

Le recul stratégique des ouvrages de protection contre les inondations au service de la préservation et valorisation des milieux aquatiques

Confortement de la digue sud d'Arles

M. Normand¹, C. Delaunay², T. Mallet³, P. Mercier³

¹EGIS, Montpellier, mathieu.normand@egis.fr

²SCP, Aix-en-Provence, christophe.delaunay@canal-de-provence.com

³SYMADREM, Arles, thibaut.mallet@symadrem.fr

Résumé

Dans le delta du Rhône, la protection contre les crues du fleuve est assurée par des digues anciennes. À la suite de crues importantes, des études et travaux de confortement ont été entrepris par les gestionnaires d'ouvrages. Un programme global de sécurisation est porté par le Syndicat Mixte Interrégional d'Aménagement des Dignes du Delta du Rhône et de la Mer (SYMADREM) dans le cadre du Plan Rhône.

Les méthodes de confortement des digues ont connu des évolutions et les projets connaissent également des modifications du fait des linéaires d'intervention qui sont plus importants, permettant une approche globale des ouvrages dans leur milieu et la prise en compte de l'environnement au sens large.

Le confortement de la digue du Grand Rhône rive gauche au sud d'Arles, réalisé sur environ 7 km, a permis de faire évoluer les méthodes de renforcement traditionnellement utilisées sur ce territoire. Le recul des ouvrages de protection a engendré des réflexions conduisant à un chantier optimisé au regard de la prise en compte du milieu naturel dans son ensemble.

Les différentes thématiques abordées et les problématiques rencontrées, y compris pendant les travaux, permettent de disposer d'un retour d'expérience opérationnel pour améliorer ces nouvelles stratégies de protection contre les inondations.

Mots-Clés

Digue zonée / Recul stratégique / Réutilisation / Renaturation / Zone humide

Abstract

In the Rhône Delta, the dikes protecting the population from floods are old ones. After major floods occurred, works' managers have carried out reinforcement studies and works. The SYMADREM (Syndicat Mixte Interrégional d'Aménagement des Dignes du Delta du Rhône et de la Mer) initiated a global security program, within the scope of the Plan Rhône.

Dikes reinforcement methods have experienced progresses and the projects have changed due to nowadays' significant scales of intervention, allowing a global approach of works in their environment as well as a global environmental awareness.

The reinforcement of the Grand Rhône dike on the left bank south of Arles, built over about 7 km, permitted to develop traditional reinforcement methods used on this territory. The protection works' moving back has triggered reflections leading to an optimised construction site regarding the natural environment consideration as a whole.

The different discussed themes and encountered problems, including during the works' phases, allow having an operational feedback to improve these new protections against floods strategies.

Key Words

Zoned Dike / Strategic Retreat / Reuse / Renaturation / Wetland

Introduction

Le confortement de la digue du Grand Rhône rive gauche au sud d'Arles, plus précisément entre les Mas de « Prends-té-Garde » et « Grand Mollégès », a permis la sécurisation de 6 800 mètres d'ouvrage de protection contre les crues du fleuve.

Les études de conception ont été menées en 15 mois entre avril 2013 et juillet 2014. La réalisation des travaux s'est effectuée en 20 mois entre novembre 2014 et juin 2016.

Les possibilités offertes par le linéaire d'intervention et les volontés du Maître d'Ouvrage ont permis de concevoir et réaliser un projet différent des techniques habituellement utilisées sur ce territoire.

En effet, la conception intrinsèque de l'ouvrage et le tracé de son confortement ont été optimisés pour limiter de façon importante l'impact du projet sur l'environnement.

Enjeux et contraintes du projet

La digue du Grand Rhône rive gauche en aval d'Arles fait partie intégrante du programme général de protection de la ville ; elle assure la continuité de protection en aval de l'ensemble formé par les quais du Rhône et la digue du quartier de Barriol au sud. Dans la continuité de ces ouvrages, elle permet de sécuriser la fermeture du casier hydraulique, évitant ainsi les inondations de l'agglomération par retour d'eau.

La zone protégée bordant le linéaire de digue présente peu d'accès depuis les voiries et est occupée par des exploitations agricoles, des champs de cultures annuelles, des rizières et des bâtiments d'habitation, d'exploitation et de transformation des produits de la riziculture.

Liés à cette activité, de nombreux réseaux hydrauliques accompagnent le linéaire de digue : des stations de pompage au bord du fleuve, des canaux en élévation pour distribuer l'eau de façon gravitaire vers les parcelles et des fossés d'assainissement des rizières.

Ancienne méthode de confortement

À la suite des importantes crues du Rhône de 1993 et 1994, différents secteurs de digue nécessitant des confortements à court terme ont été identifiés sur le territoire camarguais, le long du Petit Rhône et du Grand Rhône.

Pendant une vingtaine d'années, ces confortements d'ouvrages ont été réalisés dans le fuseau des digues existantes.

