une couche de sable placée en protection d'une structure. L'étude paramétrique expérimentale à haute énergie est réalisée à l'aide de la station d'essais de chute de blocs de Montagnole, grande équipement de l'Ifsttar. Les paramètres considérés sont : la vitesse d'impact, le diamètre de l'impacteur (bloc) et l'épaisseur de la couche de protection. L'ensemble du programme

d'essais a été réalisé en 2016, le dépouillement et l'interprétation sont en cours. Des rapports intermédiaires sont communiqués à la DGPR. Outre la thèse (2017), un manuel technique incluant des abaques de dimensionnement des couches de sol amortissantes et une méthodologie pour la modélisation numérique seront produits.

- **Impact latéral contre un merlon en Terre Armée**

Ces travaux ont été réalisés à la demande de l'entreprise Terre Armée International. Un merlon haut de 3.5 m a été construit selon la technologie « Terratrel », parement minéral extérieur et massif en grave renforcée par bandes géosynthétiques à l'intérieur, puis impacté à l'aide de la grande catapulte hydraulique de l'Ifsttar. Trois essais ont été effectués, à différentes énergies (jusqu'à 1 MJ) et hauteurs d'impact. L'endommagement et la réparabilité du parement ont été étudiés. Des accéléromètres placés à l'intérieur du massif en sol renforcé ont permis d'étudier la propagation dynamique des efforts dans le massif. Production : rapport d'essais pour l'entreprise, deux communications : conférence RSS 2016 et Int. Journal of Impact Engineering (en cours).

- **Etude exploratoire sur la résistance des murs en béton banché**

Etude en cours à la demande de la DGPR. Quinze éléments de murs banchés, de structure normalisée, utilisés pour la construction de bâtiments en montagne, ont été fabriqués par une entreprise sur un chantier réel et livrés à la station d'essais de chute de blocs pour être impactés en vraie grandeur. L'objectif est de fournir des éléments qualitatifs objectifs d'endommagement potentiel des structures de bâtiment lors d'un possible impact rocheux. Après calage numérique approché pour estimer l'énergie d'impact à appliquer en fonction du diamètre de l'impacteur, réalisée en collaboration avec l'INSA de Lyon, une première campagne d'essais sur six éléments de murs a été réalisée. Des mécanismes d'endommagement très différents ont été observés en fonction de la taille du bloc, montrant que le niveau d'énergie seul était insuffisant pour caractériser l'aléa rocheux, comme c'est la pratique en cours aujourd'hui (2016). Une étude numérique complémentaire est en cours pour définir la suite de la campagne d'essais, qui sera réalisée fin 2016. Exploitation des résultats en 2017.

- **Méthodologie de dimensionnement et d'exécution des grands talus rocheux non soutenus**

Un projet de guide est en train d'être élaboré par le Cerema. Le plan du document a été mis au point en concertation et quelques chapitres rédigés. Une version sera soumise à relecture Ifsttar – Cerema en fin d'année 2017.

- **Outils numériques pour la modélisation des massifs fortement jointés ou dégradés**

Sujet abandonné, avec regrets, car la déformabilité des massifs rocheux est clairement la prochaine étape scientifique pour le dimensionnement des ouvrages de génie civil au rocher.

- **Fondations au rocher – Intégration des Eurocodes dans le guide SETRA**

L'objectif de cette action était de compléter le guide SETRA actuel sur le dimensionnement des fondations au rocher en introduisant une application de l'Eurocode 7, en cours de révision pour introduire la mécanique des roches. Action abandonnée.

- **Effet d'échelle sur la résistance de l'interface rocher – béton**

Thèse soutenue le 14/09/2016. Recherche partenariale EDF – Ifsttar. La justification de la stabilité d'un barrage-poids existant sur une fondation rocheuse comporte la vérification de la stabilité vis-à-vis du glissement à l'interface entre béton et roche. Le comportement au cisaillement de cette interface dépend de l'effort normal appliqué à la fondation, de la déformabilité respective de la roche et du béton, de la morphologie de la surface rocheuse et éventuellement de sa propreté avant le coulage. Pour relier la résistance au cisaillement observée au laboratoire sur des échantillons de petites dimensions (carottes) à la résistance à la base d'un barrage, l'effet d'échelle sur le comportement et la résistance des interfaces entre roche et béton a été étudiée. Outre la question complexe de la caractérisation objective d'une topographie à différentes échelles, des essais de cisaillement direct ont été effectués à différentes échelles, certains métriques mobilisant un équipement exceptionnel au niveau mondial basé au Cerema à Lyon. Enfin, un modèle numérique de simulation du contact, cohésif avec dégradation puis frottant, entre deux solides de comportement fragile avec plasticité localisée, a été développé. Le phénomène d'effet d'échelle sur la résistance au cisaillement des interfaces béton – roche a été, pour la première fois, mis en évidence expérimentalement et les différents paramètres influençant la rupture identifiés.

- **Retour d'expérience et entretien des dispositifs de protection**

De nombreux ouvrages de protection contre les chutes de blocs, notamment métalliques, ont été construits au cours des 30 dernières années. Aujourd'hui se pose de manière très pressante la question de la résistance à long terme de ces dispositifs et de la soutenabilité économique de leur entretien et maintenance. Un référentiel d'inspection a été produit, avec des fiches d'inspection adaptées aux différents types d'ouvrages de protection rencontrés : écrans dynamiques, barrières statiques, merlons, butons, ancrages de blocs, ouvrages pendus et plaqués. L'utilisation en pratique par les agents du Cerema, à la demande des DIR notamment, montre que ce référentiel est pertinent. Ce référentiel viendra en Annexe technique au guide SETRA sur l'inspection des ouvrages de protection pare-blocs (2010). Une base de données dédiée à la gestion des dispositifs de protection est à l'étude. Par ailleurs, ce travail servira à asseoir la terminologie des éléments constitutifs de ces ouvrages, par une norme française sur la terminologie des ouvrages de protection contre les chutes de blocs (2017). Une telle norme apparaît très pertinente actuellement au niveau Européen en raison de l'ambiguïté introduite par la multiplication des DEE pour le marquage CE.

Programme pour l'année à venir *(ce paragraphe est initié lors de la création et mis à jour annuellement)*

L'année 2017 sera l'année de clôture de l'opération. Un séminaire de restitution des travaux de l'opération CaDORoc, ouvert aux financeurs et à la profession du domaine (bureaux d'études et entreprises de travaux), aura lieu le 10 Octobre 2017.

Les dernières et majeures productions attendues pour 2017 sont les suivantes :

- Influence des cycles thermiques sur les instabilités rocheuses. Thèse Cerema 2014-2017. Soutenance fin 2017.
- Auscultation non destructive des ancrages passifs au rocher par ondes guidées : résultats au laboratoire pour la caractérisation de la signature de dommages à la barre d'ancrage et de défauts de scellement.
- Etude du comportement en traction-cisaillement des ancrages passifs scellés au rocher (thèse Ifsttar-SNCF-GTS). Soutenance début 2017.
- Note méthodologique pour la caractérisation de l'aléa risque rocheux sur itinéraire routier ou ferroviaire.
- Modélisation des écrans de filets dynamiques pare-blocs (thèse Cerema, soutenance octobre 2017).
- Comportement des sols sous sollicitation d'impact (thèse Ifsttar-ministère en charge de l'écologie, soutenance octobre 2017).
- Endommagement à l'impact des murs en béton banchés des bâtiments de montagne.
- Référentiel d'inspection des ouvrages de protection contre les chutes de blocs rocheux : écrans dynamiques, barrières statiques, merlons, butons, ancrages de blocs, ouvrages pendus et plaqués.
- Projet de norme française sur la terminologie des ouvrages de protection contre les chutes de blocs.

Des communications sont également prévues et des rapports d'avancement réalisés pour les différentes productions majeures.

