

Objectifs

L'inexactitude géotechnique est à l'origine de nombreuses difficultés lors de la construction puis de la maintenance des infrastructures de génie civil. Lorsque le coût des travaux de géotechnique - et de ce qui en dépend - représente une part notable du coût total de l'ouvrage, la maîtrise des aléas géotechniques constitue un enjeu important pour la maîtrise des risques.

Dans cette perspective, le Projet National CRITERRE a eu pour objectif d'améliorer les méthodes et les procédés de reconnaissance géophysique et géotechnique pour la détection des anomalies physiques et chimiques (pollutions) des terrains et le contrôle des améliorations des sols, répondant aux besoins des maîtres d'ouvrage et des entreprises.

Projet National CRITERRE

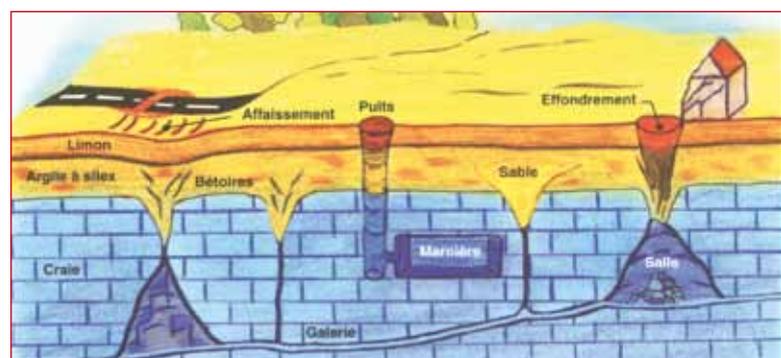
Reconnaissance et Identification des anomalies des Terrains

Contrôle des améliorations des sols

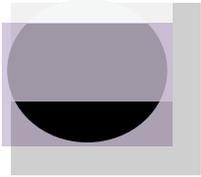
Programme réalisé

Le PN CRITERRE a comporté trois grands thèmes spécifiques plus ou moins dépendants par les techniques et les méthodes d'investigations :

- **Thème 1: Reconnaissance des anomalies physiques des terrains**
 - Méthode d'investigation à grand rendement de sites linéaires (auscultation des digues à sec, notamment).
 - Méthode de détection des cavités à l'aide de méthodes géophysiques (ondes de surface, thermographie infrarouge).
 - Diagraphies électriques durant la foration.
- **Thème 2: Détection des anomalies chimiques dans les terrains**
 - Détection des hydrocarbures dans les sols par des méthodes géophysiques à hyperfréquences et des méthodes d'analyse de gaz.
 - Détection des pollutions induites par les interactions sols/ouvrages.
- **Thème 3: Contrôle des améliorations des sols**
 - Contrôle de la géométrie (diamètre et continuité) des colonnes de jet-grouting par les méthodes du cylindre électrique, de l'impédance mécanique, de l'auscultation sismique.
 - Etat de l'art du contrôle des injections.



Profil géologique typique de Haute-Normandie. Relation entre le réseau karstique et les accidents en surface (source LRPC de Rouen).



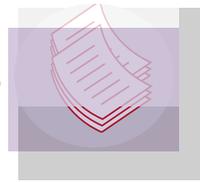
Organisation

La Direction du Projet

- Président : Guy VERRIER
(Directeur Honoraire SNCF)
- Directeur Scientifique
et Technique : François SCHLOSSER
- Suivi IREX : Pierre LE TIRANT

Les partenaires

- ANTEA - Borie SAE - BRGM - Campenon Bernard SGE
- CDGA (Université Bordeaux I) - Cemagref - CETU
- Cofiroute - EDF (TEGG) - EDG - ENPC CERMES -
- FNTP - Geostock - GTM - INERIS - INTRAFOR - IUR/
- DESCHIRON - LCPC - LERM - ME2I - Réseau Ferré
- de France - Rincent BTP Services - Scetauroute -
- SEGG - SEPIA - SETEC - SETRA - SOLEN - Soletanche
- Terrasol - URGC (INSA Lyon) - Voies Navigables
- de France



Publications

Les travaux du Projet National CRITERRE ont fait l'objet de 4 publications :

- Guide technique sur la détection de cavités souterraines par méthodes géophysiques (édité par le LCPC),
- Guide sur les méthodes géophysiques et géotechniques pour le diagnostic des digues de protection contre les crues (édité par Cemagref Editions),
- Recommandations pratiques pour le contrôle du diamètre des colonnes de jet-grouting,
- Rapport de synthèse sur la pollution des sols par des hydrocarbures.

Les résultats ont été présentés lors d'un colloque organisé le 18 Novembre 2004.



Effondrement de cavité naturelle dans le gypse du Trias provençal.



