



**HAL**  
open science

**Projet de R&D DIGUE 2020 : réalisation d'une  
plateforme de recherche en site maritime pour l'étude  
des actions de la mer sur les digues, la durabilité, et la  
perception du risque de submersion.**

T. Faisant, L. Peyras, C. Jeanniot, A. Tekatlian, S. Gendrey, C. Chevalier, M.  
de Baecque, A. Lindenmann, R. Bertoldo, C. de Paris, et al.

► **To cite this version:**

T. Faisant, L. Peyras, C. Jeanniot, A. Tekatlian, S. Gendrey, et al.. Projet de R&D DIGUE 2020 : réalisation d'une plateforme de recherche en site maritime pour l'étude des actions de la mer sur les digues, la durabilité, et la perception du risque de submersion.. Digue maritimes et fluviales de protection contre les inondations - 3e colloque - Digue 2019, Mar 2019, Aix-en-Provence, France. pp.9, 10.5281/zenodo.2347998 . hal-02608761

**HAL Id: hal-02608761**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02608761v1>**

Submitted on 16 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# **Projet de R&D DIGUE 2020 : réalisation d'une plateforme de recherche en site maritime pour l'étude des actions de la mer sur les digues, la durabilité, et la perception du risque de submersion.**

## ***DIGUE 2020 project: construction of a research platform in marine environment to study the impact of the sea on dikes, the durability and the perception of the risk of submersion***

**Thibaut Faisant<sup>1</sup>, Laurent Peyras<sup>1</sup>, Charline Jeanniot<sup>1</sup>, Annick Tekatlian<sup>2</sup>, Scarlett Gendrey<sup>2</sup>,  
Christophe Chevalier<sup>3</sup>, Margot De Baecque<sup>3</sup>, Alexandra Schleyer-Lindenmann<sup>4</sup>, Raquel Bertoldo<sup>4</sup>,  
Céline De Paris<sup>5</sup>, Thibaut Mallet<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Irstea, Aix-en-Provence, thibaut.faisant@irstea.fr

<sup>2</sup> Cerema, Aix-en-Provence, annick.tekatlian@cerema.fr

<sup>3</sup> IFSTTAR, Salon de Provence, christophe.chevalier@ifsttar.fr

<sup>4</sup> ESPACE, Aix-en-Provence, alexandra.lindenmann@univ-amu.fr

<sup>5</sup> SYMADREM, Arles, celine.deparis@symadrem.fr

### **Résumé**

Les ouvrages de protection contre la houle ou contre les submersions couvrent 17% des côtes françaises, soit 1210 km [1]. Compte tenu du changement climatique, notamment l'élévation du niveau de la mer, et de la présence démographique importante, les enjeux sur le littoral sont considérables. Dans ce contexte, le projet de recherche collaborative DIGUE 2020 a été conçu afin de permettre une meilleure maîtrise du risque de submersion marine. Le projet DIGUE 2020 vise à construire une plateforme de recherche sur les digues maritimes en y associant, en parallèle, les travaux de trois thèses et d'un post-doc traitant des thématiques suivantes :

- réaliser une plateforme de recherche en utilisant un concept innovant de réalisation de digue en sol-chaux en milieu marin,
- quantifier les effets de l'action de la mer sur les digues de protection,
- quantifier la durabilité du matériau des digues en sol-chaux en milieu marin,
- évaluer la perception du risque de submersion marine.

Les connaissances développées et partagées au moyen des travaux de recherche et de la plateforme envisagée ont pour objectif, à moyen terme, le développement de projets de confortement ou d'élaboration de nouvelles digues d'une conception durable. Sur le long terme, le projet DIGUE 2020 a pour vocation d'être reproduit sur d'autres sites maritimes régionaux, français, mais aussi européens et internationaux compte tenu des résultats attendus qui ont une portée au-delà de la Région Sud Provence Alpes Côte d'Azur.

### **Mots Clés**

Plateforme, digue, sol-chaux, auscultation, submersion marine, risque, perception.

### **Abstract**

In France, protective structures against submersion cover 17% of the coastline. Given the effects of climate change, in particular the elevation of the sea level and the demographic pressure, the French coastline must deal with significant stakes. In this context, DIGUE 2020 project was created to respond to the following issues:

- plan and build a research platform to develop a new concept for construction of dikes by using materials treated with lime;
- quantify the consequences of sea solicitations on the platform;
- quantify the durability of materials which compose the platform;
- assess the perception of the risk of marine submersion.

Knowledges developed through this project can be used for future strengthening works on embankments or for elaborate a new kind of dikes, more sustainable. The aim of this publication is to provide a first feedback in relation to the actions carried out through this project.