VIBREN : Maîtriser les vibrations environnementales

Mots-clés (6 maxi) : propagation des ondes, vibrations, modélisation numérique

Responsable IFSTTAR Luca LENTI, GERS-SV
Autre Responsable Jean-Jacques Leblond, CEREMA
Axe de rattachement : 3
Durée : 4 ans (2014-2017)

Enjeux et objectifs (*problématique scientifique, enjeux sociétaux concernés, originalité du projet, articulation avec le COP, références bibliographiques*). *Ce paragraphe reste inchangé sur toute la durée de vie de l'outil incitatif.*

L'intégration des effets des vibrations dans les normes nécessite de modèles de propagation des vibrations dans les sols afin de limiter l'incertitude des paramètres utiles au dimensionnement des structures et la prise en compte de la gêne. Les solutions d'atténuation existantes seront recensées en termes de performances, limites d'utilisation et coût. Les évolutions des matériaux de construction interrogent sur leur sensibilité aux vibrations, sur les modes d'instrumentation et des valeurs limite adaptés. Les effets des vibrations sur l'homme, la faune et la flore ne sont pas documentés de manière satisfaisante. Cette opération a l'objectif de fournir des documents méthodologiques à l'usage des bureaux d'études et des maîtres d'œuvre confrontés à la prédiction et à la maîtrise des vibrations.

La prise en compte des vibrations émises par les infrastructures correspond à une préoccupation grandissante. La bibliographie est rare, parfois contradictoire, ne traitant souvent que d'une partie du problème (la source, la propagation ou les effets), manquant d'exemples d'études et de retours d'expérience. Ce domaine des vibrations environnementales ne bénéficie pas encore d'une méthodologie établie et s'appuie sur les connaissances de deux domaines mieux connus (effets des vibrations sur la santé humaine et sur les structures) utilisant des méthodes de mesurage, des indicateurs et un référentiel très différents.

Sujets traités.

L'opération « maîtriser les vibrations environnementales » s'articulera en 5 axes :

- Axe A Connaissance des propagations de la source au récepteur
- Axe B Méthodes de mesure et traitement de données
- Axe C Modélisation numérique
- Axe D Méthodes d'atténuation
- Axe E Effets des vibrations sur les structures et le vivant

Pour chaque axe un responsable a été assigné. Le CEREMA travaille sur la conception et la définition d'une base de données concernant les cas d'étude déjà réalisés

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 12 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : 38 hm/an (*CEREMA ou autre institut*)

Produits majeurs visés

Méthode de prévision sur la propagation des vibrations et définition des seuils ;

Note de synthèse sur transfert des lois d'atténuation des sources de substitution aux réelles et sur l'équipollence entre mesures en vitesse et accélération ;

Rapport de recherche sur la notion de gêne ;

Synthèse sur les dispositifs atténuant envisageables ; documents normatifs (mesure, traitement du signal et gêne).

Partenariats et contrats

CEREMA, IFSTTAR-GERS, IFSTTAR-AME

Thèses

Thèses (y compris celles en association) et financeur (Ifsttar, Cerema, autres) (*uniquement pour les ORSI*) :

- Thèses obtenues (*préciser le ou les sujets*) : Les sources vibratoires et leurs effets sur l'environnement vivant et bâti. (cette thèse a commencé le 13 octobre 2014)

Résultats obtenus

Création et alimentation d'une base de données vibrations. Définition des paramètres utiles à la classification des données de la base. Recensement des cas d'études exploitables. Simulations numériques des atténuations des vibrations en fonction de la distance.

Programme pour l'année à venir

Mis en place de lois d'atténuation et d'amplification pour la description de la propagation selon les différentes classes des sols/sites. Cela se fait en choisissant des paramètres de synthèse liés aux caractéristiques mécaniques des matériaux sollicités par les ondes et aux profondeurs des sites considérés. Plus particulièrement, ces paramètres sont définis à partir des gradients des vitesses en considérant différentes profondeurs (B10, B30, etc.).

Développement d'un outil numérique de prédiction basée sur la classification des sites et en utilisant les différentes fonctions du transfert développées antérieurement. Etudes des différentes sources à partir des enregistrements réels par comparaison avec les résultats issus de la modélisation numérique.

Analyse des effets provoqués par les ondes à différents types des récepteurs en utilisant les résultats obtenus par modélisation numérique.

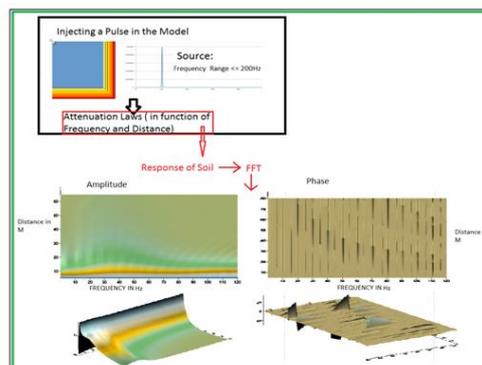


Fig. 2 : Exemple de résultats obtenus par modélisation numérique FEM: en haut) domaine considéré ; au centre et en bas) cartes de propagation (distance-fréquence) des valeurs maximales.



Fig. 1 : instrumentation d'une habitation soumise à des vibrations provoquées par la circulation routière

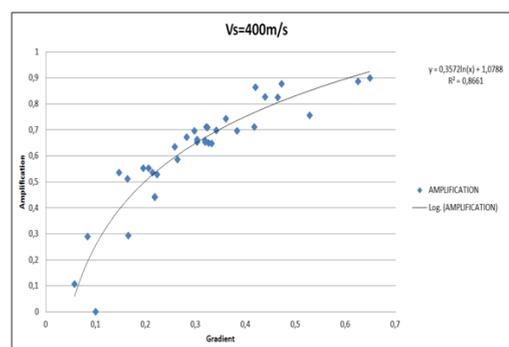


Fig. 3 : Exemple d'amplification en fonction du paramètre de synthèse donné par le gradient de vitesse sur les premiers 10 m de profondeur.

GIEMU : Gestion intégrée de l'eau en milieu urbain

Axe de rattachement : 3

Mots-clés (6 maxi) : environnement, urbain, eau, polluants, infrastructures, gestion

Responsable IFSTTAR : Liliane JEAN-SORO, GERS, LEE

Autre Responsable : Nathalie LE NOUVEAU, CEREMA - Dtec TV

Axe de rattachement : 3

Durée : 4 ans (2016-2019)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar, contribution au COP, références bibliographiques*). (A titre indicatif, ½ page)

L'urbanisation croissante a conduit à l'artificialisation et à l'imperméabilisation des sols, au remblaiement de zones humides, à l'effacement des chemins naturels d'écoulement des eaux, à la canalisation de cours d'eau, à la construction de réseaux d'eau et d'assainissement. Selon les projections d'urbanisation des Nations Unies, les villes vont continuer à canaliser la croissance démographique et économique et ainsi concentrer et accroître les pressions sur les écosystèmes aquatiques¹⁹.

En 50 ans de politique de l'eau, des progrès considérables ont été accomplis en matière de gestion de l'eau, et plus récemment suite à la Directive Cadre Européenne sur l'eau (2000/60 CE). Ainsi, les collectivités et gestionnaires ont mis en place un certain nombre de mesure afin de gérer les eaux pluviales dans l'espace urbain. Les bassins d'orage, les bassins de retenue, ont pour premier objectif la réduction des inondations liées à l'imperméabilisation des sols. De même, les nouveaux projets urbains, avec les techniques alternatives (bassins paysagers, noues, toitures végétalisées), contribuent à une meilleure gestion des eaux pluviales en privilégiant l'infiltration de ces eaux, afin de renouer avec le cycle de l'eau. Outre cette prise en charge de l'eau, ces ouvrages urbains de gestion de l'eau pluviale ont également vocation à gérer la pollution, notamment du fait des objectifs de "bon état écologique et chimique des masses d'eaux" fixés par la Directive Cadre sur l'Eau. Des questionnements sont encore posés quant aux flux d'eau et de polluants, notamment vis-à-vis des micro-polluants, véhiculés par ces différentes infrastructures et à l'impact sur les milieux récepteurs. De nombreuses questions demeurent aussi quant aux impacts des modes de développement urbains sur les nappes d'eau souterraines. Devant la multiplication des ouvrages affectant le sous-sol urbain, et des ouvrages favorisant l'infiltration de l'eau pluviale, l'enjeu est bien de concilier ces stratégies d'aménagement urbain avec la protection, en termes de qualité et de quantité, des masses d'eau, qu'elles soient en surface ou en souterrain.

Par ailleurs, en matière de gouvernance et d'organisation territoriale, plusieurs évolutions notables, dont les récentes évolutions institutionnelles²⁰, devraient contribuer à une gestion plus intégrée de l'eau en milieu urbain. La diversité possible des fonctions assurées et la multiplicité nouvelle d'opérateurs et de gestionnaires en jeu questionnent les organisations actuelles et les coopérations interservices. En effet, les services d'eau potable et d'assainissement seront transférés systématiquement à l'échelon intercommunal à l'horizon 2020. De part ces nouvelles évolutions, les intercommunalités se voient confier également une nouvelle compétence, obligatoire, rapprochant la gestion des milieux aquatiques et la prévention des inondations (GeMA-PI). Ainsi, selon les décisions d'organisations territoriales, une même intercommunalité pourrait avoir ainsi la gestion du petit cycle et du grand cycle de l'eau. Comment s'y préparent-elles ? Pour quelles orientations politiques ? La configuration retenue influencera-t-elle les capacités d'actions, les résultats escompter ?

