

## C2D2 2009-2010

# Un programme incitatif de recherche pour répondre aux nouveaux enjeux de la construction

*La Direction de la recherche et de l'Innovation (DRI) du MEDDTL a lancé en 2009 et 2010, avec l'appui du Réseau Génie Civil & Urbain (RGC&U), un programme incitatif de recherche sur la construction durable englobant bâtiments, ouvrages et réseaux. Intitulé « Concevoir et construire pour le développement durable » (C2D2), ce programme vise à encourager les changements imposés par les enjeux du développement durable à tous les acteurs du secteur de la construction. Les recherches financées dans cette perspective s'inscrivent ainsi dans une vision globale de la performance, à la fois structurale, environnementale et socio-économique, de la construction.*



### Des enjeux au cœur de l'action publique

En France, le secteur de la construction au sens large, c'est à dire l'ensemble du Bâtiment et des Travaux publics (BTP), représente près de 10 % du produit intérieur brut (chiffres INSEE pour 2008) et emploie environ 1,4 millions de personnes. Les bâtiments, les ouvrages et les réseaux changent la nature, la fonction et l'apparence de nos villes et de nos territoires. Les différentes phases de leur cycle de vie -construction, utilisation, maintenance, réparation, réhabilitation et démolition- consomment de l'énergie et des ressources et génèrent des déchets à grande échelle. Le secteur de la construction participe aussi de manière importante à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines du transport (infrastructures), du logement, de l'éducation (écoles), de la santé (hôpitaux) et de la réduction des risques naturels. Ce secteur est dans une recherche continue de moyens et de stratégies pour contribuer au progrès social, à la protection de l'environnement, à une meilleure utilisation des ressources comme à la croissance économique et à la création d'emplois.

Ces dernières années, le développement durable est devenu une priorité politique relayée par les acteurs économiques, avec un impact encore difficile à apprécier sur les secteurs professionnels concernés. Il est aujourd'hui au centre de l'action publique et privée, porté au premier plan par le Grenelle de l'environnement.

### Le Réseau Génie Civil et Urbain (RGC&U)

Le RGC&U s'adresse aux technologies de conception, d'exécution, d'entretien et de gestion des constructions, qu'il s'agisse d'infrastructures, de superstructures, de bâtiments et de réseaux, afin qu'elles répondent de manière optimale aux services requis sur le plan social, environnemental et économique. Le réseau s'intéresse également aux technologies nécessaires à l'aménagement et à la gestion de la ville.

Installé en 1999 par Claude Allègre, ministre de l'Éducation nationale, de la recherche et de la technologie, et Jean-Claude Gayssot, ministre de l'Équipement, des Transports et du Logement, ce réseau a pris le relais de l'action incitative de l'État menée dans le cadre du « Plan génie civil », en l'inscrivant dans le cadre des réseaux de recherche technologique.

L'année 2009 a constitué une nouvelle étape importante dans l'évolution du réseau, qui s'est élargi de manière significative au secteur du bâtiment, dépassant le simple cadre du gros œuvre, pour intégrer les thématiques identifiées par le Grenelle de l'environnement. Le réseau est piloté par un comité d'orientation présidé depuis 2009 par Louis Demilecamps, Directeur des ressources techniques et du développement durable de Vinci Construction. Une cellule d'animation et de coordination assure le fonctionnement et l'animation du réseau. Elle s'appuie sur la mission « génie civil et construction » de la Direction de la recherche et de l'innovation (CGDD/DRI) du ministère du développement durable.



Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Ministère  
de l'Écologie,  
du Développement  
durable,  
des Transports  
et du Logement

## De nouveaux défis pour la construction

Traditionnellement, la conception des ouvrages et des réseaux consistait à retenir un dimensionnement permettant d'obtenir un coût initial de construction le plus faible possible tout en respectant des exigences prescrites pour une durée de fonctionnement donnée. Si dans les années quatre-vingts, le critère économique du coût actualisé a pris en considération les dépenses de fonctionnement, la démarche du développement durable a remis en cause le dimensionnement optimisé au seul stade de la conception initiale, pour lui substituer un dimensionnement optimisé sur la totalité du cycle de vie. Cela rend la tâche des architectes et des ingénieurs bien plus délicate. L'abandon de la seule satisfaction à court terme de besoins d'infrastructures ou de constructions au profit de considérations englobant les aspects techniques, économiques, environnementaux et socio-culturels, représente un défi majeur pour le secteur de la construction.

