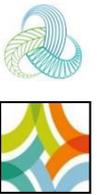


**Code TP2** (renseigné par DPM) : **RP2-S12012**

**Acronyme** : **APPI.DD**

**Nouveaux matériaux et nouveaux outils prédictifs pour des structures à faible impact environnemental et à haute durabilité : APPROCHE Intégrée expérimentale/numérique et multi-niveaux pour le Développement Durable**



**Mots-clés** (6 maxi) :

Responsable IFSTTAR                      Véronique Baroghel-Bouny MAST FM2D

Autre Responsable    Michael Dierkens (CEREMA)

Axe de rattachement :    2

Durée : 4 ans (2012-2015)

## Création

**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.*

Le champ d'action de ce projet entre dans la thématique "construire la ville durable". Il concerne la durabilité des matériaux de construction et de réparation, ainsi que la prédiction de la durée de vie des structures les utilisant.

L'intégration du développement durable dans la démarche de formulation des matériaux et de conception des structures (de génie civil ou de bâtiment) constitue désormais une priorité, et suppose un virage ou au moins une adaptation importante des méthodologies existantes.

Face aux enjeux environnementaux, économiques et de sécurité que représente la maîtrise de la durabilité (et des risques) dès la conception des structures et tout au long de leur vie, l'objectif ici est d'abord de comprendre puis de prédire le comportement à long terme des matériaux utilisés. Il s'agit notamment de nouveaux matériaux, tels que les bétons environnementaux (à faible empreinte CO2 et/ou issus du recyclage), ceux issus de la nouvelle chimie des systèmes cimentaires ou non (par ex. géopolymères), ou encore les différents matériaux composites utilisés dans le domaine de la construction ou de la réparation (par ex. associations béton - mortier de réparation), soumis à divers agents agressifs issus de l'environnement (eau, ions tels que chlorures, alcalins ou sulfates, CO2, ...) et/ou à des conditions particulières de conservation/stockage (agressions chimiques spécifiques, fortes températures ou pressions).

En effet, le développement de l'usage de nouveaux matériaux ne doit pas se faire au détriment de l'ensemble qualité / durabilité / cycle de vie global de la structure concernée.

L'approche adoptée dans cette opération de recherche sera une approche intégrée expérimentale/numérique, multi-échelles (nano-micro-macro) et multi-niveaux (de sophistication). Des outils utilisables en laboratoire et in situ, destinés à l'ingénieur et au chercheur, et notamment une plateforme de modélisation les regroupant, seront développés sur la base de cette approche.

Une attention particulière sera portée aux :

- **interactions fluide-matrice** (par ex. capacité de fixation de l'eau, du CO2, ou des ions chlorures, alcalis et sulfates) et aux **zones interfaciales** (pâte-granulat, matrice-fibre, béton-armature, substrat - mortier de réparation, béton de peau - environnement, ...),
- **couplages** des processus (par ex. : transport d'humidité - transport d'ions - carbonatation, pénétration simultanée d'ions chlorures et sulfates, transport - réactions chimiques, transport - déformations, ...),
- conséquences des conditions de conservation & cure / sollicitations au jeune âge sur le comportement à long terme (par ex. dessiccation précoce des matériaux cimentaires, particulièrement préjudiciable dans le cas des systèmes à forte teneur en additions minérales),
- interactions entre chimie, physique et également mécanique par le biais de la fissuration,

susceptibles d'intervenir au jeune âge ou à long terme,

- structures composites (multi-couches) pour ce qui concerne la durabilité et l'approche performantielle, avec par exemple les structures béton avec enduite de façade, l'isolation thermique par l'extérieur et les réparations.

**Sujets traités et résultats majeurs visés** (*ce descriptif est initié au moment du lancement de l'outil incitatif et reste la référence. Les changements seront portés dans les rubriques « Suivi annuel » et « clôture » qui sont surlignées en jaune. A titre indicatif, 1 page pour une ORSI, 1 page pour un GERI et 2 pages pour une R2i ou pour un Projet Fédérateur*).

1. Caractérisation et modélisation du transport couplé multi-espèces (eau, CO<sub>2</sub>, ions) et des réactions chimiques dans les matériaux de construction (éventuellement fissurés), ainsi que des dégradations associées
2. Couplage hydratation-transport dans les matériaux cimentaires ou les systèmes composites au jeune âge. Application à la réparation des structures et à la construction des dalles de sol de bâtiment
3. Fixation du CO<sub>2</sub> en conditions extrêmes. Application à la carbonatation des matériaux à très faible teneur en portlandite
4. Durabilité des bétons environnementaux : influence des additions, des fibres et des granulats (par ex. recyclés)
5. Durabilité des géopolymères et autres (nano) composites
6. Conception de bétons environnementaux à durabilité prédéfinie : approche intégrée expérimentale/numérique
7. Comportement des nouveaux bétons à haute température
8. Initiation de la corrosion des armatures dans le béton armé en milieu marin
9. Vers un optimum "matériau" entre performance énergétique (propriétés thermiques) et durabilité (propriétés de transport de masse) pour les bâtiments
10. Contrôle non destructif des structures en béton - Nanocapteurs immergés de pH et d'humidité et autres techniques