¹⁹ En 2014, 73 % de la population européenne vivent en zones urbaines, 79 % de 64 millions d'habitants pour la France, contre seulement 50% en 1950. Ce taux sera porté à 82% en 2050 en Europe et 86% de 72 millions d'habitants pour la France. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights* (ST/ESA/SER.A/352), 32 p.

²⁰ loi MAPTAM en 2014, loi de finances 2015, projet de loi NOTRE.

Valeur ajoutée de la demande (*potentiel d'innovation, originalité de la recherche, potentiel du projet scientifique*). (A titre indicatif, ½ page)

Dans le cadre de cette collaboration de recherche, il est proposé de contribuer à l'accompagnement des acteurs de la ville dans une gestion plus intégrée de l'eau. Il s'agit ainsi de :

- mieux caractériser l'imperméabilisation des sols, comprendre les processus d'artificialisation ;
- accompagner les collectivités et aménageurs dans le développement des nouvelles infrastructures urbaines de l'eau, leur intégration, leur appropriation et leur gestion patrimoniale ;
- mieux connaître les flux d'eau, les sources et transferts de polluants, les interactions avec les aménagements, leur vulnérabilité, les pressions sur les milieux naturels et développer des bio indicateurs d'impacts sur ces milieux ;
- évaluer les potentialités des approches par les services écosystémiques comme outils d'intégration, d'aide à la décision et d'évaluation ;
- évaluer les performances environnementales et garantir leur robustesse aux usages, notamment éco / biotechnologies ;
- observer, accompagner les évolutions institutionnelles.

Démarche entreprise (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches*) (A titre indicatif, ½ page)

La démarche scientifique proposée est structurée en 5 axes.

Dans l'axe A, nous nous attacherons à **la caractérisation de l'imperméable urbain et des nouvelles infrastructures urbaines de l'eau**. Il s'agira de définir une typologie des surfaces urbaines, des ouvrages.

L'axe B permettra de contribuer à l'amélioration des **connaissances des flux d'eau et de polluants en milieu urbain**. Il s'agira plus particulièrement d'affiner la caractérisation et la hiérarchisation de sources de polluants et ruissellements et de leurs impacts, en vue de stratégie de réduction des pressions exercées par les rejets chroniques ou intermittents.

Les travaux de l'axe C viseront ensuite à mieux **caractériser les usages et les services rendus** par les infrastructures urbaines de l'eau, de plus en plus diversifiées et les éventuels conflits d'usages.

Les travaux de l'axe D viseront à évaluer les **performances fonctionnelles** des actions et dispositifs visant à éviter, réduire, compenser les impacts des aménagements et tester des scénarios d'amélioration.

Enfin dans l'axe E, nous nous attacherons à dégager des recommandations en matière de **politique, de gouvernance et de management** d'une gestion intégrée de l'eau en ville.

Noyau dur:

- axe A : développer des méthodes de caractérisation de l'imperméabilisation des sols et des nouvelles infrastructures urbaines de l'eau : Cerema / Dter SO, Valérie Vallin
- axe B : améliorer la connaissance du ruissellement, les sources et flux de polluants et leurs impacts sur les milieux récepteurs : Ifsttar Liliane Jean-Soro, Cerema / Dter CE, Catherine Néel
- axe C : caractériser et évaluer les usages et services rendus par les nouvelles infrastructures urbaines de l'eau, à différentes échelles, et développer des méthodes de connaissance des couts, Cerema / Dter Ouest Muriel Saulais
- axe D : évaluer les performances fonctionnelles des dispositifs, systèmes et actions visant à éviter, réduire et compenser les impacts des aménagements sur le cycle de l'eau : Ifsttar Fabrice Rodriguez et Cerema Dter Est / Julie Schwager (intérim par Rémi Suaire jusqu'à aout 2016)
- axe E : connaître et accompagner les processus de construction des politiques de gestion intégrée et multi-échelles de l'eau dans les territoires urbains, et de leur gouvernance. Cerema / Dter TV Nathalie Le Nouveau

Partenariats (*nom des partenaires externes (notamment pour les collaborations de recherche) et principal apport de chaque partenaire*)

Partenaires Cerema :

Équipe	Qualification, disciplines
Dter Centre-Est	Eau et sols / Eau- Assainissement / Hydrogéologie urbaine / Analyses chimiques / Modélisation numérique / Géothermie
Dter Est	Hydraulique / Assainissement urbain et gestion des eaux pluviales / Qualité des eaux / Traitement de la pollution / Transferts des polluants / Instrumentation et suivi / Nature en ville
Dter Île-de-France	Gestion urbaine de l'eau / Hydrogéologie / / Hydrologie quantitative / Hydrologie qualitative / Analyses chimiques / Ecologie des systèmes aquatiques / Analyse du cycle de vie
Dter Méditerranée	Hydrologie / Ecotoxicologie
Dter Nord-Picardie	Hydraulique / Assainissement / Géochimie / Ecotoxicologie / Ecologie des milieux aquatiques
Dter Sud-Ouest	Assainissement pluvial / Risques naturels
Dterc Territoires et ville	Hydrologie urbaine / Politiques territoriales de l'eau / Biodiversité / Services écosystémiques

Autres partenaires :

Équipe	Qualification, disciplines
UMR GESTE ⁽¹⁾	Gestion des cycles de l'eau urbaine Gestion des ressources en eau et services associés Gestion des risques liés à l'eau et des impacts sur les milieux naturels et anthropisés Gestion durable des services publics Gouvernance territoriale des ressources Aide à la décision et évaluation de l'action publique
Equipe IPE ⁽²⁾	Transfert des polluants dans les milieux poreux Effets des polluants sur les organismes vivants Evaluation des risques écotoxicologiques

⁽¹⁾ Gestion territoriale de l'Eau et de l'Environnement - Strasbourg

⁽²⁾ Impacts des Polluants sur les Ecosystèmes - LEHNA (Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés) - ENTPE

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

Livrables :

Élaboration d'un protocole expérimental de suivi d'ouvrages et de traitement des eaux de ruissellement

Développement d'un outil systémique pour aider aux choix de gestion des eaux pluviales pour la ville de demain

Document ressource présentant les impacts (y compris cumulés) des ouvrages et aménagements souterrains sur (1) l'écoulement, (2) la migration de polluants et (3) la géothermie des nappes urbaines.

Outil d'aide à la décision pour la gestion intégrée de l'espace souterrain urbain

Démonstrateur – vitrine de dispositifs techniques innovants de gestion des eaux pluviales et de matériaux et produits contribuant à la transparence hydrologique des aménagements

Projet de thèse :

Amélioration des fonctions de production sur les surfaces urbaines revêtues : développement et validation de nouveaux schémas et de meilleures paramétrisations pour les événements pluvieux fréquents. Cerema IdF / IFSTTAR / IRSTEA Lyon

Vers un procédé de dépollution des eaux de ruissellement à forte charge saline : prise en compte de la dynamique des bassins et des processus de transfert aux interfaces. Cerema Est / Univ. Lorraine / IFSTTAR

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : GERS - LEE 22 hm/an

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : CEREMA 32 hm/an

Résultats obtenus en 2016 (*ce paragraphe est initié à la fin de la première année de vie de l'outil incitatif et mis à jour annuellement*)

Axe B

Une méthodologie de diagnostic exhaustif de pollution reçue par les ouvrages de rétention / infiltration a été testée sur les métropoles de Nantes et de Strasbourg. Le modèle déterministe 3D développé dans le cadre de la thèse de Guillaume Attard a été appliqué aux contextes hydrogéologique et urbain de la ville de Lyon. Ce modèle a servi d'outil pour simuler des scénarios d'impacts (par exemple parkings souterrains, fondations profondes, sondes géothermiques, métro, réseau de drainage, etc.) (financement DRI-Cerema). La thèse portant sur l'effet de forte charge saline dans les ouvrages de dépollution des eaux de ruissellement a débuté

Axe D

Une voie de modélisation dynamique par approche systémique a été explorée pour évaluer l'évolution sur le long-terme de la performance d'un dispositif d'infiltration de l'eau pluviale en intégrant les opérations de gestion. A ce stade, le modèle réalisé a permis de comparer divers scénarios de gestion à long-terme du système d'infiltration des eaux, en termes de fréquence de curage. Les résultats de simulations obtenus par l'approche systémique ont été comparés à ceux d'un modèle déterministe du point de vue des flux d'eau. Ce travail a fait l'objet d'une communication au congrès Novatech (cf. <http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/60401/1D2P15-232FRA.pdf>) et du stage de TFE-MASTER d'Anthony Dicanot.