Aussi la « construction durable » implique-t-elle d'évoluer vers le concept d'éco-efficacité globale, défini comme la maximisation des bénéfices d'un produit ou d'un service en minimisant la consommation de ressources énergétiques ou naturelles, en intégrant tant les aspects sociaux et économiques que les aspects techniques.

Le programme « Concevoir et Construire pour le Développement durable » (C2D2) est fortement imprégné des travaux du Grenelle de l'environnement portant sur le bâtiment et des propositions de son COMOP Recherche. Ces réflexions et recommandations ont en effet souligné la nécessité d'impulser des recherches en faveur de solutions globales et en rupture avec les habitudes du secteur, afin de répondre aux exigences d'efficacité énergétique, de maîtrise des coûts et de qualité d'usage des constructions. Avec l'appui du Réseau Génie Civil & Urbain, le programme C2D2 entend notamment favoriser une pleine prise en compte de l'objectif d'éco-efficacité, dont il encourage la mise en œuvre.

L'appel à projets 2009 a été organisé en deux grands volets :

- construction et exploitation durable et efficiente

des bâtiments, des ouvrages et des réseaux ;

- sûreté de fonctionnement des services et des réseaux.

L'appel à projets 2010 a conservé le premier volet, mais a reformulé le second, en le focalisant sur l'adaptation des infrastructures et des ouvrages au changement climatique.

## Cinq thèmes de recherche pour un programme

Pour mieux répondre à ses objectifs, le programme a été articulé autour de cinq grands thèmes de recherche :

### ❑ Matériaux, systèmes, contrôles pour l'amélioration de la durabilité, de la performance des constructions en service

Les projets de recherche doivent contribuer :

- à la conception et/ou à la mise en œuvre de matériaux et de systèmes constructifs à faible impact environnemental (approche multi-fonctionnelle des systèmes, nano-matériaux, bio-matériaux, éco-matériaux, nouveaux processus et techniques de construction) ;
- au développement de méthodologies de surveillance (suivi et évaluation en temps réel, fiabilité des contrôles non destructifs...).

Sont également attendus des référentiels, des méthodes et des outils permettant une meilleure évaluation de la performance des constructions existantes sur leur durée de service, mais aussi des solutions techniques économiquement réalistes pour développer les capacités d'adaptabilité à la prolongation de la durée de vie au-delà de la durée initialement prévue pour l'usage de l'ouvrage.

### ❑ Conception des ouvrages, des bâtiments et des réseaux à impact écologique et économique maîtrisé

L'analyse en cycle de vie doit être généralisée à l'ensemble des constructions, en essayant de promouvoir des méthodologies d'évaluation de l'empreinte écologique et économique. Les actions de recherche visées par le programme doivent donc favoriser l'émergence de nouvelles approches multi-critères (économique, énergétique, environnementale) pour le contrôle ou la certification des projets et des chantiers de construction ou de génie civil. Les projets portent aussi sur la proposition d'outils de gestion raisonnée des bâtiments, des ouvrages et des réseaux pour la prise en compte des nuisances directes et indirectes et l'optimisation globale construction-usage-exploitation-démantèlement.

### ❑ Économie des ressources premières

La minimisation de la consommation de matières premières et d'énergie dans les phases de construction et de service des ouvrages est nécessaire pour contribuer à la diminution de notre empreinte écologique. Cet objectif inclut l'émergence de procédés de valorisation des ressources libérées en fin de vie par une



Tour Granite (Vinci) – Photo Francis Vigouroux

infrastructure ou un bâtiment (recyclabilité des matériaux, réutilisation des composants dans une perspective de développement durable). Il suppose également de nouvelles formes de production, de stockage ou de récupération d'énergie dans les bâtiments, ouvrages et réseaux, ou d'utilisation des ressources en eau dans les chantiers.

