

Reconnaissance géophysique des digues de l'Agly après la crue de novembre 1999. Contribution à l'élaboration d'une méthode de diagnostique

Patrice MÉRIAUX¹, Alain HOLLIER-LAROUSSE², Xavier DEROBERT²

1 : Cemagref Aix-en-Provence, 2 : LCPC Nantes

Abstract

The river dykes (levees) built in the past to protect flooded areas are long, weak and ageing works. Before to strengthen these structures, it is necessary to provide an appropriate civil engineering diagnosis. For such diagnosis, investigations based on geotechnical and geophysical methods are more and more often used nowadays. In this context, the French National Project "CriTerre" has supported since 1998 a Cemagref § LCPC research work that aims at testing on existing dykes several high output geophysical methods. This paper presents the experimental site - the Agly river dykes, in north of the town of Perpignan - chosen in relation with a second step of the project (2000-2002) and the main results obtained in it. The investigations took place several weeks after a major flood of the Agly river occurred in November 1999. These experimental works provide technical elements about the way the geophysical methods should be used and their output data be analysed. The third and the last step of the research project is currently consisting in the redaction of a specific guidelines for the use of these methods in the context of the dykes diagnosis.

Les crues de la dernière décennie, et tout récemment celles – dramatiques – de septembre 2002 dans le Gard, ont confirmé la fragilité chronique des digues de protection contre les inondations et la nécessité de leur diagnostic. Dans ce contexte, les travaux de reconnaissance en vue du diagnostic de tels ouvrages à grand linéaire, anciens et de constitution en général méconnue, sont de plus en plus souvent basés sur l'utilisation de méthodes géophysiques.

La rédaction du présent article intervient au terme de la seconde phase de l'étude expérimentale, financée depuis 1998 au titre du Projet National de Recherches "CriTerre", qui vise à tester, sur différents tronçons d'ouvrage, des méthodes de reconnaissance à grand rendement applicables aux digues.

Après une présentation générale du site expérimental des digues de l'Agly retenu pour cette seconde phase, on indique les méthodes d'investigation mises en œuvre et on en rapporte les résultats les plus marquants.

Origine des endiguements de l'Agly : des « mottes » moyenâgeuses à l'aménagement des années 1970

L'Agly est un fleuve côtier méditerranéen qui draine un bassin versant de quelque 1040 km² et dont les crues ont toujours été redoutées des habitants de la plaine littorale de la Salanque, au nord de la ville de Perpignan (Pyrénées Orientales).

Les crues catastrophiques d'octobre 1940 (840 mm de précipitations tombées en 24 h le 16 octobre 1940, contre un peu moins de 700 mm en septembre 2002 dans le Gard) ont justifié un renforcement des digues rustiques originelles – les « mottes » – par la création, notamment, de murs de protection de berges en béton, encore en partie visibles de nos jours.

Mais c'est à l'automne 1965 - encore en octobre - que l'Agly dépasse toute mesure puisqu'il déborde pas moins de 5 fois en 3 semaines dans la plaine de la Salanque. Cet événement déclenche la mobilisation des acteurs locaux en vue d'un aménagement du cours inférieur du fleuve visant à diminuer la fréquence des inondations.

Travaux d'endiguement des années 1970

Un projet ambitieux d'aménagement est réalisé de 1969 à 1974, sous la maîtrise d'ouvrage du Département des Pyrénées orientales et avec un soutien financier de l'Etat à hauteur de 60%.

Ces travaux consistent en un recalibrage du lit complété par son endiguement, du Pont de la RN 9 (Perpignan-Narbonne) à la Mer Méditerranée, soit sur un linéaire de 13,2 km. D'une part, la largeur en fond du lit est portée de 30 à 65 m, avec adoucissement à 1/2 des pentes des berges et protections en enrochements. D'autre part, un endiguement continu, à base de remblai limoneux compacté, est érigé au sommet de chaque berge reprofilée, dominant la plaine inondable d'une hauteur variable de 2 à 3 m. La largeur au couronnement des digues est de 8 m, avec une route ou piste de service de crête. Localement, la digue nouvellement créée englobe les portions de digue et les protections en béton réalisées consécutivement à la crue de 1940.

Ces travaux sont réputés protéger la Salanque contre la crue vingtennale de l'Agly (1250 m³/s) avec une revanche de 0,5 m. Ils ont coûté environ 22 millions d'€ (140 MF) en montant actualisé 2001.

Alerte sur les digues en septembre 2002. Surverses et ruptures lors de la crue des 12 et 13 novembre 1999

Le 26 septembre 1992, les eaux de l'Agly se gonflent sous un orage jusqu'à atteindre un débit de l'ordre de 1300 m³/s en pointe dans le secteur endigué. S'agissant presque du débit de plein bord, la rupture par surverse est évitée de justesse. Seuls deux glissements de berge sont à déplorer à la décrue.