Programme pour l'année à venir (*ce paragraphe est initié lors de la création et mis à jour annuellement*)

Axe B

Le diagnostic en termes de présence ou non de polluants a démarré et va se poursuivre en 2017. Un inventaire des grands types d'ouvrages souterrains en milieu urbain et leurs perturbations prévisibles sur les nappes urbaines, (1) écoulements, (2) pollutions et (3) température, sera réalisé en 2017. Pour cela, il est prévu d'utiliser le modèle déterministe constitué en 2016 sur quelques scénarios de combinaison d'ouvrages choisis afin de simuler plusieurs effets perturbateurs. Egalement, les scénarios de modélisation devront intégrer d'autres ouvrages souterrains urbains et s'adapter à des contextes hydrogéologiques différents que celui lyonnais (pas ex. aquifère d'Alsace, du Nord, d'Aquitaine). Ces simulations permettront d'identifier les facteurs limitant et aggravant, selon les ouvrages et contextes hydrogéologiques, puis de proposer une première approche d'évaluation de risques d'impacts dont les ceux cumulés.

Axe D

Il est prévu de conforter l'intérêt de l'approche systémique comme outil d'évaluation intégré des performances des dispositifs de gestion des eaux pluviales et leur impact sur la recharge des nappes urbaines. Le modèle systémique actuel ne prenant pour l'instant en compte que le flux d'eau et de sédiments, il est également prévu, dans la mesure des moyens, d'intégrer les effets de la végétation de sorte à élargir le champs des opérations de maintenance modélisées (= intégration de la croissance des végétaux et du fauchage/ faucardage des ouvrages végétalisés).

Valorisations possibles

Axe B

Une valorisation finale visée pour cette tâche est à la fois d'ordre méthodologique et opérationnel. Il s'agit, dans un premier temps, de proposer une synthèse "pédagogique" des connaissances sur les impacts des ouvrages souterrains sur les nappes, présentant l'inventaire des types d'ouvrage et de leurs impacts prévisibles associés sur les eaux souterraines. Dans un second temps, il s'agit de proposer une grille de recommandations à l'attention des aménageurs, dans l'objectif de les aider à identifier les mesures ou les plans de suivis qui permettent d'éviter, de réduire ou à défaut d'évaluer pour compenser les impacts des ouvrages souterrains.

Axe D

Une valorisation finale de cette tâche prévoit à la fois :

- un nouvel outil informatique (le modèle systémique en cours de développement) avec des communications scientifiques associées indiquant l'intérêt et les limites de l'approche de modélisation dynamique des systèmes.
- un livrable de type base de données pour aider le développement et l'évaluation d'autres outils intégrateurs qui seraient développés dans l'objectif d'évaluer l'évolution des performances des dispositifs de gestion des eaux pluviales urbaines dans la durée.
- des réponses sur les impacts comparés de différents types d'ouvrages d'infiltration des eaux pluviales sur la recharge des nappes sur le long-terme.

LOPRODI : Les enjeux logistiques et de transport des nouvelles pratiques de distribution et de production

Axe de rattachement : 3

Mots-clés (6 maxi) : logistique ; transport de marchandises ; distribution ; filières vertes ;

Responsable IFSTTAR Corinne BLANQUART (AME, SPLOTT)

Autre Responsable départ de Eric MOREAU (précédemment co-responsable)

Axe de rattachement : 3

Durée : 4 ans (2014-2017)

Enjeux et objectifs (*problématique et questionnement scientifiques, enjeux sociétaux concernés, aspect stratégique et structurant pour l'Ifsttar, contribution au COP, références bibliographiques*). (A titre indicatif, ½ page)

Les systèmes productifs et distributifs sont désormais confrontés à de nouveaux enjeux. Sans prétendre à l'exhaustivité, nous pouvons citer 5 défis :

- 1- accéder à une consommation et une production plus durables, avec l'usage de technologies vertes permettant en particulier de décarboner l'économie et de moyens de production, de transport et de stockage les moins émissifs, les plus économes en énergie et en matières premières ;
- 2 - développer de nouveaux modèles économiques, tels que l'économie circulaire, l'économie de fonctionnalité ou l'écologie industrielle, avec l'éco-conception, l'intégration du cycle de vie des produits et des services, l'accroissement du recyclage pour réduire le recours aux matières premières ;
- 3 - relocaliser certaines productions, pour favoriser les circuits courts, répondre à une demande sociétale, développer l'emploi et la compétitivité tout en limitant l'empreinte environnementale en réduisant l'impact des transports ;
- 4 - agir sur la demande et les comportements des acteurs et des consommateurs, en conférant aux produits et services durables un avantage compétitif par rapport au produit conventionnel comme en développant des approches intégrant réglementations et incitations normatives volontaires ;
- 5 - permettre, par l'aménagement du territoire ou le recours à des pratiques de mobilité plus durables, le découplage de la croissance des trafics de marchandises et de la croissance économique.

La structuration de nouvelles filières vertes ainsi que les mutations des filières de production historiques sont ainsi indispensables pour évoluer vers une économie verte, voire vers une économie circulaire, plus économe en ressources et intensive en emplois. Les nouveaux modes de production généreront de nouveaux besoins logistiques et de transport (approvisionnement, distribution, stockage...) pour les industriels qu'il conviendra d'identifier, mais nécessiteront aussi de nouvelles organisations du service de transport pour les opérateurs ainsi que de nouvelles organisations du travail pour les professionnels. Les chaînes de transport sont donc appelées à se transformer globalement et durablement.

Si la production s'oriente vers des pratiques plus vertes, la distribution connaît elle aussi des évolutions. L'intégration de la distribution entre les mains de grands groupes ou de chaînes a réduit le rôle traditionnellement dévolu aux grossistes et modifié la structuration des chaînes de distribution. Les formats de vente évoluent également, avec notamment le développement du e-commerce ou des circuits courts entre producteurs et distributeurs pour les produits alimentaires.

Ces évolutions, actuelles ou à venir, des réseaux industriels et commerciaux entraîneront celles des réseaux logistiques et de transports, supports physiques des déplacements des biens dans le temps et l'espace. Deux lieux stratégiques, points nodaux de ces réseaux, retiennent particulièrement l'attention eu égard à la géographie des flux qu'ils conditionnent et aux enjeux d'aménagement des territoires qu'ils concentrent : les ports maritimes et fluviaux et les villes. La stratégie nationale de relance portuaire de 2013 conforte ainsi les ports comme architectes des solutions logistiques maritimes et terrestres, comme facilitateurs du développement des activités industrielles et économiques et comme aménageurs. A cet égard, la loi de réforme portuaire de 2008 a conféré aux grands ports maritimes la possibilité d'investir hors de leur circonscription et de co-développer des activités dans les territoires avec des partenaires publics et privés. La ville durable a progressé en matière de mobilité des personnes, mais de façon moins notable en matière de fret. Les territoires habités sont complexes, en termes de distribution spatiale des populations et des activités, du maillage des réseaux, de l'intensité des échanges et de la circulation des flux. Les politiques publiques sont pourtant ambitieuses : le livre blanc européen de mars 2011 fixe un objectif de 0 émissions de GES en 2030 pour la logistique urbaine, en s'appuyant sur les technologies des véhicules propres mais aussi sur l'optimisation de la gestion du dernier kilomètre ; le plan national d'urgence sur la qualité de l'air de 2013 appelle à rendre la logistique du dernier kilomètre propre pour lutter contre le dépassement des seuils des PM10 qui affecte la santé de 12 millions de français.

Valeur ajoutée de la demande (*potentiel d'innovation, originalité de la recherche, potentiel du projet scientifique*) (A titre indicatif, ½ page)

La recherche s'interroge sur les évolutions en cours des systèmes de production et de distribution. Peu de données et de travaux existent sur ces changements très récents, et il s'agit donc d'améliorer la connaissance pour pouvoir soutenir le développement de services logistiques et de transport adaptés. En ce sens, le travail vise à la compétitivité de la filière logistique française, objectif défini notamment lors de la Conférence Nationale Logistique de juillet 2015. Cette conférence insiste ainsi sur la nécessité d'un observatoire de la logistique.