#### ❑ Comportement des matériaux constitutifs des constructions existantes sous l'effet du changement climatique

Le changement climatique aura des impacts à différentes échelles géographiques et il affecte déjà de nombreuses constructions et biens du patrimoine. Prendre aujourd'hui les bonnes décisions pour agir à court terme et anticiper le long terme, dans un contexte d'incertitude, tel est le défi de la politique climatique, notamment en matière d'adaptation. La loi de programmation 2009-967 du 3 août 2009 relative à la mise en œuvre du Grenelle Environnement a prévu l'adoption d'un Plan national d'adaptation en 2011 (art. 42). Il est donc essentiel pour sa mise en œuvre de disposer de référentiels et de solutions techniques appropriés pour développer les capacités d'adaptabilité des constructions et des réseaux. Le programme appelle donc des recherches sur la modélisation des actions liées au changement climatique et de leurs effets, l'étude du comportement des matériaux (béton, aciers, enrobés, peintures, élastomères) et des éléments de structures (éléments composant les ouvrages d'art, rails, chaussées, équipements ferroviaires) sous des sollicitations cycliques plus étendues (cycles gel/dégel, mouillage/séchage, humidité/température) et plus fréquentes. L'impact économique de ces effets doit aussi être pris en considération.

#### ❑ Stratégies d'adaptation des infrastructures de transport et de leurs équipements

L'adaptation au changement climatique des infrastructures et de leurs équipements requiert de nombreuses actions, dont certaines relèvent de choix privés et d'autres de politiques publiques. Ce thème vise à soutenir des actions de recherche sur le développement d'outils pour l'évaluation technico-socio-économique et l'aide à la décision (à l'échelle des réseaux d'infrastructures) face aux conséquences potentielles du changement climatique (fonctionnement, analyse de risques, mise à niveau nécessaire et nouvelles infrastructures à créer...). Des projets de recherche sont donc attendus sur :

- le développement de méthodologies de mesure et d'évaluation pour la prise en compte adaptative des conséquences du réchauffement climatique dans les investissements (conception des ouvrages, entretien, planification des travaux) ;
- les concepts structurels rendant possible à moindre coût l'incorporation ultérieure d'éléments additionnels en cas de renforcement des exigences pour répondre à



Rupture du barrage des Houches - Photo Cemagref

des contraintes accrues (cycles thermiques, risques de submersion...).

