



La Lettre du

SYMADREM

SYNDICAT MIXTE INTERRÉGIONAL D'AMÉNAGEMENT DES DIGUES DU DELTA DU RHÔNE ET DE LA MER

Les travaux de renforcement de la digue du Rhône entre Beaucaire et Fourques ont commencé en ce début d'année pour s'achever fin 2018. Après appel d'offres, deux lots ont été attribués à des groupements d'entreprises : Guintoli - Crozel - Masoni - SLTP - TP Spada pour la partie Beaucairoise, et Valerian - Berthouly pour la partie fourquésienne, le tout pour un montant d'environ 45 millions d'euros.

Ce chantier aura mis plus de 10 ans à sortir de terre, depuis les premières études hydrauliques de 2007, jusqu'aux dernières acquisitions foncières, en passant par les phases réglementaires de déclaration d'utilité publique, d'autorisation au titre de la loi sur l'eau.

Sans équivalent sur le territoire national dans le domaine de la protection contre les inondations, ce chantier mobilise quotidiennement 60 engins de terrassement avec des pics à 120 engins, comme ce fut le cas cet été. À la mi-octobre 2017, l'ancienne digue aura été totalement démontée et reconstruite dans les règles de l'art. La présente lettre s'est donné pour objectif de faire un focus sur cette étape essentielle et très sensible que représente la phase de compactage dans l'édification d'une digue sûre et durable.

Soulignons qu'en mobilisant plus de 150 personnes par jour sur la durée du chantier, cette opération a une incidence positive notable sur l'emploi.

Après la sécurisation des digues urbaines d'Arles, de Beaucaire et de Tarascon, le renforcement de la digue de Beaucaire-Fourques constitue une étape majeure dans la réalisation du Plan Rhône. Elle ne doit cependant pas nous faire oublier que d'autres travaux seront nécessaires pour compléter le dispositif de protection : la digue Tarascon-Arles et les mesures associées, dont le chantier démarrera au printemps prochain pour s'achever fin 2020 ; le rehaussement des sites industrialo-portuaires de Beaucaire et Tarascon ; le renforcement des digues du Petit Rhône ; le renforcement des digues de Salin-de-Giraud et Port-Saint-Louis-du-Rhône.

En conclusion, il faut rappeler que la réalisation de l'ensemble de ces travaux est le fruit d'une volonté politique commune de l'État, des Régions et des Départements, qui assurent la plus grande partie de leur financement, en contribuant respectivement à hauteur de 40, 30 et 25%, laissant les 5% complémentaires à la charge des communes et des intercommunalités. Soulignons enfin que rien n'aurait été possible sans le concours déterminant, depuis 2005, des Régions et des Départements au fonctionnement du SYMADREM.

Jean-Luc Masson
Président du SYMADREM

À LA UNE

Épisode Cévenol



En France, certains épisodes pluvieux méditerranéens sont connus sous le nom d'*épisodes cévenols* et surviennent surtout à la fin de l'été et au début de l'automne.

Les épisodes cévenols se forment lorsque le vent chaud et humide en provenance de la Méditerranée se dirige vers le nord. Au moment où il bute contre le massif montagneux des Cévennes, il rencontre l'air froid présent en altitude. Il en résulte des phénomènes de condensation et une grande instabilité du fait des différences de température. Toutes les conditions sont alors réunies pour que de fortes pluies torrentielles se produisent, en particulier sur le relief des Cévennes, mais aussi sur le piémont.

Comme la moitié de la superficie du pourtour méditerranéen est faite de bassins versants pentus, ne dépassant pas 2 000 km², ces précipitations, qui peuvent atteindre les 500 l/m², provoquent souvent

une brusque montée des eaux des rivières, dont les débits et les vitesses augmentent.

Ces épisodes ont notamment été à l'origine de la crue rapide du Rhône en septembre 2002 durant laquelle le Rhône a atteint 9650 m³/s, au pic de sa crue.