### **Implication prévue**

Temps prévus Ifsttar (ordre de grandeur) : 110 hm/an : MAT, MACS, GER, Navier, Autre partenaire institutionnel (le cas échéant) : 30 h.m/an CEREMA

### **A la création et mise à jour en cas de changement majeur**

**Produits majeurs** (*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)*

Les produits de cette opération de recherche seront des matériaux nouveaux, des méthodes d'essais, des normes, des outils d'aide à la conception et des méthodologies (par exemple, Recommandations complémentaires au guide AFGC "Indicateurs de durabilité" pour les matériaux non couverts par ce guide tels que bétons à fort volume de pâte (BAP), bétons avec granulats particuliers (recyclés, légers, SAP, poreux ou de faibles dimensions) et géopolymères).

Une plateforme de modélisation multi-niveaux utilisable aussi bien dans la pratique (modèles simples

dédiés aux études et expertises) que pour la recherche (modèles explicatifs plus sophistiqués) sera constituée.

De même, un panel "d'indicateurs de développement durable" sera proposé (élargissement du panel initial d'indicateurs de durabilité).

Compte tenu de la nouveauté des sujets traités, ces recherches pourront donner lieu à la fois à des brevets et à des publications scientifiques.

**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*)

- Marie Curie Initial Training Networks (MC-ITN) MC-ITN TRANSCEND (2010-2014)
- NanoCem European Consortium (par ex. EPFL (Suisse), Univ. de Lund (Suède), Univ. de Leeds (UK))
- EQUIPEX "Sense-city" (2011-2020)
- Projet ANR "ECOconstruction par le REcyclage du Béton (ECOREB)" (2012-2015)
- PN "Approche performantielle de la durabilité des ouvrages en béton (PERFDUB)"
- PN "GEstion Durable des Infrastructures (GEDI)"
- GeM, LERM, Ecole des Mines (Paris & Nantes), SETRA et CSTB

#### **A la création et mise à jour annuelle**

##### **Thèses**

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

- Thèses demandées et obtenues :
  - o Sujet 1 - CIFRE avec BOUYGUES TP - Rentrée univ. 2012-2013 (*en cours*)
  - o Sujet 2 - Financement IFSTTAR - Co-direction IFSTTAR-GeM - Rentrée univ. 2013- 2014 (*non retenue*)
  - o Sujet 3 - Financement NanoCem European Consortium - Rentrée univ. 2013-2014 (*démarrée*)
  - o Sujet 4 - Financement IFSTTAR - Rentrée univ. 2014-2015 (*demandée*)
  - o Sujet 5 - CIFRE avec partenaire industriel - Rentrée univ. 2014-2015 (*sous réserve obtention contrat*)
  - o Sujet 6 - Financement ENTPE - Rentrée univ. 2012-2013 (*en cours*)
  - o Sujet 7 - Co-financement IFSTTAR-CSTB - Rentrée univ. 2012-2013 (*non retenue*)
  - o Sujet 8 - Direction GeM/CEREMA - Rentrée univ. 2013-2014 (*démarrée*)

**Bilan depuis le lancement de l'outil incitatif** (*ce paragraphe est initié à la fin de la première année de vie de l'outil incitatif et mis à jour annuellement*)

Des rapports et des publications ont été rédigés.

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

- Rapports et publications
- Extension de la plateforme de modélisation : transport multiionique en conditions saturées et non saturées

- Brevets (géopolymères)
- Nouvelle méthode permettant d'évaluer en continu l'absorption d'eau des granulats recyclés par essai de pesée hydrostatique
- Procédé de traitement des granulats recyclés (pour utilisation en génie civil)

## Clôture

**Sujets traités et résultats majeurs obtenus** (*mettre en lumière les avancées scientifiques et les produits majeurs obtenus en veillant à rédiger cette partie de manière synthétique et communicante*)

Sont envisagés :

- Plate-forme modulable (différents niveaux de raffinement) de modélisation numérique (cadres déterministe ou probabiliste) des processus physico-chimiques multi-espèces couplés de dégradation du béton armé applicable aux matériaux à forte teneur en additions minérales et de prédiction de la durée de vie des ouvrages
- Dispositif original d'essai accéléré d'attaque sulfatique externe à pH contrôlé
- Méthode de détermination en continu de l'absorption d'eau des granulats recyclés par pesée hydrostatique.
- Procédé de traitement des granulats recyclés.
- Développement de nouveaux types de géopolymères « non corrosifs » avec l'utilisation d'un nouveau type de superplastifiant compatible (dépôt de brevets)