### **Key Words**

Platform, dike, soil-lime, auscultation, marine submersion, risk, perception.

## Introduction

La Région Sud PACA compte plus de 2700 km de digues fluviales et maritimes et près de 250 gestionnaires. L'adaptation au changement climatique est un enjeu majeur : son littoral subira notamment l'élévation du niveau de la mer. Face à ce constat, le projet DIGUE 2020 a été réfléchi et élaboré par 5 établissements partenaires.

Le projet rassemble quatre laboratoires de recherche de la Région Sud PACA : Irstea (chef de file), Cerema, IFSTTAR, qui constituent les acteurs majeurs nationaux de la recherche en génie civil et hydraulique et ont développé une grande expertise sur le domaine des digues ; l'UMR ESPACE est spécialisée dans l'analyse des interactions homme-milieu ; et le SYMADREM, syndicat mixte interrégional d'aménagement des digues du delta du Rhône et de la mer qui constitue un des principaux gestionnaires de digues sur le plan national.

Le projet DIGUE 2020 a pour objectif de créer une plateforme de recherche en Région Sud PACA, sur le littoral méditerranéen. L'objectif est de permettre une permanence des observations in situ, sur une période significative de plusieurs années visant à :

- réduire les risques de rupture par brèche provoquée par l'érosion, augmenter la résistance à la surverse ou à l'érosion interne et quantifier les effets des actions extérieures sur l'ouvrage ;
- réduire les coûts de construction et de maintenance des digues ;
- réduire les nuisances de transport en limitant l'apport de matériaux issus de gisements éloignés, et en utilisant des sols locaux considérés comme médiocres vis à vis des techniques traditionnelles ;
- intégrer digues et déversoirs dans l'environnement paysager sans rompre la continuité écologique ;
- permettre de restaurer les anciennes digues sans déconstruction : en utilisant les ressources locales, et en réduisant la production de déchets ;
- intégrer une réflexion sur la gestion de la submersion marine par l'étude de la perception et de la représentation sociale (les savoirs, des attitudes et des comportements).

Le projet consiste à mettre en œuvre une plateforme de recherche mutualisée permettant le déploiement opérationnel d'un concept innovant et économiquement intéressant de digue résistante aux mécanismes de rupture connus (stabilité, érosion interne, érosion de surface) : la digue en sol-chaux.

Le traitement des sols à la chaux est une technique de valorisation des matériaux éprouvée et reconnue, notamment pour les économies qu'elle permet de réaliser sur le coût de construction des infrastructures. Pourtant, son application dans le domaine des digues reste marginale alors qu'elle

bénéficie de très nombreuses références dans les autres domaines, dont celui des terrassements. Cela est lié à la méconnaissance de la technique dans la profession des digues et des barrages, alors qu'elle occupe une place importante dans la panoplie des solutions à disposition des ingénieurs en géotechnique traditionnelle.

La différence fondamentale entre un remblai routier et une digue réside dans l'action de l'eau, qui est variable. L'eau, qui peut circuler à l'intérieur de l'ouvrage ou à sa surface, trouvera toujours un défaut de réalisation, avec des conséquences catastrophiques pour la sûreté.

Par conséquent, la construction d'une digue en sol-chaux demande plus que l'application d'une technique de terrassements. Elle requiert notamment une excellente connaissance du matériau sol-chaux, une maîtrise de son homogénéité et de son évolution dans le temps, indépendamment de la taille du chantier ou la nature des aléas.

La plateforme DIGUE 2020 sera soumise sur un linéaire représentatif à des sollicitations hydrauliques maritimes, notamment le batillage, dans une zone à faibles enjeux. Les sollicitations de moindre importance seront également utiles à décrire des conditions réelles pour l'aspect fréquences de sollicitation.

Véritable laboratoire de terrain inédit en Europe, la plateforme de recherche DIGUE 2020 sera équipée de dispositifs de mesures de hautes technologies. Elle permettra de réaliser des mesures, sur le long terme, pendant et à l'issue de :

- batillages intenses,
- un déferlement de vagues,
- un séisme éventuellement.

Ces mesures sont capitales pour améliorer la connaissance des phénomènes physiques et les modèles mathématiques. Il est extrêmement rare de disposer d'un état initial connu et instrumenté : ce point est l'une des spécificités du projet DIGUE 2020 en ce qui concerne l'observation sur le long terme. L'installation prévue permettra une observation récurrente avec mesures en temps réel, y compris pendant les sollicitations extrêmes (déferlement, submersion, séisme). Ceci afin d'améliorer la compréhension des phénomènes survenant sur les digues et leurs conséquences, en tenant compte des effets du changement climatique.