Il n'en va pas de même lors de l'épisode pluvieux exceptionnel des 12 et 13 novembre 1999 – de triste mémoire dans la région Languedoc-Roussillon. L'Agly voit, dans la nuit, son débit franchir le cap des 2000 m³/s.

En l'absence de déversoir(s) de sécurité sur l'aménagement, le flot déborde inévitablement, pendant une période de l'ordre d'une heure, au-dessus des digues en de nombreux points et sur les deux rives, entraînant divers désordres dont le plus spectaculaire est une brèche d'environ 50 m de longueur qui s'ouvre au droit de la station d'épuration de Saint-Laurent-de-la-Salanque non sans l'endommager fortement. On a observé également de nombreuses zones d'érosion du talus aval (côté plaine inondable ou « val ») et quelques points d'écoulements singuliers dans la fondation ou à travers la digue.

Les digues de l'Agly : un terrain d'expérimentation privilégié pour les méthodes de reconnaissance géophysique

L'événement de 1999 a montré que les digues de l'Agly pouvaient constituer un terrain d'expérimentation tout à fait approprié pour les travaux de recherche conduits par le LCPC, le Cemagref et la société EDG dans le cadre du projet national CriTerre :

- leur constitution originelle est relativement bien connue ;
- elles comportent des hétérogénéités, dont quelques unes bien identifiées et repérées, dans les deux sens :

. longitudinal : comme la brèche de novembre 1999 qui a été réparée, en décembre de la même année, avec des matériaux différents de ceux de la digue d'origine ;

. transversal : portions de digue de 1970 englobant des ouvrages ou remblais plus anciens, secteurs à talus aval érodé par les surverses de novembre 1999 et comblés depuis par des matériaux grossiers.

- l'ensemble de leur linéaire a fait l'objet d'une inspection détaillée postérieure à la crue de novembre 1999, au cours de laquelle le Cemagref a caractérisé et cartographié les (indices de) désordres et les hétérogénéités de construction visibles (6 jours de travail sur le terrain, à 3 opérateurs).

Dans ce contexte, il était intéressant de voir comment les méthodes géophysiques allaient reconnaître de telles hétérogénéités visibles (ou connues), mais aussi celles qui ne le sont pas et que la reconnaissance visuelle ne peut donc pas mettre en évidence.

Le programme d'expérimentation géophysique, réalisé en ce sens à partir de mai 2000, a mis en œuvre les moyens d'investigation suivants :

- prospections géophysiques Electro-Magnétique (EM 31) et Radio-Magnéto-Tellurique (RMT) en crête sur deux tronçons sélectionnés d'après l'inspection visuelle (sur 2140 m rive droite et sur 1600 m rive gauche) ;
- panneaux électriques (500 m) centrés sur la brèche de Saint-Laurent-de-la-Salanque ;
- prospection au Radar géologique dans la même zone sur un linéaire plus étendu (1450 m).

Principaux résultats des reconnaissances géophysiques

La prospection EM31 a été réalisée sur un seul profil en bordure de chaussée côté val de la crête de digue. L'intervention (un point de mesure tous les 5 m pour un linéaire total de 3740 m) a duré deux jours à un opérateur. En chaque point, deux mesures ont été effectuées : une en position normale et une en position 90°, pour des profondeurs prospectées respectivement de l'ordre de 6 et 2,5 m. Sur le profil rive gauche, la zone de la brèche de St-Laurent (PM 500-560), comblée par des matériaux plus ou moins grossiers, présente une signature bien visible (cf. Figure 1). Plus en aval, se remarquent d'autres anomalies de plus forte résistivité, dans le secteur où l'on sait que des surverses plus ou moins larges se sont produites, mais elles sont difficilement interprétables en l'absence de profil de comparaison côté rivière et du fait de l'espacement des points de mesures (5 m).

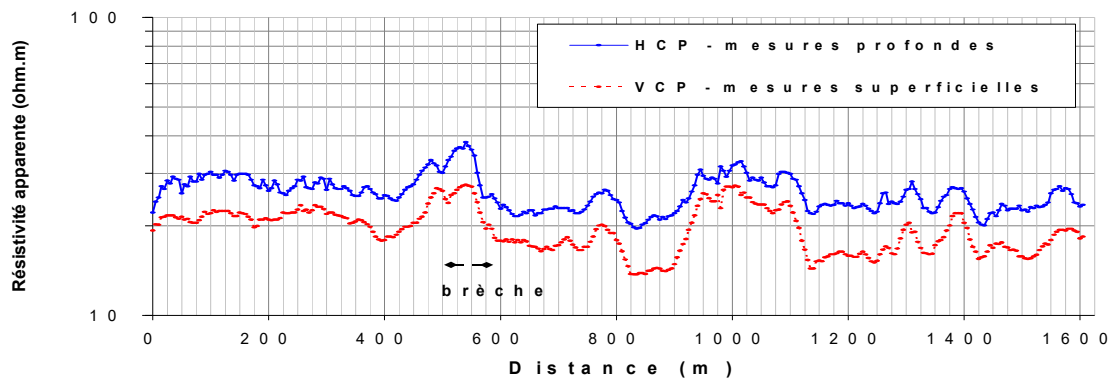


Figure 1 : Profils de résistivité apparente EM31, rive gauche, côté val.

