

RAPPORT D'ACTIVITÉ



2021



IREX

Institut pour la recherche appliquée
et l'expérimentation en génie civil



Conception, réalisation : Angélique Hardouin, Christophe Mametz

avec la contribution de : P. Benning, L. Briançon, S. Burlon, A.-S. Colas, B. Delaporte, C. Despré, P. Gotteland, X. Guillot, V. Keller, F. Nicot, J.-E. Poirier, C. Rospars, J. Roudier, S. Pouget, R. Solé-Pomiès, L. Thorel, J.-M. Torrenti

Crédits photos : ACT-CS, ATMB, S. Burlon, CD38, Cerema, DIR Méditerranée, Efficacity, Erolf Productions, IREX, V. Keller, LafargeHolcim, Lexcorp, P. Turcry, PN ASIRI+, PN DVDC, Routes de France, G. Viossanges



9 rue de Berri 75008 PARIS
01 44 13 32 79 - contact@irex.asso.fr

SOMMAIRE

- 05 Edito
- 06 L'IREX, de la recherche à la pratique
- 07 Événements majeurs
- 08 Chiffres clés
- 09 Le fonctionnement d'un Projet National
- 10 Gestion patrimoniale et nouveaux usages dans les territoires peu denses
- 11 La réduction des impacts énergétiques, environnementaux et sanitaires
- 14 L'optimisation de la conception, des procédés et des performances
- 16 L'exploitation et la maintenance des infrastructures
- 18 Les matériaux et procédés innovants

**POUR DÉCOUVRIR PLUS DE CONTENU, N'HÉSITEZ PAS À CLIQUER SUR LES
TEXTES AYANT LA TYPOGRAPHIE SUIVANTE : LIEN HYPERTEXTE**



**Communiquer pour et
vers nos partenaires**

Lettre d'information
Réseaux sociaux



DE LA RECHERCHE A LA PRATIQUE

L'IRES Institut pour la Recherche appliquée et l'EXpérimentation en génie civil, association de loi 1901, fédère et appuie 296 organismes privés et publics dans le cadre des Projets Nationaux de recherche collaborative.



**LA RÉDUCTION DES
IMPACTS ÉNERGÉTIQUES,
ENVIRONNEMENTAUX
ET SANITAIRES**

**L'OPTIMISATION
DE LA CONCEPTION,
DES PROCÉDÉS
ET DES PERFORMANCES**



**L'EXPLOITATION ET
LA MAINTENANCE DES
INFRASTRUCTURES**

**LES MATÉRIAUX ET
PROCÉDÉS INNOVANTS**



ÉDITO DU PRÉSIDENT



Jacques ROUDIER,
Président de l'IREX

Les activités de l'IREX, durant l'année 2021, ont été fortement perturbées par la pandémie.

Les restrictions aux rencontres présentielles, la part prise par le télétravail n'ont pas permis aux projets nationaux d'avoir l'avancement attendu.

Pour les projets plutôt en fin de cycle, comme Fastcarb, Mure, DVDC ou Perfdub, les expérimentations ont pris du retard, alors que l'exploitation de leurs résultats étaient nécessaires pour élaborer les conclusions et les recommandations devant constituer les livrables finaux des projets. Les réunions de présentation de ces résultats ont dû être retardées en conséquence.

Pour les projets en démarrage, comme DOLMEN et EcoRCe, les difficultés à finaliser les documents définissant le programme et à mobiliser les partenaires pour participer ont également retardé l'engagement opérationnel de ces projets.

Les travaux engagés par l'IREX sur l'application de l'analyse du cycle de vie (ACV) aux infrastructures se sont concrétisés en 2021 et le document de synthèse établi par Myriam Saadé, dans le cadre de son post-doctorat, a été présenté au comité de pilotage en décembre 2021 devrait être publié rapidement.

Enfin, pour diversifier ses financements et adapter son modèle économique, l'IREX a participé à un groupement qui a répondu à un appel à projet du Plan d'investissement d'avenir (PIA) sur la transformation numérique du secteur ferroviaire, avec une proposition de développement de méthodes et d'outils pour la collaboration sectorielle et la continuité numérique sur le cycle de vie des infrastructures de ce secteur. Les résultats de l'appel à projets seront connus au début de l'année 2022.

Jacques ROUDIER

L'IREX, DE LA RECHERCHE A LA PRATIQUE

L'Institut pour la Recherche appliquée et l'Expérimentation en génie civil, association à but non lucratif, a été fondé en 1989, conjointement par les ministères de la Recherche, de l'Équipement (actuel Ministère de la Transition Écologique) et la FNTF (Fédération Nationale des Entrepreneurs de Travaux Publics).

L'IREX regroupe des adhérents représentant un grand nombre d'acteurs ayant des activités dans la conception, la construction et la gestion d'infrastructures : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entrepreneurs, industriels, laboratoires de recherche publics et privés, universités et écoles, assureurs, bureaux de contrôle.

En fédérant tous les acteurs de la filière des TP et du Génie Civil autour des grands enjeux de la recherche, l'IREX est un vecteur pour le transfert de l'innovation du monde académique vers la profession.

Un organisme fédérateur, opérationnel

L'IREX a pour objet le montage et le suivi d'actions de **recherche collaboratives et multi partenariales** et intervient dans des programmes de recherches appliquées (Projets Nationaux, projets ANR, ADEME, etc.) pour la **conception et la maintenance des infrastructures** et la réalisation des chantiers.

Une source de sujets de recherche

Pour faire naître de nouvelles idées de recherches, l'IREX anime un réseau de foyers d'initiatives ; ce sont des lieux :

- de rencontre pour mieux se connaître et s'apprécier ; la confiance est en effet indispensable pour faire de la recherche collective ;
- d'échanges d'informations techniques pour bénéficier des complémentarités entre experts et de réflexion.

Les Projets Nationaux

Représentatifs des enjeux de la filière du génie civil et des travaux publics, avec des recherches académiques mais aussi par des applications pratiques et des chantiers expérimentaux, ces projets de recherche font émerger des avancées dans les procédés, produits ou technologies innovants. En apportant un corpus de connaissances techniques et scientifiques par des recherches académiques et par des expérimentations à l'échelle 1, les Projets Nationaux pilotent la rédaction de guides ou de recommandations qui diffuseront le savoir et serviront de base à une doctrine technique ou à la pré-normalisation. Les Projets Nationaux sont labellisés par le comité d'orientation du réseau RAGC (recherche appliquée en génie civil) piloté par le Ministère de la Transition Écologique.

Nos membres

- 
- AFGC
 - ANRT
 - ANTEA
 - ATILH
 - ATMB
 - AUGC
 - BOUYGUES TP
 - BRGM
 - CEREMA
 - CERIB
 - CETU
 - CNRS ICUBE
 - COLAS
 - Comité Français de Géosynthétique et Textile
 - CSTB
 - **CTMNC***
 - Ecole des Mines d'Alès
 - Ecole des Ponts ParisTech
 - EDF
 - EGF BTP
 - EGIS
 - EIFFAGE Infrastructures
 - ENS Cachan
 - ENTPE
 - ESITC Caen
 - ESTP Paris
 - EUROVIA Management
 - FNTF
 - FRANKI Fondations
 - FREYSSINET
 - Géolithe
 - Ginger CEBTP
 - Grand Port Maritime du Havre
 - Groupe IDFN
 - IDRRIM
 - IESF
 - INDURA
 - INRAE
 - ITALCEMENTI
 - LMDC
 - NOVABUILD
 - ODEYS
 - Processus & Innovation
 - Roger Martin
 - SIKA
 - SITES
 - **SNCF Réseau***
 - Solétanche Bachy
 - TERRASOL
 - Université Cergy-Pontoise
 - Université Gustave Eiffel
 - Université Lorraine
 - URETEK
 - Vinci Concessions
 - Vinci Construction France
 - Vinci Construction Grands Projets

*Nouveaux membres 2021

L'équipe 2021

- Philippe GOTTELAND, délégué général ;
- Corine DESPRE, comptable ;
- Angélique HARDOUIN, chargée de mission administrative et de communication ;
- Claude ROSPARS, directrice scientifique et technique.