Par ailleurs, ces enjeux ont des incidences en termes d'aménagement du territoire. Les ports, mais aussi les villes, sont des nœuds essentiels des chaînes de transport. En éclairant les modèles spatiaux des chaînes, le travail fournit des éléments pour un aménagement durable du territoire.

Démarche entreprise (*description des principales étapes de construction et de réalisation des tâches*) (A titre indicatif, ½ page)

Pour permettre de comprendre les enjeux logistiques et de transport des nouvelles pratiques de production et de distribution, la démarche sera :

- 1 de caractériser les évolutions de la demande de transport associées aux évolutions des pratiques de production et de distribution
- 2 d'analyser comment se façonne l'offre des prestataires pour répondre à ces enjeux et comment évolue l'organisation du travail des professionnels du transport impliqués
- 3 d'éclairer l'inscription spatiale de la logistique associée aux nouvelles pratiques de production et de distribution, l'articulation entre les échelles. Il s'agira également de comprendre le rôle des ports dans cette nouvelle géographie des chaînes, et les relations de ces chaînes avec les métropoles.
- 4 d'évaluer la pertinence des nouvelles politiques industrielles en termes de filières vertes, ou des actions publiques mises en place en termes de logistique urbaine durable

L'opération de recherche est structurée en deux sujets :

- les filières et les systèmes de transport : transition vers une économie verte
- les échanges et leurs moyens : nouvelles dynamiques, commerce et e-commerce

Le premier sujet analyse essentiellement, de fait, des questions de logistique « amont », concernant la circulation des sources d'énergie, des matières premières et des biens intermédiaires. De façon complémentaire, le second sujet examine des questions de logistique « aval », concernant plutôt la circulation des produits manufacturés et alimentaires destinés aux clients finals.

En concentrant l'attention sur deux espaces géographiques stratégiques, - la ville et le port -, cette recherche vise à mieux connaître les dynamiques de la place portuaire et de la logistique urbaine, ainsi que les interactions systémiques avec les territoires dans lesquels ces lieux s'inscrivent.

Les problématiques spécifiques à chacun de ses sujets d'études sont déclinées selon quatre environnements : l'environnement productif, l'environnement spatial, l'environnement social et l'environnement institutionnel.

Partenariats (*nom des partenaires externes (notamment pour les collaborations de recherche) et principal apport de chaque partenaire*)

IFSTTAR SPLOTT – D. Guerrero, A. Beyer, A. Burmeister, L. Dablanc, C. Blanquart, P. Reme-Harnay, E. Morganti, P. Nierat, M. Magnian, R. Gressel, C. Munduteguy, F. Bahoken, E. Gaubert, A. Goncalves

CEREMA DTer Ouest– M. Douet, K. Nicolleau, E. Gambet, R. Lacoste, E. Morau, M. Doudnikoff, D. Morau

CEREMA DTer Nord-Picardie- L. Vaillant, D. Baudry, N. Jouve, B. Zogall

Productions prévues (*mettre en avant les productions majeures visées telles que structuration de recherche, développement d'un projet scientifique, montage d'un réseau, lancement de thèses, ouvrages scientifiques, synthèse et état de l'art, guides, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, actes de colloques, etc.*) - Préciser l'échéance prévue (année)

Les résultats produits feront l'objet de rapports de recherche, d'articles dans les revues scientifiques ainsi que de communications dans des conférences nationales et internationales.

Ils alimentent aussi l'observatoire de la logistique tel que souhaité par la Stratégie nationale France Logistique 2025.

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 20 hm/an,

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : 48 hm/an

Valorisations possibles

Les résultats produits feront l'objet de rapports de recherche, d'articles dans les revues scientifiques ainsi que de communications dans des conférences nationales et internationales.

Le sujet alimentera également l'observatoire de la logistique tel que souhaité par la Conférence Nationale Logistique de juillet 2015.

Résultats obtenus

Livrables en 2016 :

Les travaux ont porté sur **les enjeux logistiques des circuits courts** :

- Présentation des résultats dans le cadre du séminaire DGITM/IFSTTAR/CEREMA, le 23 mars 2016 ;
- Communication dans le cadre de l'ACFAS à Montréal, les 9-13 mai 2016 ;

- communication dans le cadre de l'ASRDLF à Ottawa, les 7 – 9 juillet 2016 ;
- communication dans le cadre du RMT-alimentaire à Paris, le 6 septembre 2016 ;
- 3 articles en cours de rédaction

Distribution biens d'équipements

Livrable : Rapport, "Organisations logistiques dans la filière des biens d'équipement des ménages, approche de la distribution finale".

Programme de l'année à venir

Les travaux sur la logistique des circuits courts alimentaires se poursuivront en 2017 dans deux directions :

- sur d'autres territoires et notamment la vallée de la Seine
- dans une visée plus opérationnelle, afin d'accompagner les agriculteurs dans la recherche de solutions logistiques plus durables

HyCIAU : processus HYdrologiques et CLimatiques au service de l'Adaptation de l'aménagement Urbain

Mots-clés (6 maxi) :

Responsable IFSTTAR Katia CHANCIBAULT, GERS / LEE
Autre Responsable Julien BOUYER, CEREMA, LR Nancy, ERA31
Axe de rattachement : 3
Durée : 4 ans (2014-2017)

Enjeux et objectifs (*problématique scientifique, enjeux sociétaux concernés, originalité du projet, articulation avec le COP, références bibliographiques*). *Ce paragraphe reste inchangé sur toute la durée de vie de l'outil incitatif.*

Les villes subissent une pression constante depuis plusieurs décennies avec l'accroissement de la population urbaine. Dans les prochaines décennies, les villes devront faire face au changement global : en plus de l'évolution de l'urbanisation, elles seront aussi soumises de façon plus ou moins forte au changement climatique. Leur adaptation à la pression démographique et au contexte climatique local présent et futur constitue un enjeu majeur pour la planification urbaine. Même si les actions des collectivités sont encore limitées et peu valorisables, elles sont recommandées dans les plans d'actions territoriaux locaux et nationaux comme le PNACC (Plan National d'Adaptation au changement climatique) établi en 2011 par l'ONERC/DGEC.

En ce sens, les acteurs de l'aménagement urbain éprouvent la nécessité d'évaluer objectivement les impacts de leurs projets d'aménagement dans différents domaines : économiques, santé, gestion des ressources, confort de la population, etc. Ainsi, dans un premier temps, les aspects hydro-climatiques peuvent être étudiés de façon concomitante.

L'opération vise à regrouper, croiser et enrichir les connaissances et les outils d'évaluation des phénomènes climatologiques et hydrologiques à plusieurs échelles spatiales, pour favoriser l'évaluation de scénarios prospectifs d'adaptation du milieu urbain au changement globale.

Les objectifs scientifiques seront déclinés en trois aspects complémentaires :

- l'enrichissement de la connaissance des processus physiques par leur mesure multi-échelles et multi-sites, et la mise en relation avec des bases données urbaines adaptées
- l'amélioration des modèles de simulation climatique et hydrologique en favorisant leur couplage
- l'évaluation de scénarios d'aménagement urbain de référence vis à vis de l'évolution de la ville, des hypothèses du changement climatique et de leur viabilité technico-économique
- la réflexion prospective du développement d'une plateforme numérique de la ville, en intégrant d'autres disciplines environnementales (acoustique, pollution, etc.)

Etat de l'art

De nombreux travaux de recherche ont été initiés dans les deux champs disciplinaires de la climatologie et de l'hydrologie en milieu urbain. Ces deux disciplines nécessitent encore la capitalisation de nouvelles connaissances propres à la complexité et l'hétérogénéité physique de la ville. Pour l'évaluation et la mise en place de solutions d'adaptation, les futures recherches doivent être moins cloisonnées et utiliser des approches interdisciplinaires.

En guise d'exemple, la renaturation du milieu urbain faisant intervenir l'intégration de dispositifs végétaux divers, nécessite une bonne connaissance des bilans énergétiques et hydriques, ainsi que de leurs interactions liées aux flux d'évapotranspiration (VegDUD, ANR « Ville Durable », 2010-2013). En effet ce processus d'évapotranspiration peut limiter l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU), qui peut s'accroître sous l'effet de vagues de chaleur, dont la fréquence risque d'augmenter durant les prochaines décennies (GIEC, 2007).