Mis à part le fait d'être un aléa scientifiquement calculable, l'inondation ou la submersion marine est aussi un risque socialement construit. Selon leurs connaissances vernaculaires construites sur la base d'expériences passées directes (expérience personnelle, perception du risque) ou

indirectes (histoire locale, mémoire sociale) en lien avec le risque inondation, les populations concernées seront plus ou moins préparées à l'affronter, plus ou moins prêtes à faire attention, voire confiance, à la communication sur ce risque. Un des volets du projet DIGUE 2020 est par conséquent consacré à la réalisation d'une étude psycho-sociale sur la perception et les représentations associées au risque de submersion marine.

Les résultats obtenus par l'ensemble des études seront organisés de manière à être disponibles pour la communauté scientifique intéressée par les digues maritimes de protection et leur gestion.

Le projet DIGUE 2020 est organisé en 5 modules :

- Module 1. Conception et construction de la plateforme de recherche DIGUE 2020,
- Module 2. Quantifier les conséquences de l'action de la mer sur la plateforme de recherche,
- Module 3. Quantifier la durabilité de la plateforme de recherche et des matériaux constitutifs,
- Module 4. Evaluer la perception et la représentation du risque de submersion marine,
- Module 5. Coordination et communication.

La durée de réalisation prévue pour le projet DIGUE 2020 est de 3 ans. Trois thèses et un post-doc associés à l'élaboration de cette plateforme sont prévus dans les domaines d'excellence des partenaires : essais et mesures in situ (y compris méthodes géophysiques innovantes), essais de laboratoire (y compris essais d'érosion innovants), modélisation mathématique et enquête psycho-sociale. Le projet a été engagé en 2017. Une fois la réalisation du projet terminée, la plateforme sera exploitée par les partenaires sur le long terme (durée cible de 20 ans).

## **Conception et construction de la plateforme de recherche DIGUE 2020**

### **Objectifs**

Le module 1 du projet a pour objectif de concevoir et construire la plateforme de recherche en matériau nouveau : le sol-chaux. Elle sera réalisée dans un secteur soumis à l'action de l'eau, en milieu marin, et constituera un laboratoire de terrain pour la recherche s'inscrivant sur le long terme.

Ce module intègre le choix du site dans la région Camarguaise, la conception et la construction de la plate-

forme. La démarche de choix du site comprend les actions suivantes :

- étude préliminaire des sites d'implantation possibles pour répondre au besoin ;
- définition des différents sites potentiels ;
- analyse multicritère des avantages et inconvénients des différents sites possibles :
  - les critères relatifs à l'activité de recherche (actions de la mer, durabilité),
  - les critères relatifs au foncier,
  - les critères d'accès et d'accessibilité,
  - les critères géologiques / géotechniques,
  - les critères écologiques et environnementaux (périodes de nidification notamment),
  - les critères techniques de l'ouvrage : implantation, taille, géométrie, matériaux (fabrication, stockage) ;
- concertation avec les acteurs locaux concernés, notamment : le Conseil Régional Sud Provence Alpes Côte d'Azur, le Conseil Départemental des Bouches du Rhône, le Parc Naturel Régional de la Camargue, le Conservatoire du Littoral, la Fondation Tour du Valat, la Société Nationale de Protection de la Nature.

Après avoir défini l'emplacement optimisé de la plateforme de recherche compte-tenu des différents critères, les principes de conception de la plateforme seront définis, incluant la mise en place des dispositifs de mesure à demeure.

Afin de mettre en évidence les qualités du nouveau matériau sol-chaux, il est notamment prévu de composer la plateforme de recherche d'une partie traditionnelle non traitée à la chaux tout en étant soumise aux mêmes caractéristiques de construction et sollicitation. La conception innovante intégrera les difficultés spécifiques, dont les actions physico-chimiques sur le sol-chaux du milieu marin ou les caractéristiques de la fondation.

Dans un second temps, il s'agira d'assurer le suivi et la réception des travaux de construction de la plateforme de recherche, de façon à veiller à sa bonne instrumentation et à disposer d'un historique préalable de l'ouvrage.

Lors de la phase de construction, des dispositifs de capteurs physico-chimiques (teneur en eau, pH, température, etc.), géoélectriques (électrodes) et sismiques (géophones), ainsi qu'un linéaire de fibre optique, seront implantés dans le corps de la plateforme de recherche en vue d'un suivi spatial et temporel géophysique. Le positionnement de ces capteurs sera précisé en phase de conception, dans une optique d'optimisation de la sensibilité des méthodes et de leur combinaison.