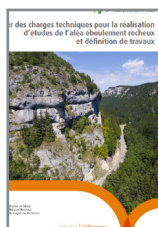
ÉVÉNEMENTS MAJEURS

JANVIER

- 04 • **Fastcarb** • Podcast de **NetZero** «Peut-on faire du béton vert ?»
- 12 • **Fastcarb** • Parution d'un article dans Le Moniteur «Recarbonation des bétons : FastCarb livre ses premiers résultats chiffrés»
- 20 • **MINnD Saison 2** • Webinaire «Jumeau numérique»

FÉVRIER

- 01 • **C2ROP** • Parution d'un article dans la Revue Travaux «Concevoir et entretenir les merlons pare-blocs»
- 09 • **DOLMEN** • Soirée AFGC «Évaluation et réparation des ouvrages en maçonnerie»
- 26 • **C2ROP** • Parution de l'ouvrage «Cahier des charges techniques pour la réalisation d'études de l'aléa éboulement rocheux et définition de travaux»



MARS

- 11 • **MINnD Saison 2** • Formation «Des bases de données au Big Data»
- 16 • **DOLMEN** • **Webinaire** «Un programme de recherche dans les starting-blocks»
- 18 • **DOLMEN** • **Webinaire** «Faire bloc pour une nouvelle approche des ouvrages en maçonnerie»
- 20 • **ASIRI+** / **RECYBETON** • Parution d'un article dans le Journal de l'éolien «Béton : quel avenir pour les fondations ?»
- 25 • **DVDC** • Campagne d'**essais croisés** LCMS, menée avec cinq opérateurs



- 25 • **MINnD Saison 2** • Webinaire «Introduction au Big Data»
- 30 • **MURE** • Participation au webinaire d'INDURA « ACV des chantiers routiers » **Un exemple** de comparaison de l'impact environnemental des chantiers du PN MURE avec l'outil SEVE



AVRIL

- 09 • **ECORCE (ECO_Reinforced_ConcretE)** • Présentation du projet en montage au congrès de la RILEM (**CRC 2021**)
- 26 • **MINnD Saison 2** • Parution d'un article dans

la Tribune «Le numérique, un enjeu majeur pour l'autonomie stratégique de la filière des travaux publics»

MAI

- 06 • **ARSCOP** • Alexandre LOPES remporte le prix Boussinesq pour **sa thèse** consacrée à la détermination du module de cisaillement des sols sous faibles déformations à partir d'une sonde pressiométrique innovante.
- 17 • **C2ROP** • Assemblée Générale Conclusive et **retour sur les principales actions expérimentales**

JUIN

- 08 • **Fastcarb** / **PERFDUB** • Sessions dédiées aux **Journées GC'2021** «Le génie civil face au défi de la croissance verte»
- 10 • **DOLMEN** • Brève de présentation aux Journées Nationales de la Maçonnerie
- 18 • **IREX** / **HUB Innov'Infra** • **Webinaire** «Comment gérer la donnée numérique en respectant l'ensemble des standards ?»



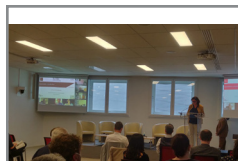
- 23 • **IREX** • Participation à la conférence «Quartiers 0 carbone, aménagement territorial durable et mutualisation des infrastructures» de Low-Carbon World



- 23 • **MINnD Saison 2** • Stand et conférences au Salon BIM World
- 29 • **IREX** • Assemblée Générale

JUILLET

- 05 • **DOLMEN** • **Assemblée Constitutive**



- 31 • **IREX** • Edito dans la revue RGRA «Route d'aujourd'hui et de demain : un condensé d'innovation»



SEPTEMBRE

- 06 • **IREX** • Stand au Congrès de l'AFTES

- 16 • **MINnD Saison 2** • Conférence «La valeur ajoutée du numérique dans les infrastructures avec le BIM» aux Construction Days.
- 21 • **Fastcarb** • Journée partenaires, FFB
- 26 • **ARSCOP** • Cycle de **présentations** à la 6^e conférence internationale sur la caractérisation géotechnique et géophysique des sites

OCTOBRE

- 04 • **IREX** • Stand au Congrès de l'IDRRIM
- 06 • **IREX** • Réunion de montage pour le projet **ECORCE : Eco Conception des Structures et Ouvrages en béton armé.**



- 12 • **PERFDUB** • Comité de Suivi International
- 12 • **IREX** / **HUB Innov'Infra** • Stand au Salon Pollutec
- 12 • **IREX** • Table ronde «La recherche collective : des Projets Nationaux pour la décarbonation» au Salon Pollutec



NOVEMBRE

- 17 • **C2ROP** • 5e édition du Symposium **Rock Slope Stability**



DÉCEMBRE

- 01 - 02 • **MINnD Saison 2** • 7^e édition des journées **EDUBIM**
- 03 • Le BIM dans les travaux souterrains
- En complément aux 7^{èmes} journées EDUBIM des 1 et 2 décembre 2021 à l'EIVP (programme des journées EduBIM), l'AFGC organise avec l'AFTES, une journée technique consacrée au BIM dans ses applications pour le génie civil le vendredi 3 décembre 2021, Fédération Française du Bâtiment.



@irex_institut



institut-irex

CHIFFRES CLÉS

Portefeuille des Projets Nationaux

12 Projets Nationaux en activité

3 projets en montage

1,4 M€HT en études et recherche

395 k€HT de budget annuel pour l'Institut

Une communauté riche et diversifiée

332 partenaires impliqués dans les Projets Nationaux :

107 ingénieries et bureaux d'études, 67 établissements publics et laboratoires universitaires, 57 industriels, 40 maîtres d'ouvrages publics, 36 entreprises de construction, 10 associations, 9 éditeurs de logiciels, 6 maîtres d'ouvrages privés

Publications

2 guides et recommandations

3 articles de revues scientifiques

1 thèse primée

11 articles de revues spécialisées

Animation du réseau

7 journées de présentations scientifiques et techniques

12 participations à des manifestations extérieures (salon, congrès, ...)