#### Modalités et critères de sélection des projets

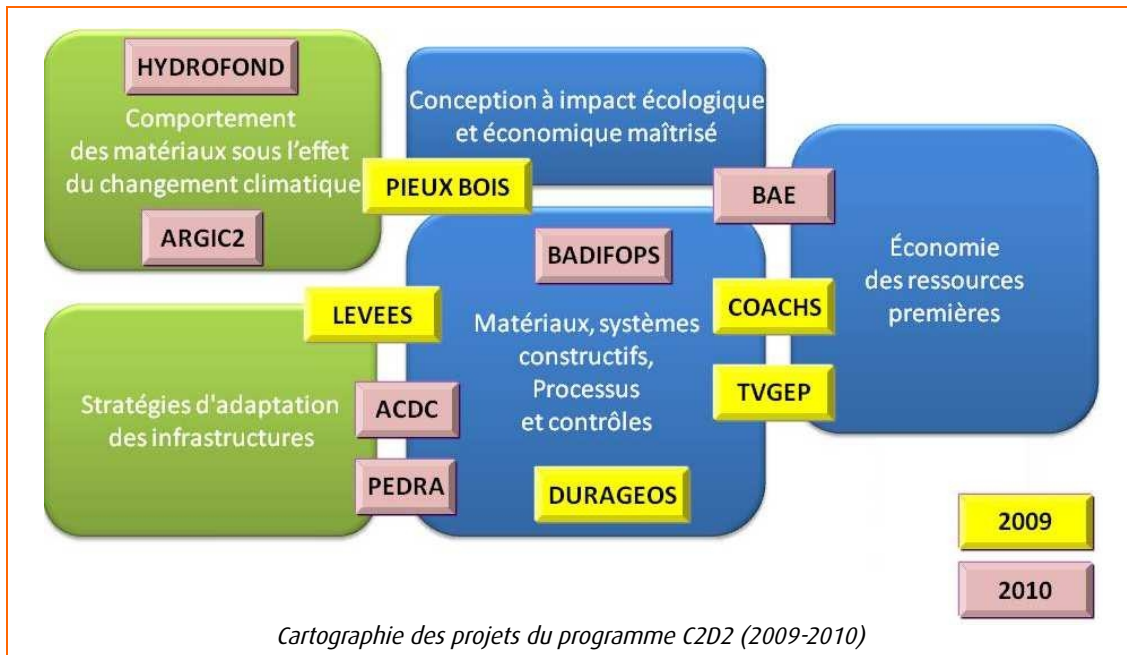
Au-delà du fait que tout projet déposé doit se situer dans le cadre de l'un des thèmes de recherche, le programme C2D2 est attentif aux sujets transverses à plusieurs domaines scientifiques et techniques ou situés à leurs interfaces, et de ce fait souvent peu ou mal traités. Il privilégie le soutien à des projets présentant une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- réalisation de protocoles pour alimenter des banques de données et des observatoires ;
- intégration des retours d'expérience, « benchmarking » ;
- résolution de problématiques d'intérêt général ;
- exploration de nouveaux champs scientifiques (méthodes, technologies, modèles économiques ou organisations industrielles) ;
- développement de méthodologies pour l'industrie, l'ingénierie et l'organisation de secteurs ou de filières.

Les projets doivent être portés par des groupements comprenant au minimum trois partenaires indépendants. Le programme C2D2 étant destiné à favoriser des recherches partenariales entre organismes de recherche, entreprises et sociétés d'ingénierie, les groupements comprenant au minimum une entreprise (PME, ETI ou grande entreprise) et un organisme de recherche sont particulièrement encouragés.

Sur la base des expertises et des synthèses fournies par le comité scientifique pour évaluer l'excellence scientifique, la méthodologie, la coordination et la qualité du groupement, le comité d'orientation du Réseau Génie Civil & Urbain propose une liste principale et une liste complémentaire de projets, en prenant aussi en compte des critères stratégiques, tels que l'adéquation au programme et les perspectives d'application. La Direction de la recherche et de l'innovation s'appuie sur ces propositions pour la sélection finale des projets soutenus en association avec d'autres directions générales du MEDDTL.





### Résultats des appels à projets 2009 et 2010

Le premier appel à projets, lancé en 2009 dans le cadre du programme C2D2, a conduit au dépôt de 27 projets. La demande moyenne de subventions était de 280 k€, pour un taux de couverture moyen des coûts complets de 41 %. En réponse à l'appel à projets 2010, 16 projets ont été déposés, pour une demande moyenne de subvention de 330 k€ avec un taux de couverture des coûts complets de 33 %. A l'issue du processus de sélection, 5 projets ont été financés en 2009 et 6 en 2010.

En 2009 le programme C2D2 a accordé 1,18 M€ de subventions pour un montant total de projets de 3,4 M€ (avec un effet de levier de 1,9). Le montant de subventions allant aux partenaires économiques (PME, ETI, grandes entreprises) représente 0,21 M€ pour une part totale des projets concernant ces derniers de 0,58 M€ (effet de levier de 1,8). En 2010 le programme C2D2 a accordé 1,7 M€ de subventions pour un montant total de projets de 5,1 M€ (effet de levier de 2). Le montant de subventions aux partenaires économiques s'élève à 0,18 M€, pour une part totale des projets les concernant de 0,81 M€ (effet de levier de 3,5).