Une fois l'ouvrage réalisé, une convention entre le maître d'ouvrage (SYMADREM) et les autres partenaires du projet (Irstea, Cerema, IFSTTAR et ESPACE) sera établie afin de

pouvoir utiliser la plateforme DIGUE 2020 sur le long terme à des fins d'activités scientifiques et techniques.

### Avancées

Le choix du site pour l'implantation de la plateforme a été identifié après étude des différents critères listés plus haut et validé auprès des acteurs locaux du Parc Naturel Régional de Camargue fin Mars 2018. L'ouvrage sera implanté sur la digue à la mer existante illustrée ci-contre, à proximité des étangs du Fangassier et du Galabert. Il est conçu pour être parfaitement intégré et très peu visible dans un environnement naturel exceptionnel et très protégé.



FIGURE 1: APERÇU DU SITE D'IMPLANTATION DE LA PLATEFORME DIGUE 2020 – PARC NATUREL DE CAMARGUE

Une première réflexion a été effectuée et a permis d'aboutir à une décomposition en plusieurs zones de l'ouvrage :

- zone des plots de recherche, elle-même décomposée en 5 plots ;
- zone(s) d'expansion avec mise en place de défauts ponctuels ;
- local technique pour le matériel d'acquisition du système d'instrumentation.

Le linéaire total de la plateforme sera d'environ 1 km pour l'ensemble du dispositif. Il sera déterminé de façon précise par le maître d'œuvre.

La zone de recherche est composée de 5 plots de recherche, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- sol non traité compacté à 95% de l'OPN (Optimum Proctor Normal),
- sol non traité compacté à 98% de l'OPN,
- sol traité CaO x% compacté à 95% de l'OPN,
- sol traité CaO y% compacté à 95% de l'OPN,
- sol traité CaO x% compacté à 98% de l'OPN.

Certains plots feront l'objet d'une couverture végétale de façon à voir l'impact du traitement à la chaux sur le développement de la végétation.

L'instrumentation prévue permettra un suivi comparatif de chacun des plots de recherche et de chacune des zones d'expansion de l'ouvrage pour les paramètres physiques suivants :

- température,
- succion,
- résistivité,
- humidité,
- pression interstitielle,
- ph dans le sol,
- salinité dans le sol.

Localement un des plots de recherche sera consacré à des essais d'écoulement interne via l'implantation de deux conduits artificiels longitudinaux. Cette partie locale fera l'objet d'un système de mesures acoustiques à fibre optique au niveau des deux conduits.

Des systèmes de mesures de type géophysique (électriques et sismiques) seront également installés au niveau des plots de recherche de la plateforme. La présence des sondes ponctuelles (température, humidité,...) permettra de faciliter l'interprétation de ce type de mesures.

Enfin, plusieurs séries de "défauts" seront implantées au sein de chaque plot pour bien caractériser l'effet de ces singularités sur les mesures en présence de variations de la nature du matériau et des conditions environnementales :

- ballon,
- tuyau pvc rempli d'eau ou d'air,
- tranchée sous compactée,
- plaque métallique.

La réalisation de la plateforme se divise en deux prestations :

- un marché public de maîtrise d'œuvre pour la conception et la construction de la plateforme,
- un marché public de fournitures et services pour l'instrumentation de l'ouvrage.

Ces deux prestations attribuées respectivement à ISL (MOE) et CEMENTYS (Instrumentation), ont démarré en Juillet 2018 et la construction de l'ouvrage est prévue pour début 2019.

## Quantifier les conséquences des actions de la mer sur la plateforme

### Objectifs

Les conséquences des actions de la mer sur la plateforme sont examinées en termes de réponse de l'ouvrage aux sollicitations hydrauliques en milieu salé, en configuration de matériau chaulé ou pas, in situ, sur plusieurs années au moins.

La préoccupation majeure est de refléter le plus grand réalisme possible en conditions de réalisation ou de confortement d'ouvrages, mais aussi en condition de surveillance ou diagnostic, avec présence de singularités.

Pour cela, le travail dans le cadre du module 2 traite d'une part de l'évaluation des contraintes hydrauliques auxquelles l'ouvrage pourrait être soumis, d'autre part du développement de méthodes de diagnostic non destructif en conditions réelles. Ces méthodes permettront d'évaluer les transformations de l'ouvrage au cours du temps, y compris au voisinage de singularités placées en son sein, avec une série de mesures correspondant à l'état initial, juste après sa réalisation.