Les ouvrages anciens, édifiés à partir du Moyen âge, sont étroits et possèdent des talus avec forte pente. Ils ont généralement été positionnés en bordure du fleuve ; dans les extrados de méandre, le parement des digues était protégé de l'érosion externe par des perrés de moellons maçonnés.

Les rehausses successives du niveau de protection au cours des siècles sont à l'origine de modelés longitudinaux en déblais le long des ouvrages. En effet, l'utilisation de matériaux du site, directement prélevés en arrière des digues dans des « caisses d'emprunt » de géométrie et profondeur variable, permettait de les rehausser en évitant le transport de matériaux.

Au cours du temps, une végétation rivulaire importante s'est développée sur les dépôts alluviaux côté fleuve et autour des caisses d'emprunt côté protégé, la nappe alluviale ayant entraîné la mise en eau de ces points bas.

La Figure 1 présente ce type d'ouvrage localisé dans la zone d'étude, en rive opposée du Grand Rhône au sud d'Arles.

Le confortement réalisé sur ces digues homogènes en limons (de type A1 majoritaire) est basé sur une substitution de leur parement amont par un masque en argiles (de type A2) pour gagner en étanchéité, réalisé en remblais compactés par la méthode excédentaire, directement contre le corps de digue laissé en place.



FIGURE 1 : DIGUE DU GRAND RHONE RIVE DROITE VUE VERS L'AVAL

L'adoucissement des pentes de talus et la constitution de pistes de circulations en crête et pied d'ouvrage côté protégé engendre une nécessité d'élargissement de l'assiette du projet, entraînant localement le remblaiement des zones d'emprunt longitudinales.

Enfin, la stabilisation des talus côté fleuve et l'étanchéité de la fondation sont acquises au moyen d'un rideau de palplanches battu en pied d'ouvrage, localement complété par un cordon de blocs d'enrochements libres pour pérenniser la butée de pied dans les tronçons en contact direct avec le lit mineur.

La coupe-type de ces travaux est présentée sur la Figure 2.

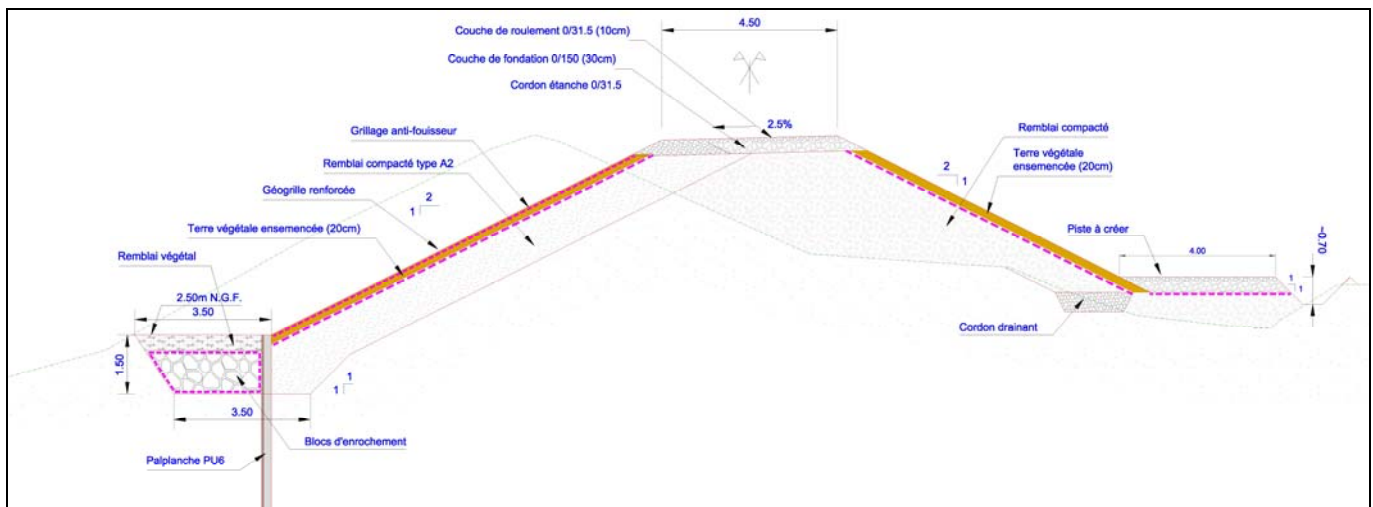


FIGURE 2 : COUPE-TYPE DE LA TECHNIQUE DE CONFORTEMENT DANS LE FUSEAU DE DIGUE EXISTANTE, RIVE DROITE

S'il est peu consommateur d'emprises foncières, le confortement dans le fuseau de digue en bordure du fleuve engendre plusieurs conséquences qui ont un impact financier et environnemental :

- L'apport de matériaux de carrière en quantité importante, pour réaliser le masque étanche et le cordon de blocs d'enrochements,
- La création d'un rideau de palplanches,
- L'abattage complet de la ripisylve des deux côtés de la digue,
- Le remblaiement partiel ou total des anciennes caisses d'emprunt devenues zones humides.