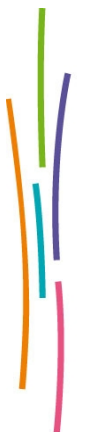
Ouvrage en pierre sèche ou faiblement maçonné - photo C. Cornu, CMA Vaucluse

La cartographie des projets retenus en 2009 et 2010 (voir ci-dessus) indique une couverture de l'ensemble des thèmes du programme. Il apparaît cependant qu'une majorité de projets retenus concerne le thème « Matériaux, systèmes, contrôles pour l'amélioration de la durabilité, de la performance des constructions en service », du fait du nombre de propositions déposées sur ce thème. Il reste que les problématiques posées par plusieurs d'entre eux touchent à d'autres thèmes du programme, comme « Stratégie d'adaptation des infrastructures » et « Économie des ressources premières ». L'encart joint présente les objectifs de chacun de ces projets.

**Christian CREMONA**  
**Hervé THUILLIER**

Téléphone : 01 40 81 29 47

**Pour en savoir plus :**  
[www.rgcu.prd.fr](http://www.rgcu.prd.fr)



Présent  
pour  
l'avenir

le point sur

**Commissariat général  
au développement  
durable**

**Direction  
de la recherche  
et de l'innovation**

Tour Voltaire  
92055 La Défense cedex  
Tel. : 01.40.81.63.51  
Fax : 01.40.81.63.96

**Directrice de la  
publication**  
Régine Bréhier

**Rédactrice en chef**  
Sylvie Dreyfus



Imprimé  
sur du papier certifié  
éco-label européen.  
[www.eco-label.com](http://www.eco-label.com)

ISSN : 2100-1634

Dépôt légal : mai 2011

## Concevoir et construire pour le développement durable

Les projets 2009-2010

### Durabilité des Géosynthétiques dans les installations de stockage de déchets (DURAGEOS)

Dans la plupart des pays, la composante principale de la gestion des déchets est l'installation de stockage de déchets (ISD). Pour les ISD, les géosynthétiques sont un des constituants incontournables de la barrière d'étanchéité, imposée par la plupart des réglementations. Les transferts de matière à travers les barrières d'étanchéité représentent des risques sanitaires et environnementaux par pollution de l'environnement. Dans ce contexte, le projet DURAGEOS se propose de traiter la problématique de prédiction de la durabilité des barrières d'étanchéité géosynthétiques utilisées dans les installations de stockage des déchets non dangereux (ISDND).

**Porteur :** IFSTTAR

**Partenaires :** Cemagref, LTHE, ENTPE, ENSAM, Suez-environnement, Veolia-Propreté

**Financement :** CGDD/DRI

### Béton d'Argile Environnemental (BAE)

La terre est un matériau à changement de phase naturel, localement disponible, à faible énergie grise et recyclable. Ces qualités en font un matériau de construction d'avenir. L'éclosion des nanosciences offre un nouvel éclairage sur les comportements mécaniques, thermiques, hygrométriques et rhéologiques du matériau terre, en particulier aux échelles physico-chimiques les plus fines des argiles. L'enjeu scientifique du projet réside dans une meilleure compréhension des propriétés mécaniques et thermiques du matériau terre en liaison avec son comportement hygrométrique et dans une meilleure connaissance des systèmes argile/eau en vue du coulage du matériau terre à l'état liquide.

**Porteur :** ENSAG

**Partenaires :** INSA Lyon, ENTPE, GAIA, CTMNC, CB, AKTERRE, CARACOL

**Financement :** CGDD/DRI

### Pieux Bois

Le projet a pour objectif de créer les conditions nécessaires à l'émergence d'une expertise nationale sur le dimensionnement et la durabilité des pieux bois. Seuls quelques pays comme les Pays Bas, le Canada ou les États-Unis ont mis en place un cadre réglementaire. Malgré un parc français important d'ouvrages bâtis sur pieux bois, le retour d'expérience est faible et peu capitalisé. L'objectif du projet est d'une part la constitution d'une expertise scientifique et technique au niveau national et d'autre part la mise en place d'une expertise internationale plus aboutie et tournée vers des problématiques différentes de celles qui intéressent le territoire français. L'intérêt de ce projet repose en outre sur le faible coût énergétique de la technique étudiée.