### Avancées

En relation avec le Module 1 lors de l'étape de choix du site, l'examen des moyens de quantifier les contraintes hydrauliques et atmosphériques a été mené, dans la mesure où quantifier les conséquences des actions de la mer nécessite de connaître en parallèle la nature de ces actions, y compris « dans le passé » de l'ouvrage (historique des sollicitations).

La situation du futur ouvrage, fixée dans le cadre du Module 1, et les caractéristiques de la mer dans cette zone de la Région Sud PACA, conduisent à constater que l'ouvrage sera sollicité par :

- du clapot (vagues créées par le vent sur des fetchs courts), qui dépend de la direction et de la force du vent ainsi que de la bathymétrie ;
- un niveau d'eau, qui dépend des débits entrants et des débits

sortants des étangs et de la pluviométrie (dans une moindre mesure) ;

- la pluie directe sur l'ouvrage.

Un ensemble de considérations techniques et organisationnelles, notamment compte tenu des données disponibles localement et des mesures d'environnement envisageables, ont conduit à s'assurer de la disponibilité et des caractéristiques des principales données nécessaires lorsque l'ouvrage sera construit. Il s'agit principalement des séquences de fréquence suffisamment faible des éléments météorologiques (pluie, vent,...), ainsi que des niveaux d'eau.

Deux thèses sont menées dans le cadre du Module 2.

L'une d'elles est destinée à élaborer une méthodologie d'analyse croisée de méthodes d'Evaluation Non Destructive sur des cas représentatifs de pathologies/défauts potentiels de digues [2]-[3]. Les travaux de cette thèse sont détaillés en parallèle de ce même colloque.

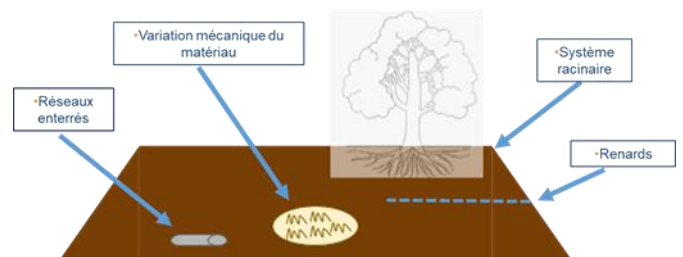


FIGURE 2: EXEMPLES DE DEFAUTS POTENTIELS AU SEIN DES DIGUES

Une deuxième thèse est dédiée à la caractérisation des écoulements internes par méthode de surveillance acoustique. Ces travaux de recherche consistent à étudier le son émis par un écoulement interne dans une conduite, en introduisant une nouvelle technique d'écoute : les capteurs répartis acoustiques par fibre optique.

La fibre optique instrumente déjà certains ouvrages hydrauliques et est couplée avec un système de détection thermique [4]. La mesure thermique par fibre optique utilise l'effet de la température sur l'intensité de la radiation rétro-diffusée d'un rayonnement émis par un laser : l'effet Raman. Dans le cadre de ce travail, les capteurs répartis acoustiques, appelés couramment Distributed Acoustic Sensor (DAS), permettent une analyse des événements vibratoires et acoustiques. Le principe de mesure est basé sur la caractérisation de l'onde Rayleigh et donne une information sur les variations de pression acoustique en tout point de la fibre optique [5].

Des essais d'écoulements internes et d'érosion interne, en laboratoire sont actuellement en cours d'élaboration.

L'objectif est de caractériser les signatures acoustiques des écoulements turbulents en conduites, suivant deux méthodes de mesures : la fibre optique avec le DAS et les accéléromètres, mesure acoustique standard [6]. Ces essais permettront également de calibrer l'instrumentation et d'optimiser le dispositif de mesure à installer dans la plateforme de recherche DIGUE 2020.

L'objectif final est d'utiliser cette technique d'écoute afin de surveiller les digues et leur fondation, en détectant et caractérisant les fuites, les écoulements concentrés et l'érosion interne, dont peut souffrir ce type d'ouvrage [7].

Au-delà de la progression des connaissances chacune dans leur domaine de compétence, ces thèses permettent de doter le projet de deux apports majeurs :

- une élaboration du cahier des charges de la plateforme avec la contribution de travaux de recherche en cours de développement, c'est-à-dire en cours d'évolution détaillée de définition des données et prérequis de la plateforme pour se prêter au mieux aux techniques innovantes ;
- une acquisition de données mesurées au très jeune âge de l'ouvrage, voire à sa réception même, avec les mêmes types de méthodes innovantes qui seront utilisées plusieurs années après, pour des comparaisons rares.