De plus, le travail en pied d'ouvrage côté fleuve soumet le chantier aux variations saisonnières du plan d'eau et engendre un risque de départ de matières en suspension vers le lit mineur.

Une nouvelle génération d'ouvrages

Les études de conception ont été l'occasion de comparer différents types d'ouvrages pour définir la structure la plus adaptée après analyse technico-économique. Pour résister aux différents modes de rupture des ouvrages en remblais et constituer une digue durable, les objectifs fixés par le SYMADREM sont traduits au travers de plusieurs fonctions énoncées ci-après.

Fonction stabilité

La stabilité des ouvrages de protection vis-à-vis des différents modes de rupture est justifiée par l'intermédiaire de modèles de calculs géomécaniques lors de la conception.

Fonction étanchéité

Les ouvrages se doivent d'être aptes à retenir l'eau et éviter des pertes excessives. L'efficacité et la durabilité de l'étanchéité des différents ouvrages de protection sont prouvées.

Fonction drainage

La piézométrie au sein des ouvrages doit éventuellement être limitée par la mise en œuvre de dispositifs de drainage, aptes à évacuer les fuites sans mise en charge des drains.

Fonction protection

La protection superficielle des différents ouvrages doit résister aux agressions de l'environnement (agents atmosphériques, humains et animal).

Fonction filtration

Les ouvrages se doivent d'être aptes à retenir les particules emportées par l'eau. Des mesures nécessaires doivent être mises en œuvre afin d'éviter l'érosion interne, notamment des filtres à l'interface entre les matériaux.

Fonction évacuation des crues

Les ouvrages doivent permettre d'évacuer les eaux en situation de crue rare à extrême. Cette fonction étant assurée à l'échelle de la Camargue par la création de déversoirs en amont de la ville d'Arles.

Fonction suivi de la sécurité

Les ouvrages de protection se doivent d'être accessibles en toute période et par tout temps afin d'assurer leur surveillance et de pouvoir intervenir sur ces derniers en cas de crue.

La connaissance des ouvrages et leur surveillance doivent permettre de repérer les indices de vieillissement et de connaître les conséquences des accidents potentiels.

Cette fonction est atteinte au travers de la conception des pistes de circulation, mais également des visites techniques approfondies et des études de dangers réalisées par le gestionnaire d'ouvrage.

Fonction préservation de l'environnement

Les dispositions constructives des ouvrages doivent être durables, minimiser l'impact environnemental et le coût global pour la société.

Technique de confortement réalisée

Une structure de digue zonée

Les différentes fonctions visées ont été atteintes par le démontage systématique de la digue existante et la création d'une digue zonée. La coupe type est présentée en Figure 3. Le remblai étanche de l'ouvrage de protection a été prévu à 80 % avec les matériaux limoneux A1 issus du site, pour limiter au maximum la circulation des camions depuis les carrières et la spéculation parfois associée à ces fournitures. Pour sécuriser la faisabilité de l'organe d'étanchéité à partir des matériaux du site, les études géotechniques de conception ont été menées avec un objectif de caractérisation poussée des déblais du site. Les essais réalisés sur les 6 800 mètres de digue sont détaillés dans le Tableau 1.

TABLEAU 1 : CARACTERISATION DES MATERIAUX DU SITE EN PHASE CONCEPTION

Nature de l'essai géotechnique réalisé	Quantité réalisée
Mise en station de tarière	20 u
Sondages à la tarière	90 ml
Prélèvement d'échantillons remaniés	15 u
Mise en station de carottier	8 u
Sondage carotté	129 ml
Prélèvement d'échantillons intacts	111 u
Sondage au tractopelle	5
Prélèvement d'échantillon	5
Analyses GTR en laboratoire	65
Sédimentométrie	60

Les sondages au tractopelle ont été volontairement réduits malgré leur pertinence afin de ne pas fragiliser l'ouvrage de protection pendant la période de conception.

Le zonage de la digue est effectué à l'aide d'un géocomposite synthétique qui permet à la fois d'assurer les fonctions de filtration et de drainage en cas de défaillance de l'étanchéité amont. Ce dispositif a été préféré à un drain granulaire dans une chaussette géotextile pour limiter les extractions en carrières et les circulations pour approvisionner ces matériaux.

Le remblai de digue est réalisé sur une clef de fondation terrassée en déblais dans le terrain naturel sur une largeur importante, permettant :

- D'assurer un contrôle visuel des horizons de fondation, pour garantir l'absence d'hétérogénéités,
- De récupérer un volume important de limons A1 du site pour constituer le remblai étanche,
- D'assurer une clef d'étanchéité sous la digue,
- D'ancrer le dispositif de filtration-drainage en profondeur sur la partie aval de la digue, pour intercepter d'éventuelles sous-pression.