L'enrichissement des connaissances en « hydro-climatologie » passe par la constitution de bases de données riches et continues sur de longues périodes, ainsi que le développement d'outils de modélisation adaptés au milieu urbain ainsi qu'aux échelles caractéristiques des phénomènes étudiés. Il existe déjà plusieurs sites urbains de mesures hydrométéorologiques dédiés à différentes échelles (toitures végétalisées (Cerema (ex-CETE IdF, CETE Nancy)), ONEVU (IRSTV-lfsttar), campagnes de mesures (FluxSAP, CAPITOU, EUREQUA,...)). Cependant, la mesure de l'évapotranspiration reste un enjeu majeur.

De même il existe de nombreux modèles permettant d'étudier le climat urbain, l'hydrologie urbaine ou le couplage des deux. Les modèles permettent de représenter des états passés, présents et futurs. Ainsi, dans le projet VegDUD, des modèles numériques, adaptés à diverses échelles (bâtiment, quartier, ville) ont permis d'étudier différents scénarios de végétalisation pour en étudier l'impact sur le micro-climat, l'hydrologie et le confort.

Les observations hydro-météorologiques jouent alors un double rôle : en plus de permettre une compréhension directe après analyse des processus, elles permettent d'évaluer les modèles numériques sur les situations passées. Parfois des mesures supplémentaires ou à plus fine échelle temporelle et spatiale sont nécessaires. Des campagnes expérimentales sont alors mises en œuvre (FluxSAP, EC2CO 2010 et 2012). L'analyse des nombreuses données ainsi observées est un travail long qui s'étend sur plusieurs années après la campagne.

Les modèles ont aussi un grand besoin de données géographiques. L'occupation du sol doit être décrite avec plus ou moins de détails, selon la résolution et le détail de représentation du modèle utilisé. Aujourd'hui, de nombreuses sources de données sont disponibles, à des résolutions très variées (Rosenhy, EC2CO 2012-2013) et selon des classifications souvent différentes. Une étude de sensibilité des modèles à ces différentes sources de données est nécessaire avant peut-être une adaptation des modèles aux données les plus fines de plus en plus disponibles aujourd'hui.

La ville étant un objet complexe, le transfert vers l'opérationnel nécessite l'étude de scénarios futurs d'aménagements, pour quelques villes dont les impacts du changement global ont été identifiés. Ainsi, ils permettront d'analyser certaines stratégies d'adaptation, dans un contexte précis lié aussi aux stratégies d'aménagement locales. Ces scénarios prospectifs doivent donc être construits en lien avec les problématiques spécifiques des collectivités, doivent être traduits en paramètres physiques et géographiques pour alimenter les modèles, en tenant compte de l'évolution de la ville et des projections du changement climatique.

Sujets traités.

La collaboration structurante de recherche HyCIAU est organisée en trois axes scientifiques principaux avec une déclinaison en sous axes :

- AXE 1 : Documentation, caractérisation et analyse du milieu et des processus hydroclimatiques urbains multi-échelles
 - AXE 1.1 : Production de données géographiques et physiques urbaines
 - AXE 1.2 : Analyse des données hydro-climatiques pour une meilleure compréhension des processus à l'échelle de la ville, du quartier et de l'ouvrage ou du bâtiment
- AXE 2 : Modélisation multi-échelle et couplage hydro-climatique
 - AXE 2.1 : Amélioration des modèles
 - AXE 2.2 : Validation des développements dans les modèles
- AXE 3 : Construction, analyse et évaluation de scénarios urbains d'adaptation aux changements climatique
 - AXE 3.1 : Construction des scénarios d'évolution globale urbaine
 - AXE 3.2 : Évaluation hydro-climatique des scénarios et dispositifs à multi-échelle
 - AXE 3.3 : Pratique opérationnelle d'aménagement urbain et mode d'intégration des démarches dans les documents de planification multi-échelle
- AXE 4 : Réflexion multidisciplinaire pour le développement d'une future plate-forme de modélisation intégrée de la ville

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar (*ordre de grandeur*) : 60h.m.A et 42h.m B

Autre partenaire institutionnel (*le cas échéant*) : CEREMA : 85.5h.m A et 48h.m B

Préciser, en particulier pour les projets fédérateurs et les ORSI, la principale contribution scientifique et/ou technique de chaque partenaire.

L'Ifsttar contribue dans ce projet au développement de modèles numériques dédiés à l'hydrologie aux échelles du quartier et de la ville. Le Cerema quant à lui y contribue à l'échelle de l'ouvrage voire locale.

Les compétences en matière d'instrumentation et de mesures expérimentales sont partagées par les deux établissements. L'Ifsttar est un acteur majeur de la coordination et de la mise en œuvre de l'ONEVU (Observatoire hydro-climatologique urbain à Nantes) qui regroupe des mesures hydrologiques, climatologiques et bientôt énergétiques ainsi que dans le développement de la base de donnée de cet observatoire. Le Cerema est quant à lui fortement investi dans les moyens mobiles d'instrumentation ainsi que les méthodes de mesures locales.

Concernant les données géographiques, le Cerema dispose des compétences pour les méthodes de traitement et d'analyse des images satellite. De plus, il permet aussi de faire le lien entre la recherche et les gestionnaires par sa connaissance des documents réglementaires et ses liens avec les collectivités.

Produits majeurs visés (*mettre en avant les produits majeurs tels que les publications et ouvrages scientifiques, les articles de vulgarisation, guides, thèses, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, les actes de colloques, etc.*)

Préciser l'échéance prévue ou réalisée (année)

Rapports :

- Un rapport final
- Un rapport de synthèse par axe
- Des fiches documentaires sur l'évaluation des scénarios de référence (Axe 3)

Publications, communications :

- Articles dans des journaux internationaux à comité de lecture
- Communications en conférence internationales
- Organisation d'une journée scientifique et technique
- Organisation d'un séminaire de clôture
- Thèses de doctorat (6 en cours, 1 en projet)

Base de données :

- 5 Bases de données de mesures sur les sites sélectionnés
- 6 Bases de données géographiques sur les sites sélectionnés

Modélisation :

- Développement des modèles hydrologiques/climatiques existants (TEB, URBS, etc.) et/ou à construire

Partenariats et contrats (*nom des partenaires et externes internes (notamment pour les projets fédérateurs et les ORSI) ; pour les contrats préciser le financeur, nom du projet, descriptif sommaire, période*)

Réseau interne : IFSTTAR : GERS/LEE, COSYS/LISIS, COSYS/SII ; CEREMA : CETE Est (ERA31 + Construction), CETE IdF (UHGEP), CETE NC (CECP), CETE Lyon (PCI TCC), CETE SO (PCI AST), CERTU

Externes : CNRM-GAME/GMME-TURBAU, IRSTV, CSTB/CAPE, GEMCEA, Univ. de Lorraine

Projets collaboratifs en lien avec la collaboration de recherche HyCIAU		
2013	CNRS-INSU 2013 (Appel EC2CO / BIOEFFECT)	ROSENHY "Rôle de l'occupation du sol vis à vis de la modélisation des flux hydriques et énergétiques sur les sites urbains et périurbains"
2013-2015	Programme ADEME 2012 « Dispositifs de Rafraîchissement Urbain »	TERRACES « Toitures vEgétales pour RafRaichir les Ambiances Climatiques urbainES » (2013-2015)
2012-2015	Programme ANR « Bâtiment et Ville Durable » 2011	EUREQUA « Évaluation mUltidisciplinaire et REqualification environnementale des QUArtiers »
2014-2016	Programme MEDDE « Risques, Décision, Territoires » 2013	REPEXTREME Analyse et la représentation de phénomènes caniculaires dans les espaces urbains

Thèses

Thèses (y compris celles en association) et financeur (Ifsttar, Cerema, autres) (*uniquement pour les ORSI*) :

- Thèses demandées :
 - Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration. Demande d'un cofinancement Cerema/Ifsttar (D. Ramier (DTERIdF), F. Rodriguez (Ifsttar/GERS))
- 6 thèses terminées ou en cours
 - C. De Munck (Financement Météo-France) (soutenue le 8 novembre 2013)
 - R. Bouzouidja (Financement CIFRE) (soutenance en 2014)
 - F. Leconte (Financement ADEME) (soutenue fin 2014)
 - F. Seveno (Financement IFSTTAR) (manuscrit en cours de rédaction)
 - A. Allard (Financement IFSTTAR) (soutenance prévue le 15 octobre 2015)
 - M. Boukhechba (Financement IFSTTAR)
 - E. Redon (Financement Météo-France)
 - X. Lafaille (Financement IFSTTAR)

Résultats obtenus (*ce paragraphe est initié à la fin de la première année de vie de l'outil incitatif et mis à jour annuellement*)

Axe 1

Une réflexion sur les données géographiques a été initiée en effectuant un bilan des besoins de chaque partenaire (DterSO). Une méthodologie de calcul des zones de climat urbain (UCZ, méthode de classification climato-géographique) à partir d'images de la base de données Urban Atlas a été développée et appliquée sur Bordeaux. Une sensibilité de la méthode au choix du maillage a été mise en évidence.