## **Quantifier la durabilité des matériaux constitutifs de la plateforme**

### **Objectifs**

Dans une digue en site maritime le matériau sol-chaux subit l'effet du temps, les enchainements des saisons, les actions en très grand nombre de cycles de la mer, l'action des vagues, et l'action physico-chimique de l'eau de mer. L'étude a pour but de quantifier les conséquences de ces phénomènes sur les propriétés du matériau et ainsi évaluer sa durabilité [8]-[9]. L'étude est dans un premier temps réalisée en laboratoire où sont reproduites les actions cycliques de la mer :

- variations provoquées de l'état hydrique du matériau mimant les périodes où la digue est hors d'eau ou submergée,
- effet de la salinité de l'eau sur la stabilité physico-chimique du matériau.

La deuxième étape est de caractériser les matériaux de la plate-forme à différents âges, en relation avec les sollicitations climatiques subies par l'ouvrage et enregistrées par les dispositifs de mesure in-situ. Ces expérimentations sont réalisées dans le cadre d'une thèse dont les travaux sont détaillés en parallèle dans ce même colloque.

### **Avancées**

Au laboratoire il a été choisi de travailler sur un sol dont les caractéristiques géotechniques se rapprochent de celles du sol qui sera utilisé pour la construction de la plateforme DIGUE 2020. Ce sol a été caractérisé en termes de réactivité à la chaux, de paramètres de densification, granulométrie et de minéralogie. A partir de ces paramètres, 5 propriétés de mélange et de compacité ont été choisies pour l'étude :

- sol traité à 2% de chaux, densité 98% de l'OPN,
- sol traité à 2% de chaux, densité 95% de l'OPN,
- sol traité à 2% de chaux, densité 98% de l'OPN avec présence d'eau de mer lors du malaxage,
- sol traité à 1% de chaux, densité 98% de l'OPN,
- sol non traité compacté à 98% de l'OPN.

Les essais de caractérisation retenus sont les suivants :

- compression uniaxiale et essai œdométrique,
- résistance à l'érosion interne : essai d'érosion de trou,
- résistance à l'érosion et externe : essai d'érosion par jets mobiles,
- porosité et distribution porale puis utilisation de modèle reliant porosité et perméabilité : essai de porosimétrie au mercure,
- signature géophysique : mesures électriques et sismiques.

Ces essais sont réalisés sur les 5 matériaux, à différents temps de cure et après un nombre croissant de sollicitations hydriques cycliques.

Ces sollicitations hydriques sont les suivantes : séchage du matériau pendant 48h à 20°C et 60% d'humidité relative, puis humidification à l'eau de mer standardisée (NF P18-837) par montée capillaire.

Les premiers résultats des essais mécaniques permettent de dégager certaines tendances. Le matériau non-traité voit l'ensemble de ses propriétés stables avec le temps (hors sollicitation hydrique) mais fortement dégradé dès le premier contact à l'eau de mer. Dans le cas du matériau traité à 1% de chaux, les propriétés mécaniques du sol évoluent peu durant la cure. En revanche les sollicitations hydriques entraînent une chute de résistance et un émiettement du matériau au contact de l'eau. Dans le cas du sol traité à 2% de chaux, la résistance mécanique double en 28 et 90 jours de cure. La cohésion du sol reste bonne au-delà de 6 cycles hydriques (les essais à venir sont prévus jusqu'à 12 cycles). En revanche la résistance mécanique chute et rejoint des valeurs équivalentes au sol traité à 1%.

Les essais sont actuellement en cours, les résultats complets sont attendus en 2019.

## Evaluer la perception et la représentation du risque de submersion marine

### Objectifs

En étroite interaction avec le projet RISKMED (resp. sc. R. Bertoldo), cette étude propose d'appréhender la perception et les représentations associées au risque de submersion marine à travers trois questions centrales :

#### 1. Comment circule le savoir concernant ce risque entre les savoirs experts et les savoirs vernaculaires ?

Les représentations sociales sont des constructions de pensée partagées et des transformations qu'opère le sens commun au sujet d'idées peu familières, afin de leur donner du sens localement [10]-[11]. La théorie des représentations sociales, mobilisée dans le cadre de cette recherche, envisage ces connaissances sociales comme un processus dynamique d'échange de savoirs et de négociations de sens à l'interface entre différentes sphères de la société, comme les groupes locaux [12], les scientifiques [13] ou les personnes concernées [14]. Comment le risque de submersion est pensé par des habitants et des gestionnaires de ce risque dans différentes localités ? Quelles sont les sources de connaissances et comment circule le savoir concernant ce risque ? Cette approche du risque comme un savoir socialement construit dépasse ainsi une position longtemps maintenue indiquant que le public, au sens large, était dans une situation de déficit de connaissances [10]-[15], et souligne que les habitants sont une source importante de savoirs et de connaissances sur leur environnement.