Enfin, le remblai de la recharge aval est réalisé en matériaux tout-venant de provenance extérieure au chantier à 80 % et en matériaux du site non utilisables en remblais étanches à 20 %. Des caractéristiques granulométriques et mécaniques moins exigeantes sur ces matériaux permettaient d'élargir les possibilités d'approvisionnements, pour utiliser des déblais excédentaires d'autres chantiers régionaux par exemple.

Un recul stratégique des ouvrages les plus sollicités

Sur plus de 3 500 mètres, l'ancienne digue était située en bordure immédiate du Grand Rhône, soumise aux actions érosives liées aux vitesses d'écoulement, au marnage du fleuve et au batillage engendré par le vent et la navigation. Afin d'éviter la suppression de la ripisylve existante et les dispositifs de protection onéreux qui auraient été nécessaires, il a été choisi de reculer la digue de protection.

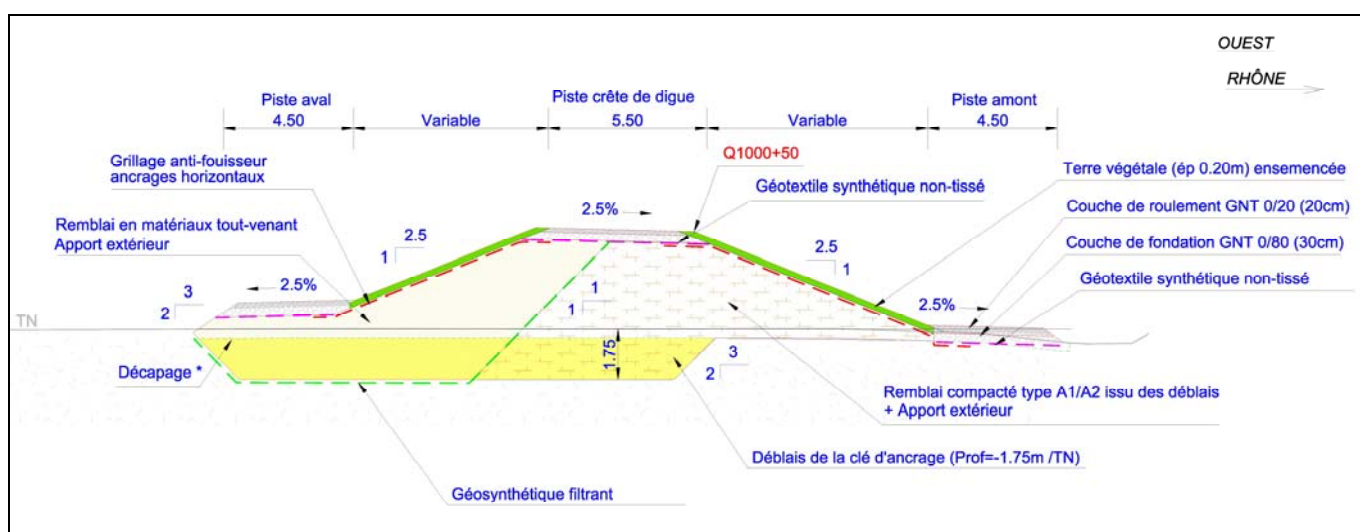


FIGURE 3 : COUPE-TYPE DE LA DIGUE ZONÉE RÉALISÉE POUR LE CONFORTEMENT DE LA DIGUE SUD D'ARLES, RIVE GAUCHE

La construction de la digue en recul nécessite néanmoins une énergie importante pour déplacer l'intégralité du volume de digue existante, cependant il s'agit d'une intervention dans un périmètre restreint et les distances parcourues restent inférieures aux itinéraires d'approvisionnement depuis les carrières.

Le recul de digue est positionné en fonction des principales contraintes du linéaire d'intervention, à savoir les bâtis proches du fleuve et les milieux naturels existants composés de ripisylve et d'une zone humide. Un extrait du tracé est présenté sur la Figure 4.

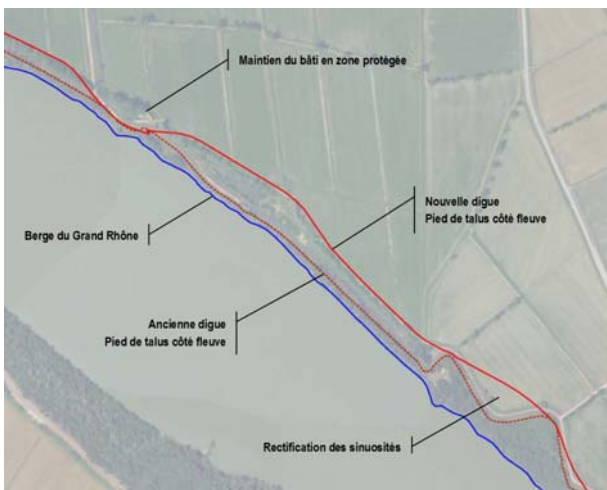


FIGURE 4 : EXTRAIT DU TRACÉ DE LA DIGUE EN REcul, POSITION DU PIED D'OUVRAGE COTE FLEUVE

Ce tracé en recul engendre un impact important sur le foncier pour acquérir l'emprise du nouvel ouvrage au sein des terrains agricoles existants, soit un fuseau continu d'une largeur minimale de 30 mètres.