1 podcast

523 abonnés Twitter

10 webinaires

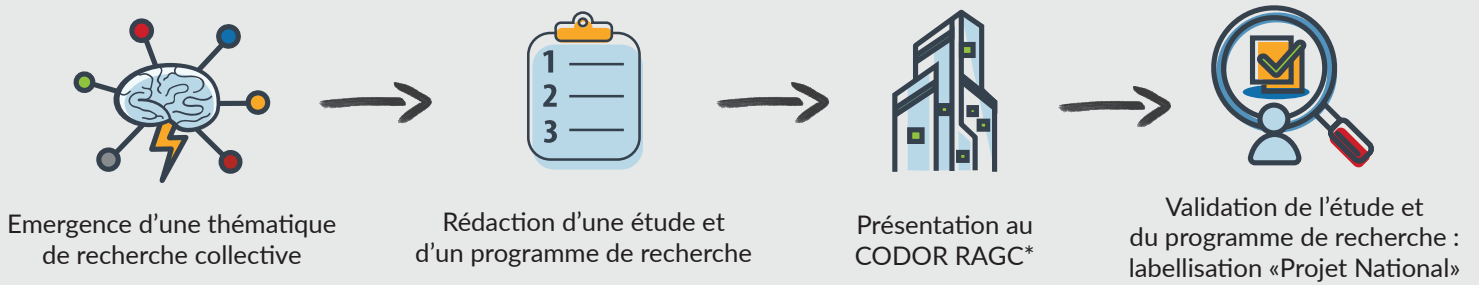
1465 abonnés LinkedIn

53 campagnes de mailing :
10 Lettres d'info IREX,
43 communications et invitations
Projets Nationaux

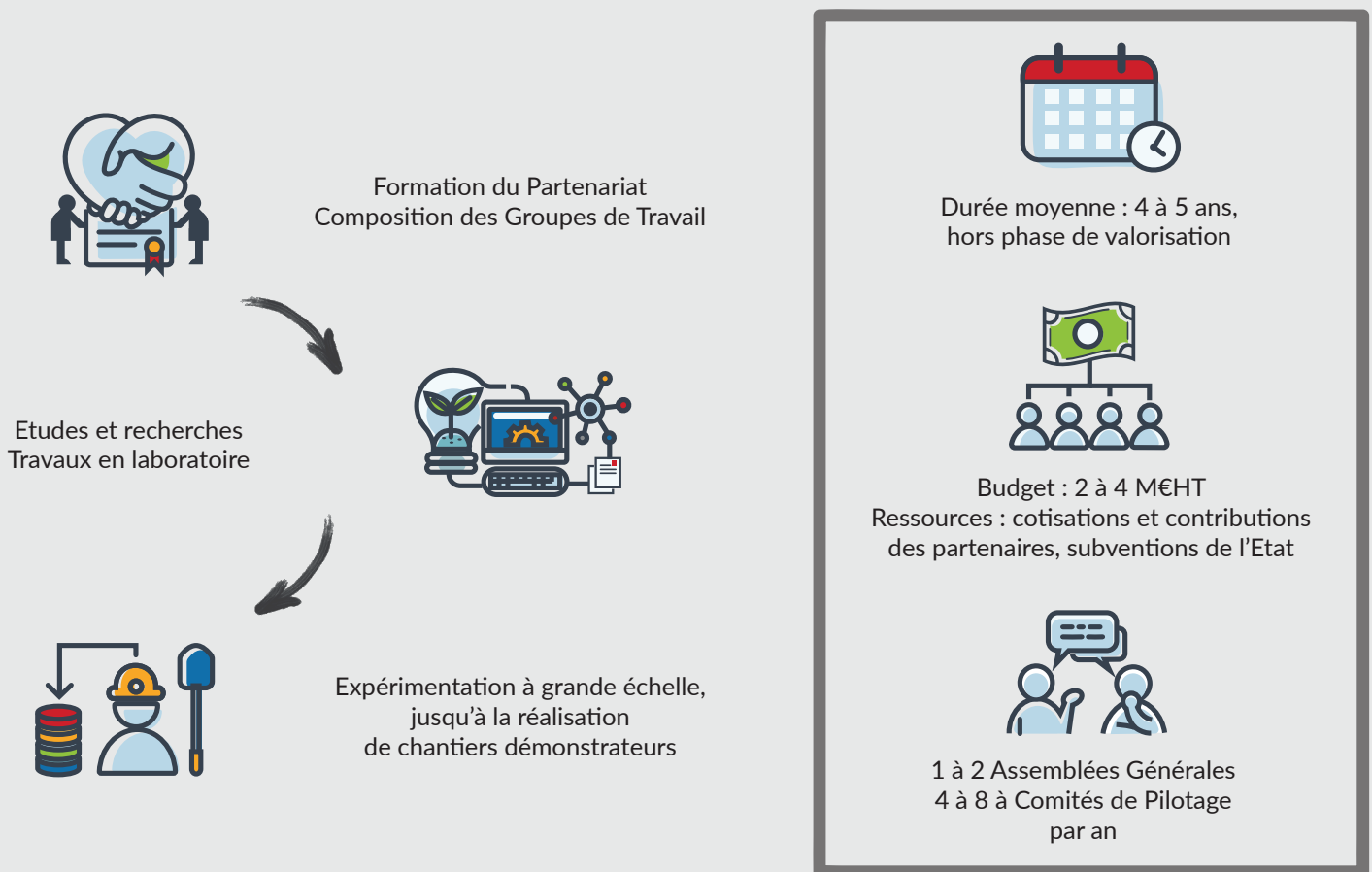


LE FONCTIONNEMENT D'UN PROJET NATIONAL

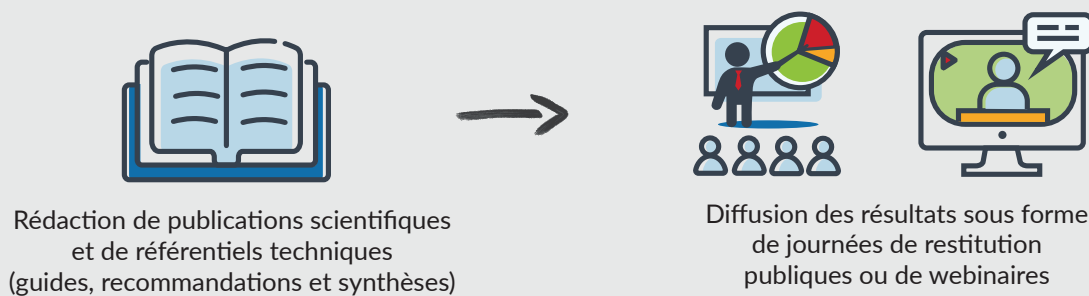
Comment un projet de recherche devient-il un Projet National ?



Comment s'organise un Projet National ?



Comment un Projet National valorise ses résultats ?



* Comité D'Orientation pour la Recherche Appliquée en Génie Civil du Ministère de la Transition Ecologique

GESTION PATRIMONIALE ET NOUVEAUX USAGES DANS LES TERRITOIRES PEU DENSES

« Pratiques de maintenance et fragilité infrastructurelle dans les territoires peu denses. Les recompositions de la responsabilité collective face aux vieillissements des voiries communales en France métropolitaine », Thèse IREX – Routes de France de Roman Solé-Pomiès, Centre de Sociologie de l'Innovation, Mines ParisTech encadré par Jérôme Denis et Daniel Florentin.



Routes départementales, illustrations de maintenance patrimoniale

Ces dernières années sont marquées par de **profonds bouleversements dans la gestion locale des voiries et infrastructures routières**. D'importantes restructurations institutionnelles ont touché les collectivités locales, notamment dans le domaine de la mobilité : en 2015, la loi portant Nouvelle Organisation Territoriale de la République (NOTRe) conduisait à des fusions et à des redistributions de compétences, particulièrement aux niveaux communal et intercommunal ; fin 2019, la Loi d'Orientation sur les Mobilités (LOM) révisée, entre autres, le statut des Autorités Organisatrices de Mobilité (AOM).