La fréquence de tels événements est assez aléatoire, certaines années étant beaucoup plus perturbées que d'autres.

C'est pourquoi, dès l'automne, le SYMADREM surveille quotidiennement les débits du Rhône et de ses principaux affluents. Pour cela le syndicat dispose des informations fournies, par le Service de Prévision des Crues du Grand Delta (<http://www.vigicrues.gouv.fr>), et également des données de son propre outil de prévision de crues. Au cas où il serait impossible d'accéder au site Vigicrues, le système d'information du syndicat fournit une prévision de débit à neuf heures.



Hommage à Alain-Pierre Romac

Alain-Pierre Romac, Directeur Général du SYMADREM de 1997 à 2007, est décédé le 9 juillet 2017, à l'âge de 70 ans.

Ingénieur de formation, ancien DGST de la ville d'Arles, il a porté la structure naissante du SYMADREM dès 1996, à la suite des inondations de la Camargue du début de la décennie.

Lors des crues de 2002 et 2003, sa gestion a évité à la Camargue Insulaire d'éviter une nouvelle inondation. Il sera ensuite aux côtés de l'État et des régions dans la phase d'élaboration du Plan Rhône.

Alain-Pierre Romac laissera le souvenir d'un homme modeste, généreux, et d'une grande rigueur intellectuelle. Son passage au SYMADREM restera gravé à tout jamais dans la mémoire de ceux qui ont travaillé avec lui.

Nous présentons nos sincères condoléances à son épouse, ses enfants et petits-enfants.



Christophe Delaunay

Ingénieur géologue Geotechnicien,
Membre de la Société du Canal de Provence (SCP)—En charge du contrôle extérieur

Pour les travaux de construction de la digue de Beaucaire à Fourques, le SYMADREM a confié la mission de supervision géotechnique d'exécution (*mission G4 suivant la norme NFP 94 500*) et le contrôle extérieur au groupement Ginger-Cebtp / Société du Canal de Provence. Plus de 3 500 essais ont été prévus pour répondre aux objectifs de qualité requis pour cette digue.

La mission nécessite une implication totale de l'équipe pour réaliser des essais à chaque étape de l'édification du remblai, mais aussi vérifier l'auto-contrôle de l'entreprise.

La mission de supervision géotechnique G4 est réalisée en collaboration étroite avec la maîtrise d'oeuvre (SAFEGE) et la maîtrise d'ouvrage SYMADREM. Les échanges techniques avec l'entreprise sont nombreux, riches, parfois tendus, mais toujours constructifs car chaque intervenant partage un objectif commun : la qualité de réalisation d'un ouvrage stratégique de sécurité publique qu'est une digue de protection contre les inondations.

DANS L'OBJECTIF

Le compactage : une étape essentielle dans la construction de la digue

Les digues du SYMADREM sont des ouvrages en remblai composés essentiellement de terre. Afin d'en garantir l'étanchéité, fonction essentielle d'une digue sûre et durable, les matériaux utilisés sont sélectionnés et mis en œuvre selon des règles strictes.

La sélection et la caractérisation des matériaux

La sélection fine des matériaux est réalisée avant leur mise en œuvre et ce à partir de leurs caractéristiques. Les matériaux sont classés par catégories selon leur granulométrie (le passant), leur teneur en eau et leur teneur en particules argileuses. La classification retenue est celle des Grands Travaux Routiers (classification GTR NFP 11 300). Elle comporte 4 classes :

- Classe A : les sols fins (limons, argile...)
- Classe B : les sols sableux
- Classe C : les sols comportant des gros éléments
- Classe D : les sols insensibles à l'eau

Les matériaux utilisés sur les digues du Rhône sont issus des classes A1 ou A2 du guide GTR présenté ci-dessus. Ces matériaux fins, qu'on rencontre en abondance dans le Delta du Rhône, garantissent une étanchéité suffisante et une bonne résistance à l'érosion moyennant un compactage soigné.