Durée Budget

Le Projet National CRITERRE s'est déroulé de 1998 à 2002.

Le budget s'est élevé à 2 165 439 € HT dont 483 720 € HT de subvention DRAST, 1 213 887 € HT d'apport en nature et 467 832 € HT de cotisations partenaires.



Méthode Slingram : prospection géophysique à l'EM 31.
© Pierre Frappin - EDG



Digue de l'Agly après une crue, Pyrénées Orientales.
© P. Mériaux, Cemagref.

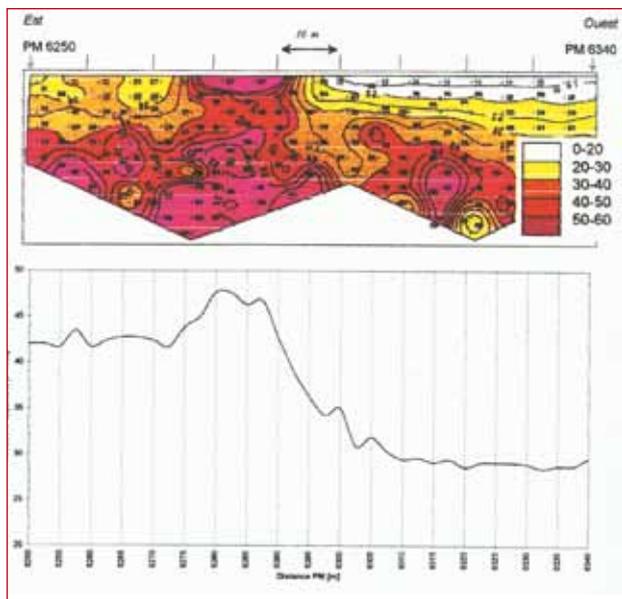
Applications et retombées du Projet National

Le thème 1 du projet CRITERRE s'est conclu par la publication de deux guides techniques.

■ Celui relatif aux **digues de protection contre les crues (Fauchard, Mériaux, 2004)** a été rédigé à destination des maîtres d'ouvrage et de leurs ingénieurs conseils, avec l'objectif d'en faire un ouvrage de référence pour la mise en œuvre et l'interprétation des méthodes géophysiques appliquées au diagnostic des digues fluviales lorsque ces dernières sont hors condition de crue (ou « à sec »), ce qui est leur situation courante au moment des campagnes de prospection.

Affichant un fort caractère méthodologique, le guide souligne la nécessité de préparer et concevoir la campagne géophysique en bonne connaissance de la géologie locale, de l'histoire, de la géométrie et de la constitution de la digue et des anomalies ou désordres recherchés ainsi que l'indispensable complémentarité de l'examen visuel des ouvrages, des prospections géophysiques et des méthodes géotechniques. Dans le contexte d'ouvrages de génie civil à long linéaire que sont les digues, l'évaluation du rendement des méthodes ou des associations de méthodes est aussi abordée.

■ Très attendu par la profession suite aux crues catastrophiques - et dévastatrices pour de nombreuses digues - de l'hiver 1993-1994 en Camargue puis de novembre 1999 dans l'Aude et les Pyrénées Orientales, ce guide a été remis gracieusement à tous les participants du colloque de clôture du Projet National CRITERRE, le 18 novembre 2004.



Comparaison de mesures en panneau électrique et de mesures en méthode Slingram (EM31) (Frappin, 2001) - anomalie de faible résistivité au niveau d'une ancienne brèche (PM 6295 à 6340).



Il est aujourd'hui épuisé aux Cemagref Editions. En 2007, à l'initiative et aux frais du Cemagref, il a été traduit en langue anglaise et publié aux Editions Quae où il peut aujourd'hui être acheté en version électronique sur le site internet de l'éditeur <http://www.quae.com> : « *Geophysical and geotechnical methods for diagnosing flood protection dikes - Guide for implementation and interpretation* ».

Depuis leur parution respective, le Cemagref a diffusé la version française du guide à plusieurs grands maîtres d'ouvrage de digues français ou de pays francophone, qui en avaient fait la demande, et la version anglaise auprès de nombreux laboratoires partenaires européens ou américains : Institut géophysique de Clausthal (Allemagne), Deltares (Pays-Bas), HR Wallingford (Royaume Uni), USACE (USA), etc. Ceci a contribué au rayonnement du projet CRITERRE. Le texte de la version anglaise servira de matière à la rédaction en cours de l'« *International Levee Handbook* » dans laquelle plusieurs partenaires des Projets Nationaux CRITERRE et ERINOH sont impliqués.