Par ailleurs, des **enjeux environnementaux** de plus en plus pressants se traduisent à la fois dans des normes légales (Loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte en 2015) et dans l'évolution des pratiques de mobilité (développement des modes dits « doux », encouragement du covoiturage, mobilité électrique ou autonome, etc.) ce qui contraint de plus en plus les infrastructures et le coût associé à leur entretien et à leur évolution.

Routes de France et l'IREX se sont associés au Centre de sociologie de l'innovation de l'École des mines de Paris afin d'engager un travail de recherche sur les modalités de gestion patrimoniale de la voirie et des ouvrages d'art dans les communes et EPCI (établissements publics de coopération intercommunale) de territoires peu denses.

Depuis novembre 2019, Roman Solé-Pomiès, sous la direction de Jérôme Denis et de Daniel Florentin, **dresse un panorama des solutions concrètement mises en pratique dans ces collectivités**. À partir d'un retour d'expérience d'élus, de personnels opérationnels mais aussi des partenaires publics, privés ou associatifs, un premier état et bilan des pratiques des acteurs concernés a pu être dressé. En 2021, une quinzaine de territoires ont ainsi été explorés.

La répartition des compétences montre une situation évolutive et incertaine dans laquelle le renforcement des intercommunalités, prévu par la loi NOTRe à la suite des politiques de décentralisation, n'a pas été achevé sur l'ensemble des territoires.

Une **grande variété de solutions et d'adaptations** a été mise en place par les petites collectivités et leurs partenaires (notamment les départements, mais aussi dans une certaine mesure les entreprises). Les moyens des collectivités restent cependant dans la plupart des cas concentrés sur la remise en état du patrimoine vieillissant. Ce constat interroge la possibilité d'une transition vers des politiques de gestion du patrimoine fondées sur de l'entretien préventif.

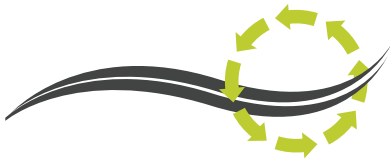
Dans le même temps, le vieillissement des infrastructures questionne sur notre **capacité à valoriser collectivement un entretien préventif efficace** sans négliger les multiples enjeux des politiques locales : mobilité, transition écologique, besoins de production agricole ou industrielle locale.

Le travail de recherche contribue à donner un **éclairage sociotechnique à des enjeux souvent portés par les Projets Nationaux dans une approche de génie civil**, avec le développement d'innovation scientifique qui sont parfois pensées pour ces territoires, mais largement inconnues par les exploitants.

Un travail complémentaire par l'ONR de l'IDRRIM permettra de recueillir par des questions spécifiques de la matière pour cette étude.



Intervention de Roman Solé-Pomiès aux JAMI
(Journées pour l'Accélération et la Modernisation des Infrastructures)



PN MURE - ANR IMPROVMURE

MULTI-Recyclage des Enrobés - pnmure.fr

Co-financement ANR projet improvMURE (Innovation en Matériaux
et PROCédés pour la Valorisation du MULTI-Recyclage des Enrobés)

Après cinq années de travaux réguliers, suivies de deux années plus chaotiques, principalement en raison de la crise sanitaire, le PN MURE a été clôturé en septembre 2021 par son comité directeur.

La quarantaine de partenaires qui en a assuré le financement et soutenu le déroulement a conclu que **les enrobés, recyclés à hauteur de 40%, participent pleinement à l'économie circulaire de la route et améliorent les impacts environnementaux** de cette activité tout en préservant les qualités de service des chaussées. La disponibilité de la ressource en agrégats d'enrobés est un facteur qui peut limiter les ambitions en matière de recyclage.

Pour des taux plus élevés, praticables lorsque l'outil industriel le permet, 70% dans le cas du projet MURE, les dispositions à mettre en place pour assurer la qualité et régularité de la production sont plus contraignantes.

La durabilité reste une question très prégnante pour ces très forts taux.

Les **neufs ouvrages de démonstration construits pendant le projet** continuent de produire les éléments qui éclaireront cette question de la durabilité des performances des enrobés recyclés. Ils sont régulièrement auscultés.

Le retour d'expérience ainsi obtenu alimentera le **Projet National DVDC**.

Les **conclusions et les résultats majeurs du projet MURE**, complétés par les apports issus des études scientifiques du projet ANR IMPROVMURE, seront présentés à l'occasion d'une journée d'information, à Paris, le 15 mars 2022.



Avant cet évènement, **un flipbook, qui regroupe les livrables de ces deux projets, sera mis à la disposition de la communauté** pour que les connaissances acquises puissent être assimilées et ainsi contribuer à la mise en œuvre généralisée de cette technique constructive.

Flipbook du PN MURE : Une compilation des principaux livrables



Au cours des projets MURE et ANR IMPROVMURE, complémentaires et synchronisés, des travaux de recherche et des études techniques ont accompagné la réalisation de ces démonstrateurs grandeur nature.

Environ 70 rapports, mémoires, articles, à caractère technique ou scientifique ont été validés par les organes de gouvernance de ces projets, comités composés de représentants des différentes parties prenantes de la Construction Routière.

Tous ces documents sont à la disposition du public intéressé. Une sélection des textes les plus intéressants, en général ceux qui proposent des synthèses regroupant les observations et les résultats d'études ou d'essais, a été réalisée.

Une compilation de ces documents a été réalisée. Elle prend la forme d'un livre électronique qui pourra être téléchargé à partir du site du PN MURE et de celui de l'IREX. Il s'ouvre par un texte de présentation conçu comme une introduction, un guide pour faciliter la navigation à travers les nombreux documents qui compose cet ouvrage.

Impacts environnementaux des infrastructures et Analyse du cycle de vie (ACV)

La prise en compte des impacts environnementaux des infrastructures, et en particulier de leurs émissions de gaz à effet de serre (GES), moteurs du changement climatique, prend de plus en plus d'importance dans les décisions les concernant. L'étude publiée en 2021 par la Fédération nationale des travaux publics (FNTP) aboutit à l'évaluation suivante : la construction - y compris la fabrication des matériaux incorporés - et la maintenance des infrastructures représentent 3,5% des émissions françaises de CO2 mais leur usage représente 50% de ces émissions.

S'agissant plus particulièrement des matériaux, le béton, qui présente une grande diversité d'emplois et garantit cependant des infrastructures de durée de vie longue sous réserve d'un entretien régulier, est mis en question pour son empreinte carbone. Le syndicat français de l'industrie cimentière a édité sa feuille de route pour la décarbonation en mai 2021. Sur les 10 MT de CO2 émis par an (base 2015), il précise que deux tiers seraient liés à la cuisson du calcaire et de l'argile pour la fabrication du ciment. Même si le stockage du carbone dans le béton est un axe prometteur (voir PN Fastcarb), il reste à développer d'autres leviers de réduction : efficacité énergétique des installations, remplacement des combustibles fossiles, et développement de ciments à plus basse teneur en clinker.