Tous les matériaux pressentis pour la création d'une digue subissent un ensemble de tests visant à les caractériser et à les sélectionner. Ce sont les études géotechniques préalables au chantier.

La mise en œuvre des matériaux

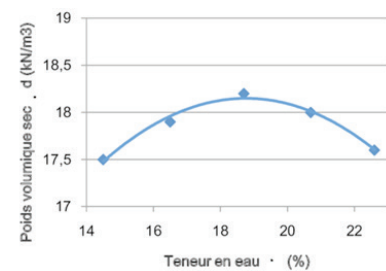
Une fois sélectionnés, les matériaux de la digue doivent être compactés à une densité qu'on qualifie d'optimale (Les matériaux retenus sont ensuite compactés jusqu'à ce qu'ils soient le plus denses possible). Outre l'utilisation d'engins de compactage appropriés, l'atteinte de ce niveau de cette compacité optimale nécessite que le matériau soit mis en œuvre avec la bonne teneur en eau.

Historiquement, les matériaux de la digue étaient compactés à la main sans se soucier de de leur humidité. Ce n'est qu'en 1933 qu'un ingénieur, Ralph Proctor, trouve le moyen de déterminer la teneur en eau optimale garantissant la densité maximale d'un sol, c'est l'essai PROCTOR.

Pour le réaliser, on divise un échantillon de matériaux en cinq lots, portés chacun à une teneur en eau spécifique ; puis on compacte les matériaux en laboratoire. On mesure ensuite la densité de chaque lot, ce qui donne une courbe ; la teneur

en eau optimale de compactage correspond au sommet de la courbe.

Dans l'exemple théorique ci-dessous, la teneur en eau à la densité maximale de 18,2 kN/m³, autrement appelée *optimum proctor* est de 18,5% environ ; ce qui signifie que pour atteindre un niveau de compacité de 100 %, la teneur en eau des matériaux au moment du compactage devra être de 18,5 %. Dans la réalité, on exige un niveau minimal de compacité de 95 %, et un compactage côté humide de cette teneur optimale garantissant une meilleure résistance à l'érosion. Dans le présent exemple, on impose à l'entreprise de compacter le matériau par couche de 30 cm d'épaisseur en plusieurs passages avec une teneur en eau comprise entre 18,5 et 21,5 % (*plage de tolérance de 0-3 %*)



Le contrôle des matériaux

Pour s'assurer que le niveau de compacité est au minimum de 95 % et que le matériau a été correctement mis en œuvre, 3 types de contrôles géotechniques complémentaires et contradictoires sont réalisés :

- le contrôle interne, réalisé directement sur le site par l'entreprise de travaux.
- le contrôle externe, réalisé sous la responsabilité de l'entreprise par une entité différente de l'équipe de travaux (*bureau d'étude interne de l'entreprise ou externalisé*).
- le contrôle extérieur, réalisé sous la responsabilité du maître d'ouvrage (le SYMADREM) par un bureau d'étude extérieur (Société du Canal de Provence SCP ou Ginger CEBTP) supervisé par le maître d'œuvre (Safege).

Sur le terrain, pour gérer cette teneur en eau, des essais Proctor sont réalisés en cours de chantier, environ tous les 4000 m³, par le contrôle interne de l'entreprise, le contrôle externe ainsi que par le contrôle extérieur du maître d'ouvrage. Les résultats sont croisés entre les bureaux experts. En cas d'écart, les essais sont refaits.



Arroseuse enfouisseuse



Malaxeur



Scarificateur



Déchargement et régalaage au bulldozer



Compacteur pieds de mouton



Pénétromètre



Gamma densimètre

Si la teneur en eau est insuffisante, l'entreprise de terrassement injecte de l'eau dans les matériaux grâce à une arroseuse-enfouisseuse. L'homogénéité du matériau est ensuite obtenue après le passage d'un malaxeur.