**Porteur :** IFSTTAR

**Partenaires :** LERMAB, Grouazel, Cartignies, Batiplus

**Financement :** DGITM

### Analyse et capitalisation pour le diagnostic des constructions (ACDC)

La prise en compte du vieillissement des structures de génie civil, ainsi que des risques attachés aux changements environnementaux, deviennent des éléments prépondérants pour leurs gestionnaires et les bureaux d'études concevant les constructions. L'objectif du projet est de proposer des protocoles de mesure et d'exploitation à utiliser dans une finalité de diagnostic et de préservation des performances. Elle doit s'appuyer aussi sur l'évaluation de la fiabilité des contrôles, pour fournir aux gestionnaires des recommandations appropriées.

**Porteur :** Université de la Méditerranée

**Partenaires :** INSA Toulouse, ECL, Université de Bordeaux, IFSTTAR, EDF, SETRA

**Financement :** CGDD/DRI

### Hydromécanique des Géomatériaux de Fondation Immergés (HydroFond)

L'étude et la modélisation des phénomènes dynamiques impliquant des interactions entre phases solides, liquides et gazeuses, constituent des défis majeurs pour l'ingénierie, liés notamment à la conception des infrastructures implantées sur le littoral ou en mer et à l'impact des scénarios de changement climatique sur leur évolution. Centré sur les structures côtières et maritimes, le projet comporte un volet scientifique ambitieux, incluant le développement de modèles micro-mécaniques de couplage basés sur la physique locale (méthode des éléments discrets). Il vise le développement des connaissances phénoménologiques, autant que le développement d'outils numériques de modélisation prédictive.

**Porteur :** INPG

**Partenaires :** Université Blaise Pascal, Sogreath

**Financement :** DGTIM

### Modélisations des réseaux d'assainissement (COACHS)

La Directive Cadre sur l'Eau (directive européenne 2000/60 du 23 octobre 2000) comme la législation française (loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006) imposent la surveillance de la qualité des eaux. Cela passe par la maîtrise de la quantité et de la qualité des rejets directs des réseaux d'assainissement vers les milieux aquatiques. La mise en place d'un réseau de mesure performant, au-delà de ce qui est requis pour la conformité avec la réglementation, représente l'une des solutions pour connaître les quantités et la qualité des rejets urbains véhiculés par les réseaux d'assainissement. L'objectif du projet est de proposer des outils et des méthodes permettant le déploiement de systèmes d'instrumentation intégrée pour une surveillance efficace et pertinente en continu et en temps réel des rejets responsables de la dégradation de l'environnement.

**Porteur :** IFSTTAR

**Partenaires :** INSA de Lyon, IMFS, GEMCEA

**Financement :** CGDD/DRI

**Ruptures diffuses et érosives des digues fluviales de protection contre les inondations (LEVEES)**

Les digues de protection sont des ouvrages à grand linéaire, qui constituent un aménagement protégeant en France environ 18000 km<sup>2</sup> et 2 millions d'habitants. L'absence de méthodologies décrivant de manière satisfaisante toutes les ruptures constatées et intégrant les connaissances et le savoir faire actuels en géomécanique et en mécanique des fluides, conduit, soit à ne pas conforter les ouvrages là où il le faudrait, soit à les conforter de manière trop systématique. Le projet vise à proposer des outils pour le diagnostic des digues vis-à-vis des ruptures diffuses et érosives. Cette avancée permettrait notamment d'étudier comment on peut, en complément de l'installation de déversoirs, ralentir le développement d'une brèche (avec un couvert végétal adéquat par exemple).