Toutes les composantes de la filière des travaux publics sont donc engagés dans un grand effort décarbonation de leurs activités - c'est-à-dire de réduction de leurs émissions de GES et donc, notamment, de réduction de leurs consommations d'énergie fossile -, en se calant sur les objectifs nationaux de réduction d'au moins 40% des émissions à l'horizon 2030 et de neutralité carbone à l'horizon 2050.

Toutes ces solutions méritent d'être évaluées et comparées dans des termes partagés entre tous les acteurs et notamment entre les maîtres d'ouvrages, les sociétés d'ingénierie et de certification et les entreprises de constructions et de matériaux. Dans le même temps, l'atteinte des objectifs de lutte contre le changement climatique ne saurait se faire aux dépens de tous les autres objectifs environnementaux. C'est donc bien des outils multicritères qui sont nécessaires.

L'Analyse du cycle de vie (ACV) répond à cet objectif : elle constitue une méthode fonctionnelle, multicritère et multi-étape d'évaluation des impacts environnementaux et permet donc de quantifier et rendre comparables ces impacts entre différents projets ou variantes de projets. L'ACV fournit un outil analytique qui n'est pas uniquement ciblée sur l'empreinte carbone mais renseigne tous les impacts (écotoxicité, eutrophisation, épuisement des ressources...) Son utilisation permet l'amélioration des processus productifs dans une démarche d'éco-conception.

Si les ACV sont largement utilisées dans certains domaines industriels, l'approche reste encore peu appliquée dans le domaine du génie civil : dans ce domaine, elle doit intégrer les matériaux constitutifs, les procédés de mise en œuvre (incluant le transport des matières), la gestion et maintenance des ouvrages sur leur durée de vie ainsi que la déconstruction de fin de vie, ce qui rend le processus d'autant plus complexe à mettre en œuvre que la durée de vie de l'ouvrage concerné est plus longue.

Dans le cadre d'un travail postdoctoral, Myriam Saadé (Université Gustave Eiffel) et Adélaïde Ferraille (École des Ponts Paris) ont conduit, à la demande et avec le soutien financier de l'IREX, une recherche sur l'application de l'ACV pour les infrastructures de mobilité (routes et rail), les ouvrages d'art et les infrastructures de production d'énergie, prenant en compte, après une étude bibliographique préalable, quelques cas d'études spécifiques conduits dans le cadre de Projets Nationaux (MURE, DVDC, Fastcarb, ASIRI+) sur la base de la norme ISO 14040.

Le PN Fastcarb étudie un procédé de recarbonation des granulats de béton recyclés (GBR). L'évaluation coût/bénéfice environnementale, effectuée à partir des démonstrateurs développés dans le cadre du PN, a montré que l'utilisation de sables de béton recyclés s'ils provenaient d'un site de déconstruction proche permettait d'avoir un bilan carbone négatif de l'ordre de -20 à -30 kg CO₂ eq./t. Le transport a cependant un impact majeur qui peut inverser le sens du résultat.

Le PN ASIRI+ étudie les solutions de renforcement de sol par inclusions rigides pour des fondations sous chargement complexes (sismiques ou cycliques). Une ACV d'une fondation d'éolienne a été effectuée afin de hiérarchiser l'effet du béton et des aciers d'armature sur les indicateurs environnementaux ; l'outil a montré sa capacité à évaluer les solutions et variantes de construction en phase amont des projets.

Enfin, pour réfléchir aux coûts/bénéfices environnementaux des systèmes numériques, l'ACV préliminaire d'un système de surveillance par capteurs d'un pont a été produite à partir des données réelles de capteurs en place et de leurs suivis informatiques. La durée de stockage des données s'est révélée être un paramètre majeur, puisque le stockage de la donnée recueillie sur une journée (6 capteurs extensomètres ou accéléromètres + 1 caméra) présente un impact de 427 kg CO₂ eq. pour 10 ans de stockage. Ainsi pour le développement du BIM, la priorisation de plateforme collaborative est indispensable pour que l'optimisation par l'usage du numérique soit bénéfique en termes d'empreinte carbone.

Sur un plan général, l'étude de Myriam Saadé et Adélaïde Ferraille fait le constat que la place consacrée à l'ACV dans les cas d'études pour les travaux publics ou le génie civil est encore marginale. Elle montre également que la diversité des pratiques de comptabilisation des émissions, la difficulté d'intégration des recommandations environnementales dans les processus décisionnels, ou encore le focus sur les GES ne permettant pas de tenir compte des transferts d'impact vers d'autres catégories telles que la santé humaine, l'épuisement des ressources ou la qualité des écosystèmes.

Elle fait également apparaître que les bases de données sont incomplètes et non contextualisées, la mise à jour des données et des indicateurs étant insuffisante, face à des normes qui évoluent constamment. Enfin, le manque de données génériques partagées et les difficultés d'accès aux données (de chantier, de maintenance, de réparation et d'entretien) sont pointés.

Les actions soutenues par la « Fondation d'entreprise recherche collective pour la construction et les infrastructures » (FEREC), au titre de son appel à projets pour l'année 2021, qui a pour thème « Décarbonation et économie circulaire : des méthodes et indicateurs pour guider les acteurs de la construction » va apporter aussi des éléments d'amélioration intéressants mais partiels.

Subsiste donc le besoin de méthodes, d'outils et de données complets et harmonisés qui permettent, à leur usage, d'évaluer des offres ou des variantes de solutions : ce besoin pourrait être à la base d'une action de recherche collaborative nouvelle et ambitieuse sous forme de Projet National.



Modélisation pour des INformations INteropérables pour les INfrastructures Durables - minnd.fr

2021 aura été une année fructueuse pour le PN :

Avancement important des groupes de travail thématiques :

- Pré-normalisation IFC et data dictionaries
- Structuration, qualification et archivage des données
- Jumeaux numériques et plates-formes collaboratives
- PLM pour l'exploitation
- Continuité numérique du territoire BIM-SIG et villes intelligentes
- Modélisation des données existantes



Valorisation des travaux de MINND au **salon BIM world & Low carbon 2021**

Lancement du programme BIM d'ATLAS piloté par MINND sur la gestion de la sémantique avec buildingSmart France et la compatibilité des standards OGC/IFC pour la géotechnique avec le BRGM.

Contribution à la livraison du **candidate standard IFC 4.3** et contribution au processus de passage à l'ISO de l'**IFC4.3**.

Montage de la phase 2022 des projets **IFC tunnel et IFC Rail** au sein de buildingSmart international.

Co-organisation du salon **Infra BIM open** réalisé en hybride (présentiel et virtuel) en janvier 2022



nouvelles Approches de Reconnaissance des Sols et de Conception dans les Ouvrages géotechniques avec le Pressiomètre - arscop.fr

L'année 2021 a été marquée par **la diffusion et la valorisation des résultats obtenus**.

La thèse d'A. Lopes « Determination of soil shear modulus at low strain level using an innovative pressuremeter probe : Application to cyclic pile design » s'est vue récompensée par le **prix Boussinesq du Comité Français de Mécanique des Sols**.

Le **congrès ISC6** « International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization » tenu à Budapest en septembre 2021 a permis de **valoriser les abondants résultats de recherches** (thèses, essais croisés, développements de matériels, etc.). De nombreuses publications du PN ARSCOP ont ainsi pu être présentées et discutées et une conférence plénière a été donnée par C.Jacquard, animatrice de l'axe 1 « Développement de systèmes de mesure et de protocoles ». Ce congrès organisé tous les 4 ans constitue un temps fort pour le projet et répond à **l'objectif de valoriser le pressiomètre à l'international**.