Si la teneur en eau est trop élevée, l'entreprise étalera les matériaux et passera un scarificateur pour les aérer.

Les matériaux de la digue, une fois à la bonne teneur en eau, sont mis en œuvre par couches successives d'une épaisseur maximale de 30 cm. Le dumper déverse la terre en tas qui sont ensuite répartis de façon homogène par un bull.

Chaque couche est compactée par un compacteur à pieds de mouton, qui assure une bonne adhérence entre les couches. Le nombre de passages du compacteur sur chaque strates, la vitesse de passage et l'énergie de compactage sont déterminés lors des phases de tests appelés *planches d'essais* préalablement au démarrage effectif du chantier.

Un atelier de compactage réunit ainsi :

- 1 pelle mécanique et 1 dumper
- 1 bull
- 1 compacteur à pieds de mouton
- 1 arroseuse
- 1 malaxeur

Une fois les couches de remblais compactées, pour s'assurer que les matériaux ont été mis en œuvre à la bonne teneur en eau et avec la puissance de compactage suffisante, on réalise deux essais géotechniques croisés tous les 50 m environ pour chaque couche de remblai, et ce tout au long du chantier. Ce sont les essais de pénétromètre dynamique ou essais Panda et les essais au gamma-densimètre.

Dans le cas du pénétromètre dynamique ou Panda, on mesure la résistance du matériau mis en œuvre sur une ou plusieurs couches selon les besoins. Plus le matériau est sec et meilleure sera la résistance mécanique ; mais il risque de s'éroder. Dans le cas des remblais de digue, le compactage doit être réalisé avec des matériaux légèrement humides afin de garantir une meilleure résistance à l'érosion.

D'où toute l'importance accordée à la teneur en eau des matériaux mis en œuvre.

Le gamma-densimètre mesure la densité des matériaux et la teneur en eau de la première couche, à partir d'une source radioactive.

En cas de défaut avéré de la teneur en eau ou du compactage, l'entreprise démonte la couche défectueuse et remonte les remblais en réitérant l'ensemble des essais de contrôle.

LES FINITIONS DE LA PHASE DE TERRASSEMENT

Les couches constitutives de la digue sont mises en œuvre avec un remblai excédentaire afin de s'assurer du bon compactage de la couche jusqu'au bord du talus.

Une fois l'ensemble de la digue en terre réalisée, les talus sont retaillés et le remblai excédentaire est évacué. Il pourra être réutilisé par l'entreprise.



Retailage des talus

Grégoire Becker

Directeur d'Agence de l'entreprise GUINTOLI
Travaux de la digue de Beaucaire



Dans le cadre de la réalisation des travaux de renforcement de la digue de Beaucaire, l'une des étapes principales de la construction de l'ouvrage se trouve être la phase de terrassement, à savoir la mise en œuvre en remblais de près de 700 000 m³ de matériaux argileux.

Avant de s'employer à l'optimisation des productions journalières, la maîtrise de ces matériaux et de leur mise en œuvre est primordiale. L'objectif est de définir et de connaître la totalité du panel de matériaux disponibles sur le chantier, leurs possibilités et leurs conditions de réutilisation.

L'assurance de la qualité de cette mise en œuvre, est la densité en place. L'objectif est de densifier au maximum les matériaux, ce qui permet de s'assurer des caractéristiques indispensables à la tenue de ce type d'ouvrage dans le temps (stabilité, étanchéité). Pour chaque matériau, deux références sont établies, la première, « le proctor » qui définit une teneur en eau optimale permettant la meilleure densification du matériau et la seconde, les consignes de compactages associées qui sont déterminées lors des planches d'essais spécifiques en fonction du matériel utilisé.