La prospection RMT a été réalisée sur trois profils en crête de digue : côté val et côté rivière (Agly) à la fréquence de 162 kHz et côté Agly à la fréquence de 16,8 kHz (prospection à plus grande profondeur). L'intervention (un point de mesure tous les mètres pour un linéaire cumulé de plus de 11000 m) a duré 5 heures et peut être réalisée avec un seul opérateur.

La figure 2 ci-après montre, à titre d'exemple, deux profils réalisés en 162 kHz côté val et côté Agly. A cette fréquence, c'est essentiellement la digue qui est auscultée.

Les moyennes des résistivités apparentes de chaque profil, 42 et 52 $\Omega.m$, témoignent de l'homogénéité globale du corps de la digue. Des anomalies locales très contrastées, sont visibles côté val au niveau des surverses où les talus de la digue ont été reconstitués après la crue de 1999. La brèche apparaît nettement sur les deux profils. Des résistivités contrastées (20 et 60 $\Omega.m$), côté val et côté Agly, entre 250 et 750 m (de part et d'autre de la brèche) ne trouvent pas d'explication dans l'inspection visuelle. Peut-être sont-elles la signature de travaux de reprofilage de la crête après la crue de 1992 ?

Enfin, des anomalies alignées sur les deux profils, traduisent l'existence d'hétérogénéités transversales. Nous avons souligné par des traits verticaux numérotés les plus nettes d'entre elles. A part la brèche, il peut aussi s'agir de tranchées, conduites traversant le corps de la digue ou de limites de réparations de chaussée recouvertes par la couche de roulement.

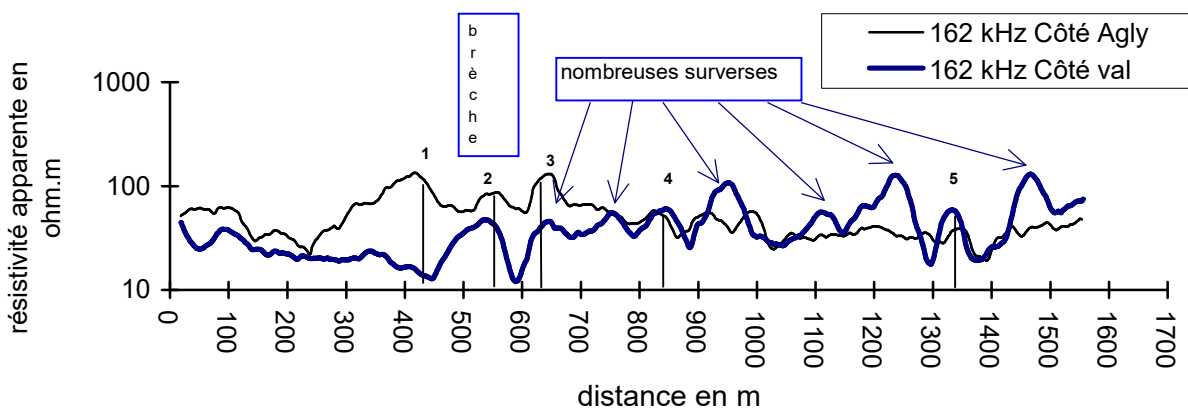


Figure 2 : Profils de résistivité apparente RMT (162 kHz) effectués en rive gauche de l'Agly côté val et côté rivière Agly.

Trois profils Radar ont été réalisés par deux opérateurs, en une journée de terrain, dans le secteur de la brèche de St-Laurent (de part de d'autre de la chaussée ainsi qu'au centre) et complétés par 15 profils transversaux. Le radar utilisé était un modèle SIR-10A+ de marque GSSI, avec antenne de 500 MHz. La brèche réparée se signe parfaitement par la présence de nombreux points diffractants (cf. Figure 3). Sont mis en évidence des matériaux de structures de chaussées (sur le premier mètre) plus absorbants en aval de la brèche qu'en amont.