En dehors du foncier, le tracé du projet impacte les réseaux hydrauliques agricoles longeant l'ancienne digue, pour l'alimentation et le drainage des rizières situées sur la quasi-totalité du linéaire ; la conception et les travaux ont intégré les modifications de réseaux nécessaires aux travaux, tout en assurant leur continuité de fonctionnement pour ne pas pénaliser les exploitants agricoles. Plusieurs kilomètres de canaux et fossés ont été impactés et restitués, dans les emprises privées longeant la nouvelle digue.

Outre l'évitement de la ripisylve existante et l'économie d'une protection de berge en technique lourde, le point positif majeur du tracé en recul est l'espace de mobilité rendu au fleuve au sein du lit endigué. En effet, l'espace situé entre la crête de berge et le pied de digue, usuellement nommé « ségonal » dans la vallée du Rhône, a été augmenté significativement : sa surface est passée de 15,7 hectares à 28,5 hectares. Cette augmentation représente un gain de 12,8 hectares sur 3 500 mètres linéaires, soit une moyenne de 36 mètres de large rendus au fleuve par mètre linéaire de projet.

Un mouvement des terres optimisé

Comme détaillé précédemment, la conception interne de la digue zonée permet de minimiser les approvisionnements depuis l'extérieur du chantier en favorisant le réemploi des matériaux du chantier ou l'utilisation de techniques alternatives (filtre-drain notamment).

À l'échelle de l'opération, le mouvement des différents matériaux du chantier a été étudié dès la conception pour optimiser leur utilisation, dans le respect des critères de qualité nécessaires à la réalisation des ouvrages protection et des critères de respect de l'environnement inhérents aux travaux fluviaux.

Sous la digue existante arasée et sur une partie des terrains libérés par le projet, la pratique séculaire des caisses d'emprunt a été appliquée. Des surprofondeurs de terrassement ont été prévues et réalisées pour permettre la récupération de matériaux limoneux du site et le stockage des déblais excédentaires non réutilisables.

Telle la maxime de Lavoisier « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme », les matériaux produits par le chantier ont tous trouvé une utilité sur le chantier.

TABLEAU 2 : SYNOPTIQUE DE REUTILISATION DES MATERIAUX DU CHANTIER

Matériaux produits par le chantier	Destination
Terre végétale issue du décapage (non colonisées par des espèces envahissantes)	Nappage définitif des ouvrages et des zones d'arasement de digue
Terre végétale issue du décapage (colonisée par des espèces envahissantes)	Remblaiement des parties basses des zones d'emprunt
Déblais provenant de la digue existante et des zones d'emprunt	Remblais nouvelle digue, masque étanche amont ou recharge aval selon la qualité
Déblais de purge des anciens fossés de drainage agricole	Remblaiement des parties hautes des zones d'emprunt
Démolition de bâtis, anciennes prises d'eau, canaux en béton	Concassage et criblage pour utilisation dans les structures de pistes

Au total, 1 170 000 mètres cubes de déblais ont été réalisés et réemployés sur chantier, soit un taux de réemploi de 100 %. Le volume total des remblais effectués, y compris les couches de forme des pistes, atteint 1 705 000 mètres cube, nécessitant 535 000 mètres cubes d'apports extérieurs, soit un taux d'apports extérieurs de 31,4 %.

Le chantier n'a pas engendré un mètre cube d'évacuation en dehors des emprises. Seulement 58 tonnes de déchet industriel banal (DIB) ont été évacuées du chantier, provenant de déchets enfouis découverts au moment des terrassements et de déchets produits par le chantier.

Renaturation des emprises libérées

La structure de digue et son tracé ont permis de réduire l'impact général de l'opération en minimisant les circulations, de préserver des milieux naturels existants et de reconstituer de l'espace de mobilité au fleuve.

Les emprises libérées par le recul de la digue ont été modelées et renaturées selon plusieurs objectifs, permettant une valorisation du milieu aquatique dans son ensemble.

Restauration de la ripisylve

Les terrains les plus proches du fleuve, correspondant à l'emprise de l'ancienne digue arasée, ont été restitués au niveau du terrain naturel environnant. Des plantations d'espèces locales arbustives et arborées ont été effectuées pour reconstituer une ripisylve et à terme densifier les anciens corridors qui bordaient les pieds de digue.

Création de zones humides

Des emprises d'ancienne digue arasée plus éloignées du fleuve ont été restaurées en zones humides linéaires, illustrées par la Figure 5, avec faciès longitudinaux et transversaux variés pour différencier les habitats et les potentiels de colonisation.

Au gré des points les plus bas de ces zones humides, des mares temporaires ou permanentes sont alimentées par l'impluvium compris entre la berge du fleuve et la nouvelle digue.