#### 2. Quelle confiance des usagers ?

Etroitement liée à la question de la circulation du savoir est la question de la confiance dans la communication autour du risque [16]. Cette confiance est-elle placée dans l'émetteur de l'information, en tant que personne digne de confiance (confiance relationnelle) ? Ou est-elle conditionnée aux savoirs techniques déployés [17] ? Quel est le sens derrière la confiance des usagers [18] ? Quels sont les freins et les leviers ?

#### 3. Quel rôle jouent le temps (mémoire sociale, projection dans l'avenir) et l'attachement au lieu ?

Enfin, à quel niveau d'abstraction ou de concrétude le risque est-il pensé et représenté ? Est-ce que la mémoire personnelle ou collective, ou l'attachement au lieu jouent un rôle dans la manière de se représenter le risque ? Le risque n'étant par définition pas réalisé, comment se projette-on dans l'avenir et quelle probabilité lui attribue-t-on ?

### Méthode

La recherche s'appuie sur deux types de recueil de données complémentaires :

- une enquête par entretien approfondi afin de connaître le plus de représentations diversifiées possibles. Le critère

d'échantillonnage n'est pas dans ce type d'approche définie par le nombre d'individus enquêtés, mais par la représentativité des contenus présents dans les entretiens. On considère que les contenus sont représentatifs lorsqu'ils deviennent redondants entre les individus (critère de saturation) ;

- une enquête par questionnaire qui permet d'interroger un plus grand nombre de personnes et de statuer sur le rôle de certaines variables issues de l'analyse des entretiens.

### Avancées

Plusieurs critères ont guidé le choix des villes à étudier :

- commune de la Région Sud PACA,
- avec risque naturel de submersion marine,
- avec une population concernée si possible équivalente et comparable sur les critères INSEE,
- implantation de population à proximité de la mer,
- types de protection différents,
- activité principale différente.

En croisant les données issues de plusieurs sources, deux villes, Port-Saint-Louis du Rhône (13) et Fréjus (83) se sont détachées parmi les communes littorales de la Région Sud PACA.

Les deux villes sont comparables dans leur structuration socio-économique (revenus et seuil de pauvreté), mais contrastées dans leur type d'exposition à la submersion (totale vs partielle), et leur activité économique principale (industrielle pour Port-Saint-Louis, touristique pour Fréjus). Bien qu'elles n'aient pas le même nombre d'habitants, le même nombre de personnes est concerné en cas d'inondation par submersion marine : environ 9 000 personnes (la totalité des habitants de Port-Saint-Louis et 20% des habitants de Fréjus).



FIGURE 3: PORT-SAINT-LOUIS DU RHONE  
(PHOTO : M.L. TREMELO)





FIGURE 4: FREJUS (PHOTO : A. SCHLEYER-LINDENMANN)

### Enquête en cours

L'enquête qualitative par entretien est en cours sur Fréjus et terminée sur Port-Saint-Louis. Les analyses thématiques des entretiens ont commencé et seront ensuite complétées par des analyses assistées par ordinateur.

L'enquête par questionnaire est prévue pour fin 2018 et 2019.

### Perspective géographique

L'étude bénéficie des compétences présentes au laboratoire pour une ouverture vers une contextualisation géographique des risques littoraux.

## Conclusion

Le projet DIGUE 2020 a pour objectif de concevoir une plateforme de recherche innovante sur les digues maritimes en Camargue pour mener des actions de recherche sur le long terme.

Le site d'implantation de la plateforme a été identifié et validé auprès des acteurs locaux. Les prestations de conception et construction de l'ouvrage avec son instrumentation ont démarré en Juillet 2018 et la construction de l'ouvrage est prévue pour début 2019.

En parallèle, les travaux des trois thèses et du post-doc sur les thématiques de l'auscultation de l'ouvrage, la durabilité de ses matériaux constitutifs et l'évaluation de la perception du risque de submersion marine sont conduits. Ceci dans une logique d'interaction entre ces différents travaux visant à développer une culture commune sur le risque de submersion marine. L'objectif étant de mutualiser les savoirs issus aussi

bien des disciplines techniques que des sciences humaines de façon à avoir une réelle approche interdisciplinaire.