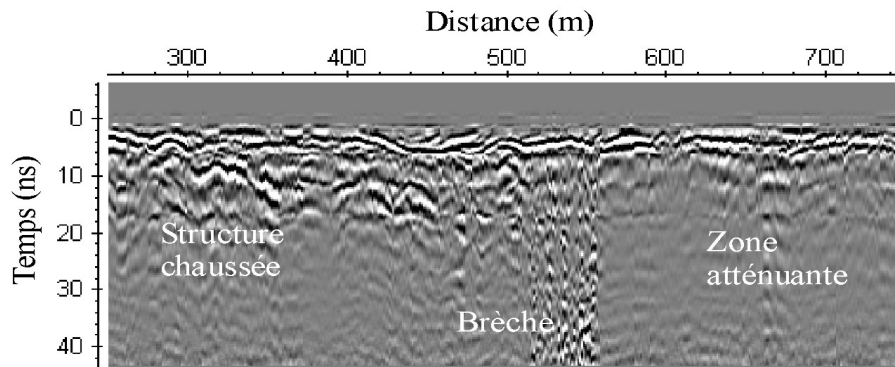


Figure 3 : Radargramme avec mise en évidence de la brèche, réalisé à 500 MHz dans l'axe de la chaussée

Acquis méthodologiques et projet de guide technique

Sur le plan méthodologique, les principaux points suivants sont considérés comme acquis au terme des deux expérimentations conduites dans le cadre du projet CriTerre (levée du Cher en 1998-2000 et digues de l'Agly en 2000-2002) :

- l'inspection visuelle, au moins rapide, de la digue demeure une étape préalable incontournable de toute reconnaissance ;
- appliquées en première phase, les méthodes géophysiques convenablement employées et interprétées permettent d'obtenir, avec un coût modéré, une caractérisation qualitative pertinente de la digue, à même d'orienter la sélection et l'implantation des essais géotechniques des phases ultérieures ;
- si la méthode EM 31 présente l'intérêt d'être utilisable en terrain difficile, la Radio MagnétoTellurique est adaptée au cas des digues « carrossables » en y apportant alors les avantages de la finesse du pas de mesures et de la rapidité d'exécution : ce qui permet de multiplier les profils de passage en crête de digue afin de distinguer les hétérogénéités longitudinales de celles transversales ;
- la méthodologie rigoureuse d'emploi et d'interprétation de la prospection RMT a été validée sur une seconde configuration de digue (Agly). Des corrélations intéressantes ont, en outre, été trouvées avec des méthodes géotechniques (sondages pénétrométriques) : les résultats feront l'objet d'une publication en cours de rédaction ;
- en complément de ce type de méthodes de mesures volumiques à grand rendement, la technique radar peut être employée, sur des zones localisées, afin de lever certaines ambiguïtés. Cette dernière apporte aussi une information sur la géométrie de la structure superficielle de chaussée en crête de digue qui influe notablement sur les mesures électromagnétiques basses fréquences ;
- l'interprétation géotechnique du zonage géophysique nécessite toujours des forages de reconnaissance qui peuvent alors être parfaitement positionnés à partir de l'interprétation des mesures géophysiques et permet de compléter le diagnostic sur l'état de l'ouvrage.

Ces travaux de recherche expérimentale s'achèvent aujourd'hui sous la forme de la rédaction d'un guide relatif à la mise en œuvre optimale des méthodes géotechniques et géophysiques pour le diagnostic des digues. La parution de cet ouvrage est prévue pour l'année 2004.

Remerciements

Les auteurs remercient le Réseau Génie Civil et Urbain (RGC&U) qui a soutenu, au titre du Projet National CriTerre, les travaux de recherche objets du présent article et en a autorisé la

publication, ainsi que le Syndicat intercommunal de l'Agly Maritime et l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne qui ont contribué au financement de la campagne d'essais ou des inspections visuelles, respectivement sur les digues de l'Agly et du Cher.

Production bibliographique

Hollier-Larousse A., Mériaux P., Waschkowsky P., Mieussens C., 2002. Les hétérogénéités des digues de protection contre les inondations : leur signature géophysique et géotechnique. *Journées AGAP*.

Mériaux P., Royet P., Côte P., Hollier-Larousse A., Frappin P., 2001. Méthodes de reconnaissance géophysique à grand rendement pour les digues de protection contre les crues. *Colloque GEOFCAN*, Orléans.

Hollier-Larousse A., Folton C., Mériaux P., Wakselman J., Frappin P., Côte P., Royet P., 2000. Etude comparative des méthodes de reconnaissance géophysique et géotechnique des digues à sec - site d'expérimentation de la digue du Cher à Savonnières. *Rapport général du PN CriTerre*.

Hollier-Larousse A., 2000. Reconnaissance géophysique par radio-magnétotellurique : PN CRITERRE, thème anomalies physiques, reconnaissance à grand rendement. *LCPC Nantes*.