

Avant-propos

Les projections climatiques annoncent des changements importants sur le climat futur. L'objectif scientifique du projet RI-ADAPTCLIM – Réseau international sur l'évaluation des risques et l'adaptation climatique d'ouvrages en génie civil et bâtiments – était d'étudier, à court et moyen terme (2020 et 2100), le risque climatique sur le sol, le bâti et les infrastructures. Le projet a été financé par la région Pays de la Loire en France dans le cadre de l'appel à projet 2014 Stratégie internationale. Une approche *intégrée, interdisciplinaire* et *multiphysique* a été suivie avec un objectif commun : proposer des outils (méthodologies, modèles numériques) d'aide à la décision afin d'augmenter la résilience des structures et bâtiments face à l'impact des aléas climatiques dus au changement du climat.

Pour répondre à ces enjeux, les équipes de recherche regroupées au sein du GIS LiRGeC¹ – Institut ligérien de recherche en génie civil et construction (Centrale Nantes, UN, IFSTTAR, CSTB) – ont mis en œuvre leurs compétences, leurs moyens expérimentaux et numériques. Le GIS LiRGeC regroupe des équipes de recherche de la région Pays de la Loire autour des thématiques du génie civil et de la construction qui collaborent depuis des années pour fournir

1. <https://www.gislirgec.fr>.

des réponses à des défis sociétaux actuels comme l'analyse des risques, la durabilité des matériaux et la pérennité des ouvrages. Trois volets prioritaires ont été identifiés, correspondant aux domaines d'excellence des équipes ligériennes partenaires : les structures du génie civil, les infrastructures de transport terrestre et la géotechnique.

Les équipes ligériennes participant au projet bénéficient d'une reconnaissance nationale et internationale dans le domaine de la recherche en génie civil. L'objectif central du projet était aussi de conforter cette reconnaissance en renforçant les liens tissés avec des équipes internationales sur une thématique en forte émergence. Les équipes internationales (Australie, Belgique, Canada, Espagne, Pays-Bas, Portugal, Suisse) participant au projet ont, d'une part, des compétences reconnues sur la thématique choisie et, d'autre part, ont mis en œuvre des approches expérimentales et numériques complémentaires à celles existant au sein de la partie française du consortium. Les partenaires ont élaboré ensemble une stratégie de création et/ou de renforcement des liens axée sur la réalisation des thèses en cotutelle, le financement de la mobilité entrante et sortante de doctorants, post-doctorants et enseignants-chercheurs et le montage de collaborations bilatérales.

Plus spécifiquement, et pour les trois volets prioritaires ci-dessus, différentes actions ont été réalisées dans le cadre du projet RI-ADAPTCLIM.

Les structures du génie civil

Les études expérimentales et numériques consacrées aux *transferts* (hydriques, thermiques, gazeux et ioniques) des matériaux cimentaires restent peu nombreuses et prennent rarement en compte les variations climatiques (humidité relative, température, etc.). Ces variations ont un impact significatif sur les mécanismes de dégradation des ouvrages

de nature physico-chimique ou mécanique, au niveau des procédés de production et de mise en œuvre du béton prêt à l'emploi. L'étude menée comprend un programme expérimental afin d'évaluer la sensibilité des matériaux cimentaires face aux variations climatiques ayant comme objectif d'améliorer leur production. Sur le plan expérimental, une attention particulière est portée à la dégradation des bétons par le mécanisme de *réaction sur fatigue interne* (RSI), mécanisme très fortement lié à la température. On s'intéresse également à la complémentarité des approches de modélisation *déterministe* et *probabiliste* pour étudier la dégradation des structures (en béton armé, la corrosion de structures métalliques, etc.). La modélisation déterministe permet de quantifier et de mettre en évidence l'effet des principaux phénomènes physiques (gradient thermique, diffusion, convection, interactions électrostatiques, concomitance pluie/vent, etc.) sur les structures. Quant à la modélisation probabiliste, elle intègre les incertitudes et la variabilité spatiale en lien avec les matériaux, les modèles, le climat, etc., afin d'effectuer des évaluations plus réalistes des effets du changement climatique sur la durée de vie et de l'efficacité et rentabilité des mesures d'adaptation climatique.

Les infrastructures de transport terrestre

Les partenaires ligériens du projet regroupent l'ensemble des activités de recherche dans le domaine des *infrastructures linéaires* (chaussées routières, voies ferroviaires, pistes aéroportuaires, voies de tramways, etc.). Les phénomènes impactant le plus les réseaux routiers sont liés aux effets de l'eau et des cycles de *gel-dégel*. L'amélioration des infrastructures routières face au climat passe par une meilleure compréhension des phénomènes, notamment par des retours d'expérience terrain, des études en laboratoire et des essais en vraie grandeur. Dans ce domaine, suite à des remontées terrain et d'informations à partir du réseau routier (surtout

après l'hiver 2009-2010), des actions de recherche sur l'impact des conditions climatiques ont démarré à l'IFSTTAR, en collaboration avec Météo France, le CEREMA et Centrale Nantes pour dresser la *carte de sévérité climatique* vis-à-vis des infrastructures et des *essais de faisabilité* de comportement au gel des matériaux bitumineux. La modélisation des phénomènes liés aux conditions climatiques est également inscrite dans les échanges entre l'IFSTTAR et le GeM au niveau régional afin d'étudier les mécanismes de dégradation associés. Les laboratoires du GIS LiRGeC se sont dotés d'outils expérimentaux permettant : 1) le maintien des conditions aux limites associées pour contrôler, simplifier et/ou accélérer les processus en laboratoire ; 2) l'évaluation destructive et non destructive des indicateurs et des paramètres de suivi des dégradations en laboratoire ; 3) l'évaluation *in situ* de l'état des structures par des carottages ou des auscultations non destructives.

La géotechnique

Les changements climatiques risquent de produire une élévation du niveau des mers et un accroissement des dangers et de la sévérité des événements météorologiques. De ce fait, les études de ce volet sont centrées autour de l'*érosion*, de la *submersion*, des *glissements de terrain* et de l'effet des *sols gonflants* sur les constructions. Les sollicitations hydrauliques sur les ouvrages vont s'aggraver le long du littoral et des rivières et ainsi accroître les risques de submersion et le processus d'érosion qui sont les principales causes de dommages et de ruptures des ouvrages hydrauliques en terre. L'érosion peut à son tour engendrer des tassements avec risque induit de surverse de l'ouvrage et des glissements de terrain. Les recherches sur l'érosion visent à caractériser la sensibilité des sols sous sollicitations hydrauliques cycliques multifréquentielles et des instabilités mécaniques induites. Les études dans le domaine des glissements de terrain et des éoliennes *offshore* ont comme objectif de

développer un outil numérique prédictif fiable, capable de reproduire les phénomènes complexes, à savoir les vitesses et éventuellement le temps jusqu'à la rupture par des approches couplées multiphysiques.

Le présent recueil regroupe une première sélection des résultats scientifiques des équipes ligériennes et de leurs partenaires internationaux dans le cadre du projet RI-ADAPTCLIM.