**Porteur : CEMAGREF****Partenaires : IRPHE, Cete Mediterranée, EDF, ISL, Sogreah, Université de Nantes****Financement : CGDD/DRI****Conception des toitures végétalisées pour la gestion des eaux pluviales urbaines (TVGEP)**

La végétalisation des toitures est souvent présentée comme offrant de nombreux effets bénéfiques pour l'environnement urbain et la qualité de vie des citoyens, tant au niveau du bâtiment, qu'à l'échelle de la ville, avec en particulier une contribution à une meilleure gestion des eaux pluviales. Sur ce point, ces effets ne sont toutefois que très partiellement validés scientifiquement, face aux attentes croissantes des acteurs de la construction et des gestionnaires de réseaux d'assainissement. L'objectif du projet TVGEP est d'évaluer l'intérêt des toitures terrasses végétalisées pour la gestion quantitative et qualitative des eaux pluviales, en identifiant atouts et limites, tant à l'échelle de la parcelle qu'à l'échelle de la ville.

**Porteur : CSTB****Partenaires : DREI, ENPC, ADIVET, CG 92****Financement : CGDD/DRI****Sécheresse et construction (ARGIC2)**

Au cours des dernières décennies, la France a connu, comme d'autres pays dans les zones tempérées, des épisodes de sécheresse de plus en plus intenses et de plus en plus fréquents, phénomène dont le GIEC estime qu'il s'accroîtra à l'avenir. Or, les maisons individuelles et, plus largement, le bâti sont conçus dans notre pays pour supporter des sécheresses dites 'normales' (si tant est que cette normalité soit définie clairement), ce qui pose la question de la résistance à un état de dessiccation avancée des couches de sols sous fondations. Le projet vise à approfondir les connaissances sur le comportement des constructions et de leurs fondations, en termes de pathologie, réparation et prévention. Il a également pour finalité de produire un guide pratique pour la caractérisation des sites de construction en termes de retrait et gonflement.

**Porteur : IFSTTAR****Partenaires : BRGM, CSTB, HYDRASA - UMR 6269 CNRS, ARMINES, INERIS, ECP-LMSSMat, CRMD - UMR 6619 CNRS, ENPC, INSA Lyon, Université de Bordeaux 1, INPL, CNRS / Université du Havre, Fondasol, AQC, FFB, CAPEB****Financement : DGALN/DGPR****BFUP armé ductile instrumenté par fibres optiques pour des applications parasismiques (BADIFOPS)**

Utilisés depuis une dizaine d'années, les bétons fibrés ultra-hautes performances (BFUP) disposent de qualités mécaniques et de durabilité remarquables, qui autorisent des structures légères, économes en matériau et pérennes. S'ils sont souvent associés à une forte précontrainte, leur comportement est encore mal connu lorsque l'on leur adjoint des armatures passives. Le projet propose donc, à l'aide d'essais «simples», d'approfondir la maîtrise de la fissuration du BFUP apportée par l'adhérence avec les armatures passives, en utilisant notamment une instrumentation par fibres optiques. Cette connaissance expérimentale approfondie doit permettre de compléter les règles de dimensionnement et de proposer des avant-projets démontrant l'intérêt structural, l'économie de matière ainsi que la robustesse de ce type de conception.

**Porteur : IFSTTAR****Partenaires : CSTB, Eiffage, SETRA****Financement : CGDD/DRI****Ouvrages en pierre sèche ou faiblement maçonnés (PEDRA)**

Le projet répond à la problématique de la maintenance du patrimoine en maçonnerie sèche ou faiblement liée. Il s'agit d'ouvrages en pierre non maçonnés ou faiblement maçonnés, dont le mortier ne participe que très peu à leur résistance globale. L'objectif est de fournir des outils scientifiques et numériques adaptés à l'évaluation de la performance des ouvrages en pierre peu ou non maçonnés durant leur durée de service et des méthodes d'aide à la décision adaptés, permettant une rationalisation et normalisation des cahiers des charges pour le lancement des phases de construction ou de réparation.

**Porteur : ECL****Partenaires : CETMEF, CMA du Vaucluse, ENTPE, DRAC Rhône Alpes, EDF, ECN, ITASCA Consultants, IFSTTAR****Financement : CGDD/DRI**

Réseau Génie Civil &amp; Urbain