## Remerciements

Le projet DIGUE 2020 est un projet financé avec le concours de l'Union Européenne avec le Fonds Européen de Développement Régional. Il s'inscrit également dans le Contrat Plan Etat-Région 2015 - 2020. Nous remercions l'ensemble des financeurs pour leur contribution au projet à savoir : l'Union Européenne, l'Etat, la Région Sud, le Département des Bouches-du-Rhône et le LABEX OT-Med (Initiative d'Excellence d'Aix-Marseille Université - A\*MIDEX).

## Références

- [1] Cerema, Ifsttar, Irstea, *Risques littoraux et ouvrages hydrauliques*, Projet CPER/FEDER DIGUE 2020, ANRN 22 – 23 Mars 2016 – Marseille
- [2] S.Gendrey, V.Garnier, P.Azemard, C.Payan, *Diagnostic d'ouvrages hydrauliques en terre maritime par Contrôle Non Destructif et fusion des données - Projet FEDER/CPER DIGUE 2020*, Journées Scientifiques AGAP Qualité, 21-23 novembre 2017, Paris
- [3] S.Gendrey, V.Garnier, P.Azemard, C.Payan, *Diagnostic d'ouvrages hydrauliques en terre en milieu maritime par Contrôles Non Destructifs et fusion de données*, Projet CPER/FEDER DIGUE 2020, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur – Champs-sur-Marne 2018
- [4] Pierre Cunat. *Détection et évaluation des fuites à travers les ouvrages hydrauliques en remblai, par analyse des températures réparties, mesurées par fibre optique*. Université de Grenoble, 2012
- [5] Tatiana Silkina. *Application of Distributed Acoustic Sensing to Flow Regime Classification*. Norwegian University of Science and Technology, 2014
- [6] Zhiqun Lu and G. V. Wilson. *Acoustic Measurements of Soil Pipeflow and Internal Erosion*. Soil Physics, 2011
- [7] Mathieu M. Molenaar and Barbara E. Cox. *Field Cases of Hydraulic Fracture Stimulation Diagnostics Using Fiber Optic Distributed Acoustic Sensing (DAS) Measurements and Analyses*. SPE 164030, 2013
- [8] M. De Baecque et al., *Resistance to erosion of lime treated soils and perspectives for coastal dikes*, 25th Meeting of the European Working Group on Internal Erosion, September 4-7, 2017, Delft, the Netherlands, pp 133-142.
- [9] M. De Baecque et al., *Caractérisation multiphysique et étude de la durabilité d'un sol traité à la chaux pour une application aux digues maritimes - Méthodologie et premiers travaux*, Journées Géotechnique Cerema - IFSTTAR, 14-15 Novembre 2017, Blériot-Plage
- [10] Joffe, H. (2003). Risk: From perception to social representation. *British Journal of Social Psychology*, 42, 55-73. doi:10.1348/014466603763276126
- [11] Moscovici, S. (1998). The history and actuality of social representations. In U. Flick (Ed.), *The psychology of the social* (pp. 209-247). Cambridge: Cambridge University Press.
- [12] Castro, P., Mouro, C., & Gouveia, R. (2012). The Conservation of Biodiversity in Protected Areas: Comparing the Presentation of Legal

Innovations in the National and the Regional Press. *Society & Natural Resources*, 25(6), 539–555. doi:10.1080/08941920.2011.606459

- [13] Bertoldo, R., Mays, C., Poumadère, M., Schneider, N., & Svendsen, C. (2015). Great deeds or great risks? Scientists' social representations of nanotechnology. *Journal of Risk Research*, (May), 1–20. doi:10.1080/13669877.2015.1042503
- [14] Poumadère, M., Bertoldo, R., Idier, D., Mallet, C., Oliveros, C., & Robin, M. (2015). Coastal vulnerabilities under the deliberation of stakeholders: The case of two French sandy beaches. *Ocean & Coastal Management*, 105, 166–176. doi:10.1016/j.ocecoaman.2014.12.024
- [15] Bickerstaff, K. (2004) Risk perception research: socio-cultural perspectives on the public experience of air pollution. *Environment International* 30, 827– 840
- [16] Engdhal, E., Lidskog, R. (2014). - Risk, communication and trust: Towards an emotional understanding of trust. *Public Understanding of Science*, 23(6), 703-717.
- [17] Earle, T.C. (2010). - Trust in risk management: a model-based review of empirical research. *Risk Analysis*, 30 (4), 541-574.
- [18] Dias, P., Bertoldo, R., Schleyer-Lindenmann, A., Trémelo, M.L., Tricot, A., & Guignard, S. (accepté). Confiance en la gestion des acteurs publics et comportements des habitants face aux risques d'inondation. *La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau*.