En parallèle et malgré les difficultés liées aux conditions sanitaires, **la rédaction des recommandations du PN s'est poursuivie**. Une première version des recommandations en anglais est envisagée pour la fin 2022.

Ces recommandations aborderont quatre thèmes :

- la pratique quotidienne,
- les progrès et les innovations du pressiomètre,
- les méthodes de calcul
- la programmation et la commande des essais pressiométriques.

Les recommandations répondront à différents objectifs définis lors du lancement du projet : pérenniser la pratique, proposer des avancées métrologiques et expérimentales pour le pressiomètre, mettre à jour les méthodes de calcul, mieux définir les objectifs des essais pressiométriques.

PERFDUB



approche PERFormantielle de la DURabilité des ouvrages en Béton - perfdub.fr

Le Projet National PERFDUB a réalisé ses dernières campagnes expérimentales afin d'asseoir ses conclusions sur des bases solides et fabriqué des corps d'épreuve pour des essais à long terme au-delà du cadre du projet.

Groupe de travail « Méthodes d'essai » :

Les méthodes d'essai ont été finalisées suite à la **réalisation d'une dernière campagne d'essais croisés ayant rassemblé un grand nombre de laboratoires**, qui a permis d'y apporter les dernières améliorations et d'en déterminer les données de fidélité. Elles ont été transmises aux groupes d'experts (GEF 8 et GE DUB) chargés des normes d'essai par la commission de normalisation P18B.

Groupe de travail « Ouvrages anciens » :

Le travail a consisté à **analyser les résultats des investigations et mesures in situ sur l'ensemble des ouvrages auscultés** (dont le plus ancien est le Pont Boutiron construit par E.Freyssinet en 1912) afin d'apporter des éléments permettant d'améliorer la modélisation du vieillissement des ouvrages et d'orienter le choix des critères de performance pour les différentes classes d'exposition. Ainsi pour ce qui concerne la carbonatation, il a pu être démontré que **l'essai de carbonatation accélérée permettait d'accéder à des prévisions suffisamment fiables de la profondeur de carbonatation à long terme** et que certaines règles de l'approche prescriptive étaient parfois excessivement sécuritaires. A l'opposé, l'investigation menée sur des ouvrages en milieu marin a montré tout **l'intérêt de la méthode performantielle pour mieux prévenir les risques de corrosion des armatures**.



Groupe de travail « Modélisation » :

La modélisation a été utilisée pour proposer des **critères de performance pour les classes d'exposition en relation avec le risque de corrosion des armatures (XC, XS et XD)**. Les données d'entrée (par exemple les concentrations de surface en chlorures) ont été affinées à partir des résultats obtenus sur ouvrages anciens. Le modèle Modevie a aussi été affiné pour mieux traiter la pénétration des ions chlorures en milieu non saturé (cas de la classe XS1) ce qui a permis de ne pas disqualifier des formulations à base de ciment Portland qui ont fait leurs preuves par le passé. **La modélisation a aussi permis de définir les critères de performance permettant d'effectuer des modulations d'enrobage et d'optimiser ainsi les structures en béton armé**. Il reste des améliorations à apporter concernant la modélisation de la phase de propagation de la corrosion, à cette fin des prismes et de nouveaux corps d'épreuve en béton armé (dont certains sont fortement instrumentés) ont été fabriqués et installés en site de vieillissement naturel.

Groupe de travail « Cartographie des bétons et variabilité » :

Les résultats de caractérisation obtenus sur une large gamme de bétons (42 formulations avec différents ciments/liants, différents granulats, différents rapport eau sur liant, ...) constituent une **base de données très riche à partir de laquelle des critères de performance ont pu être proposés (par traitement statistique) et comparés aux critères issus des travaux de modélisation**. Cette double approche (avec en parallèle les résultats obtenus sur ouvrages anciens) a permis la définition de critères de performance robustes à partir d'un arbitrage effectué collectivement au sein du panel d'experts du Projet National. Par ailleurs les études de variabilité spatiale et temporelle ont fourni les éléments nécessaires pour une définition sécuritaire (tout en restant raisonnable) des marges de sécurité nécessaires en phase de qualification des bétons.



Groupe de travail « Contractualisation de l'approche » :

A partir de l'exploitation des différents résultats et en s'appuyant sur les méthodes d'essai établies dans le cadre du projet, une méthodologie d'application de la méthode de justification performantielle a pu être proposée. **Un projet de fascicule de documentation associé a été transmis à la commission de normalisation des bétons dans le but d'y faire référence dans la norme béton NF EN 206/CN, dont une nouvelle version devrait être publiée en début d'année 2022**. Les principes suivis pour cette méthodologie consistent d'une part à fournir, pour chaque classe d'exposition (hormis XF3 et XF4 qui sont traitées dans d'autres documents), des outils performantiels fiables permettant de déroger aux règles classiques de prescription de composition mais aussi de définir les dispositions appropriées en termes d'assurance qualité afin de sécuriser la démarche.

Groupe de travail « Communication » :

Les principaux résultats du projet ont été présentés lors du colloque GC2021 en juin. La dernière réunion du Comité de Suivi International s'est tenue en octobre. Les échanges avec les experts internationaux, pour la plupart impliqués dans les travaux de normalisation en cours (concernant l'introduction d'approche performantielle des ERC dans l'EC2 et dans l'EN 206, ont permis **d'assurer un lien constant entre les travaux du PN et les travaux européens en cours sur les ERC**.



PN - ANR MOVE
DVDC
DURÉE DE VIE DES CHAUSSÉES

Durée de Vie des Chaussées - dvdc.fr

Co-financement ANR projet moveDVDC (MOdélisation du Vieillessement et de l'Endommagement pour l'évaluation de la Durée de Vie Des Chaussées)

Dans le cadre du thème 1 « Mécanismes de dégradation », le **développement d'un appareil pour l'évaluation in situ des interfaces de chaussée** a été poursuivi et a abouti à une modification du prototype avant la fabrication d'un premier dispositif de série prévue pour 2022. Le prototype a été expérimenté sur trois sites, ce qui a permis d'affiner le protocole d'essai. La température de mesure, qui est un paramètre fondamental dans la démarche, fait désormais l'objet d'une procédure maîtrisée.



Les avancées récentes du projet ANR moveDVDC ont permis d'**améliorer la compréhension des cinétiques de vieillissement des liants et leur impact** sur l'évolution des propriétés mécaniques des enrobés bitumineux. Une importante base de données de comportement de liants et d'enrobés avec différents niveaux de vieillissement est désormais constituée, à partir de matériaux de fabriqués en laboratoire ou prélevés sur des sections de chaussées anciennes.



Les travaux du thème 2 « Caractérisation de l'état d'un réseau » se sont notamment concrétisés par la réalisation, au printemps, d'**une campagne d'essais croisés de relevés de dégradations de surface** (fissures, nids de poules, arrachements, ornières, etc...) à grand rendement (jusqu'à 100 km/h) à partir de **la technologie LCMS** (Laser Crack Measurement System).

Cette action, cofinancée par l'Association des Sociétés Françaises d'Autoroutes (ASFA), **concourt à l'obtention d'un référentiel d'auscultation**.