■ **Les résultats du Projet National CRITERRE à propos du diagnostic des digues** ont également servi à la construction d'un des axes de recherche du Projet National ERINOH, qui lui a succédé de 2008 à 2011 et dans lequel les développements se sont concentrés sur la problématique de la détection de l'érosion interne, une des pathologies de destruction les plus redoutées par les propriétaires de digues ou de barrages. Notamment, il a été décidé de tester au cours d'ERINOH la pertinence des méthodes géophysiques pour la détection, en condition de crue ou de charge hydraulique, des fuites ou circulations d'eau dans les corps de digue - ce qui n'avait pas pu être fait dans CRITERRE où l'on a travaillé sur des ouvrages « à sec » - et d'améliorer la chaîne de mesures de la méthode « RadioMagnétoTellurique » (RMT) qui s'était révélée perfectible d'après l'une des conclusions du Projet National CRITERRE. D'autres prolongements de CRITERRE existent aussi dans le projet européen du 7^{ème} PCRD FloodProBE 2009-2013 qui s'intéresse au diagnostic des digues situées en contexte urbain.

■ Enfin, rappelons que les travaux de recherche et développement du PN CRITERRE relatifs aux digues fluviales ont été effectués sur **deux sites de campagne expérimentale** :

- la levée rive droite du Cher à Savonnières (37),
- la digue rive gauche de l'Agly à Saint-Laurent-la-Salanque (66).

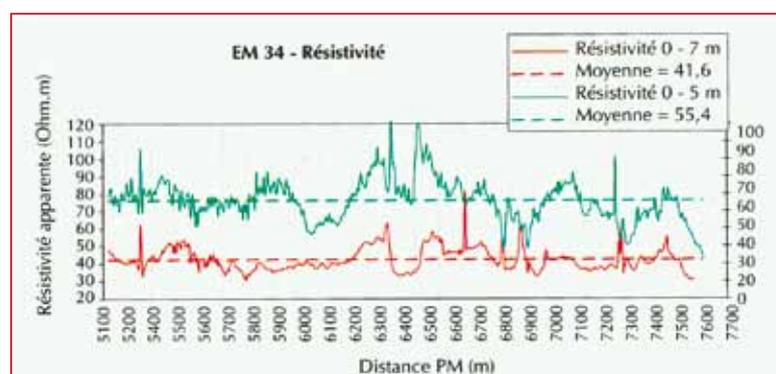
Ces deux digues ont été le siège chacune d'une brèche « historique » (1856 sur le Cher, 1999 sur l'Agly) et, grâce au Projet National CRITERRE, on dispose maintenant d'une précieuse mine de données et mesures concernant ces deux tronçons d'ouvrage et leurs anomalies. Aussi, le site de l'Agly a été réutilisé au moins à deux reprises pour d'autres campagnes expérimentales intercomparatives de géophysique (micro-sismique d'ondes de surface en 2007 et radar géologique de nouvelle génération en 2008) et il est envisagé de faire prochainement de même avec de nouvelles mesures sur le site du Cher dans le cadre des Etudes de Dangers en cours des levées domaniales de la vallée de la Loire.

■ Les avancées du PN CRITERRE à propos du diagnostic des digues ont donc eu des retombées opérationnelles directes pour les maîtres d'ouvrage, en particulier grâce au guide technique et méthodologique qui a été publié en conclusion du projet, et des retombées scientifiques avec des prolongements majeurs dans des projets de recherche nationaux et internationaux en cours aujourd'hui : ERINOH, guide international ILH, FloodProBE, ...

■ Les études menées dans le cadre de ce projet pour répondre au besoin de contrôler le diamètre des colonnes de jet-grouting ont permis de rédiger des recommandations pratiques pour ce contrôle basées :

- d'une part sur le cylindre électrique (méthode CYLJET brevetée) mise en œuvre dès la fin d'exécution des colonnes permettant d'obtenir dans un délai rapide une mesure des diamètres des colonnes de jet-grouting ;
- d'autre part sur la méthode d'impédance mécanique appliquée à l'auscultation des colonnes de jet grouting en vue de contrôler leur intégrité et leur forme. A noter que ce procédé n'est utilisable que sur des colonnes dont la tête est accessible et nécessite que le coulis ait durci, à savoir plusieurs jours après leur réalisation.

■ Enfin, ce projet n'a répondu que partiellement aux besoins de détection des pollutions des sols et des nappes préalable à la réhabilitation des sols pollués. Compte-tenu des réticences des propriétaires des sites pollués de les mettre à disposition du projet pour valider des méthodes de détections, seule une analyse critique des méthodes géophysiques et leur application sur deux sites d'anciennes cokeries ont permis de proposer quelques recommandations opérationnelles applicables sur des sites comparables en insistant sur la nécessité de lancer d'autres actions de recherches sur la détection des sites pollués par des hydrocarbures liquides et/ou gazeux.



Mesure EM34 selon deux profondeurs d'investigation sur la digue du Cher.