À la faveur de sinuosités de l'ancienne digue, les emprises libérées par la rectification du tracé sont plus importantes et permettent de constituer des zones humides plus larges.

Ces différentes zones présentent des régimes hydrauliques

fluctuant et difficilement prévisibles, fonction des débordements du fleuve, des niveaux de nappe, des cumuls de précipitations et de la perméabilité des sols de fondation.

Pour favoriser l'implantation de la végétation les faciès et les plantations ont également été diversifiés.

La connexion d'une de ces zones avec le lit du Grand Rhône permet de maintenir un plan d'eau favorable à l'implantation d'espèces hélophytes (Figure 6) ainsi que des mobilités de faune piscicole vers ces milieux aquatiques nouvellement constitués.



FIGURE 6 : DEVELOPPEMENT D'ESPECES HELOPHYTES DANS UNE ZONE HUMIDE CONNECTEE AU LIT DU FLEUVE

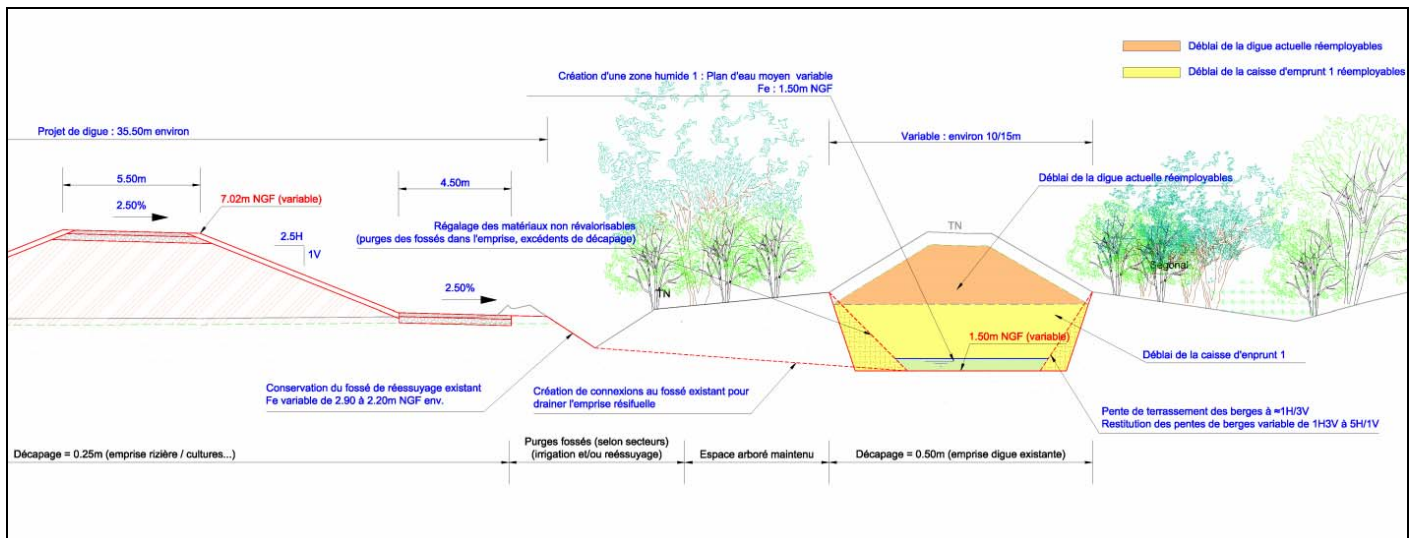


FIGURE 5 : EXEMPLE DE ZONE HUMIDE LONGITUDINALE ETROITE DANS L'AXE DE LA DIGUE ARASEE

Enfin, une zone humide longitudinale existante en arrière de l'ancienne digue et ses boisements rivulaires ont été préservés, en contournant son emprise avec le tracé de la digue en recul, comme illustré sur la Figure 7.



FIGURE 7 : PRESERVATION D'UNE ZONE HUMIDE EXISTANTE PAR EVITEMENT ET REcul DU TRACE DE DIGUE

Bilan économique et environnemental

Bilan économique

Sur la base des coupes-types présentées en Figures 2 et 3 et des impacts engendrés par la nature des travaux (foncier et réseaux agricoles notamment), une comparaison du coût des différentes techniques est effectuée ci-après (Tableau 3), sans considérer les parties d'ouvrages qui sont similaires quelle que soit la technique retenue, comme la réalisation des pistes de circulation, la protection contre les fousseurs ou la mise en sécurité des ouvrages traversant.

À périmètre d'ouvrage et hauteurs équivalents, le bilan financier brut permet de constater que la digue en recul est deux fois moins onéreuse que la digue confortée en place, sur des opérations d'ampleur similaire (entre 3 000 et 3 500 ml). Cette analyse est bien évidemment à tempérer selon la valeur du foncier impacté par les travaux.