Le développement d'une **nouvelle méthode d'essai standardisée pour les relevés automatiques des dégradations de surface** est en cours. Cette nouvelle méthode viendra dans la continuité de la méthode d'essai 38-2 (relevés visuels des dégradations de surface) qui a fait l'objet d'une refonte complète par le projet DVDC et qui est désormais disponible.

Parmi les actions du thème 3 « Evaluation de la durée de vie résiduelle », citons le sous-groupe « Durabilité des couches de roulement » qui a poursuivi ses **enquêtes de comportement de techniques d'entretien sur la base d'analyses des données existantes** et d'observation des défauts à l'aide de mesures à l'AIGLE3D.



Développement d'Outils et de Logiciels pour la Maçonnerie Existante et Neuve - pndolmen.fr

Le projet national Dolmen vise à progresser dans la **compréhension du comportement des ouvrages d'art en maçonnerie** et à transférer les résultats de la recherche à la profession pour améliorer l'évaluation et la maintenance du patrimoine existant et rétablir la maçonnerie dans le catalogue des techniques de construction contemporaines.

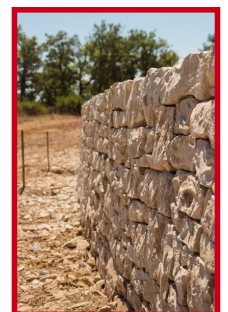
L'année 2021 a marqué le **lancement du projet** avec **deux webinaires de présentation** en mars, organisés avec le soutien d'Indura, réunissant plus de 100 participants chacun, et l'**assemblée constitutive** le 5 juillet.

Les **groupes de travail se sont ainsi constitués** pour mettre en œuvre le **programme de recherche**, selon les 5 axes thématiques :



- Caractérisation du matériau composite
- Evaluation des structures existantes
- Construction neuve et solutions innovantes
- Maîtrise des incertitudes et des risques
- Analyse développement durable

Pont de Faissinet



Mur de soutènement à Rocamadour

En lien étroit avec ces groupes de travail, les axes transversaux O « Ouvrages de référence » et T « Transfert et valorisation » ont lancé une **campagne d'entretiens et de questionnaires** afin de faire l'état des lieux des pratiques et besoins des maîtres d'ouvrage, recueillir des données sur leur patrimoine et identifier les ouvrages qui pourraient servir de cas d'études aux actions de recherche. Le partenariat est toujours en cours de construction.



Chutes de blocs, Risques Rocheux et Ouvrages de Protection- c2rop.fr

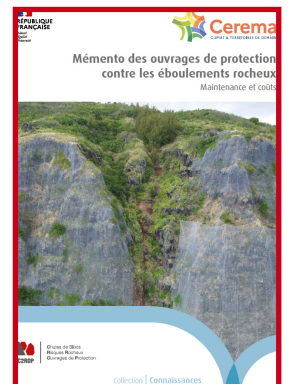
L'année 2021 a été une année de transition entre la fin de C2ROP, 1ère édition, et la suite du projet dont tous les acteurs attendent un démarrage en début d'année 2022. Le contexte de crise sanitaire a profondément impacté les calendriers des diverses programmations scientifiques, menant au report de l'instruction du dossier de C2ROP2. La date du CODOR, devant lequel le nouveau projet sera défendu, est désormais fixée au 06 janvier 2022.

Toutefois, les partenaires du Projet National sont restés très actifs et engagés dans tout un ensemble d'actions qui témoignent de la vitalité de ce réseau en place depuis près de 7 ans.



L'automne a été particulièrement marqué par la tenue du Symposium international RSS 2021. Organisé sous un format hybride et réunissant au total près de 170 participants, cet événement a constitué un temps de rencontre que tout le monde aura apprécié et exploité après de si longs mois de distanciation. Avec 45 présentations orales et 4 conférences plénières, ce format écourté à une journée et demi pour toutes les raisons liées aux incertitudes sanitaires qui ont plané tout au long de sa préparation, **RSS 2021 a été un succès sans faille, confirmant la maturité de cette série désormais solidement adossée au Projet National.**

En outre, **plusieurs opérations de communication** autour des guides récemment parus ont été organisées sous forme de webinaires, avec toujours un succès retentissant en terme de participation. Ces guides figurent parmi les **aboutissements majeurs** de C2ROP, et constituent des livrables précieux pour une très large communauté professionnelle.



Le tout dernier Comité de Pilotage de C2ROP s'est tenu en fin d'année avec pour objectif de **préparer finement le démarrage de la seconde édition de C2ROP, en identifiant les actions qui seront menées prioritairement au cours de la première tranche**. Il a permis au collectif de se réunir à nouveau physiquement, après plus de 18 mois d'activités préparatoires en mode distanciel.

Montage d'un deuxième programme sur les chutes de blocs et risques rocheux

Le Projet National C2ROP se termine avec la publication, entre autres, de 10 guides et recommandations. Ce projet a permis le **rassemblement de l'ensemble des acteurs du domaine des risques rocheux**, et la mise en place d'un cadre de travail de recherche collaborative.

S'appuyant sur le bilan du Projet National C2ROP au cours des 4 années passées, l'ensemble de la communauté du Projet National C2ROP souhaite poursuivre cet effort de structuration, qui permet à la fois de progresser techniquement et scientifiquement le long d'axes et autour de questions bien identifiées, mais aussi de bénéficier d'un partage et d'une capitalisation de savoir-faire sans équivalent jusqu'alors dans le champ des chutes de blocs à l'échelle nationale.

Les quatre axes de travail suivants ont été retenus :

- Aléas dans un contexte de changement climatique
- Risques, acceptabilité et gestion de crises
- Ouvrages de protection
- Surveillance
- Objectifs



Le Projet National C2ROP a pour objectifs de construire une chaîne d'outils coordonnés (aléa – risque – ouvrages de protection – surveillance), de participer à l'élaboration d'un référentiel du risque et de son coût acceptable, de structurer et animer la communauté, de constituer un capital structuré de résultats à partir des outils numériques et des équipements expérimentaux, et enfin de positionner le savoir-faire français sur le plan international.



Stockage de CO₂ par la carbonatation du béton recyclé - fastcarb.fr

Le Projet National FastCarb a poursuivi ses travaux et [sa communication](#) de manière très active en 2021. Compte tenu des retards liés à la pandémie, le projet ne s'est pas terminé comme prévu en 2021 et se poursuivra en 2022.

Les paramètres les plus influents sur le stockage de CO₂ dans les granulats de béton recyclé sont maintenant bien identifiés : la taille des granulats recyclés, le % de CO₂ dans le gaz au contact, la durée de contact, la teneur en eau des granulats, la température de traitement et le niveau de carbonatation naturelle. Une relation entre CO₂ fixé et absorption d'eau a été établie. **Une instrumentation utilisant un filtre à gravier** a été développée et est en cours de test. Les efforts de modélisation du phénomène se poursuivent en parallèle et le projet ANR spin-off CO₂NCRETE a démarré.