L'obligation d'atteindre des densités à 95% de cette référence nous impose une très forte rigueur de mise en œuvre. Une fois les principes de compactage assimilés et maîtrisés, la difficulté qui persiste, demeure l'ajustement de la teneur en eau des matériaux.

C'est la véritable contrainte, à savoir l'adaptation permanente en fonction de l'état hydrique du matériau. On passe de l'aération sur plusieurs jours au fort arrosage de façon instantanée, ce qui impose une certaine flexibilité sur les outils de production, tout en tenant compte des conditions météorologiques du moment qui influent fortement.

L'assurance de la conformité, outre les interventions du contrôle extérieur, se traduit par un contrôle en continu des teneurs en eau et des densités en place sur chaque couche de 30cm de matériaux, l'équivalent de plus de 10 000 points de contrôle sur la durée de cette phase de travaux.

Clément Porciero

Directeur de Travaux Adjoint, Entreprise
VALERIAN—Travaux de la digue de Fourques



Les ouvrages de retenue d'eau sont les ouvrages les plus contraignants en termes de qualité de remblais à réaliser. C'est la pérennité de l'ouvrage qui en dépendra. La conception de la digue du Rhône propose un noyau d'argile type A1/A2 le plus étanche possible et dont le niveau de compacité figure parmi les plus contraignants des guides de terrassement. Les matériaux des gisements utilisés sur site sont des argiles types A1/A2 mais dont l'état hydrique avant traitement ne permet pas d'assurer l'étanchéité d'une part et le niveau de compacité requis par les notes de calculs d'autre part. Une étape de "traitement à l'eau" est donc indispensable pour porter les matériaux à la bonne teneur en eau et ainsi les traiter intensivement jusqu'à atteindre la compacité requise. La maîtrise de ces deux paramètres garantit la qualité et la pérennité de l'ouvrage ainsi fabriqué. En terme d'organisation terrain, il s'agit d'enfouir quotidiennement environ 1 000 m³ d'eau à l'aide de tracteurs-arroseuses équipés d'enfouisseuses asservies, et de compacter intensivement l'équivalent de 120 000m² de surface à l'aide de 5 compacteurs à pieds de mouton. Pour les entreprises, une telle organisation en vue des objectifs requis, est de loin la plus contraignante de tous les ouvrages de remblais courants pour des chantiers de type route, autoroute ou TGV.

Pertuis de la Fourcade

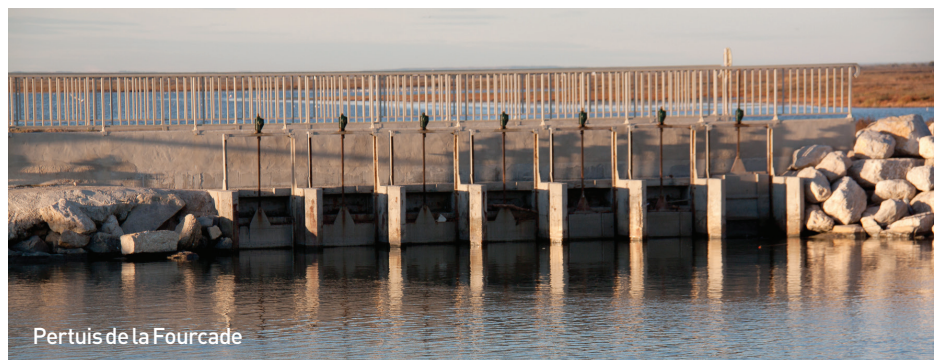
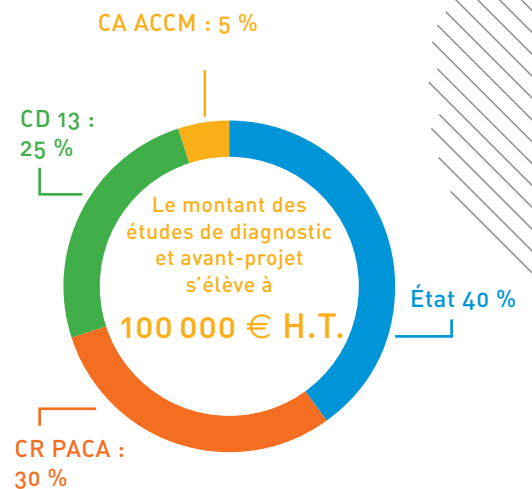
Le Plan Rhône intègre un volet d'actions pour le ressuyage des eaux déversées dans les zones protégées. C'est dans ce contexte que le Parc Naturel Régional de Camargue a mené une étude d'amélioration du ressuyage en Camargue insulaire. Cette étude a mis en évidence plusieurs actions prioritaires sur ce territoire, dont l'augmentation de la capacité d'évacuation gravitaire à la mer par la réhabilitation des pertuis de la Comtesse et de la Fourcade, avec augmentation de la capacité d'évacuation et automatisation du pertuis de la Fourcade.