TABLEAU 3 : COMPARAISON FINANCIERE DES PARTIES D'OUVRAGES DIFFERENTES, PAR KILOMETRE DE DIGUE

Parties d'ouvrages et travaux annexes	Confortement dans le fuseau		Confortement en recul	
	Quantité	Prix €HT	Quantité	Prix €HT
Décapage des emprises (m ²)	34 000	27 200	42 000	33 600
Nappage en terre végétale (m ³)	3 700	14 000	6 500	24 700
Déblais clef d'ancrage et digue existante (m ³)	32 000	76 800	34 000	81 600
Surprofondeur de déblais zone d'emprunt (m ³)	0	0	23 000	55 200
Remblais provenant des déblais du site (m ³)	21 000	25 200	60 000	72 000
Remblais argileux d'apport extérieurs (m ³)	15 000	154 500	10 000	103 000
Remblais tout venant d'apport extérieur (m ³)	0	0	10 000	69 000
Cordon drainant en matériaux granulaires (m ³)	1 000	35 000	0	0
Géocomposite de filtration-drainage (m ²)	0	0	17 000	46 700
Rideau de palplanches (ml)	1 000	925 000	0	0
Protection contre l'érosion en enrochements (m ³)	2 900	116 000	0	0
Protection contre l'érosion en géogrille (m ²)	10 500	31 500	0	0
Évacuation des déblais excédentaires (m ³)	17 500	87 500	0	0
Enfouissement et remodelage zone d'emprunt (m ³)	0	0	9 100	4 550
Déplacement des réseaux agricoles (ml)	0	0	1 000	138 000
Total des travaux (sur digue partielle)	/	1 465 500	/	628 350
Acquisitions foncières (m ²)	5 000	13 000	41 000	107 000
Total des travaux et acquisitions	/	1 478 500	/	735 350
Bilan financier (différence globale « dans le fuseau » vs « en recul »)	/	- 743 150	/	+ 743 150

À l'échelle globale des opérations, le coût moyen de la digue au mètre linéaire d'ouvrage conforté est également impacté par :

- La diversité des ouvrages traversant et stations de pompage présentes sur le linéaire,
- Les difficultés d'accès aux zones de travaux depuis les voiries circulables, nécessitant la création de pistes,
- Le gabarit des ouvrages qui découle des évolutions de réglementation et objectifs de performance des ouvrages,
- L'actualisation des prix unitaires pour l'exécution des travaux.

Le coût spécifique de la digue confortée en recul dans le cadre de l'opération de protection sud d'Arles rive gauche en 2016 est de 2 100 €/HT/ml ; celui de la digue confortée en place réalisée au sud d'Arles rive droite en 2005 est de 2 600 €/HT/ml. La digue en recul est donc financièrement plus performante, elle permet également de disposer d'un ouvrage entièrement neuf éloigné des contraintes du fleuve.

Bilan environnemental

La description des solutions de confortement effectuée dans les paragraphes ci-avant permet de définir que le bilan environnemental du confortement de la digue en recul est largement positif par rapport à un confortement dans le fuseau.

Les points positifs prépondérants à retenir sont :

- La préservation de la ripisylve existante à plus de 80 % et des zones naturelles humides évitées,
- La restauration d'un espace de mobilité important pour le fleuve et son écosystème,
- La valorisation et renaturation des terrains libérés par le recul, avec création de nouvelles zones humides, mares et espaces boisés,
- La diminution de l'empreinte carbone de l'opération, liée à la fois aux circulations et à l'exploitation des carrières.

Le bilan environnemental ne fait pas état de points négatifs, cependant certaines complexités sont à prendre en compte pour la réalisation des opérations de recul pour éviter les impacts sur l'environnement proche du chantier :

- Les circulations à proximité de milieux sensibles pendant toute la durée des travaux, nécessitant de nombreux balisages et périmètres d'isolement,
- La nécessité d'intervention dans des parcelles agricoles sur des linéaires importants, pour déplacer les réseaux hydrauliques,
- La gestion de volumes importants de matériaux produits sur le chantier, qui peuvent engendrer des risques d'envol de particules fines,
- La continuité de protection contre les crues, qui doit être assurée pour éviter d'impacter la zone protégée.

Enseignements tirés de la phase travaux

Des emprises temporaires conséquentes

La revalorisation des matériaux extraits dans le cadre du chantier nécessite la mise à disposition de l'entreprise d'aires de stockage provisoires importantes. En effet, la temporalité des travaux ne permet pas une réutilisation des matériaux dès leur extraction ; puisqu'ils ne sont pas évacués ils doivent être temporairement stockés sur site avant leur réemploi.

Les terres de décapage, les matériaux de purge des fossés et les produits de démolition doivent être triés et isolés pendant des durées importantes, comme illustré au premier plan de la Figure 8. Des stocks tampon de matériaux permettant de refermer le système d'endiguement en cas d'annonce de crue doivent également être constitués.

Il convient donc de prévoir les emprises et les aménagements nécessaires à la réalisation de ces aires de stockage, y compris leurs accès, en compléments aux habituelles zones de parking et base de vie associées à ce type de travaux.