La **production industrielle de granulats carbonatés** à l'aide des **deux démonstrateurs développés** est terminée. A partir de granulats issus de retour de béton prêt à l'emploi, 40 t de granulats recyclés carbonatés ont été préparés. Pour le sable, il a été possible de stocker environ 40kg de CO₂ par t de granulats recyclés. Des bétons C25 et C45 ont été formulés à l'aide de ces granulats traités et caractérisés du point de vue de leur rhéologie et de leurs propriétés mécaniques. Le comportement vis-à-vis de leur durabilité a démarré. En parallèle, avec ces granulats recarbonatés, deux voiles ont été coulés en béton prêt à l'emploi et des pièces préfabriquées ont été fabriquées (blocs béton) ou vont l'être (bordures de trottoir, escaliers). Enfin, les démonstrateurs ont permis **une étude couplant ACV et économie du procédé**. Cette étude montre le poids du transport dans les résultats et l'intérêt des sables recyclés recarbonatés car ils permettent un stockage plus important.



Mur coulé en béton prêt à l'emploi formulé à l'aide de granulats recyclés recarbonatés

En 2021, le colloque GC2021 a consacré une **session de présentations** à FastCarb.

En 2022, **les résultats du projet seront présentés** et les partenaires démarreront la rédaction des recommandations.



Amélioration des Sols par les Inclusions Rigides - asiriplus.fr

Co-financement ANR projet ASIRIPLUS_SDS (Amélioration des Sols par Inclusions Rigides : Sollicitations Dynamiques et Sismiques)

L'étude expérimentale du comportement des plateformes de transfert de charge à échelle 1 a débuté. Une caractérisation en laboratoire a permis de valider un sol analogique simulant le comportement d'un sol compressible. **Les premiers essais réalisés donnent une grande satisfaction.**

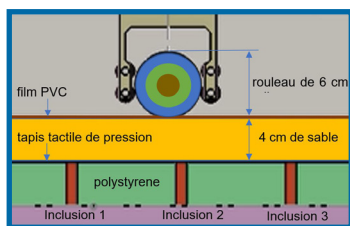


Mise en place du sol analogique dans la fosse du CEREMA

Deux nouveaux ouvrages réels ont été instrumentés :

- un mur de soutènement renforcé par géosynthétiques sur inclusions rigides près de Chambéry pour analyser l'influence de la présence d'un renforcement géosynthétique dans la plateforme de transfert de charge,
- une zone sous la réhausse de la digue sur inclusions rigides de la centrale du Blayais pour analyser le comportement d'une plateforme de transfert de charge en sol traité.

D'autres ouvrages sont prévus pour 2022, notamment avec le port du Havre et celui de Rouen.



Portique mobile pour appliquer des sollicitations de circulation à la centrifugeuse

Une **étude des mécanismes de rupture dans la plateforme** a été réalisée sur modèles réduits centrifugés pour des charges statiques et des charges roulantes, en géométrie 2D. Une nouvelle thèse Cifre a débuté pour travailler sur le comportement des plateformes en sol traité.

Les **mesures d'un renforcement de sol sous une éolienne** réalisée dans le cadre du projet FUI FEDRE ont été enregistrées et analysées. Un benchmark sera mené en 2022 afin de confronter les mesures aux résultats des modélisations numériques.

Les activités de modélisation numériques ont principalement consisté à piloter des benchmarks.

Un chercheur, recruté par l'IREX, travaille sur **l'impact environnemental et l'ACV** en commun avec d'autres projets nationaux. Le cas d'une éolienne sur inclusions rigides a été traité.

EcoRCe

Montage du Projet EcoRCe « Eco conception of Reinforced Concrete Structures »

Après plus d'un an d'échanges et une première présentation en CODOR RAGC, les porteurs du projet EcoRCe ont organisé une réunion de partage qui a eu lieu à la FNTF le 6 octobre 2021, avec les interventions suivantes :

- **Introduction** : La fissuration et la durabilité dans les structures en BA/BP (Laurent Boutillon, Vinci/Alain Sellier, LMDC).
- **Impact des constituants sur les émissions d'un m3 de béton armé en place** (Antoine Simon, Environnement Vinci).
- **REX sur ouvrages anciens et l'apport des PN précédents** (François Cussigh, Directeur du PN PERFDUB).
- **Intérêt et besoins de recherches** sur le couplage Fissuration/Chimie/Électrochimie. (Alain Sellier, LMDC).
- **Modélisation de la corrosion** dans le béton armé. (David Garcia, Corroh).
- **Projet européen MAGIC** : Mise en place d'un essai de caractérisation de la fissuration sous environnement, (Thierry Vidal, LMDC).
- **Des solutions de mitigation** : point sur les recherches (Ahmed Loukili).
- **Points de vue et attentes** des entreprises et de maîtres d'ouvrages : Christian Cremona, (Bouygues), Christian Clergue (Eiffage), Xavier Bourbon (Andra).

Les discussions ont permis de mieux définir les enjeux de ce projet et les verrous scientifiques et techniques à lever. Si la question de la fissuration des ouvrages en béton armé est majeure pour la durabilité, il y a consensus pour s'interroger sur l'efficacité de la limitation de l'ouverture de fissure telle qu'introduite dans les codes de dimensionnement dans leur version actuelle.

Le constat est partagé que cette limitation de l'ouverture conduit à des surdimensionnements en armatures et, de ce fait, à une perte de compétitivité en termes économique et environnemental.

Les travaux envisagés dans le projet portent sur :

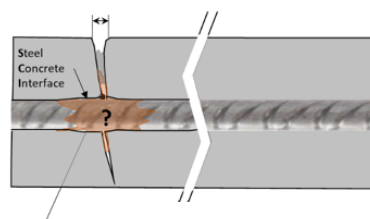
- la création et le développement des fissures en fonction des bétons et des expositions, afin de mieux relier fissuration existante et durabilité, le projet européen MAGIC ayant ouvert cette voie avec la création d'un essai de « caractérisation » de la nocivité de la fissure ;
- les interactions entre chargements mécaniques et phénomènes physico-chimiques ;
- les procédés de réduction afin de mieux les définir et d'en évaluer l'efficacité ;
- les solutions de réparation, notamment par un retour d'expérience sur les ouvrages existants.

PN CEOS.fr

Meilleure compréhension des mécanismes de fissuration des structures massives :

- Histoire THM, du jeune âge jusqu'en service
- Réalisme du modèle d'interface acier béton
- Effet d'échelle statistique sur R_t

Possibilité de calculer plus précisément les ouvertures de fissures



PN PERFDUB

Meilleure compréhension des mécanisme de pénétration des agents chimiques dépassivant:

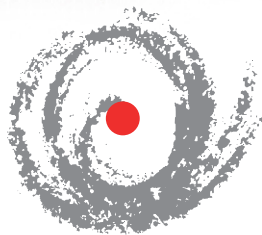
- Approche performantielle
- Modèles de calcul physiques pour la pénétration des agents agressifs en zone d'enrobage

Plus de latitude sur les formulations pour atteindre les performance visées en zone non fissurées

PN : ECoRCe

Meilleure compréhension du développement de la corrosion aux intersections fissures - armatures:

- En prenant en compte la **physicochimie des interactions** acier/béton/environnement hydro-chimique En intégrant les risques de **propagation de la corrosion le long de l'interface** depuis la fissure
- En tenant compte lors du dimensionnement des possibilité de **protection initiale et des scenarios de maintenance**



IREX

Institut pour la recherche appliquée
et l'expérimentation en génie civil

Rejoignez-nous sur les réseaux sociaux



9 rue de Berri 75008 PARIS
01 44 13 32 79 - contact@irex.asso.fr
irex.asso.fr