L'utilisation de la très haute résolution spatiale (THRS) et des données issues de Modèles Numériques de Surface (MNS) pour détecter les techniques alternatives n'a pas permis de mettre au point une méthodologie pour la détection des techniques alternatives.

Le travail d'analyse des données de la campagne FluxSAP se poursuit. Ainsi un atelier de travail d'analyse des données a eu lieu. Les résultats des analyses de flux de chaleur sensible et latente lors de la campagne FluxSAP 2012 montre ainsi un lien direct entre la fraction évaporative et la fraction de végétation d'un site, démontrant l'impact potentiel de la végétation sur le microclimat. Les campagnes de mesures des projets EUREQUA et Trafipollu sont terminées. Dans le cadre du projet REPEXTREM, des mesures de température ont eu lieu durant les différents épisodes de canicule de l'été 2015. Ces données sont en cours d'analyse.

Axe 2

Une méthode de reconstruction d'un réseau hydrographique simplifié constitué des différents types de réseaux rencontrés en milieu urbain a été développée et appliquée à l'échelle de l'agglomération de Nantes. Par ailleurs, cette procédure a ensuite été appliquée à l'échelle d'une ville en région parisienne et a montré sa robustesse, malgré une organisation du réseau d'assainissement différente de celle à Nantes. Le transfert de l'eau en lien avec ce réseau ainsi construit a été intégré dans le modèle TEB-Hydro.

Dans le cadre du projet PIREN-Seine, Z. Lotfi a amélioré et adapté l'outil de reconstruction du réseau d'assainissement (tout type confondu) pour être appliqué à Paris et sa petite couronne. Le fonctionnement particulier de l'assainissement en région parisienne a ainsi permis d'enrichir l'outil. Par ailleurs, le fonctionnement de ce réseau a été synthétisé dans un rapport.

La thèse de X. Lafaille a démarré le 1er novembre 2015. La première année a été consacrée à la consolidation de la composante hydrologique du modèle hydro-climatique TEB-Hydro, faisant suite à la thèse de Allard (2015). La remontée du niveau de saturation est ainsi mieux pris en compte dans le modèle, permettant un drainage de l'eau du sol par les réseaux d'assainissement plus réaliste.

Le projet Trafipollu se termine fin 2016. Il a conduit à des modélisations hydrologiques sur le site d'étude à l'échelle de la ville, permettant de cartographier la distribution relative des polluants issus du trafic routier et transférés dans l'eau en surface et dans les réseaux d'assainissement. Le lien de cette distribution spatiale avec les conditions météorologiques est en cours.

Axe 3

Le travail sur les données des scénarios de changement climatique de la part des DterSO et DterCE a démarré. En parallèle, un stage de Master II au LEE (Lotfi, 2015) a permis le développement d'une procédure d'analyse des données régionalisées (8km) du portail DRIAS, pour plusieurs modèles, plusieurs scénarios et plusieurs périodes, sur le territoire de Nantes.

Plusieurs des thèses inscrites dans les travaux de recherche d'HyCIAU ont été soutenues (C. De Munck, R. Bouzouidja, F. Leconte, A. Allard). Une thèse a cependant été abandonnée (F. Seveno). La thèse de L. Pinson devrait être soutenue avant la fin de l'année 2016. Quant aux autres thèses, les travaux avancent comme prévu.

Dans le cadre du projet REPEXTREM l'analyse des températures simulées par le modèle TEB et celle des températures observées durant les périodes de vagues de chaleur en 2015 et 2016 ont permis de développer des indicateurs prenant en compte la notion de durée, paramètre important pour le risque lié à la canicule. Une méthodologie a aussi été développée pour mieux exploiter et représenter les variables de températures simulées par le modèle TEB, dans une réalité 3D.

Axe 4

L'année 2015 a été consacrée au recensement de l'état existant (état de l'art) en matière de modélisation multi-physique et multi-échelle de la ville : plateformes numériques et expérimentales, LabEx, consortiums nationaux et internationaux, etc.

Programme pour l'année à venir *(ce paragraphe est initié lors de la création et mis à jour annuellement)*

Axe 1

Une demande de financement Cerema pour un sujet de thèse sur les méthodes de mesure de l'évapotranspiration est prévue.

Le développement d'une méthodologie pour le calcul d'indicateurs sur la typologie des espaces en milieu urbain sera poursuivi avec la collaboration entre la DTer SO et le CESBIO à l'aide des images IR Landsat qui présentent une fréquence horaire alors que les images pléiades ne sont qu'à une fréquence journalière.

L'analyse des données de la campagne FluxSAP sera poursuivie avec :

- une analyse des mesures météo mobiles et de l'impact de l'aménagement et des végétaux aux échelles intra et inter quartiers,
- la confrontation des résultats avec les mesures fixes et les analyses faites par le LEE, sur l'impact de la fraction de végétation sur le bilan énergétique,
- la comparaison des mesures par chambre à évapotranspiration et méthode d'eddy corrélation.

Le projet EUREQUA qui se termine fin 2016, aboutira à une analyse des "effets de site" sur l'environnement climatique des usagers. La question des échelles sera abordée afin de mettre en évidence les phénomènes locaux. Le croisement des données SPI et SHS alimentera l'axe 4 de la collaboration structurante de recherche.

Axe 2

Dans le cadre de la thèse de X. Lafaille, l'année 2017 sera consacrée à la rédaction d'un article sur la validation hydrologique complète du modèle TEB-Hydro qui est en cours sur 2 bassins versants équipés de capteurs différents (débits en rivière ou en réseau, teneur en eau du sol, profondeur de nappe). La validation hydro-climatique du modèle sur un territoire plus large sera ensuite entamée en intégrant les observations de flux de chaleur latente mesurés à Nantes (ONEVU et FluxSAP).

La modélisation hydrologique de l'année 2014 à Paris et sa petite couronne sera mise en œuvre dans le cadre d'un stage.

Axe 3

Les montages des différents projets traitant le changement climatique ou l'évolution urbaine n'ont pas permis d'avancer comme prévu sur cet axe en 2016. Cependant de nouveaux projets sont en cours de montage.

Axe 4

L'année 2017 sera consacrée à une réflexion collective sur le positionnement des partenaires de la collaboration de recherche vis-à-vis des consortiums déjà existants sur la modélisation multi-physique et multi-échelle de la ville : forces et faiblesses, complémentarités, collaborations envisagées, etc. Une réunion de travail est prévue en janvier 2017.

Gestion de projet

En termes de management du projet, il est également prévu l'organisation d'une réunion thématique de la collaboration structurante de recherche dédiée aux scénarios de changement climatique, d'aménagement et d'évolutions urbaines, ainsi qu'une réunion dédiée à l'interdisciplinarité.

Annexe 4 : Le projet R5G

La route est un objet dual à la fois en interface avec le bâti et avec les différents usagers qui l'empruntent. Elle est ainsi à la fois une infrastructure de transport et en même temps une membrane servicielle avec les différents équipements qui la composent. Elle est également à la fois un lien entre deux points d'un territoire et en même temps un lieu de vie. De fait, elle échappe aux dispositifs d'innovation issus du PIA qui raisonnent plus verticalement sur des objets de type véhicule ou bâtiment ou encore sur des technologies génériques, par exemple en matière d'efficacité énergétique.