FIGURE 8 : EMPRISE DE STOCKAGE TEMPORAIRE ATTENANTE AU FUSEAU DU CHANTIER

Un synoptique de chantier dicté par le risque de crue

Le déblai-remblai d'une digue dans son fuseau présente l'avantage d'assurer une continuité de protection quasi permanente, nécessitant de calibrer un apport continu de matériaux pour compenser l'éventuel déficit de gabarit et l'exécution d'un « bouchon » entre les ateliers effectuant les déblais et les remblais, qui conservent des distances minimales de sécurité pour limiter les risques engendrés par la co-activité des engins de terrassement.

Dans le cadre d'un recul de digue, la jonction du système d'endiguement nouvellement créé avec la digue déconstruite s'avère beaucoup plus délicate, de surcroît lorsque les deux ouvrages sont séparés par des espaces boisés conservés et lorsque les matériaux du nouvel ouvrage proviennent de l'ancien et d'emprunt réalisés dans sa fondation.

Pour garantir une continuité de protection pendant les travaux, le linéaire du chantier doit être découpé dès la phase

conception en plusieurs plots fonctionnels. Un phasage de la création d'ouvrage est établi selon le mouvement des terres prévisionnel.

Pour commencer l'opération, une « mise de départ » est effectuée, provenant d'apports extérieurs ou d'une zone d'emprunt accessible dès le démarrage de l'opération, permettant de réaliser le premier maillon du nouveau système, en doublon de la digue existante.

Une fois ce premier plot réalisé et fonctionnel (possiblement raccordé en amont et aval aux digues existantes), la digue qui a été doublée peut alors être déconstruite et utilisée à son tour pour générer un second plot. Il en est de même sur l'ensemble du linéaire de l'opération.

Le zonage intrinsèque défini pour la digue permet également de constituer une partie d'ouvrage stable côté fleuve, puis de réaliser la recharge aval avec un décalage de planning, permettant d'utiliser à l'avancement les matériaux les moins étanches ou d'employer à la fin du chantier le dernier plot de digue existante déconstruite.

Une gestion maîtrisée des matériaux du site

L'élaboration d'un mouvement des terres avec réemploi optimisé des déblais impose aux différents partenaires du chantier une gestion efficace des matériaux ainsi qu'un contrôle permanent de leur qualité (nature et mise en œuvre).

En effet, si les approvisionnements depuis les carrières présentent généralement l'avantage d'une régularité qualitative, l'emploi des matériaux du site est soumis à une grande variabilité, du fait de l'historique des ouvrages à déconstruire et du passé hydrogéomorphologique des terrains d'assise.

Les essais réalisés lors des études de conception (Tableau 1) ont été analysés et complétés par l'entreprise lors de la période de préparation des travaux.

Dans le cadre de l'opération, le SYMADREM a également fait appel à la Société du Canal de Provence pour assurer une mission de contrôle extérieur géotechnique d'exécution.

En complément aux essais du Maître d'œuvre, ont été réalisés pour caractériser les matériaux du site réemployés :

- 40 essais proctor,
- 150 analyses GTR,
- Plusieurs centaines de teneurs en eau.

L'identification préalable au démarrage des travaux a été privilégiée pour anticiper les familles de matériaux à exploiter et définir les paramètres de mise en œuvre adaptés.

Des contrôles continus ont également été réalisés pendant l'exécution des travaux :

- Essais pénétrométriques légers quotidiens,
- Essais pénétrométriques statiques sur toute hauteur,
- 70 journées de mesure de la densité en place,
- 40 journées de mesures de résistance à la plaque.

Ce suivi continu des matériaux excavés et des paramètres de compactage a permis d'adapter le mode de réalisation des ouvrages aux variations des gisements, pour garantir la performance de l'ouvrage de protection contre les crues.

Conclusion

En Camargue, l'évolution de l'ampleur des projets de confortement de digue ces dernières années conduit à de nouvelles approches, plus respectueuses de l'environnement.

Le mode de constitution des ouvrages et les réflexions associées sur le mouvement des terres lors des études de conception permettent une optimisation du réemploi des matériaux.

La position des ouvrages en retrait du lit du fleuve participe à la restauration de l'hydrosystème et des écosystèmes qui lui sont associés, pour retrouver l'espace de bon fonctionnement du fleuve.

Ces approches apportent une réponse appropriée aux évolutions de réglementation, tant sur la sécurité des ouvrages hydrauliques de protection contre les inondations que sur le respect du milieu naturel dans sa globalité.

Le bilan largement positif de ces nouvelles pratiques, y compris sur le plan financier, ne doit pas occulter la nécessité d'une réflexion poussée de la part des porteurs de projets et de leurs maîtres d'œuvre.

Enfin, la réalisation des chantiers est rendue plus technique, ce qui impose des méthodes de contrôle et une présence accrue des différents partenaires de ces opérations.