Le SYMADREM porte la maîtrise d'ouvrage de l'étude de diagnostic et d'avant-projet pour le doublement de la capacité d'évacuation et d'automatisation du pertuis de la Fourcade. Cette action s'inscrit dans le cadre d'un partenariat avec le PNRC, qui portera la réalisation des dossiers réglementaires et la rédaction du règlement d'eau.

En parallèle, la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer porte une étude de création d'un dispositif de continuité écologique et de franchissement pour alevins et poissons au droit du pertuis de la Fourcade.

Suite à l'étude de diagnostic, finalisée en mars 2017, le comité de pilotage a décidé la démolition des deux ouvrages actuels et la construction d'un nouveau, de capacité deux fois supérieure. L'épi Est du Grau de la Fourcade devra être déplacé afin d'augmenter la capacité d'évacuation du Grau.

L'étude d'avant-projet du nouvel ouvrage est en cours, et sera finalisée en fin d'année 2017. Elle intégrera notamment le dispositif de continuité écologique souhaité par la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer.



ZOOM MÉTIER



Marion Cesari est arrivée le 19 juin 2017 dans l'équipe technique du SYMADREM pour occuper le poste d'ingénieur chargée d'opérations Plan Rhône et Littoral. Diplômée de l'École Nationale Supérieure de l'Énergie, l'Eau et l'Environnement, école d'ingénieurs du groupe Grenoble INP, elle rejoint le SYMADREM après cinq années passées en bureau d'études sur des projets liés à la protection contre le risque inondation.

Marion sera en charge du suivi des opérations sur le Petit Rhône. Elle reprend le dossier relatif au renforcement et décorsetage limité des digues du Petit Rhône. Le tracé des nouvelles digues a été

retenu en fonction des contraintes liées à l'occupation du sol, de l'amélioration de la sécurité et des objectifs environnementaux : l'éloignement du fleuve des ouvrages de protection, la conservation des enjeux écologiques et en particulier de la ripisylve et la réutilisation en remblai des matériaux du site et des digues actuelles.

Sur ce dossier, il s'agira dans un premier temps de suivre le montage des dossiers réglementaires, l'obtention des autorisations et des acquisitions foncières, en lien direct avec les bureaux d'études et les riverains des zones concernées par le projet. Le démarrage des travaux est prévu en 2020.

Directeur de la publication : Jean-Luc Masson - Rédacteur en chef : Jean-Pierre Gautier
 Ont participé à ce numéro : Antoine Castagnet, Séverine Chardes, Céline de Paris, Pauline Lemoine, Thibaut Mallet
 Photos : SYMADREM - Imprimeur : Pure Impression - Réalisation : www.septlieux.fr - ISSN : 2105 - 3324
 SYMADREM - 1182, chemin de Fourchon VC 33
 13200 ARLES - Tél. 04 90 49 98 07 - symadrem@symadrem.fr - www.symadrem.fr

Nos partenaires :