Pour soutenir l'innovation routière, l'Ifsttar développe le projet Route 5^e Génération. Celui-ci vise à convaincre différents maîtres d'ouvrage exploitant des réseaux de nature différente (RRN vs. collectivités locales) à réaliser des démonstrateurs de route innovante intégrant plusieurs technologies de rupture. Il s'agit typiquement d'aborder la place de la route dans les éco-quartiers d'une part et de déployer des technologies innovantes sur les réseaux structurants d'autre part. Parmi les défis techniques de la R5G, on peut citer :

- répondre à la variabilité des usages et des contextes en gérant des informations pour les usagers et les gestionnaires l'aide des ITS;
- gérer différents usages routiers (2RM, VP, fret, TC) et les nouveaux types de véhicules (électriques, à délégation de conduite...) en resserrant les liens entre politique de transport et conception) ;
- informer sur son état de service, le trafic, les risques pour l'utilisateur (gel, humidité, adhérence, accident, ralentissement...) grâce à des micro ou nano-capteurs ;
- récupérer de l'énergie pour alimenter ses propres équipements, puis les véhicules eux-mêmes ;
- être construite ou reconstruite avec un prélèvement minimal de ressources naturelles non renouvelables, notamment les ressources énergétiques fossiles ;
- diagnostiquer ses points de faiblesse ;
- absorber du CO₂ ;
- résister et s'adapter aux effets du changement climatique ;
- être résiliente face à des événements de toute nature (intentionnels ou non-intentionnels) ;
- disposer d'interfaces souples avec les autres modes de transport.

Pour ce faire, le projet a été découpé en trois phases. La première phase – 2010-2015 – a consisté à identifier, à labelliser et à mettre à l'épreuve un maximum de technologies innovantes. La deuxième phase – 2015-2020 – vise à concevoir, à réaliser et à évaluer les démonstrateurs intégrant plusieurs technologies. La troisième phase – à partir de 2020 – consistera à diffuser les technologies les plus prometteuses issues des démonstrateurs sur d'autres territoires. En parallèle, différents sites ou équipement d'essai s'adaptent ou sont réalisés pour tester les différentes fonctions de la R5G (SenseCity, manège de fatigue des chaussées, Transpolis, etc.).

Pour mettre en œuvre cette démarche, le défi est de faire évoluer les pratiques et de parvenir à lever des fonds suffisants pour accompagner le changement. La solution a consisté à intégrer la problématique de la R5G dans les agendas stratégiques des opérateurs de l'innovation tant au plan national (ANR, ADEME, CDC, instituts du PIA comme VeDeCom, Efficacity et Railenium) qu'Européen (INEA), ce avec l'appui des associations nationales (IDRRIM, ATEC ITS) et européennes (FEHRL, ERTICO) et à susciter des réponses aux appels à projet associant maîtrises d'ouvrages, maîtrises d'œuvre et entreprises.

Programme 2017

Le projet R5G contribue aux 3 axes du COP 2017-2021. Outre le démarrage éventuel d'un projet structurant en réponse à l'appel à projet « Route du futur » (ADEME), voici quelques projets contribuant à la R5G qui débiteront ou s'achèveront en 2017 :

- **Axe 1**

- Démarrage des projets CEF C-Roads et Intercor. Contact : hasnaa.aniss@ifsttar.fr

Dans le cadre des projets de déploiement de route coopérative, l'Ifsttar participe aux projets C-Roads et Intercor (2016-2020) sélectionnés par l'INEA dans le cadre du programme CEF. Ces deux projets permettent de déployer sur plusieurs pays européens des systèmes de communication coopératifs en lien avec la C-Roads platform garante des modalités d'interopérabilité transfrontalière. Un focus est fait sur l'interopérabilité entre le projet français SCOOP et le projet Corridor reliant Rotterdam à Vienne (Autriche). De nouveaux cas d'usage sont envisagés notamment sur le fret et la logistique ou encore la multimodalité.

- Mise à jour de la roadmap Automated Road. Contact : nicolas.hautiere@ifsttar.fr

Bientôt quatre ans après sa première mouture, la feuille de route « Automated Road » va être mise à jour. Celle-ci, réalisée dans le cadre du projet Forever Open Road piloté par le FEHRL, a permis d'influer sur la programmation de Horizon 2020. Par rapport à la version de 2013, de nouvelles problématiques seront intégrées comme le BIM et la cybersécurité.

- Roadmap sécurité et sûreté (CSA USE-iT). Contact : el-miloudi.el-koursi@ifsttar.fr

L'action de support et de coordination USE-iT (CSA) coordonnée par le FEHRL va se clôturer en 2017. Dans ce contexte, différentes feuilles de route de recherche dans les domaines de l'exploitation et de l'usage des infrastructures de transport vont être rédigées. L'Ifsttar va se concentrer sur la rédaction d'une feuille de route de recherche sur les aspects « sûreté et sécurité ».

- Fin du projet Européen FABRIC. Contact : stephane.laporte@vedecom.fr

Le projet FABRIC vise à évaluer la faisabilité technologique et économique d'une recharge dynamique sans contact de véhicules électriques individuels. Ce projet se clôturera en 2017 avec notamment un démonstrateur opérationnel construit sur les pistes de Satory à Versailles.

- **Axe 2**

- Projet RAILENIUM LGV BPL. Contact : pierre.hornych@ifsttar.fr

La LGV Bretagne Pays de Loire va entrer en service en 2017. L'instrumentation massive de la voie, réalisée en 2016 par l'Ifsttar et le groupe Eiffage pour vérifier le comportement mécanique de la structure innovante, va ainsi être mise à l'épreuve. Les données recueillies seront ensuite analysées pour valider les hypothèses de dimensionnement et optimiser les stratégies de maintenance.

- Projet ADEME EWAY Corridor. Contact : jean-michel.simonin@ifsttar.fr

Le projet EWAY, financé dans le cadre du CPIER Vallée de la Seine, vise à étudier l'opportunité à électrifier et à massifier le transport de FRET routier sur tout ou partie du réseau SANEF sur le territoire en question. L'objectif in fine est d'identifier quel serait la solution de route électrique la plus adaptée en termes de technologie et de mode opératoire, évaluée sur la base des surcoûts générés pour construire, maintenir et exploiter l'autoroute, et de préparer le cahier des charges d'un démonstrateur.

- ITN SMARTI. Contact : emmanuel.chailleux@ifsttar.fr
- Le projet européen ITN SMARTI vise à développer un réseau de formation sur les infrastructures de transport de nouvelle génération, à la fois multifonctionnelles, automatisées et résilientes, à travers quinze projets de thèses. Ce projet, coordonné par l'Université de Nottingham, implique fortement l'Ifsttar. Trois thèses, l'une sur la route solaire la deuxième sur la route qui s'autodiagnostique (nanocapteurs), et la troisième sur le développement d'outils de monitoring à distance des chaussées vont ainsi pouvoir démarrer en 2017, avec notamment l'appui du groupe EIFFAGE.
- Roadmap construction (CSA FOX). Contact : veronique.cerezo@ifsttar.fr

Le projet FOX (CAS), piloté par le FEHRL, va se clôturer en 2017. Ce projet vise à identifier les technologies et méthodes les plus prometteuses afin de construire, entretenir, préserver et recycler les infrastructures de transport dans une logique « crossmodale ». Dans ce contexte, l'Ifsttar va coordonner en 2017 la rédaction d'une feuille de route au niveau européen sur le volet « construction ».
- ANR Algoroute. Contact : emmanuel.chailleux@ifsttar.fr

Algoroute est un projet qui associe : Eiffage Route, l'Ifsttar (coordinateur), la PME Algosource, le CNRS, l'Université, l'École Centrale et l'École nationale supérieure des Mines de Nantes et l'Université de Lyon, par l'intermédiaire de différents laboratoires en cotutelle. Le projet, sélectionné par l'ANR en 2016, vise à développer un bio bitume, issu de la transformation par liquéfaction hydrothermale de micro-algues.
- **Axe 3**
 - Projet CDC ECOCITE2 R5G@MLV. Contact : nicolas.hautiere@ifsttar.fr

L'année 2016 a vu la sélection du programme ECOCITE2 (PIA2) de Marne-la-Vallée porté par EPAMARNE par la Caisse des Dépôts et Consignation en février 2016 et le démarrage effectif du projet R5G@MLV en septembre 2016 inclus dans celui-ci. Ce projet, par le groupe EIFFAGE et l'Ifsttar, vise la requalification d'une autoroute urbaine (RD199) à Champs-sur-Marne en Route 5^e Génération. En 2017, le concept sera finalisé et proposé pour validation aux maîtres d'ouvrage locaux (EPAMARNE, Conseil Départemental Seine-et-Marne et Communauté de communes Vallée de la Marne).

Contact R5G : nicolas.hautiere@ifsttar.fr